

TC
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**KARAKAVAK (*Populus nigra* L.) ÇELİKLERİNİN KAMBİYUM FAALİYETİ
ÜZERİNDE KADMİYUM STRESİNE KARŞI İNDOL-3-ASETİK ASİT,
GİBBERELLİK ASİT VE 6-FURFURİLAMİNOPURİN KARIŞIMLARININ
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Evin ALKAN
DANIŞMAN: Prof. Dr. Bekir TİLEKLİOĞLU

VAN – 2009

TC
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**KARAKAVAK (*Populus nigra* L.) ÇELİKLERİNİN KAMBİYUM FAALİYETİ
ÜZERİNDE KADMİYUM STRESİNE KARŞI İNDOL-3-ASETİK ASİT,
GİBBERELLİK ASİT VE 6-FURFURİLAMİNOPURİN KARIŞIMLARININ
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Evin ALKAN

VAN - 2009

KABUL ve ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Bekir TİLEKLİOĞLU danışmanlığında, Evin ALKAN tarafından hazırlanan “Karakavak (*Populus nigra* L.) Çeliklerinin Kambiyum Faaliyeti Üzerinde Kadmiyum Stresine Karşı İndol-3-Asetik Asit, Gibberellik Asit ve 6-Furfurilaminopurin Karışımlarının Etkileri” isimli bu çalışma 14 /07/ 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Bekir TİLEKLİOĞLU

İmza:

Üye : Doç. Dr. Peyami BATTAL

İmza:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Sinan İŞLER

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 23.../...07.../...2009. Gün ve 2009/19-IV. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.....



ÖZET

KARAKAVAK (*Populus nigra* L.) ÇELİKLERİNİN KAMBIYUM FAALİYETİ ÜZERİNDE KADMİYUM STRESİNE KARŞI İNDOL-3-ASETİK ASİT, GİBBERELLİK ASİT VE 6-FURFURİLAMİNOPURİN KARIŞIMLARININ ETKİLERİ

ALKAN, Evin

Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bekir TİLEKLİOĞLU

Temmuz 2009, 46 sayfa

Bu çalışmada karakavak (*Populus nigra* L.) çeliklerinin kambiyum faaliyeti üzerine 10, 20, 30 ppm indol-3-asetik asit (IAA), gibberellik asit (GA₃), 6-furfurilaminoasit (FAP) ve 0.1, 0.2, 0.3 ppm Cd konsantrasyonlarının ayrı ayrı ve karışım halinde etkileri araştırıldı.

Bitkilerin morfolojik ve anatomik gelişmeleri gözlemlendi. Hormon karışımı (IAA+GA₃+FAP) ile muamele edilen bitkiler kontrole göre daha yeşil bulundu.

Elde edilen anatomik bulgulara göre kambiyum hücre sırası ve kambiyal zon kalınlığı hormon konsantrasyonunun artışına paralel olarak arttı. Kambiyum hücrelerinin radyal ve teğetsel çeper kalınlığı azaldı. Kontrole göre, Cd muamelesi kambiyum hücre sırası ve kambiyal zon kalınlığını azalttı. Hücrelerin radyal ve teğetsel uzunlukları azaldı. Kambiyum hücrelerinin radyal ve teğetsel çeper kalınlığında önemli bir değişiklik görülmedi. Cd ve hormon karışımlarının beraber uygulanmasıyla, kambiyum hücre sırası ve kambiyal zon kalınlığı hormon dozlarına bağlı olarak arttı. Hücrelerin radyal ve teğetsel çeper kalınlığı azaldı.

Anahtar Kelimeler: Kambiyum faaliyeti, Bitki büyüme regülatörleri, Kadmiyum, *Populus nigra* L.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF INDOLE-3-ACETIC ACID, GIBBERELIC ACID AND 6-FURFURILAMINOPURINE MIXTURES ON THE CAMBIAL ACTIVITY OF *Populus nigra* L. CUTTINGS EXPOSED TO CADMIUM STRESS

ALKAN, Evin

Master Thesis, Biological Science

Supervisor: Prof. Dr. Bekir TİLEKLİOĞLU

July 2009, 46 pages

In this study, the effect of 10, 20, 30 ppm indole-3-acetic acid, gibberellic acid and 6-furfurilaminopurine and 0.1, 0.2 and 0.3 ppm cadmium, alone and in combinations on the cambial activity of *Populus nigra* L. cuttings were investigated.

The morphological and anatomical developments of the plant cuttings exposed to hormone mixtures were more green compared to control and the others.

According to the anatomical findings, the cambial zone thickness increased in parallel to increasing hormone concentration. Radial and tangential cell wall thickness of cambium decreased. The cadmium treatments decreased the cambial cell layer and zone thickness compared to control and the others. The radial and tangential length of cambial cells decreased.

The thickness of the radial and tangential cell wall of cambium was not different importantly. Cambial cell layers and zone thickness increased depending on increasing hormone and cadmium concentrations, which were applied together on the plant. The radial and tangential thickness of cambial cell walls decreased.

Key words: Cambial activity, Plant growth regulators, Cadmium, *Populus nigra* L.

ÖN SÖZ

Toprak, su ve havada değişik oranlarda bulunabilen ağır metaller belirli konsantrasyonun üzerinde kirliliğe yol açarlar. Ağır metallerin çevrede yaygın bir şekilde birikmesi, tüm canlılar için boyutları giderek artan bir tehlike oluşturmaktadır. Çevreyi kirleten bütün unsurlar bitkilerde strese neden olur. Stres ise bitkilerin fizyolojisini etkiler, onların genetik potansiyellerini değiştirir, verimliliklerini kısıtlar ve ölümlerine yol açarak büyük oranlarda ürün kayıpları meydana getirir. Ağır metal kirliliğinin çeşitli nedenleri vardır. Bunlar antropojenik veya doğal kaynaklı olabilir. Endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzoz gazları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda gübreleme ve ilaçlama gibi pek çok etken ağır metal kirliliğinin nedenleri arasında yer alır.

Ağır metallerin özellikle belirli dozlardan itibaren bitkilerdeki fizyolojik fonksiyonları ve biyokimyasal olayları doğrudan veya dolaylı olarak etkilediği bilinmektedir. Bitki dokularında ağır metal birikimi fazla olursa mineral besin alımı, transpirasyon, fotosentez, kalsiyum faaliyeti, enzim aktivitesi, nükleik asit yapısı, klorofil biyosentezi ve çimlenme gibi çok sayıda olay olumsuz yönde etkilenir. Bunlara membranlarda hasar, hormon dengesinin bozulması, su ilişkisinin değişmesi gibi fizyolojik olaylar da eklenebilir.

Çevresel kirliliği engellemek için ağır metallerin zararlı etkilerini ortadan kaldırmak gerekmektedir.

Bu konuda çalışmamızın fikrini veren, bilgisiyle tecrübesiyle bana yol gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Bekir TİLEKLİOĞLU' na teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışma süresince bilgisine danıştığım Doç. Dr. Peyami BATTAL' a, Doç. Dr. Musa TÜRKER' e Yrd. Doç. Dr. İsmail YILDIZ' a, Yrd. Doç. Dr. Fevzi ÖZGÖKÇE' ye, Yrd. Doç. Dr. Sinan İŞLER' e, Araştırma Görevlileri M. Emre EREZ' e, Melike DOĞRUÖZ' e, Burak KAPTANER' e, M. Emre AKÇAY' a, doktora öğrencisi Müslüm YILDIZ' a ve istatistik bulgularının analizinde yardımcı olan Araştırma Görevlisi Barış KAKI' ye teşekkür ediyorum.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve babam Mehmet ALKAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Evin ALKAN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	2
3. MATERYAL ve YÖNTEM	5
3.1. Stok Çözeltilerin Hazırlanması	5
3.2. Bitkilerin Gruplandırılması	5
3.3. Bitki Yetiştirme Yöntemi	6
3.4. Örnek Alma ve Analiz İşlemleri	6
4. BULGULAR	7
4.1. Morfolojik Bulgular	7
4.1.1. Kontrol grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	7
4.1.2. 10 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	7
4.1.3. 20 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	7
4.1.4. 30 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	7
4.1.5. 0.1 ppm Cd grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	8
4.1.6. 0.2 ppm Cd grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	8
4.1.7. 0.3 ppm Cd grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	8
4.1.8. 0.1 ppm Cd+10 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	8
4.1.9. 0.1 ppm Cd+20 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	8
4.1.10. 0.1 ppm Cd+30 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	9
4.1.11. 0.2 ppm Cd+10 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	9
4.1.12. 0.2 ppm Cd+20 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	9
4.1.13. 0.2 ppm Cd+30 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	9
4.1.14. 0.3 ppm Cd+10 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	10

4.1.15. 0.3 ppm Cd+20 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	10
4.1.16. 0.3 ppm Cd+30 ppm H.K. grubu bitkilerin morfolojik gözlemleri	10
4.2. Anatomik Bulgular	11
4.2.1. Kambiyum hücre sırası	11
4.2.2. Kambiyal zon kalınlığı	15
4.2.3. Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu	18
4.2.4. Kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu	22
4.2.5. Kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı	26
4.2.6. Kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı	30
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	40
KAYNAKLAR	44
ÖZ GEÇMİŞ	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 4.1. Kontrol ve farklı hormon konsantrasyonlarına bırakılan <i>Populus nigra</i> L. bitkilerinin genel görünüşü.	7
Şekil 4.2. Kontrol ve farklı kadmiyum konsantrasyonlarına bırakılan <i>Populus nigra</i> L. bitkilerin genel görünüşü.	8
Şekil 4.3. Kontrol, 0.1 ppm Cd ve farklı hormon konsantrasyonlarına bırakılan <i>Populus nigra</i> L. bitkilerinin genel görünüşü.	9
Şekil 4.4. Kontrol, 0.2 ppm Cd ve farklı hormon konsantrasyonlarına bırakılan <i>Populus nigra</i> L. bitkilerin genel görünüşü.	10
Şekil 4.5. Kontrol, 0.3 ppm Cd ve farklı hormon konsantrasyonlarına bırakılan <i>Populus nigra</i> L. bitkilerinin genel görünüşü.	11
Şekil 4.6. <i>Populus nigra</i> L. bitkilerinin kambiyum hücre sırası.	12
Şekil 4.7. <i>Populus nigra</i> L. bitkilerinin kambiyum hücrelerinin total kalınlığı (μm).	16
Şekil 4.8. <i>Populus nigra</i> L. bitkilerinin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu (μm).	19
Şekil.4.9. <i>Populus nigra</i> L. bitkilerinin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu (μm).	23
Şekil 4.10. <i>Populus nigra</i> L. bitkilerinin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı.	27
Şekil 4.11. <i>Populus nigra</i> L. bitkilerinin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı (μm).	31
Şekil 4.12. <i>Populus nigra</i> L.'nin hormon uygulamasına ait genel durumları. A) kontrol, B) 10 ppm H.K., C) 20 ppm H.K., D) 30 ppm H.K. (Ka: Kambiyum).	35
Şekil 4.13. <i>Populus nigra</i> L.'nin farklı konsantrasyonlarda Cd uygulamasına ait genel durumları A) kontrol, B) 0.1 ppm Cd, C) 0.2 ppm Cd, D) 0.3 ppm Cd. (Ka: Kambiyum).	36

- Şekil 4.14. *Populus nigra* L.'nin 0.1 ppm Cd ve farklı hormon uygulamasına ait genel durumları A) kontrol, B) 0.1 ppm Cd+10 ppm H.K., C) 0.1 ppm Cd+20 ppm H.K., D) 0.1 ppm Cd+30 ppm H.K. (Ka: Kambiyum). 37
- Şekil.4.15. *Populus nigra* L.'nin 0.2 ppm Cd ve farklı hormon uygulamasına ait genel durumları A) kontrol, B) 0.2 ppm Cd+10 ppm H.K., C) 0.2 ppm Cd+20 ppm H.K., D) 0.2 ppm Cd+30 ppm H.K. (Ka: Kambiyum). 38
- Şekil 4.16. *Populus nigra* L.'nin 0.3 ppm Cd ve farklı hormon uygulamasına ait genel durumları A) kontrol, B) 0.3 ppm Cd+10 ppm H.K., C) 0.3 ppm Cd+20 ppm H.K., D) 0.3 ppm Cd+30 ppm H.K. (Ka: Kambiyum). 39

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Kambiyum hücrelerinin sırası	12
Çizelge 4.2. Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı (μm)	15
Çizelge 4.3. Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu (μm)	19
Çizelge 4.4. Kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunlukları (μm)	22
Çizelge 4.5. Kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı(μm)	26
Çizelge 4.6. Kambiyum hücrelerinin hücre çeperlerinin teğetsel kalınlığı (μm)	30

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

cm	Santimetre
gr	Gram
lt	Litre
μm	Mikrometre
μM	Mikromolar
mg	Miligram
ppm	Part Per Million

Kısaltmalar

Al	Alüminyum
Cd	Kadmiyum
$\text{CdCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Kadmiyumklorür suda
BA	Benzilaminopürin
HgCl_2	Civa Klorür
H.K.	Hormon karışımı
GA_3	Gibberellik Asit
IAA	Indol-3-asetik Asit
FAP	6-Furfurilaminopürin
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	Kurşun Nitrat

1. GİRİŞ

Hayatın başladığı andan itibaren doğada var olan tüm canlılar bir çeşit etkileşim içerisine girip, birbirlerinden yararlanmaya başlamışlardır. İnsanoğlu temel ihtiyaçlarını bitkiler ve hayvanlardan yararlanarak gidermeye çalışmıştır. Bitkiler, barınma, besin, ilaç ve eşya yapımı gibi birçok alanda kullanılmıştır. Dolayısıyla bitkiler yaşantımızda büyük önem taşımaktadır. Bitki verimliliği ve bu verimliliğin bazı olumsuz faktörlerden etkilenmesi dikkat edilmesi gereken bir unsurdur.

Bitki büyüme ve gelişmesinde enine kalınlaşmayı sağlayan kambiyum büyük önem taşımaktadır. Kambiyum sekonder vasküler dokuları meydana getiren lateral bir meristemdir. Bitkilerin kök, gövde ve yan organlarında bulunurlar.

Kambiyum, dışa doğru ve içe doğru bölünme gösterir. Dışa doğru floemi, içe doğru da ksilemi oluşturur. Kambiyum bitki canlı kaldığı sürece bölünmesini sürdürür, fakat bu bölünmeler periyodik şekilde devam edebilir. Kambiyumdaki bölünmeleri iç ve dış faktörler etkiler. İç faktörler; karbonhidratlar, mineral maddeler, hormonlar, iç su miktarıdır. Dış faktörler ise ışık yoğunluğu, yağış, sıcaklık, mineral maddeler, toprak nemi ve toprak verimliliğidir. Bu faktörler eksik olduğu takdirde kambiyumda bölünme yeteneği azalır.

Kambiyumdaki bölünme faaliyetini olumsuz yönde en çok etkileyen dış faktörlerden biri olan ağır metaller, çeşitli nedenlerle toprakta birikip bitki kökleri vasıtasıyla bitkinin diğer organlarına taşınabilmektedirler. Ağır metaller canlı bünyesinde toksik etkilere neden olurlar. Bu metaller demir, bakır, civa, nikel, kurşun, krom, çinko, gümüş ve kadmiyumdur. Bu metallere kadmiyum (Cd) bitki büyümesini engeller, fotosentez hızını ve besin değerlerini düşürür, enzimatik aktiviteyi azaltır.

Kambiyum faaliyetini etkileyen diğer bir faktör de hormonlardır. Bitkisel hormonlar, bitki büyümesinde ve gelişmesinde önemli rol oynarlar. Bunlardan bitki büyümesini teşvik edici olanlar; oksin, sitokinin, gibberellinlerdir. Bitki büyümesini inhibe edici olanlar ise absisik asit ve etilendir.

Bu çalışmanın amacı; karakavak (*Populus nigra* L.) çeliklerinin kambiyum faaliyeti üzerinde kadmiyum stresine karşı indol-3-asetik asit, gibberellik asit ve 6-furfurilaminopurin hormon karışımlarının etkilerini incelemektir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Wareing (1958), *Acer pseudoplatanus*'un kambiyal faaliyeti üzerinde indol asetik asit ve gibberellik asit arasındaki ilişkileri incelemiştir. Araştırmacı sürgünlerin alt kısımlarını suda bırakmış, uç kısımlarına ise lanolinle indol asetik asit ve gibberellik asit vermiştir. Deney sonucunda tamamen ligninleşmiş trakelerle birlikte lifsi dokudan ibaret geniş bir odun zonu oluştuğunu görmüştür.

Robards ve ark. (1969), *Salix fragilis*'de indol asetik asit, gibberellik asit ve kinetin birlikte uygulanması sonucunda kambiyumda ksilem hücre üretiminin ve farklılaşmasının belirgin derecede arttığını gözlemişlerdir.

Philipson ve Coutts (1979), *Picea sitchensis*'de kök ve gövdenin sekonder büyümesi üzerinde büyüme hormonu uygulamalarının etkilerini incelemişler ve saksıda yetiştirilmiş bitki gövdesinin dış yüzeyine lanolinle verilen indol asetik asit, gibberellik asit ve benzil aminopürin karışımlarının floemde ve ksilemde önemli artışlar meydana getirdiğini bulmuşlardır.

Zakrewski (1983), *Quercus robur*'da kambiyal aktivite ve trakeal farklılaşmanın hormonal kontrolünü incelemiştir. Araştırmacı sürgün parçacıklarına indol asetik asit, gibberellik asit ve kinetin karışımlarını uygulamış ve uygulanan konsantrasyonlarda kambiyal bölünmenin fazla derecede teşvik edildiğini bulmuştur.

Menyailo ve Tarkhanova (1984), Scots çamı (*Pinus sylvestris* L.) fidelerinin kesik yüzeylerine lanolinle hormon karışımları uygulamışlardır. Araştırmacılar diğer büyüme regülatörleriyle kullanılan indol asetik asit karışımlarında trakeitlerin çeper kalınlaşmasının fazla derecede arttığını tespit etmişlerdir.

Kralik ve ark. (1988), *Fraxinus excelsior* L. fidelerinin büyümesi üzerinde gibberellik asit ve benziladenin karışımlarının etkilerini incelemişlerdir. Yapılan anatomik incelemelerde gövdede bu hormon karışımlarının hücre bölünmesinin ksilem tarafına doğru teşvik edildiğini bulmuşlardır.

Tileklioğlu ve Algan (1992), *Coleus sp.* de hormonların etkilerini çalışmışlardır. Bu çalışmada 5, 10, 15 ppm GA+IAA+K(Kinetin) karışımlarının *Coleus sp.* çeliklerinin gövdelerindeki kambiyal aktiviteye olan etkileri araştırılmış, fasiküler kambiyumda hücre bölünmeleri görülmüş ve bu bölünen hücrelerin en çok ksileme

ilave olduğunu, ksilem kalınlığı konsantrasyon artışına zıt yönde bir azalmanın olduğunu gözlemişlerdir.

Ouariti ve ark. (1997), fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) ve domates (*Lycopersicon esculentum* L.) bitkilerinin büyüme, mineral beslenme ve nitrat redüksiyonu üzerinde Cd'un etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar 17 günlük fasulye ve domates bitkilerine 7 gün süreyle 0 ila 50 µM Cd içeren besin çözeltileri vermişlerdir. Cd' un domates bitkilerine göre fasülyede sürgün ve kök kuru ağırlığında olumsuz etki yaptığı bulunmuştur. Ayrıca Cd'un Ca, K, NO₃ ve N seviyesinde bir azalışa neden olduğu bulunmuştur. Ayrıca bitkilerin kök ve yapraklarındaki nitrat redüktaz faaliyetinde, domatese göre fasülyede daha çok azalma görülmüş ve nitrat redüktaz faaliyetindeki azalmanın NO₃ konsantrasyonundaki bir azalmaya benzer olduğu ortaya konmuştur.

Lagriffoul ve ark. (1998), genç mısır (*Zea mays* L.) bitkilerinde büyüme, mineral maddeler, klorofil içerikleri ve enzim faaliyetleri üzerinde kadmiyum zararının etkilerini çalışmışlardır. Mısır bitkilerine içinde kadmiyum bulunan besin çözeltileri verilmiş ve bitkiler 14 günlük olduğunda hem sürgün uzunluğunda hem de yaprak kuru ağırlığında önemli derece bir azalmanın olduğu görülmüştür.

Kırbağ Zengin ve ark. (2003), fasulye (*Phaseolus vulgaris*) fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine civa (HgCl₂) ve kadmiyum (CdCl₂.H₂O)'un etkilerini araştırmışlardır. Bir haftalık fasulye fideleri 10 gün boyunca Hoagland çözeltisiyle hazırlanmış farklı konsantrasyonlardaki ağır metal tuzu çözeltilerine maruz bırakılmıştır. Civa ve kadmiyum uygulaması fidelerin kök, gövde ve yaprak büyümesini önemli oranlarda engellenmiştir. Bu ağır metallerin konsantrasyonlarındaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyon oranı arasında bir paralellik görülmüştür. Fidelerin ağır metale maruz kalma süresinin uzaması kök, gövde ve yaprak büyümesindeki azalmanın daha fazla olmasına yol açmıştır. Kadmiyum ve civa stresine kök büyümesinin daha duyarlı olduğu, bunu gövde ve yaprak büyümesinin takip ettiği görülmüştür. Bu iki ağır metalden civanın kadmiyuma göre daha toksik olduğu belirlenmiştir.

Rai ve ark. (2005), *Phyllanthus amarus* L.'de bitkinin büyümesi, yaprak morfolojisi ve sekonder metabolitleri üzerinde kadmiyumun etkisini incelemişler ve kadmiyumun taze ve kuru ağırlıkta, kök ve sürgün uzunluğunda, protein, klorofil ve

karotenoid miktarında önemli derecede azalmaya, nişasta içeriğinde ise artmaya sebep olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca yaprakların her iki yüzeyinde de stoma açıklığı ve mum oluşum durumunda farklılıklara rastlamışlardır.

Khan ve ark. (2005), civa stresi altında (*Luffa cylindrica* L.)'nin kambiyal aktivitesinin oksinle kısmen yenilenmesini incelemişlerdir.

Bu çalışmada (*Luffa cylindrica* L.)'nin internodlarına HgCl₂ uygulanmış ve oluşacak etkiyi önleyici olarak da IAA kombinasyonu uygulanmıştır. Korteks, sklerankima, kambiyal ve öz bölgesinin çap parametreleri ölçülüp değerlendirilmiştir. Tek başına bitkiye verilen HgCl₂'nin ve IAA'nın bitkiye olan etkileri incelenmiştir. IAA'nın HgCl₂ ile verildiği zaman HgCl₂'nin etkisinin azaldığı tespit edilmiştir.

Al- Hakimi ve ark. (2007), bezelye (*Pisum sativum* L.) fidelerinde kadmiyumu (Cd) ve sonradan kinetini toprağa, çözelti halinde ilave ederek büyümeyi ve bazı fizyolojik olayları incelemiştir. Cd muamelesi sonucunda bitkide büyüme oranı, klorofil içeriği, net fotosentez, sürgün ve köklerdeki çözünebilir şeker ve serbest aminoasit miktarı engellenmiştir. Buna karşın çözünebilir protein ve prolin içeriği artmıştır. Kinetin uygulaması ise bitkilerde büyüme oranını, klorofil içeriğini, sürgün ve köklerdeki şeker ve serbest aminoasit içeriğini yükseltmiştir. Kinetin, Cd stresine maruz bırakılan bitkilere verildiğinde karanlıktaki solunum oranının, çözünebilir protein ve prolin içeriğinin azaldığı bulunmuştur.

Tian-Rong ve ark. (2007), Al ve Cd'un iki arpa kültüründe mineral beslenme ve kök salgısı üzerinde etkisini incelemişlerdir.

Şhang 70-119 ve Gabeina arpa varyeteleri kullanılarak, Al ve mineral besin içeren bu iki varyeteden Al ile indüklenmiş organik asit sızmasının üzerinde Cd ve Al'un etkisini ve alınımını farklı Ph seviyelerinde incelemişlerdir. Bu hidroponik deneyde metallerin birikim derecelerini ve etkilerini gözlemlemişler.

Kyozuka (2007), sitokinin kullanarak kök meristem fonksiyonu ve sürgünlerin kontrolünü incelemiştir.

Büyüme ve gelişme için temel işlemlerin bir çeşidi bitki hormon düzenleyicilerdir. Son zamanlardaki çalışmalar uygun bölgelere dağılım kontrolünün merkezde olduğunu göstermiştir. Sitokinin aktivitesi kök meristemindeki ilk farklılaşan hücreler ve kök apikal meristemdeki farklılaşmayan hücrelerin devam etmesi için gerekli olduğunu ortaya koymuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmamızda, materyal olarak karakavak (*Populus nigra* L.) çelikleri kullanıldı. Kavak dalları Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüs alanından temin edildi.

3.1. Stok Çözeltilerin Hazırlanması

Çalışmamızda kullanılacak stok çözeltiler hazırlandı. Bitkiye verilecek olan Cd, $CdCl_2 \cdot 5H_2O$ den kullanıldı. 0.1 ppm, 0.2 ppm, 0.3 ppm şeklinde gerekli miktarlarda tartılıp distile su ile 1 litreye tamamlanarak hazırlandı.

Hormon karışımı (IAA+GA₃+FAP) ise eşit miktarlarda alınıp 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm olarak hazırlandı. Çözeltiler belirtilen miktarlarda alınıp distile su ile 1 litreye tamamlandı (The Merck Index, p. 631, 720, 763).

3.2. Bitkilerin Gruplandırılması

80 adet aynı boy ve kalınlıkta kavak dalları 5'erli olarak 16 adet kavanozda çözeltilere konuldu.

- 1- Kontrol grubu, distile su ile hazırlandı.
- 2-10 ppm H.K.
- 3- 20 ppm H.K.
- 4- 30 ppm H.K.
- 5- 0.1 ppm Cd
- 6- 0.1 ppm Cd+10 ppm H.K.
- 7- 0.1 ppm Cd+20 ppm H.K.
- 8- 0.1 ppm Cd+30 ppm H.K.
- 9- 0.2 ppm Cd
- 10- 0.2 ppm Cd+10 ppm H.K.
- 11- 0.2 ppm Cd+20 ppm H.K.

12- 0.2 ppm Cd+30 ppm H.K.

13- 0.3 ppm Cd

14- 0.3 ppm Cd+10 ppm H.K.

15- 0.3 ppm Cd+20 ppm H.K.

16- 0.3 ppm Cd+30 ppm H.K.

Kavanozlar Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Araştırma Laboratuvarına yerleştirildi.

3.3. Bitki Yetiştirme Yöntemi

Bitkiler 2008 Haziran ayında toplandı. Haftada bir kez stok çözelti verildi ve haftada bir kez alt uçları 1 mm kesildi. Environment Meter aleti ile sıcaklık 26.5 °C, nem %58.3, lambanın aydınlatma lüxü 2600 olarak tespit edildi. Her hafta bitkilerin gelişme durumları düzenli olarak takip edilip kaydedildi. Deney süresince bitkilerin morfolojik özellikleri rapor edildi. Denemeye 7 hafta devam edildi.

3.4. Örnek Alma ve Analiz İşlemleri

7 hafta sonunda bitkiler %70'lik alkole alındı. Örneklerden el ile gövdenin alttan 1. internodundan enine kesitler alındı. Kesitlerin kambiyal zon kalınlığı, kambiyal zon sıraları, kambiyal zon hücrelerinin radyal ve teğetsel uzunlukları ve kambiyal zon hücrelerinin radyal ve teğetsel çeper kalınlıkları mikroskopta ölçüldü. Fotoğrafları çekildi ve anatomik incelemeleri yapıldı. Ayrıca elde edilen sonuçlara F-varyans analizi uygulandı.

4. BULGULAR

4.1. Morfolojik Bulgular

4.1.1. Kontrol Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

10 gün sonunda bütün yapraklar kurudu. 2. Haftada gövdenin yan tarafında adventif kök oluşumu başladı (Şekil 4.1).

4.1.2. 10 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

10 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.1).

4.1.3. 20 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

10 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.1).

4.1.4. 30 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

10 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kontrol ve farklı hormon konsantrasyonlarına bırakılan *Populus nigra* L. bitkilerinin genel görünüşü.

4.1.5. 0.1 ppm Cd Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

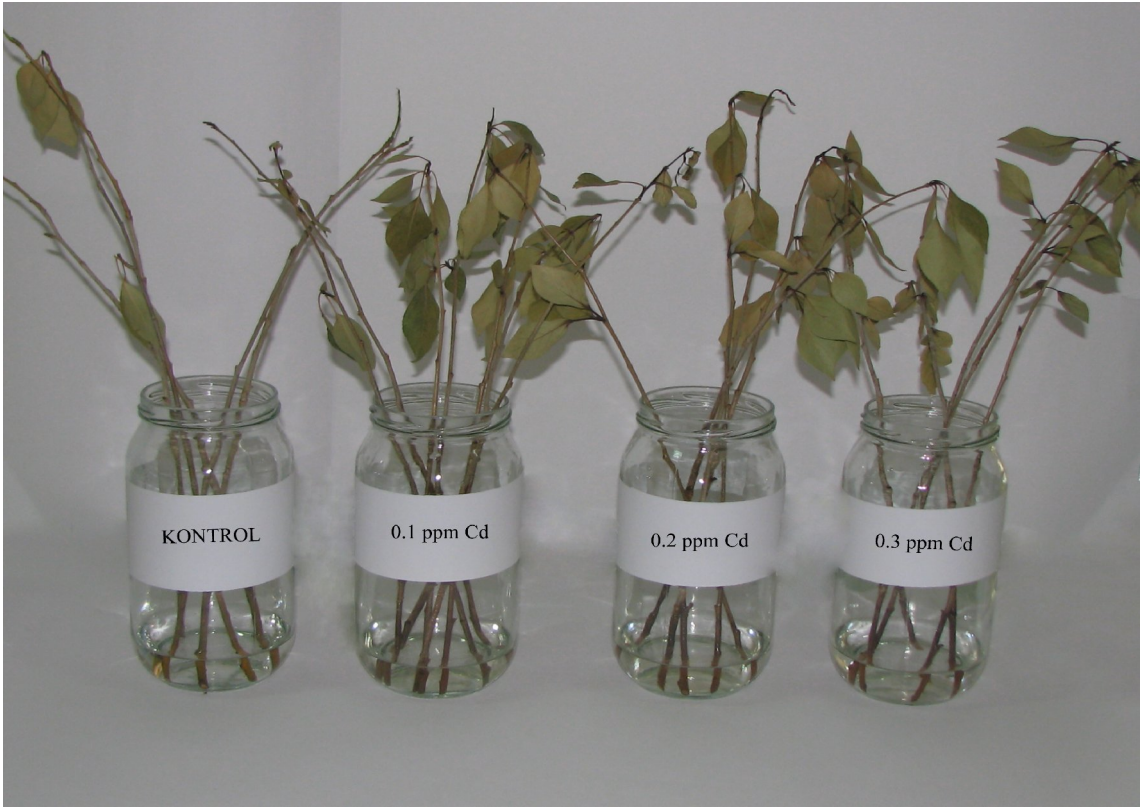
7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.2).

4.1.6. 0.2 ppm Cd Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.2).

4.1.7. 0.3 ppm Cd Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Kontrol ve farklı kadmiyum konsantrasyonlarına bırakılan *Populus nigra* L. bitkilerin genel görünüşü.

4.1.8. 0.1ppm Cd+10ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.3).

4.1.9. 0.1 ppm Cd+20 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.3).

4.1.10. 0.1 ppm Cd+30 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Kontrol, 0.1 ppm Cd ve farklı hormon konsantrasyonlarına bırakılan *Populus nigra* L. bitkilerinin genel görünüşü.

4.1.11. 0.2 ppm Cd+10 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.4).

4.1.12. 0.2 ppm Cd+20 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.4).

4.1.13. 0.2 ppm Cd+30 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kontrol, 0.2 ppm Cd ve farklı hormon konsantrasyonlarına bırakılan *Populus nigra* L. bitkilerin genel görünüşü.

4.1.14. 0.3 ppm Cd+10 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.5).

4.1.15. 0.3 ppm Cd+20 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.5).

4.1.16. 0.3 ppm Cd+30 ppm H.K. Grubu Bitkilerinin Morfolojik Gözlemleri

7 gün içerisinde bütün yapraklar kurudu (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Kontrol, 0.3 ppm Cd ve farklı hormon konsantrasyonlarına bırakılan *Populus nigra* L. bitkilerinin genel görünüşü.

4.2. Anatomik Bulgular

4.2.1. Kambiyum Hücrelerinin Sırası

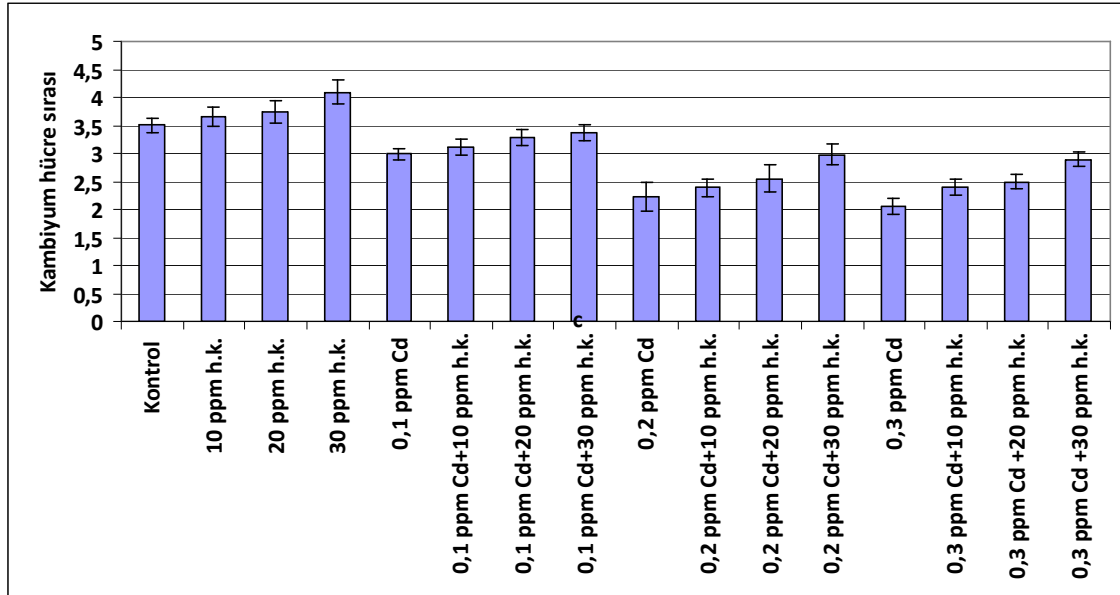
a. Kontrol grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Yapılan ölçümlerde kontrol grubu bitkilerin hücre sırası 3-5 olarak tespit edildi (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

Çizelge 4.1. Kambiyum hücrelerinin sırası

Grup adı	Kambiyum hücre sırası
Kontrol	3.51±0.13 ^{ab}
10 ppm H.K.	3.67±0.17 ^{ab}
20 ppm H.K.	3.75±0.20 ^{ab}
30 ppm H.K.	4.10±0.21 ^a
0.1 ppm Cd	3.00±0.10 ^b
0.1 ppm Cd+10 ppm H.K.	3.11±0.14 ^b
0.1 ppm Cd+20 ppm H.K.	3.28±0.15 ^b
0.1 ppm Cd+30 ppm H.K.	3.36±0.14 ^b
0.2 ppm Cd	2.22±0.26 ^b
0.2 ppm Cd+10 ppm H.K.	2.38±0.15 ^b
0.2 ppm Cd+20 ppm H.K.	2.55±0.24 ^b
0.2 ppm Cd+30 ppm H.K.	2.98±0.19 ^b
0.3 ppm Cd	2.06±0.15 ^b
0.3 ppm Cd+10 ppm H.K.	2.40±0.15 ^b
0.3 ppm Cd+20 ppm H.K.	2.50±0.14 ^b
0.3 ppm Cd+30 ppm H.K.	2.90±0.13 ^b

a, b = Aynı sütundaki farklı harfleri içeren grup ortalamaları arasındaki fark önemlidir (p < 0.001).

Şekil 4.6. *Populus nigra* L. bitkilerinin kambiyum hücre sırası.

b. 10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Yapılan ölçümlerde 3-4 sıra hücre tespit edildi. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında aradaki fark anlamlı bulunmadı (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

c. 20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Yapılan ölçümlerde 3-4 sıra hücre tespit edildi. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında aradaki fark anlamlı bulunmadı (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

d. 30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Yapılan ölçümlerde 4-5 sıra hücre tespit edildi. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında aradaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

e. 0.1 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücre sırası 2-3 olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

f. 0.2 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücre sırası 2-3 olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

g. 0.3 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücre sırası 2-3 olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

h. 0.1 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Kambiyum hücre sırası 3-4 olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarında önemli bir fark bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

i. 0.1 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Kambiyum hücre sırası 3-4 olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarında önemli bir fark bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

j. 0.1 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Kambiyum hücre sırası 3-4 olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

k. 0.2 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Kambiyum hücre sırası 2-3 olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

l. 0.2 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Kambiyum hücre sırası 2-3 olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

m. 0.2 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Kambiyum hücre sırası 2-3 olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

n. 0.3 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Kambiyum hücre sırası 2-3 olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

o. 0.3 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Kambiyum hücre sırası 2-3 olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

p. 0.3 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücre sırası

Kambiyum hücre sırası 2-3 olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.1, Şekil 4.6).

4.2.2. Kambiyum Hücrelerinin Total Kalınlığı

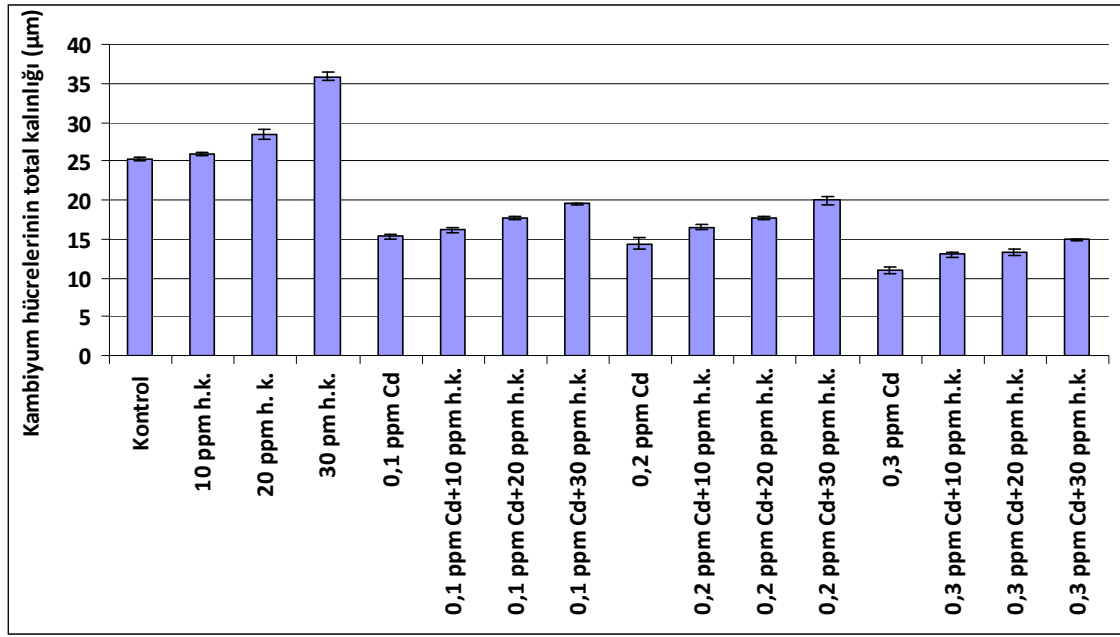
a. Kontrol grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kontrol bitkilerinde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 25-29 (μm) tespit edildi. Kambiyum hücreleri farklılaşmış ve radyal olarak dizilmişlerdir (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

Çizelge 4.2. Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı (μm)

Grup adı	Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı (μm)
Kontrol	25.32±0.22 ^e
10 ppm H.K.	25.87±0.18 ^e
20 ppm H.K.	28.43±0.59 ^b
30 ppm H.K.	35.87±0.48 ^a
0.1 ppm Cd	15.30±0.33 ^d
0.1 ppm Cd+10 ppm H.K.	16.11±0.39 ^e
0.1 ppm Cd+20 ppm H.K.	17.69±0.28 ^e
0.1 ppm Cd+30 ppm H.K.	19.50±0.16 ^d
0.2 ppm Cd	14.37±0.70 ^{fc}
0.2 ppm Cd+10 ppm H.K.	16.50±0.26 ^e
0.2 ppm Cd+20 ppm H.K.	17.77±0.22 ^h
0.2 ppm Cd+30 ppm H.K.	19.91±0.48 ^d
0.3 ppm Cd	10.90±0.36 ^{ij}
0.3 ppm Cd+10 ppm H.K.	13.00±0.27 ^{fg}
0.3 ppm Cd+20 ppm H.K.	13.28±0.35 ^{fcg}
0.3 ppm Cd+30 ppm H.K.	14.90±0.00 ^e

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j = Aynı sütundaki farklı harfleri içeren grup ortalamaları arasındaki fark önemlidir (p < 0.001).



Şekil 4.7. *Populus nigra* L. bitkilerinin kambiyum hücrelerinin total kalınlığı (µm).

b. 10 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 25-27 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile arasındaki fark istatistiki açıdan önemli bulunmadı (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

c. 20 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 25-29 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubuyla aralarındaki fark önemli bulunmadı (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

d. 30 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 35-38 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki açıdan önemli bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

e. 0.1 ppm Cd grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 15-18 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

f. 0.2 ppm Cd grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı yapılan ölçümlerde 14-16 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki açıdan önemli bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

g. 0.3 ppm Cd grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 10-13 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

h. 0.1 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 16-19 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

i. 0.1 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 17-19 µm belirlendi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

j. 0.1 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 19-21 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

k. 0.2 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 16-18 µm tespit edildi. Kontrol grubu ile fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

l. 0.2 ppm Cd+20 pm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 17-20 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

m. 0.2 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 19-21 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

n. 0.3 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 13-15 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

o. 0.3 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 13-16 μm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

p. 0.3 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerde kambiyum hücrelerinin total kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin total kalınlığı 14-17 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

4.2.3. Kambiyum Hücrelerinin Radyal Uzunluğu

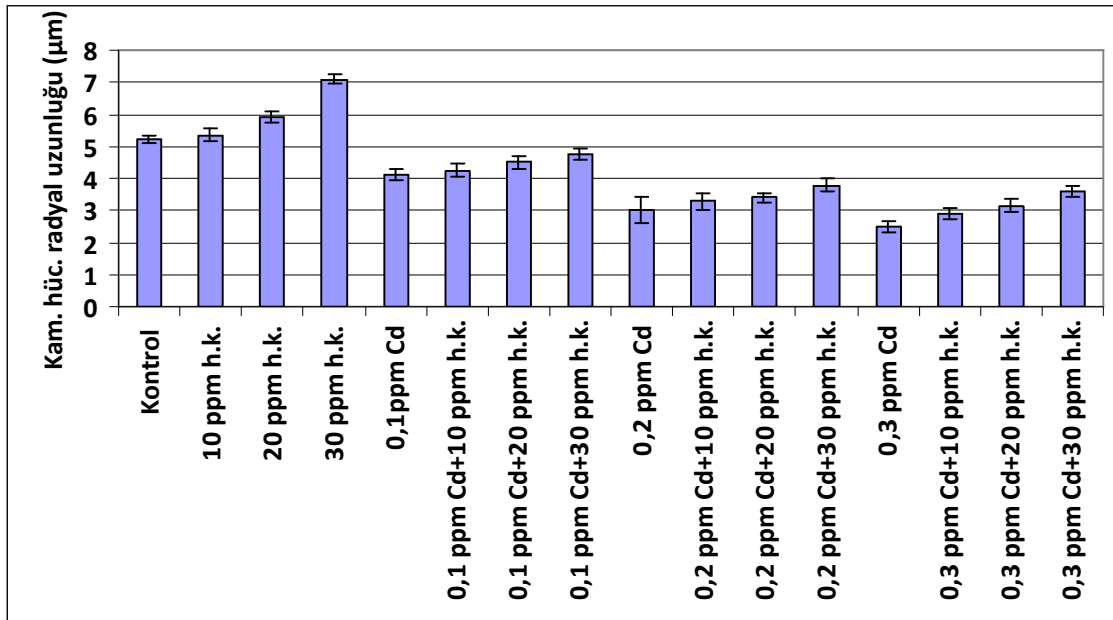
a. Kontrol grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 5-7 μm olarak tespit edildi (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

Çizelge 4.3. Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu (μm)

Grup adı	Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu (μm)
Kontrol	5.20 \pm 0.13 ^b
10 ppm H.K.	5.35 \pm 0.20 ^b
20 ppm H.K.	5.91 \pm 0.15 ^b
30 ppm H.K.	7.08 \pm 0.15 ^a
0.1 ppm Cd	4.11 \pm 0.16 ^b
0.1 ppm Cd+10 ppm H.K.	4.25 \pm 0.19 ^{cd}
0.1 ppm Cd+20 ppm H.K.	4.50 \pm 0.21 ^{dc}
0.1 ppm Cd+30 ppm H.K.	4.73 \pm 0.17 ^c
0.2 ppm Cd	3.00 \pm 0.41 ^{dc}
0.2 ppm Cd+10 ppm H.K.	3.28 \pm 0.25 ^{de}
0.2 ppm Cd+20 ppm H.K.	3.40 \pm 0.16 ^{de}
0.2 ppm Cd+30 ppm H.K.	3.79 \pm 0.19 ^{dc}
0.3 ppm Cd	2.50 \pm 0.16 ^{de}
0.3 ppm Cd+10 ppm H.K.	2.89 \pm 0.16 ^e
0.3 ppm Cd+20 ppm H.K.	3.14 \pm 0.20 ^{dc}
0.3 ppm Cd+30 ppm H.K.	3.60 \pm 0.16 ^{dc}

a, b, c, d = Aynı sütundaki farklı harfleri içeren grup ortalamaları arasındaki fark önemlidir ($p < 0.001$).

Şekil 4.8. *Populus nigra* L. bitkilerinin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu (μm).

b. 10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 5-7 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmadı (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

c. 20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 5-8µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulunmadı (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

d. 30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 7-9 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

e. 0.1 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 3-5 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

f. 0.2 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 4-6 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

g. 0.3 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 2-4 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

h. 0.1 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 4-5 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.2, Şekil 4.8).

i. 0.1 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 4-5 μm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

j. 0.1 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 4-6 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

k. 0.2 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 3-4 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

l. 0.2 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 3-4 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

m. 0.2 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 3-5 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

n. 0.3 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 2-3 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

o. 0.3 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 3-4 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

p. 0.3 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu

Kambiyum hücrelerinin radyal uzunluğu 3-5 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.3, Şekil 4.8).

4.2.4. Kambiyum Hücrelerinin Teğetsel Uzunlukları

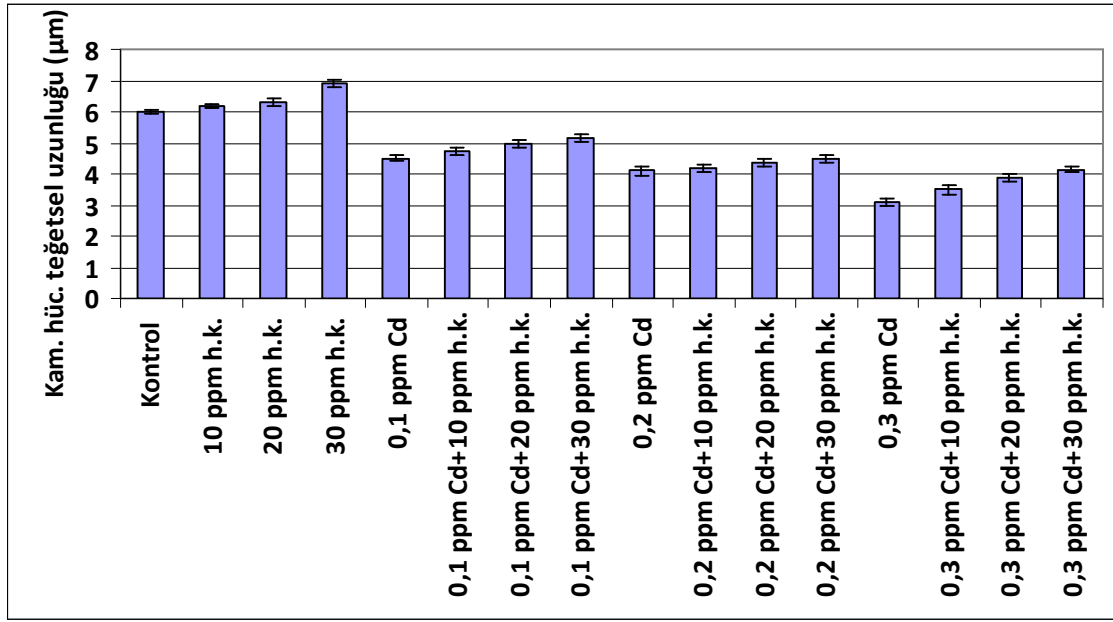
a. Kontrol grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Kontrol grubu bitkilerinin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 5-9 μm olarak tespit edildi (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

Çizelge 4.4. Kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunlukları (μm)

Grup adı	Kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu (μm)
Kontrol	5.99 \pm 0.08 ^{ab}
10 ppm H. K.	6.19 \pm 0.07 ^{ab}
20 ppm H.K.	6.31 \pm 0.13 ^{ab}
30 ppm H.K.	6.91 \pm 0.12 ^a
0.1 ppm Cd	4.50 \pm 0.10 ^{cd}
0.1 ppm Cd+10 ppm H.K.	4.73 \pm 0.14 ^{ebdc}
0.1 ppm Cd+20 ppm H.K.	4.99 \pm 0.12 ^{cd}
0.1 ppm Cd+30 ppm H.K.	5.12 \pm 0.12 ^{bc}
0.2 ppm Cd	4.10 \pm 0.17 ^d
0.2 ppm Cd+10 ppm H.K.	4.18 \pm 0.13 ^d
0.2 ppm Cd+20 ppm H.K.	4.36 \pm 0.12 ^{cd}
0.2 ppm Cd+30 ppm H.K.	4.50 \pm 0.11 ^c
0.3 ppm Cd	3.10 \pm 0.10 ^{de}
0.3 ppm Cd+10 ppm H.K.	3.50 \pm 0.16 ^{bc}
0.3 ppm Cd+20 ppm H.K.	3.90 \pm 0.13 ^{abc}
0.3 ppm Cd+30 ppm H.K.	4.15 \pm 0.11 ^b

a, b, c, d, e = Aynı sütundaki farklı harfleri içeren grup ortalamaları arasındaki fark önemlidir ($p < 0.001$).



Şekil 4.9. *Populus nigra* L. bitkilerinin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu (µm).

b. 10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 6-8 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarında istatistiki olarak fark anlamlı bulunmadı (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

c. 20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 6-8 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarında istatistiki olarak fark anlamlı bulunmadı (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

d. 30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 6-8 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarında istatistiki olarak fark bulunmadı (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

e. 0.1 ppm Cd grubu bitkilerin kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 4-7 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

f. 0.2 ppm Cd grubu bitkilerin kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 4-6 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

g. 0.3 ppm Cd grubu bitkilerin kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 3-4 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil4.9).

h. 0.1 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 4-5 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

i. 0.1 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 4-5 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil4.9).

j. 0.1 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kalsiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 5-6 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulunmadı (Çizelge 4.4, Şekil4.9).

k. 0.2 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 4-5 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

l. 0.2 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 4-5 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

m. 0.2 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 4-6 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

n. 0.3 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 3-5 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

o. 0.3 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 3-5 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

p. 0.3 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel uzunluğu 3-6 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.4, Şekil 4.9).

4.2.5. Kambiyum Hücrelerinin Radyal Çeper Kalınlığı

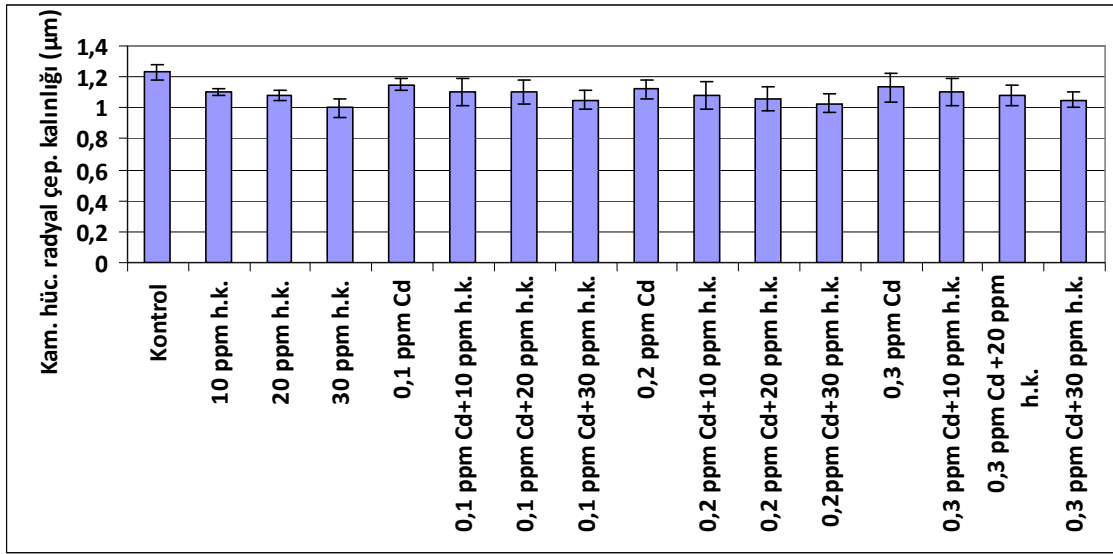
a. Kontrol grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Kontrol grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeperi 1-1.30 µm olarak ölçüldü (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

Çizelge 4.5. Kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı (µm)

Grup adı	Kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı (µm)
Kontrol	1.23±0.05 ^a
10 ppm H.K.	1.10±0.02 ^{dc}
20 ppm H.K.	1.08±0.03 ^{dc}
30 ppm H.K.	1.00±0.06 ^{bdac}
0.1 ppm Cd	1.15±0.04 ^{bdac}
0.1 ppm Cd+10 ppm H.K.	1.10±0.09 ^a
0.1 ppm Cd+20 ppm H.K.	1.10±0.08 ^{ba}
0.1 ppm Cd+30 ppm H.K.	1.05±0.06 ^{bdac}
0.2 ppm Cd	1.12±0.06 ^{bdac}
0.2 ppm Cd+10 ppm H.K.	1.08±0.09 ^{bac}
0.2 ppm Cd+20 ppm H.K.	1.06±0.08 ^{bdac}
0.2 ppm Cd+30 ppm H.K.	1.03±0.06 ^{bdc}
0.3 ppm Cd	1.13±0.09 ^{ba}
0.3 ppm Cd+10 ppm H.K.	1.10±0.09 ^{ba}
0.3 ppm Cd+20 ppm H.K.	1.08±0.07 ^{bdac}
0.3 ppm Cd+30 ppm H.K.	1.05±0.05 ^a

a, b, c, d = Aynı sütundaki farklı harfleri içeren grup ortalamaları arasındaki fark önemlidir (p <0.001).



Şekil 4.10. *Populus nigra* L. bitkilerinin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı (µm).

b. 10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1- 1.15 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki açıdan önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

c. 20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1- 1.10 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki açıdan önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

d. 30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1- 1.05 µm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki açıdan anlamlı bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

e. 0.1 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1-1.20 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

f. 0.2 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1–1.15 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

g. 0.3 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1–1.15 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark anlamlı bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

h. 0.1 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1-1.15 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

i. 0.1 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1-1.15 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

j. 0.1 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1-1.10 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

k. 0.2 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1-1.10 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

l. 0.2 ppm Cd+20 pm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1-1.08 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

m. 0.2 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1-1.08 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

n. 0.3 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1-1.15 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

o. 0.3 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1-1.10 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

p. 0.3 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin radyal çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin radyal çeperleri 1-1.08 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulundu (Çizelge 4.5, Şekil 4.10).

4.2.6. Kambiyum Hücrelerinin Hücre Çeperinin Teğetsel Kalınlıkları

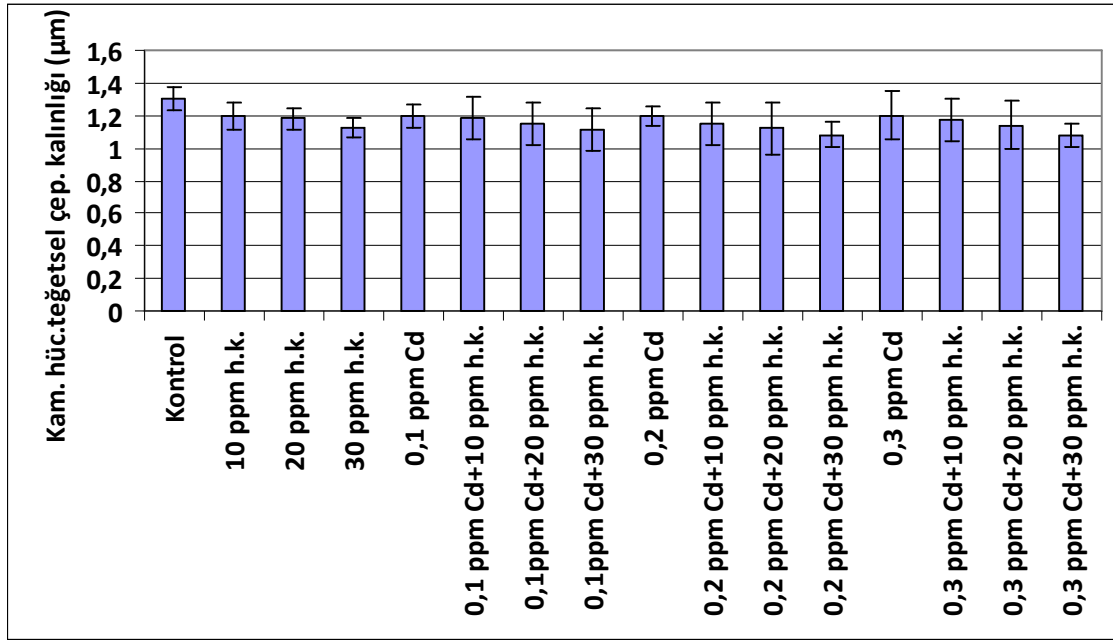
a. Kontrol grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.35 μm olarak tespit edildi (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

Çizelge 4.6. Kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı (μm)

Grup adı	Kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı (μm)
Kontrol	1.30±0.07 ^a
10 ppm H.K.	1.20±0.08 ^a
20 ppm H.K.	1.18±0.06 ^a
30 ppm H.K.	1.13±0.06 ^a
0.1 ppm Cd	1.20±0.07 ^a
0.1 ppm Cd+10 ppm H.K.	1.18±0.13 ^a
0.1 ppm Cd+20 ppm H.K.	1.15±0.13 ^a
0.1 ppm Cd+30 ppm H.K.	1.11±0.13 ^a
0.2 ppm Cd	1.20±0.08 ^a
0.2 ppm Cd+10 ppm H.K.	1.15±0.13 ^a
0.2 ppm Cd+20 ppm H.K.	1.12±0.16 ^a
0.2 ppm Cd+30 ppm H.K.	1.08±0.08 ^a
0.3 ppm Cd	1.20±0.15 ^a
0.3 ppm Cd+10 ppm H.K.	1.17±0.13 ^a
0.3 ppm Cd+20 ppm H.K.	1.14±0.15 ^a
0.3 ppm Cd+30 ppm H.K.	1.08±0.07 ^a

a = Aynı sütundaki farklı harfleri içeren grup ortalamaları arasındaki fark önemlidir ($p < 0.001$).



Şekil 4.11. *Populus nigra* L. bitkilerinin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı (µm).

b. 10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.20 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

c. 20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.20 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

d. 30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.15 µm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

e. 0.1 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.25 μm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulunmadı (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

f. 0.2 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.20 μm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

g. 0.3 ppm Cd grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.20 μm olarak tespit edildi. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

h. 0.1 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.18 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

i. 0.1 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.15 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

j. 0.1 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.14 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

k. 0.2 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.18 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

l. 0.2 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.15 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

m. 0.2 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.10 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark önemli bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

n. 0.3 ppm Cd+10 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

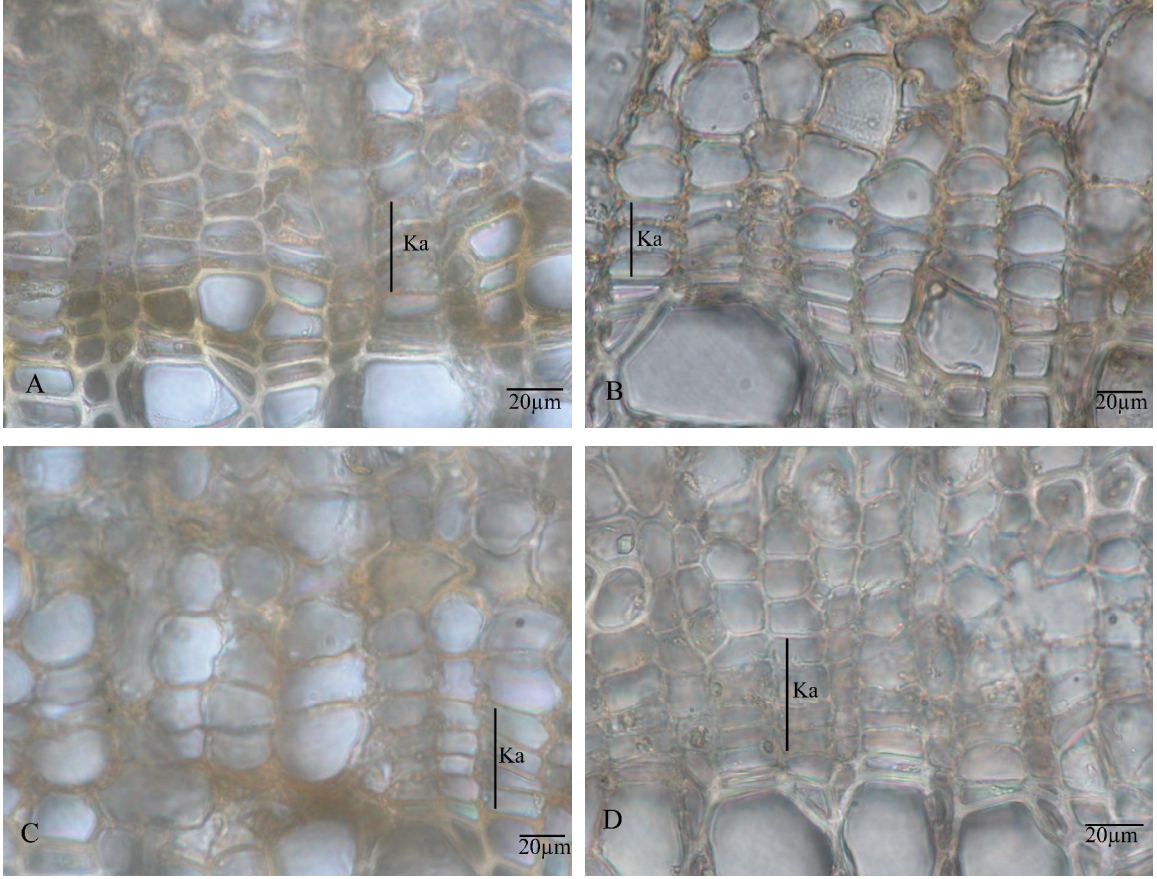
Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.20 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

o. 0.3 ppm Cd+20 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

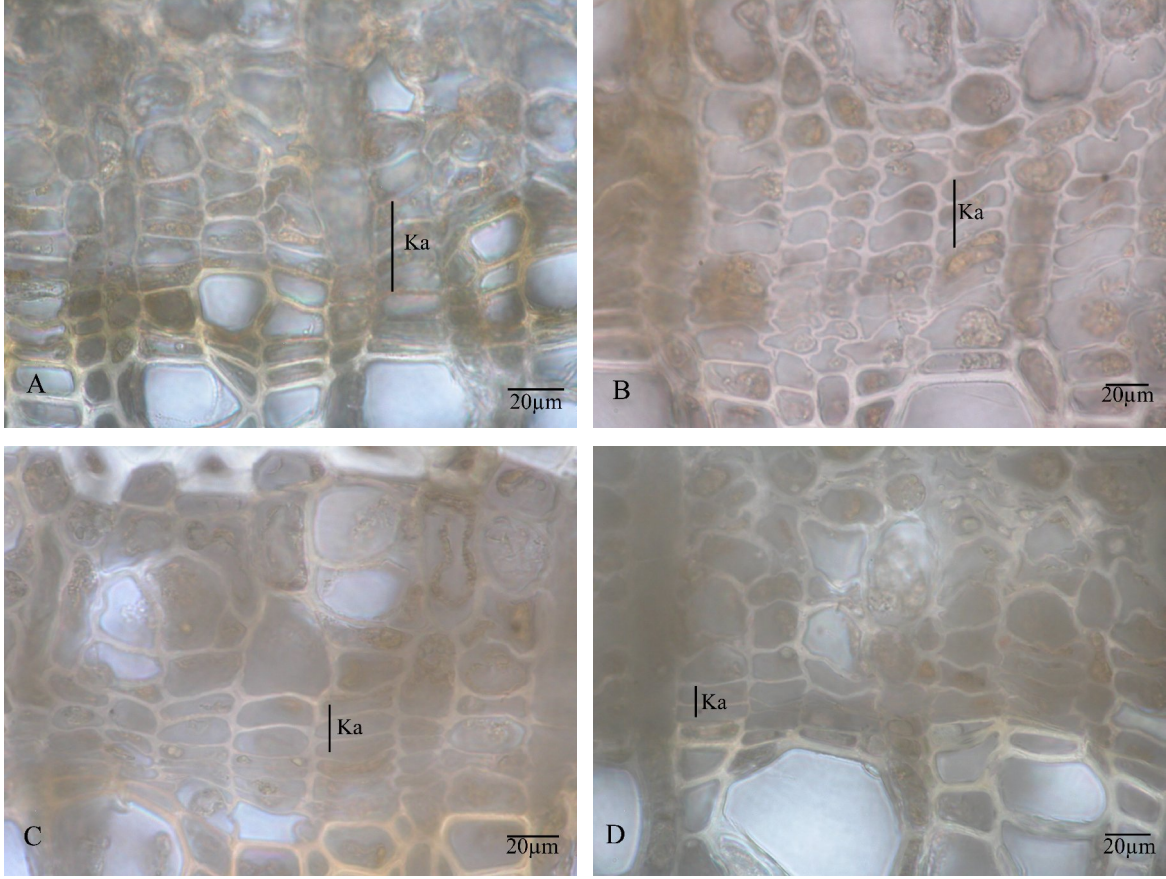
Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.15 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).

p. 0.3 ppm Cd+30 ppm h.k. grubu bitkilerin kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı

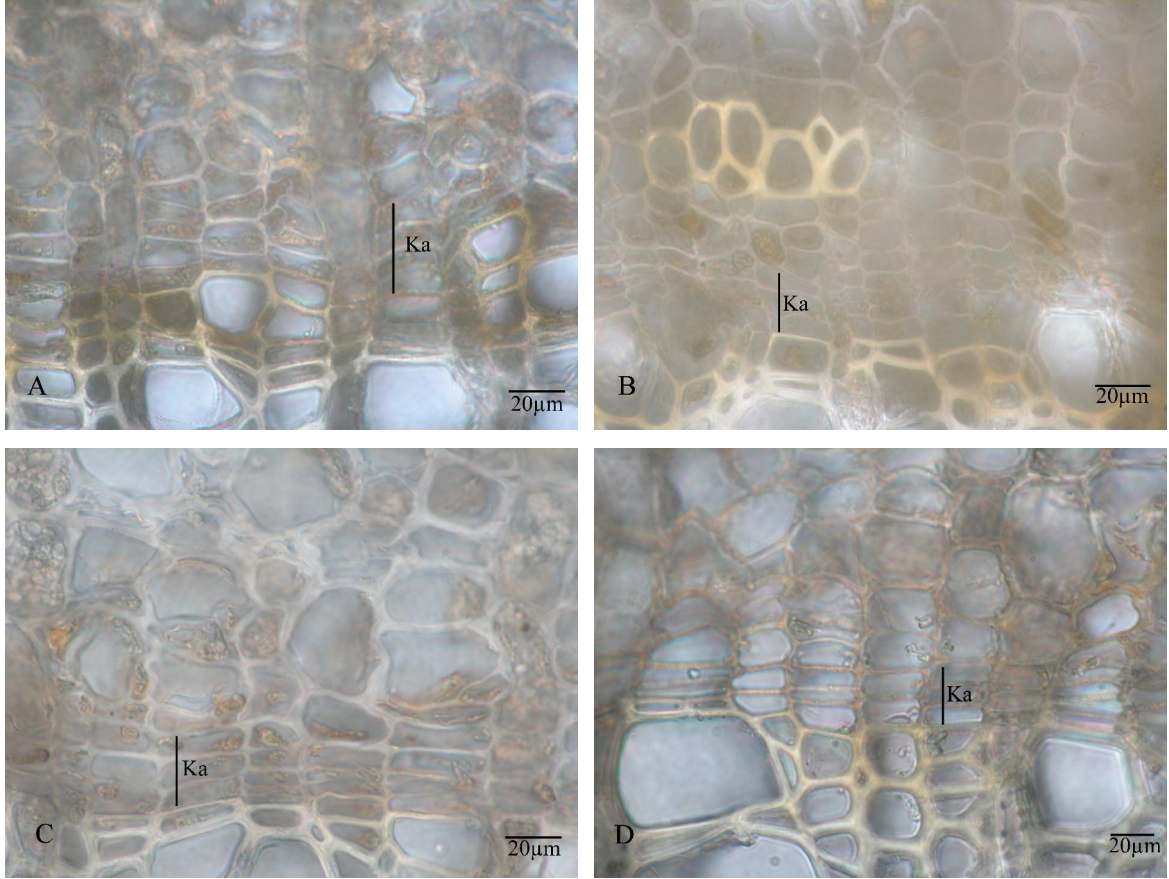
Yapılan ölçümlerde kambiyum hücrelerinin teğetsel çeper kalınlığı 1-1.10 μm olarak ölçüldü. Kontrol grubu ile aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlı bulundu (Çizelge 4.6, Şekil 4.11).



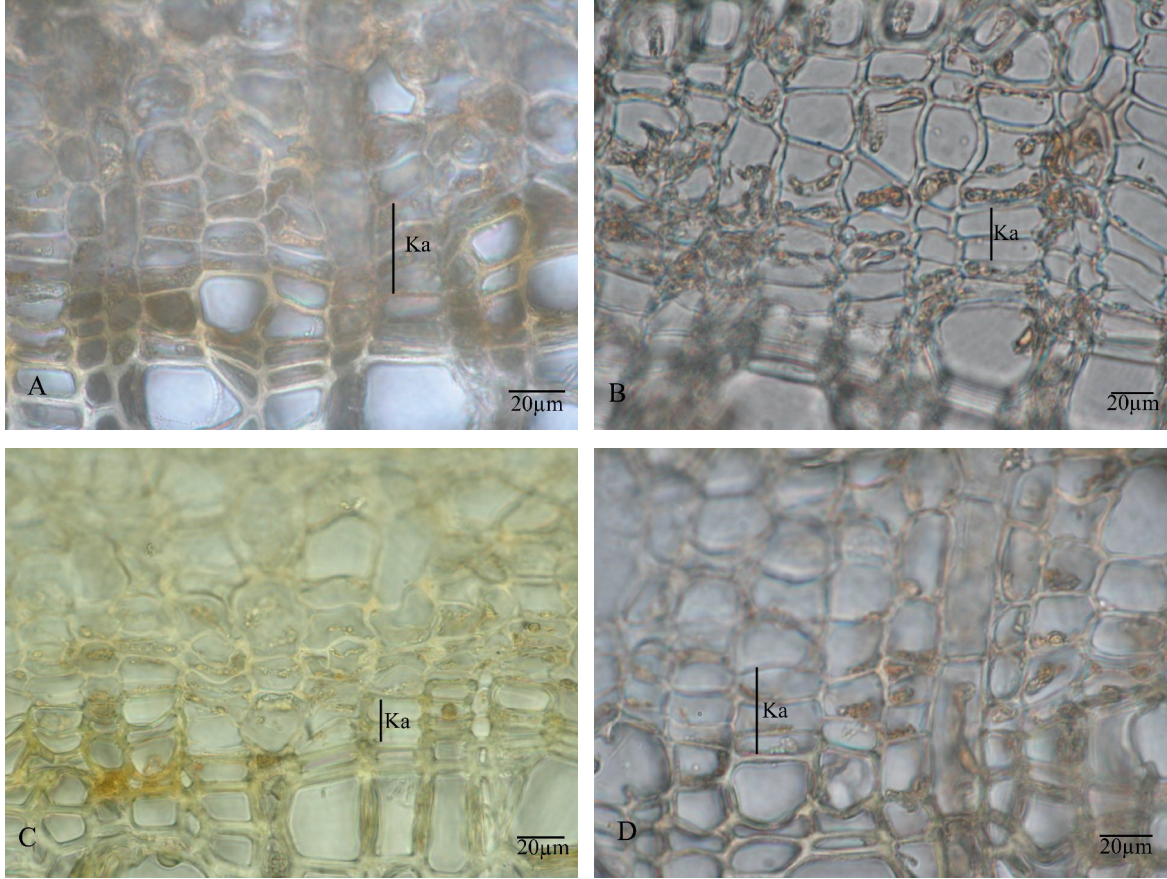
Şekil 4.12. *Populus nigra* L.'nin hormon uygulamasına ait genel durumları. A) kontrol, B) 10 ppm H.K., C) 20 ppm H.K., D) 30 ppm H.K. (Ka: Kambiyum).



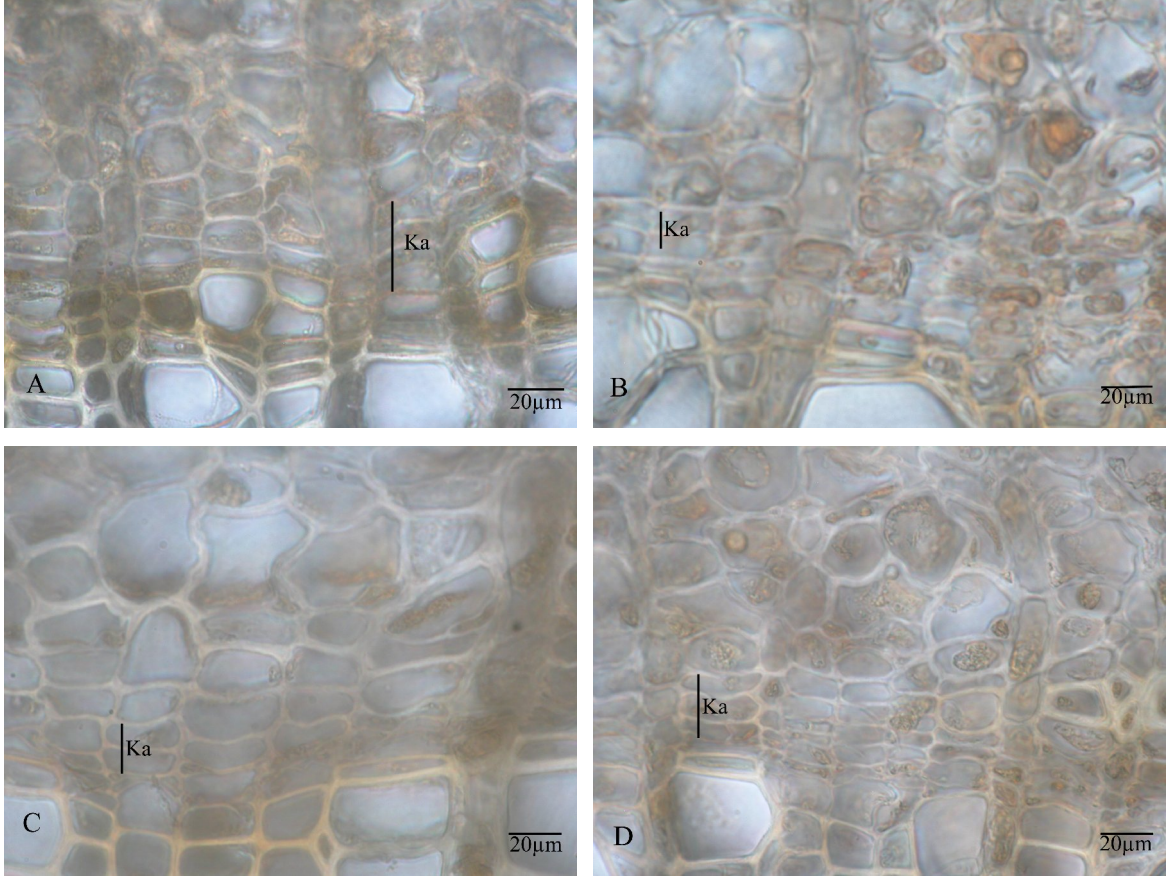
Şekil 4.13. *Populus nigra* L.'nin farklı konsantrasyonlarda Cd uygulamasına ait genel durumları A) kontrol, B) 0.1 ppm Cd, C) 0.2 ppm Cd, D) 0.3 ppm Cd (Ka: Kambiyum).



Şekil 4.14. *Populus nigra* L.'nin 0.1 ppm Cd ve farklı hormon uygulamasına ait genel durumları A) kontrol, B) 0.1 ppm Cd+10 ppm H.K., C) 0.1 ppm Cd+20 ppm H.K., D) 0.1 ppm Cd+30 ppm H.K. (Ka: Kambiyum).



Şekil.4.15. *Populus nigra* L.'nin 0.2 ppm Cd ve farklı hormon uygulamasına ait genel durumları A) kontrol, B) 0.2 ppm Cd+10 ppm H.K., C) 0.2 ppm Cd+20 ppm H.K., D) 0.2 ppm Cd+30 ppm H.K. (Ka: Kambiyum).



Şekil 4.16. *Populus nigra* L.'nin 0.3 ppm Cd ve farklı hormon uygulamasına ait genel durumları A) kontrol, B) 0.3 ppm Cd+10 ppm H.K., C) 0.3 ppm Cd+20 ppm H.K., D) 0.3 ppm Cd+30 ppm H.K. (Ka: Kambiyum).

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Karakavak (*Populus nigra* L.) Çeliklerinin Kambiyum Faaliyeti Üzerinde Kadmiyum Stresine Karşı İndol-3-asetik Asit, Gibberellik Asit ve 6-Furfurilaminopurin Karışımlarının Etkileri isimli çalışmamızda, materyal metod kısmında belirtilen hormon karışımları değişen konsantrasyonlarda uygulandı ve kambiyal aktiviteyi olumlu yönde etkiledikleri, kambiyum hücrelerinin radyal ve teğetsel uzunluklarının artışında teşvik edici oldukları görüldü. Kambiyum hücre çeperlerinin radyal ve teğetsel kalınlıklarında hormon artışına bağlı olarak azalma olduğu gözlemlendi. Ayrıca farklı konsantrasyonlardaki Cd ve hormon konsantrasyonlarıyla beraber bitkiye uygulanan Cd, kambiyal hücrelerde değişiklikler meydana getirdi.

Hormon karışımları ve Cd birlikte uygulandığında, kontrole göre kambiyum hücrelerinin radyal ve teğetsel uzunluklarında azalma, kambiyum hücrelerinin radyal ve teğetsel hücre çeperlerinin kalınlıklarında azalma oldu. Cd konsantrasyonlarına göre hormon konsantrasyonlarının artışına bağlı olarak kambiyum hücrelerinin radyal ve teğetsel boyutlarında artış oldu, kambiyum hücre çeperlerinin kalınlıklarında önemli bir değişiklik olmadı. Tek başına uygulanan Cd konsantrasyonları bitkide, kambiyum hücrelerinin radyal ve teğetsel uzunluklarında kontrole göre artan konsantrasyonlara bağlı olarak azalma gösterdi. Kambiyum hücrelerinin radyal ve teğetsel çeper kalınlıklarında ise önemli bir değişiklik gözlenmedi.

Hormonların kambiyal faaliyeti üzerinde olumlu etkiler yaptığı pek çok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur. Bunlardan Wareing (1958), *Acer pseudoplatanus* bitkisinin kambiyal faaliyeti üzerinde indol asetik asit ve gibberellik asit arasındaki ilişkileri incelemiştir. Bu hormonların kambiyal dokularda büyümeyi teşvik ettiğini görmüştür. Robards ve ark. (1969), *Salix fragilis*'de indol asetik asit, gibberellik asit ve kinetin birlikte uygulanması sonucunda kambiyumda ksilem hücre üretimini ve farklılaşmasını gözlemlemişlerdir. Philipson ve Coutts (1979), *Picea sitchensis*'de kök ve gövdenin sekonder büyümesi üzerinde büyüme hormonu IAA ve kinetin uygulamalarının etkilerini incelemişler ayrıca bu hormonların floem ve ksilem hücrelerinde büyümeyi teşvik etmiş olduklarını görmüşlerdir. Zakrewski (1983), *Quercus robur*'da kambiyal aktivite ve trakeal farklılaşmanın hormonal kontrolünü incelemiş ve uygulanan konsantrasyonlarda

kambiyal hücre bölünmelerinin oldukça fazla olduğunu görmüştür. Menyailo ve Tarkhanova (1984), Scots çamı (*Pinus sylvestris* L.) fidelerinin kesik yüzeylerine lanolinle hormon karışımları uygulamışlar ve trakeitlerin çeper kalınlaşmasını incelemişlerdir. Kralik ve ark. (1988), *Fraxinus excelsior* L. fidelerinin büyümesi üzerinde gibberellik asit ve benziladenin karışımlarının etkilerini incelemişlerdir. Hücre bölünmesinin kambiyuma doğru teşvik edildiğini görmüşlerdir. Tileklioğlu ve Algan (1992), *Coleus sp.* de hormonların etkilerini çalışmışlar ve kambiyal zon kalınlığı, kambiyal zon hücrelerinin radyal eksen uzunluğu, kambiyal zonun yeni oluşan floem ve ksilem kalınlıklarının konsantrasyona bağlı olarak artmış olduğunu görmüşlerdir. Kyozyuka (2007), sitokin kullanılarak kök meristem fonksiyonu ve sürgünlerin kontrolünü incelemiştir. Sitokin aktivitesinin kök meristemindeki ilk farklılaşan hücreler ve kök apikal meristemdeki farklılaşmayan hücrelerin devam etmesi için gerekli olduğunu ortaya koymuştur. Yukarıda vermiş olduğumuz literatürler, hormonların kambiyum hücrelerinin çaplarındaki artışı ve bölünmelerini teşvik edici olduklarını belirttikleri için çalışmamızla uygunluk göstermektedirler.

Kadmiyumun bitki bünyesi için toksik etki meydana getirdiği birçok araştırma sonucu ortaya konmuştur. Bunlardan Ouariti ve ark. (1997), fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) ve domates (*Lycopersicon esculentum* L.) bitkilerinin büyüme, mineral beslenme ve nitrat redüksiyonu üzerinde Cd'un etkilerini incelemişler. Cd'un belirli derecelerde verildiği deneyde, bitkilerinin büyüme, mineral beslenme ve nitrat redüksiyonunu olumsuz yönde etkilediğini gözlemlemişlerdir. Lagriffoul ve ark. (1998), genç mısır (*Zea mays* L.) bitkilerinde büyüme, mineral maddeler, klorofil içerikleri ve enzim faaliyetleri üzerinde kadmiyum zararının etkilerini çalışmışlar ve deney sonunda mısır bitkisinin kuru ağırlığında azalma olduğunu ölçümlerle tespit etmişlerdir. Kırbag Zengin ve ark. (2003), fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine civa ($HgCl_2$) ve kadmiyum ($CdCl_2 \cdot H_2O$)'un etkilerini araştırmışlardır. Civa ve kadmiyum uygulaması fidelerin kök, gövde ve yaprak büyümesini önemli oranlarda engellemiştir. Bu ağır metallerin konsantrasyonlarındaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyon oranı arasında bir paralellik görülmüştür. Fidelerin ağır metale maruz kalma süresinin uzaması kök, gövde ve yaprak büyümesindeki azalmanın daha fazla olmasına yol açmıştır. Kadmiyum ve civa stresine kök büyümesinin daha duyarlı olduğu, bunu gövde ve yaprak büyümesinin takip ettiğini tespit etmişlerdir. Rai ve ark. (2005), *Phyllanthus*

amarus bitkisinin büyümesi, yaprak morfolojisi ve sekonder metabolitleri üzerinde kadmiyumun etkisini incelemişler ve kadmiyumun taze ve kuru ağırlıkta, kök ve sürgün uzunluğunda, protein, klorofil ve karotenoid miktarında önemli derecede azalmaya, nişasta içeriğinde ise artmaya sebep olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca yaprakların her iki yüzeyinde de stoma açıklığı ve mum durumunda farklılıklara rastlamışlar. Bu yapılan çalışmalar da gösteriyor ki Cd ağır metali bitki bünyesi için toksik etki yaratmaktadır ve hücre büyümesini, bölünmesini engelleyici olarak gözlenmiştir dolayısıyla engelleyici etkisi yönünden çalışmamızla uygunluk göstermektedirler.

Bitki büyümesini teşvik edici hormonlar ve ağır metallerle yapılan çalışmaların ışığında hormonların iyileştirici etkileri gözlemlenebilmektedir. Bunlardan Khan ve ark. (2005), civa stresi altında (*Luffa cylindrica* L.)'nin aktivitesinin oksinle tekrardan başlayabildiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada (*Luffa cylindrica*L.)'nin internodlarına HgCl₂ uygulanmıştır ve oluşacak etkiyi önleyici olarak da IAA kombinasyonu uygulanmıştır, IAA'nın HgCl₂ ile verildiği zaman HgCl₂'nin etkisini azalttığı görülmüştür. Al- Hakimi (2007), bezelye (*Pisum sativum* L.) fidelerinde kadmiyumu (Cd) ve sonradan kinetini toprağa, çözelti halinde ilave ederek büyümeyi ve bazı fizyolojik olayları incelemişler ve Cd muamelesi sonucunda bitkide büyüme oranı, klorofil içeriği, net fotosentez, sürgün ve köklerdeki çözünebilir şeker ve serbest aminoasit miktarının azaldığını, buna karşın çözünebilir protein ve prolin içeriğinin artmış olduğunu tespit etmişlerdir. Kinetin uygulamasının ise bitkilerde büyüme oranını, klorofil içeriğini, sürgün ve köklerdeki şeker ve serbest aminoasit içeriğini arttırmış olduğunu görmüşlerdir. Bu çalışmalar, hormonların Cd'un toksik etkisini önleyebildiklerini ortaya koydukları için çalışmamızla uygunluk göstermektedirler.

Tian-Rong ve ark. (2007), Al ve Cd'un iki arpa kültüründe mineral beslenme ve kök salgısı üzerinde etkisini incelemişlerdir. Cd ilavesinin bitkideki artışı Al stresini ortaya çıkardığını ve bu metallerin mineral besin içeriğini azaltmış olduğunu ortaya koymuşlar. Bu çalışma Cd'un toksik etkisini belirlediği için çalışmamızla uygunluk göstermektedir.

Kambiyal zon kalınlığı, kambiyal hücre sırası ve kambiyal zondaki hücrelerin radyal uzunluklarının hormonlularda ve Cd + hormon karışımlarında artıp Cd'lularda azalması hormonların hücre bölünmesi ve hücre genişlemesi üzerindeki olumlu etkilerinden, Cd'un ise olumsuz etkilerinden kaynaklanmaktadır. Cd'la muamele edilen

bitkilerde kambiyal zondaki hücre sıralarının azalmasının sebebi ise hücre farklılaşmasının devam etmesidir.

Bu bitkiler Cd + hormon karışımlarında hücre bölünmesini devam ettirmişlerdir. Kambiyal hücrelerin radyal ve teğetsel çeper kalınlıklarındaki azalmanın nedeni ise hormonların çeper kalınlığını gevşetip hücreyi bölünmeye teşvik edişinden kaynaklanıyor olabilir. Bu durum kadmiyum stresine karşı hormonların bölünme üzerinde baskın bir etkiye sahip oluşundan ileri gelebilir. Tüm bitkilerde farklılaşan hücrelerin floem ve ksileme ilave olduklarını belirlemek oldukça zordur.

Kadmiyumun olumsuz etkileri, hormonların olumlu etkileri ve Cd + hormon karışımlarında hormonların kadmiyuma karşı olumlu etkilerinin hücre ince yapısı düzeyinde incelenmesi gerekir.

KAYNAKLAR

- Al-Hakimi, A.M.A., 2007. Modification of Cadmium Toxicity in Pea Seedlings by Kinetin. *Plant Soil Environ*, **53** (3): 129-135.
- Khan, A.S., Chaudhry, N.Y., 2005. Auxins partially restore the cambial activity in *Luffa cylindrica* L. (Cucurbitaceae) under mercury stress. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol. **4** (1): 276-281
- Kralik, J., Hrib, J., Tkadlecek, L., Knoz, J., Bic, J.; 1988. Effect of Growth Regulators GA+BA on the Growth of Seedlings *Fraxinus Excelsior* L. *Biologia*, **18**: 9-10.
- Kyozuka, J., 2007. Control of shoot and root meristem function by cytokinin. *Current Opinion in Plant Biology*, **10**: 442-446
- Lagriffoul, A., Mocquot, B., Mench, M., Vangronsveld, J. 1998. Cadmium Toxicity Effects on Growth, Mineral and Chlorophyll Content, and Activities of Stress Related Enzymes in Young Maize Plants (*Zea mays* L.). *Plant and Soil*, **2** (10): 241-250.
- Menyailo, L.N., Tarkhanova, V.P., 1984. The Effect of Exogenous Growth Regulators on Wood Formation in Scots Pine. *Lesovedenie*, **2**: 45-49.
- Ouariti, O., Gouia, T., Ghorbal, M. H., 1997. Responses of bean and tomato plants to cadmium: Growth, mineral nutrition and nitrate reduction. *Plant physiol. biochem*, **35**: 347-354.
- Philipson, J. J., Coutts, M. P., 1979. Effects of Growth Hormone Application on the Secondary Growth of Roots and Stems in *Picea sitchensis* (Bong) Carr. *Ann. Bot.*, **46**: 747-755.
- Rai, V., Khatoon, S., Bisht, S. S., Mehrotra, S., 2005. Effect of Cadmium on Growth, Ultramorphology of Leaf and Secondary Metabolites of *Phyllanthus amarus*. *Chemosphere*, **61** (11) : 1644-1650.
- Robards, A.W., Davidson, E., Kdwai, P., 1969. Short term Effects of Some Chemicals on Cambial Activity. *J. Exp. Bot.*, **20** (65): 912-921.
- Tian-Rong, G., Guo-Ping, Z., Mei-Xue, Z., Fei-Bo, W., Jin-Xin, C., 2007. Influence of Aluminum and Cadmium Stresses on Mineral Nutrition and Root Exudates in Two Barley Cultivars. *Pedosphere*, **17** (4): 505-512.

- Tileklioğlu, B., Algan, G., 1992. Coleus sp. Bitkisinde GA+IAA+K Karışımlarının Kambiyal Aktiviteye Etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fak. Derg.*, **2** (2): 169-175.
- Wareing, P. F., 1958. Interaction between Indol Acetic Acit and Giberellic Acit in Cambial Activity. *Nature*, **181**: 1744-1745.
- Windholz, M.(ed), 1983. The Merck Index, An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals, *Merck-Co. Inc.*, 631, 720, 763, 1587.
- Zakrewski, J., 1983. Hormonal Control of Cambial Activity and Vessel Differentiation in Quercus robur. *Physiol. Plan.*, **57**: 537-547.

ÖZ GEÇMİŞ

1981 yılında Kars ilinin Kağızman ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Kağızman’da, orta öğrenimini ise Ankara’da tamamladı. 2002 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü’ne yerleşti ve 2006 yılında Biyolog unvanıyla mezun oldu. 2006’da Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisansa başladı.