

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

**MISIR (*Zea mays* L.) FİDELERİNDE KADMIYUM VE BAKIR'IN YOL AÇTIĞI
FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL DEĞİŞİKLİKLER ÜZERİNE SALİSİLİK
ASİT UYGULAMASININ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞBA YILDIZ

111110102

Anabilim Dalı: Biyoloji

Programı: Botanik

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Songül GÜLENGÜL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 17.01.2014

ŞUBAT-2014

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MISIR (*Zea mays* L.) FİDELERİNDE KADMIYUM VE BAKIR'IN YOL AÇTIĞI
FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL DEĞİŞİKLİKLER ÜZERİNE SALİSİLİK
ASİT UYGULAMASININ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞBA YILDIZ

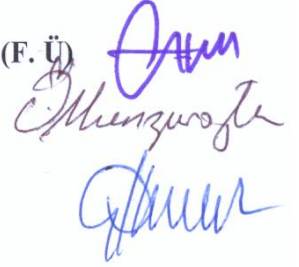
111110102

Tezin Enstitüye Teslim Edildiği Tarih : 17.01.2014
Tezin Savunulduğu Tarih : 06.02.2014

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Songül GÜLENGÜL (F. Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ömer MUNZUROĞLU

Prof.Dr. Ökkeş YILMAZ



ŞUBAT-2014

ÖNSÖZ

Çeşitli kaynaklardan çıkan katı, sıvı ve gaz halindeki kirletici maddelerin hava, su ve toprakta yüksek oranda birikmesi çevre kirliliğinin oluşmasına neden olmaktadır. Hızla artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarının karşılanması için, teknolojinin gelişmesine bağlı olarak endüstrileşmenin de artması gerekmektedir. Endüstrideki bu artış, doğal kaynakların hızla tükenmesine neden olmaktadır. Doğal kaynaklar hızla tükenirken, üretim ve tüketimden kaynaklı atıkların önlemler alınmadan doğaya atılması çevre kirliliğinin oluşmasına ortam sağlamaktadır. Günümüzde çevre kirliliğine neden olan en önemli faktörlerden birini ağır metal birikimi teşkil etmektedir. Tarımsal toprakların ve suların ağır metallere kısmen temizlenmesi dahi çok pahalı teknik imkânları gerektirmektedir. Kadmiyum toksik gücü çok yüksek olan bir ağır metaldir. Bakır ise bitkiler için bir doza kadar gerekli, fakat yüksek dozlarda toksik bir metaldir.

Çalışmamız mısır (*Zea mays* L.) fidelerine, bitkide endojen olarak üretilen bir haberci molekül olan salisilik asit uygulamasının, kadmiyum ve bakır kaynaklı oksidatif stresin yarattığı fizyolojik ve biyokimyasal değişimler üzerine etkilerini araştırarak, bu alandaki çalışmalara katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu araştırma süresince beni yönlendiren, yakın ilgilerini ve bilgi birikimleri ile sürekli desteklerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Songül GÜLENGÜL'e, laboratuvar çalışmalarımı gerçekleştirirken, sürekli yardım ve desteklerini gördüğüm Zooloji Profesörü Sayın hocam Ökkeş YILMAZ'a ve bu çalışmayı FF.12.34 no' lu proje ile destekleyen FÜBAP birimi koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni maddi manevi destekleyen, sevgisini, ilgisini, yardımını sabırla eksiltmeden sürdüren aileme ve kıymetli arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tuğba YILDIZ

ELAZIĞ-2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR ve SEMBOLLER LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
1.1.Salisilik Asit'in Tanımı ve Tarihçesi	3
1.2.Ağır Metal Toksisitesi	7
1.2.1.Kadmiyum Toksisitesi	9
1.2.2.Bakır toksisitesi	14
1.3.Kadmiyum'un Toksisitesi Üzerine Salisilik Asidin Etkileri İle İlgili Çalışmalar	17
2. MATERYAL ve METOT	23
2.1. Materyal.....	23
2.1.1.Test Çözeltilerinin Hazırlanması	26
2.1.2.Bitki Materyaline Yapılan Uygulamalar	26
2.1.3.Kimyasal Maddeler ve Organik Çözücüler	27
2.1.4.Kullanılan Aletler ve Cihazlar	27
2.2. Metotlar	28
2.2.1.Bitkide tespit edilen parametreler ve yapılan kimyasal analizler	28
2.2.1.1.Büyüme Parametrelerinin Alınması	28
2.2.2.2.Klorofil (a+b) ve Karotenoid İçeriğinin Belirlenmesi	28
2.2.2.3. Prolin Analizi.....	28
2.2.2.4.Malondialdehit Analizi	29
2.2.2.5.Glutasyon Analizi	29
2.2.2.6.Yağ asidi analizi	30
3.BULGULAR	31
3.1.Büyüme Parametrelerindeki Değişiklikler.	31

3.2.Klorofil (a+b) ve Karotenoid Miktarlarındaki Değişiklikler	39
3.3.Prolin Miktarındaki Değişiklikler.....	41
3.4.Malondialdehit Miktarındaki Değişiklikler	43
3.5.Glutatyon Miktarındaki Değişiklikler	44
3.6.Yağ asidi Miktarlarındaki Değişiklikler	45
3.6.1.Palmitik asit	45
3.6.2.Palmioleik asit	46
3.6.3.Stearik asit	47
3.6.4.Oleik asit.....	48
3.6.5.Linoleik asit	49
3.6.6.Linolenik asit	50
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	58
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ÖZET

Bu çalışmada, farklı kadmiyum (Cd) ve bakır (Cu) konsantrasyonlarının mısır (*Zea mays* L. cv) fidelerinde yarattığı toksik etkiye karşı, salisilik asit (SA)'ın bazı parametreler üzerinde hafifletici ya da teşvik edici etkileri araştırıldı. Bu amaçla, mısır tohumlarından geliştirilen 15 günlük fideler materyal olarak kullanıldı. 6 saat boyunca SA (0.5 mM) ön ıslatması yapılan ve yapılmayan tohumlar homojen olarak iki gruba ayrıldı. Bu tohumlardan gelişen fidelere yapılan tüm uygulamalarda kökten hidrofonic yöntem tercih edildi. Daha sonra bu iki gruba kendi içinde kontrolleri saklı tutulmak koşuluyla, Cd'nin ve Cu'nun farklı konsantrasyonları ayrı ayrı uygulandı. Farklı uygulamalar görmüş fidelerde boy artışı, taze ağırlık başına düşen kuru ağırlık miktarı gibi büyüme parametreleri tespit edildi. Ayrıca yaprakta pigment miktarı, kök ve yapraklarda ise ayrı ayrı prolin, malondialdehit, glutatyon ve yağ asidi miktarları analiz edildi. Elde edilen sonuçlara göre SA ön ıslatması yapılan tohumlardan gelişen fidelerde; büyüme parametrelerinde metal (Cd ve Cu) uygulanmasından kaynaklanan inhibitif etkiler, ilgili gruplarına kıyasla daha hafiflemiş bulundu. Aynı şekilde yapraklardaki pigment (klorofil (a+b) ve karotenoid) yıkımları da daha az bulundu. Genel olarak Cd ve Cu uygulaması karşısında ilgili gruplara kıyasla SA ön ıslatması yapılan tohumlardan gelişen fidelerde hem kök hem de yaprakta prolin ve malondialdehit miktarındaki artış daha hafif bulundu. SA ön ıslatması yapılan fidelere kıyasla; glutatyon miktarı Cd ve Cu uygulaması karşısında köklerde azalırken, yapraklarda farklı cevaplar tespit edildi. Şöyle ki SA uygulanan fidelere kıyasla, Cd uygulamaları yapraklarda glutatyon miktarını artırırken, Cu uygulamalarında azalma tespit edildi. Gerek Cd, gerekse Cu uygulamaları karşısında SA ön ıslatması yapılan tohumlardan gelişen fidelerde yağ asidi değişimi; palmitik asit, stearik asit ve oleik asit hem köklerde, hem de yapraklarda azaldı, palmioleik asit yapraklarda azaldı, köklerde ise bulunamadı. Linoleik asit yapraklarda azaldı, linolenik asit ise artmış bulundu. Fakat linoleik asit Cd uygulamalarında köklerde azaldı, Cu uygulamaları karşısında köklerde arttı. Linoleik asit ise Cd uygulamalarında köklerde bulunamadı, Cu uygulamalarında ise yine köklerde artmış bulundu.

Anahtar Kelimeler: *Zea mays*, Salisilik Asit, Kadmiyum, Bakır, Toksik Etki

SUMMARY

The Effects of Salicylic Acid Application on The Physiologic and Biochemical Variations Induced by Cadmium and Copper in Corn (*Zea mays* L.) Seedling

In this study, salicylic acid (SA) pretreatment on some parameters of the physiological and biochemical effects of alleviating or encouraging research aimed that different cadmium (Cd), copper (Cu) concentrations in the maize of seedlings (*Zea mays* L. cv) against toxic effects caused. Maize (*Zea mays* L. cv) developed from the seeds 15 days old seedlings were used as material. Seeds were divided into two groups homogeneously with SA (0.5 mM) during 6 hours made and not made application of the pre-wetting. The seedlings grown from these seeds. Root hydroponic method was preferred in all applications that seedlings grown from the seeds. Then different concentrations of Cd and Cu were separately applied to these two groups and controls stored in themselves. Growth parameters, as increase in length, the amount of dry weight for per fresh weight were determined in different applications treated seedlings. Furthermore, the amount of pigment in the leaves and proline, malondialdehyde, glutathione and fatty acid content in the roots and leaves separately were analyzed. According to the results, SA prewetting developing from seeds that seedlings; The inhibitif effects was alleviated compared to corresponding group in growth parameters metal (Cd and Cu) resulting from administration. Similarly pigments (chlorophyll (a+b) and carotenoids) was less destruction in leaves. Generally; seedlings proline and increase in the amount of malondialdehyde was found to be lesson both leaves and roots in Cd and Cu treatments against that SA with a prewetting developing from seeds, compared to corresponding group. SA prewetting compared to seedlings; while the amount of glutathione decreases against the treatment of Cd and Cu in roots, different answers have been identified in the leaves. Namely, the amount of glutathione was found to be Cd treatment increasing in leaves, while to decrease in Cu application, the seedlings as compared to SA. Cd and Cu treatments against, SA prewetting with exchange of fatty acids in the seedlings developing from seeds; palmitic acid, stearic acid and oleic acid in both root and leaves decreased, is not found in the roots. Linoleic acid decreased, while linolenic acid increased in leaves. However, linoleic acid decreased of Cd treatment in roots, while treatment of Cu increased against to in root. Linoleic acid was not found to Cd treatment in the roots, again Cu treatment increased in roots.

Keywords: *Zea mays*, Salicylic Acid, Cadmium, Copper, Toxic Effect.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Ağır metalle kirlenmiş bir su göleti	3
Şekil 2. Salisilik asit' in kimyasal yapısı.....	3
Şekil 3. Bitkilerde salisilik asit biyosentezinin metabolik yolu	5
Şekil 4. Kadmiyum ağır metalinin fizikokimyasal yapısı	9
Şekil 5. Kadmiyum'un coğrafik yayılımı.....	11
Şekil 6. Bakır metalinin fizikokimyasal yapısı	14
Şekil 7. Prolin sentezi ve yıkımının metobolik yolu	20
Şekil 8. Mısır tanesinin organik madde içeriği	23
Şekil 9. Mısır tanesinin mineral elemet içeriği.....	24
Şekil 10. Metal uygulaması öncesi saf su ile ıslatılmış tohumlardan gelişen 15 günlük fidelerin genel görünümü... ..	25
Şekil 11. Metal uygulaması öncesi SA ile ıslatılmış tohumlardan gelişen 15 günlük fidelerin genel görünümü	26
Şekil 12. Kontrol (saf su ve SA) fidelerinin genel görünümü.....	32
Şekil 13. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 10 µM Cd konsantrasyonlu fideler	33
Şekil 14. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 50 µM Cd konsantrasyonlu fideler	34
Şekil 15. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 75 µM Cd konsantrasyonlu fideler	34
Şekil 16. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 5 mM Cu konsantrasyonlu fideler.....	36
Şekil 17. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 10 mM Cu konsantrasyonlu fideler.....	36
Şekil 18. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 20 mM Cu konsantrasyonlu fideler.....	37

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. SA ön ıslatmalı mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, kadmiyum'un kök ve yaprak boyu değişimi üzerine etkileri	37
Tablo 2. SA ön ıslatmalı mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, bakır'ın kök ve yaprak boyu değişimi üzerine etkileri	38
Tablo 3. SA ön ıslatmalı mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, kadmiyum'un kök ve yaprak ağırlık değişimi üzerine etkileri.....	38
Tablo 4. SA ön ıslatmalı mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, bakır'ın kök ve yaprak ağırlık değişimi üzerine etkileri	39
Tablo 5. SA ön ıslatmalı mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinin yapraklarında, kadmiyum'un fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri	40
Tablo 6. SA ön ıslatmalı mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinin yapraklarında, bakır'ın fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri	41
Tablo 7. SA ön ıslatmalı mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, kadmiyum toksisitesinin kök ve yaprakta prolin, malondialdehit ve glutatyon miktarları üzerine etkileri	42
Tablo 8. SA ön ıslatmalı mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, bakır toksisitesinin kök ve yaprakta prolin, malondialdehit ve glutatyon miktarları üzerine etkileri	43
Tablo 9. SA ön ıslatmalı mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, kadmiyum toksisitesinin kökte yağ asidi bileşiminin değişimi üzerine etkileri	51

Tablo 10. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyum toksisitesinin yaprakta yağ asidi bileşiminin değişimi üzerine etkileri 51

Tablo 11. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, bakır toksisitesinin kökte yağ asidi bileşiminin değişimi üzerine etkileri 56

Tablo 12. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, bakır toksisitesinin yaprakta yağ asidi bileşiminin değişimi üzerine etkileri 57

KISALTMALAR VE SEMBOLLER LİSTESİ

KISALTMALAR LİSTESİ

µg	: Mikrogram
µM	: Mikromolar
µmol	: Mikromol
µg/g	: mikrogram/gram
APX	: Askorbat peroksidaz
ASA	: Asetil Salisilik Asit
BHT	: Butilhidroksitoluen
CAT	: Katalaz
cm	: Santimetre
EDTA	: Etilen DiaminTetra
g	: Gram
GC	: Gaz kromatografisi
G-POD	: Gayakol tipi peroksidaz
GPX	: Glutasyon peroksidaz
GSH	: Redükte glutasyon
HPLC	: Yüksek basınçlı sıvı kromatografisi
LOX	: Lipoksigenaz aktivitesi
MDA	: Malondialdehit
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
mM	: Milimolar
nm	: Nanometre
nmol	: Nanomol
nmol/g	: nanomol/gram
pH	: Hidrojen Gücü (Power of Hydrogen)
POD	: Peroksidaz
ROS	: Reaktif oksijen türleri
RWC	: Nispi Su Miktarı

SA	: Salisilik Asit
SAG	: Salisilik asit- β -glukozit
SOD	: Süperoksit Dismutaz
TA	: Taze Ağırlık
TBA	: 2- Thiobarbutirik
TCA	: Trikloroasetik Asit
UV	: Ultra Viyole

SEMBOLLER LİSTESİ

As	: Arsenik
C₇H₆O₃	: Salisilik asit
Cd	: Kadmiyum
CdCl₂	: Kadmiyum klorür
Co	: Kobalt
CO₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
CuCl₂	: Bakır klorür
Fe	: Demir
H₂O	: Su
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
Hg	: Civa
MgSO₄	: Magnezyum sülfat
Mn	: Mangan
MnSO₄	: Mangan (II)Sülfat
Mo	: Molibden
Na⁺	: Sodyum iyonu
NaCl	: Sodyum klorür
-NH₂	: Amino grubu
Ni	: Nikel
-OH	: Hidroksil grubu
Pb	: Kurşun
Zn	: Çinko

GİRİŞ

Ülkelerin kalkınmasında önemli bir yere sahip olan doğal kaynakların yüzyıllar boyunca tahrip edildiği bilinmektedir (Topçu, 1998). Çağımızda doğal dengeyi, dolayısıyla insan ve hayvan sağlığını tehdit eden en önemli tehlikelerin başında çevre kirliliği gelmektedir (Baş ve Demet, 1992). Çevrenin canlı öğelerin hayati aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen, cansız öğelerin üzerinde ise yapısal zararlar meydana getiren ve niteliklerini bozan yabancı maddelerin hava, su ve toprağa yoğun bir şekilde karışması olayına " Çevre Kirliliği " adı verilmektedir (Topçu, 1998). Hızla artan dünya nüfusunun beslenmesi ve daha uygar yaşama düzeyi sağlama amacı ile sürdürülen çabaların istenilmeyen bir sonucu olarak ortaya çıkan çevre sorunları günümüzde de giderek artan boyutlarda önemini korumaktadır (Baş ve Demet, 1992). Canlı hayatında çok önemli yer tutan hava, su ve toprağın doğal dengesindeki bozulmalar, canlılar üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır (Kılıçel, 1996).

Bitkiler yaşadıkları ortamlarda bir veya daha fazla olumsuz şartla karşılaşabilir ve önemli derecede strese maruz kalabilirler. Stres genel olarak, bitkilerde zarar meydana getiren potansiyel güç olarak kabul edilir. Bitkiler bu stres durumunu ortadan kaldırmak, aşmak veya sakınmak amacıyla çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik mekanizmalarını harekete geçirirler. Bu mekanizmaların koruyucu yanının sınırlı olması sebebiyle, bitkiler bir veya daha fazla olumsuz şarta karşı sınırlı bir cevap kapasitesine sahiptirler (Hale ve Orcutt, 1987; Kocaçalıskan, 2001) .

Bitki büyümesini engelleyen her faktör, stres olarak tanımlanmaktadır. Dünyanın birçok yerinde kuraklık, tuzluluk, aşırı sulama, yüksek ve düşük sıcaklık, pH ve ağır metallerin neden olduğu stresler yaygın olarak görülmektedir. Bu stresler, özellikle gelişmekte olan ülkeler için sosyoekonomik problemlere temel oluşturmaktadır. Dünya üzerinde tarımda kullanılabilir alanların sadece % 10'u herhangi bir çevresel stres etmeni ile karşı karşıya değildir. Geriye kalan % 90'lık alanın, % 26'sında en fazla karşılaşılan kuraklık stresi tehdidi altında, % 20'lik kısmında ise tuz stresi tehdidi altındadır. Kalan topraklarda ise diğer stres faktörlerinin tehdidindedir (Blum, 1985; Ashraf, 1994). Stres, biyotik ve abiyotik faktörlerin ayrı ayrı ya da birlikte fizyolojik ve biyokimyasal olaylarda belli değişimleri meydana getirmesi veya organizmada hasar oluşturma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Biyologlar bitkiler için elverişli olmayan herhangi bir çevre faktörü için

“stres” terimini benimsemişlerdir. Elverişsiz bir çevre faktörüne karşı bitkinin hayatta kalabilme yeteneğine ise “stres direnci ” (tolerans) adını vermişlerdir (Levitt, 1980).

Bitkinin herhangi bir strese önceden maruz kalması sonucu toleransı artmış ise, bitkinin alışmış olduğu ifade edilir. Adaptasyon genellikle pek çok nesil boyunca seçim sonucu kazanılan, genetiksel olarak belirlenmiş direncin düzeyini belirttiği için alıştırma adaptasyondan farklıdır. Çevresel streslere adaptasyon ve alışma, morfolojik, anatomik, hücresel, biyokimyasal ve moleküler düzeyde olmak üzere, birbirine bağlı çok sayıda olaylar sonucu oluşur. Bitkisel üretimde verimi sınırlayan; düşük ve yüksek sıcaklık, atmosfer kirliliği, tuzluluk, kuraklık, yetersiz beslenme, radyasyon gibi etmenler abiyotik stres faktörleridir (Lawlor ve Cornic, 2002).

Dünya nüfusunun hızlı artışıyla ortaya çıkan beslenme sorununa çözümler bulmak için yapılan araştırmalar daha ziyade, olumsuz çevre koşullarında tarımı yapılabilecek bitki türlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Dünyada olduğu gibi, ülkemizde de tarım alanlarının sınırlı olması nedeniyle, üretimin arttırılması yani birim alandan daha fazla ürün alınması gerekmektedir. Bu amaçla, ürün artışına etki eden sulama, tarımsal mekanizasyon, zararlılarla mücadele ve gübreleme gibi takviyeler, ayrıca çoraklık ve drenaj sorunları olan arazilerin ıslahının yanı sıra bu alanlarda yetişebilecek bitki çeşitlerinin belirlenmesi ve ıslah edilmesi gerekmektedir (Shalaby vd., 1993). Gerek hava kirliliği gerekse su kirliliği toprak kirlenmesini beraberinde getirmektedir. Kentleşme ve sanayileşme sonucu ortaya çıkan her türlü atık ve bu atıkların toprağa karışması toprak kirliliğini oluşturmakta ve verimli toprakların kaybına neden olmaktadır. Ayrıca verimli tarım topraklarından tuğla, kiremit gibi yapı malzemelerinin üretimi de toprak kayıplarını çoğaltmaktadır. Diğer taraftan daha çok ürün almak için geliştirilen tekniklerde bazı hallerde, toprak kirlenmelerine yol açabilmektedir (Güler, 2011).



Şekil-1. Ağır metal ile kirlenmiş bir su göleti (sudego e-dergi, 2010)

1.1. Salisilik Asit'in Tanımı ve Tarihçesi

Bitkisel kaynaklardan olan salisilatlar antik çağlardan beri ilaç olarak kullanılmaktadır (Raskin, 1992). Amerikalı yerliler ve eski Yunanlılar, söğüt ağacı yapraklarının ve kabuklarının bir ağrı kesici ve ateş düşürücü olarak kullanıldığını bilinmektedir ve salisilik asidin ticari formu olan asetil salisilik asit (ASA), halk dilinde aspirin olarak bilinmektedir ve sıklıkla kullanılan anti stres bileşiklerden biridir (Hayat ve Ahmad, 2007). Kimyasal formülü $C_7H_6O_3$ olan salisilik asit, renksiz kristal yapıda bir organik asit olup, açık formülü aşağıdaki gibidir.

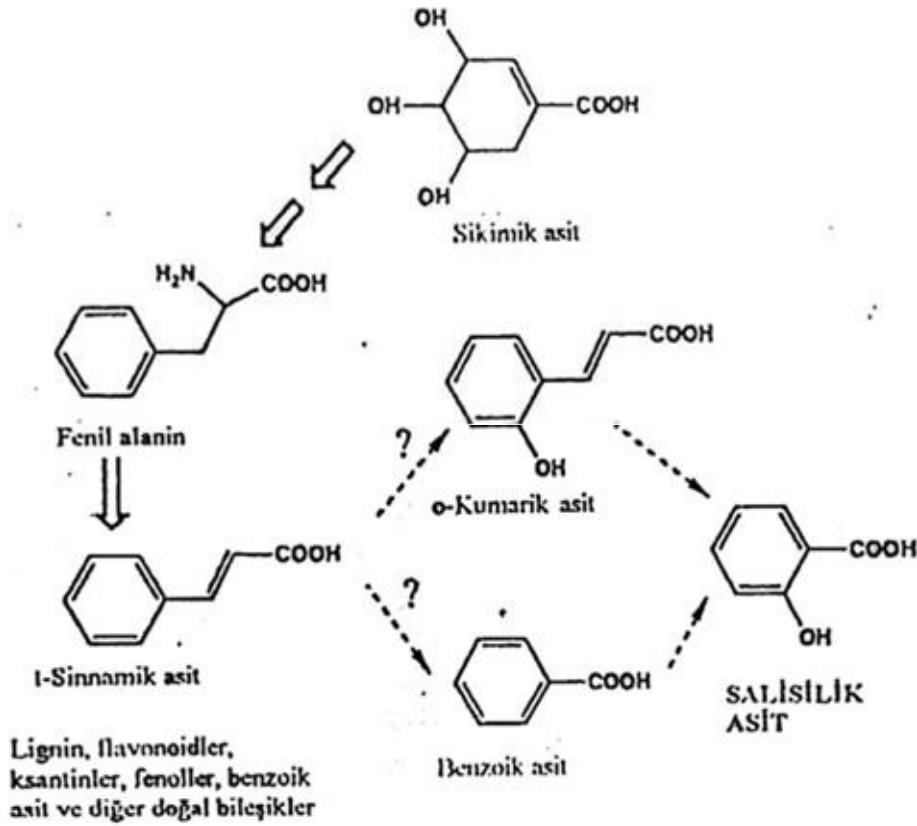


Şekil 2. Salisilik asit' in kimyasal yapısı

Salisilik asit (SA) diğ er adıyla orto-hidroksibenzoik asit ve benzer fenolik bileşikler çeşitli bitkilerde doğal olarak sentezlenmektedir. İlk defa 1828'de M n h'te, söğüt çubuğundan şalisin adı verilen salisil alkol glukoz, az miktarda izole edilebilmiştir. Raffaele Piria on yıl sonra söğüt ağacından izole edilen bu moleküle Salix'den esinlenerek salisilik asit adını vermiştir. Sentetik SA'nın ilk ticari üretimi aspirin şeklinde 1874 yılında Almanya'da gerçekleştirilmiştir (Raskin, 1992).

Günümüzde SA'nın genellikle birçok bitkide bulunduğu ve önemli bir büyüme düzenleyici molekül olduğu bazı bilim adamları tarafından kabul edilmektedir (Raskin, 1992; Arteca, 1996). SA' nın bitkilerdeki taşınımı hakkında kesin bir bilgi olmamakla birlikte fiziksel özellikleri bozulmadan floemde taşınabildiği hakkında güçlü kanıtlar bulunmaktadır (Davies, 1995). Bitkilerde SA, şikimik asitten benzoik asit ve kumarik asit yolu ile sentezlenmektedir.

Bitkilerde SA oluşumu için iki metabolik yolun bulunduğu ileri sürülmektedir (Davies, 1995). Bu yollarda, SA' nın  -oksidasyon ve orto-hidroksilasyon reaksiyonlarının oluşum sıralarının birbirinden farklı olduğu saptanmıştır. Sağlıklı ve virüs inoküle edilmiş tütün (*Nicotiana tabacum* L.) bitkilerinde salisilik asidin, benzoik asit aracılığıyla sinnamik asitten türevlendiği kanıtlanmıştır (Yalpani, 1991) (şekil 3). Buna göre, *Agrobacterium tumefaciens* ile enfekte olmuş genç domates (*Lycopersicon esculentum* L.) fidelerinde, sinnamik asitin orto-hidroksilasyon yoluyla orto-kumarik asite dönüşümünün arttığı ve ardından kumarik asitin  -oksidasyonu ile salisilik asit oluşturduğu ortaya konulmuştur. Sağlıklı bitkilerde ise, salisilik asidin yaygın biyosentez yolunun; Sinnamik asit → Benzoik asit → Salisilik asit şeklinde gerçekleştiği saptanmıştır.



Şekil 3. Bitkilerde salisilik asit biyosentezinin metabolik yolu

SA'nın bitki büyüme ve gelişmesi üzerindeki rolleri, çiçeklenme, iyon alımı, stomaların açılmasının düzenlenmesi ve fotosentez kapasitesinin artırılması şeklinde sıralanabilir. SA bitkilerde termogenezi ve hastalık direncini, doğal olarak indükleyici bir molekül olarak tarif edilmektedir. SA'nın fizyolojik fonksiyonlarının yanı sıra bitki büyüme düzenleyicilerinin biyosentezi ve metabolizması üzerine etkileri tartışılmaktadır (Popova, 1997). Bitkisel hormon olarak da kabul edilen SA, fenolik maddelerin bir grubunu oluşturmaktadır (Özeker, 2005). Bitkilerin farklı organ ve dokuları üzerinde yapılan araştırmaların sonucunda, salisilik asitin bitkilerde her zaman ve her yerde bulunabildiği ortaya konulmuştur. SA ve onun analogu olan aspirinin en bilinen etkisi, etilen biyosentezini engellemek ve yaşlanmayı geciktirmektir (Özeker, 2005). Ayrıca, salisilik asit termojenik ve koku üreten bitkilerin çiçeklenmesinde de düzenleyici bir role sahiptir (Özeker, 2005). Bunlardan başka, bitkilerde eksojen salisilik asit uygulamaları, patojen bağıntılı proteinlerin sentezini uyararak, hastalıklara karşı direncin oluşumunu

sağlamaktadır (Özeker, 2005). SA biyotik ve abiyotik streslere karşı bitkilerin yanıtlarını belirleyen bir haberci molekül gibi davranmaktadır (Hayat ve Ahmad, 2007). SA donma gibi streslere karşı bitkilerin korunmasında yer almaktadır (Janda vd., 1999; Tasgin vd., 2003). SA antioksidan enzim aktivitesinin düzenlenmesi yoluyla hücrel redoks dengesinin korunmasına katkıda bulunabilir (Slaymaker vd., 2002).

SA bitki gelişmesinde, transpirasyon, patojenlere karşı endojen sinyal ve savunmada önemli rolü olan fenolik bir fitohormondur (Janda vd., 2012). SA'nın koruyucu eylemi anti-stres programların geliştirilmesini kapsamaktadır ve stres faktörü ortadan kalktıktan sonra büyüme süreçlerinde iyileşme hızlanmaktadır (Misra ve Saxena, 2009).

Bitkilerde SA, metabolik olarak aktif olan serbest formunun dışında, esterler ve glukozitler olarak bağlı formlarda da bulunabilir. SA bitkilerde genellikle bir şeker bileşiği olan salisilik asit- β -glukozit (SAG) olarak, yani inaktif formda bulunmaktadır. β -glukozidaz enzimi, bitkilerde fitohormonların sinyal aktivitelerini kontrol edebilme özelliğinde olup, salisilik asidin bağlı formdan serbest forma dönüşümünü katalizleyerek, bitkide serbest SA seviyesini düzenlemektedir. Tütün (*Nicotiana tabacum* L.) bitkisinde yapılan bir çalışmada, bu bitkinin yapraklarına dışarıdan SA uygulandığında, yaprakların hücrelerarası boşluklarında salisilik asit- β -glukozidaz aktivitesinin arttığı saptanmıştır. SAG'ın büyük bir kısmı hücrelerarası boşluklarda bulunurken, SA' nın büyük bir kısmı ise hücrelerin içinde yer almaktadır. Çünkü SAG'ın salisilik asitten şekillenmesi hücrelerin içinde oluşmaktadır. Bu durum dışarıdan uygulanan SA' nın doğrudan hücrelere girdiğini göstermektedir. Sonuç olarak, SAG'ın hücrelerarası boşluklar aracılığıyla uzak dokulara taşınan bir sinyal rolü oynayabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Salisilik asidin uzun mesafeli taşınımı için uygun şeklinin SAG olduğu düşünülmektedir. Çünkü SAG hem salisilik asitten daha fazla çözünebilir, hem de toksik özelliği daha zayıf bir moleküldür (Hayat ve Ahmad, 2007). Hidroksil (OH^-) grubu taşıyan aromatik halkalı bitki fenoller grubunda yer alan sekonder bir metabolit olan SA' nın birçok çevresel strese karşı bitki yanıtlarının düzenlenmesinde büyük bir rol oynadığı düşünülmektedir (Glass vd., 1973a; Glass vd., 1973b). SA bitkilerde, stresin yol açtığı zararlı etkileri azaltan uzaklaştıran önemli bir molekül olarak da bilinmektedir (Durner vd., 1997).

SA ilk olarak tütün (*Nicotiana tabacum* L.) bitkisinde sürgün oluşumunu teşvik edici ve çiçeklenmeyi uyarıcı etkisini ortaya koyan bir çalışmada kullanılmıştır (Ebehard, 1989). Çevresel stres faktörlerine karşı yapılan çalışmada bitki direnci üzerine salisilik

asidin (SA) etkisi araştırılmıştır. 0.05 mM SA ile muamele edilen buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkilerinde bu muamele bitki büyümesinde artışa neden olmuş ve fide köklerinin apikal meristemi içindeki hücre bölünmesini arttığı tespit edilmiştir. SA buğday (*Triticum aestivum* L.) fidelerinde ABA ve IAA hormonlarının birikmesine de neden olmuştur (Sakhabutdinova vd., 2003).

SA'nın sulu çözeltilerinin hardal (*Brassica Juncea* L.) bitkilerinin yapraklarına uygulandığı bir çalışmada, 10^{-5} M konsantrasyonunda SA püskürtülen bitkilerin saf su püskürtülen bitkilere kıyasla daha sağlıklı olduğu görülmüştür (Fariduddin, 2003). Uzunova ve Popova (2000) ise salisilik asit'in normal koşullar altında büyütülen arpa (*Hordeum vulgare* L.) fidelerinin yapraklarında alt ve üst epidermis kalınlığı ile mezofil dokusu ve yaprak kalınlığını azalttığını tespit etmişlerdir. Mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde yapılan bir çalışmada, tuz stresi altındaki bitkilerde SA'nın tuz stresinin olumsuz etkisini iyileştirdiği görülmüştür (Szalai vd., 2005). SA'nın eksojen uygulamalarının, hardal (*Brassica Juncea* L.) fidelerinde sıcaklık stresine karşı (Dat vd., 1998) ve mısırdaki (*Zea mays* L.) soğuk zararına karşı (Janda, 1999) koruma sağladığı tespit edilmiştir. Shakirova ve Bezrukova (1997) tarafından SA uygulanan buğday (*Triticum aestivum* L.) fidelerine karşı saliniteye dirençte bir artış olduğu görülmüştür (Shakirova vd., 1997). Salisilik asit su ihtiyacının yarattığı zarara direnci artırmaktadır (Bezrukova, 2001).

1.2.Ağır Metal Toksisitesi

Her bakımdan zehirleyici özelliğe sahip olan ağır metaller çeşitli kaynaklardan çevreye yayılmakta ve günümüzde çevre kirliliğinin önemli nedenlerinden birini oluşturmaktadırlar (Goyer, 1991). Ağır metaller, ekolojik dengeyi bozan, canlı büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkileyen, temel kirleticilerden biridir (Ruis-Jiménez vd., 2003).

Ağır metaller ile toprakların kirlenmesi tüm dünyada pek çok ülkede sorun haline gelmektedir (Keltjens ve Beusichem, 1998). Topraktaki metal konsantrasyonları ya insan aktivitelerinin bir sonucu olarak ya da toprağın jeolojik orjinine bağlı olarak değişmektedir (Blaylock ve Huang., 2000). Metal ile kirlenmiş toprakların gıda ürünü üretimi için kullanılan alanlarda, bitki içerisinde oldukça hareketli olan Cd ve Zn gibi metaller gıda zinciri yolu ile insan sağlığı açısından büyük risk haline gelebilmektedir (Keltjens ve Beusichem,1998). Tarımsal açıdan çok büyük bir öneme sahip olan bitkiler, besin

elementlerini alırken dışardan bir takım olumsuzluklarla karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu olumsuzluklar bitkinin hayatını sınırlamada önemli rol oynamaktadırlar (Brohi vd., 1994) .

Bakır (Cu), çinko (Zn), demir (Fe), manganez (Mn), molibden (Mo), nikel (Ni), kobalt (Co) gibi bazı ağır metaller bitki ve hayvanların gelişmesi için gerekli mikro besin elementleridir. Arsenik (As), cıva (Hg), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) gibi bazı ağır metaller ise bitki ve hayvan gelişimi için gerekli olmayan elementlerdir (Niess, 1999).

Kurşun, kadmiyum, cıva, arsenik, krom vb. ağır metallerin çevreye yayılmaları aşağıdaki şekillerde olmaktadır:

- Egzoz gazı kaynaklı yayılımlar (kurşun),
- Madencilik kaynaklı yayılımlar (krom, bor),
- Endüstriyel kaynaklı yayılımlar;
 - Pil üretimi, kullanımı (cıva, kadmiyum),
 - Demir çelik sanayi ve atıkları (krom),
 - Petrol rafinerisi (kurşun),
 - Boyalar (kurşun, kadmiyum),
 - Elektronik sanayi ve ölçü aletleri (cıva),
- Tıbbi kaynaklı yayılımlar (cıva),
- Doğal kaynaklı yayılımlar (kurşun, cıva, krom, kadmiyum, bor),
- Termik santrallerde kaynaklı yayılımlar (kurşun, cıva, krom, kadmiyum),
- Tarımsal kaynaklı yayılımlar (kadmiyum) (Çevre Hekim, 2006).

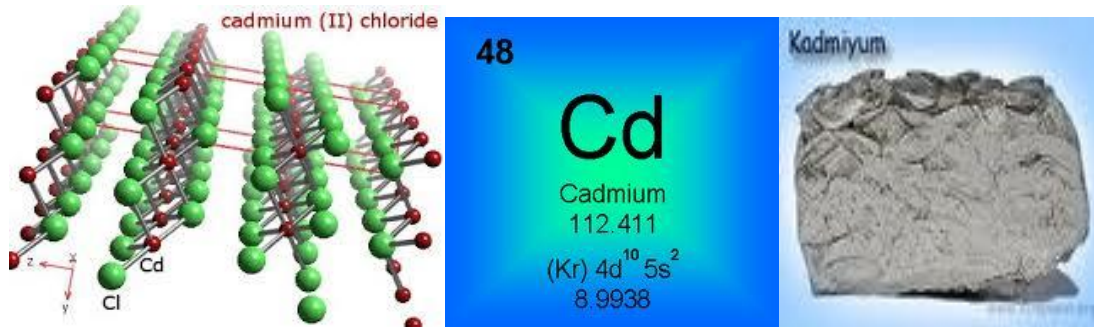
Ağır metallerin insan metabolizmasında oluşturdukları etki ve etkin oldukları aşamaları ana sistemler açısından kısaca ele alınacak olursa, aşağıda şekillerde sıralanabilir;

- ❖ Kimyasal reaksiyonlara etki edenler,
- ❖ Fizyolojik ve Taşınım sistemlerine etki edenler,
- ❖ Kanserojen ve mutojen olarak yapı taşlarına etki edenler,
- ❖ Alerjen olarak etki edenler,
- ❖ Spesifik etki edenler.

Bitkilerde ağır metal stresi, serbest radikal (singlet oksijen, süperoksit radikali, hidroksil radikali ve hidrojen peroksit gibi sorbent radikal) oluşumunu teşvik ederek bitki dokularına zarar verip, oksidatif zararlara yol açmaktadır (Foyer vd., 1997; Halliwell ve Gutteridge, 2002). Kirlenmiş alanlarda yetiştirilen bitkiler kökleri ve/veya yaprakları yoluyla toksik seviyede eser metaller biriktirebilir (Bi, 2009).

SA, kurşun ve civa gibi ağır metallerin zararlı etkilerini hafifletmektedir (Mishra, 1999). Ayrıca SA'nın kadmiyum toksisitesine karşı bitkiyi koruduğu da bilinmektedir (Pal vd., 2002). Bitkilerde ölüme sebep olmaksızın metabolik aktiviteyi önemli derecede inhibe eden ağır metal konsantrasyonları için "toksik konsantrasyon" ifadesi kullanılmaktadır (Ross, 1994; Zenk, 1996) .

1.1.1. Kadmiyum Toksisitesi

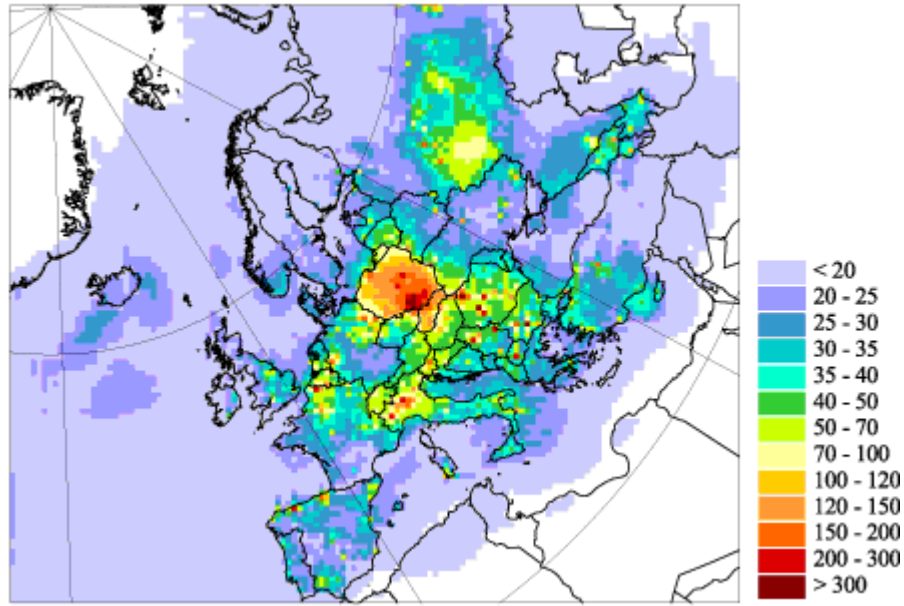


Şekil-4. Kadmiyum ağır metalinin fizikokimyasal yapısı

Kadmiyum, çinko üretimine eşlik eden bir metal olarak üretilmektedir. Doğal süreçlerden ziyade çinko üretiminde ortaya çıktıktan sonra havaya, yiyeceklere ve suya önemli miktarlarda karışmaktadır. Günümüzde kadmiyum da çevre kirliliğine sebep olan ağır metaller arasında yerini almıştır. Kadmiyum endüstriyel olarak nikel/kadmiyum pillerde, korozyona karşı özellikle denizel koşullara dayanımı nedeniyle gemi sanayinde çeliklerin kaplanması, boya sanayinde, PVC stabilizatörü olarak, alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılmaktadır. Kadmiyum empürüte olarak fosfatlı gübrelerde, deterjanlarda ve rafine petrol türevlerinde bulunur ve bunların çok yaygın kullanımı sonucunda da önemli miktarda kadmiyum kirliliği ortaya çıkmaktadır. Kadmiyum; insanlar, hayvanlar ve bitkiler için esansiyel özelliği olmayan ağır metallerden olup,

doğada çinko, kurşun ve bakır sülfid maden filizleriyle birlikte bulunmakta ve bu metallerin üretimi esnasına bir yan ürün olarak elde edilmektedir (Hutton, 1983). İnsan yaşamını etkileyen önemli kadmiyum kaynakları; sigara dumanı, rafine edilmiş yiyecek maddeleri, kahve, çay, su boruları, kömür yakılması, kabuklu deniz ürünleri, tohum aşamasında kullanılan gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazlarıdır. Endüstriyel olarak kadmiyum zehirlenmesi kaynak yapımı esnasında kullanılan alaşım bileşimleri, elektrokimyasal kaplamalar, kadmiyum içeren boyalar ve kadmiyumlu piller nedeniyle olmaktadır. Kadmiyum önemli miktarda gümüş kaynaklarda ve sprey boyalarda da kullanılmaktadır. Kadmiyum, diğer ağır metaller içinde suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Bu nedenle doğada yayılım hızı yüksektir ve insan yaşamı için daha da tehdit edici bir elementtir (Yağmur vd., 2003). Suda çözünabilir özelliğinden dolayı Cd^{2+} halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınır ve akümle olma özelliğine sahiptir. Toprakta 3 mg/kg' dan fazla Cd toksik etkilere yol açmaktadır (Özbek vd., 1995).

Cd'n düşük konsantrasyonlarda dahi birçok bitki türü için toksik olduğu bilinmektedir (Schutzendubel ve Polle, 2002). Kadmiyum stresi altındaki bitkilerde su ve iyon alımının azalmasının en önemli nedeni, kök büyüme ve gelişmesinin engellenmesidir. Ayrıca kadmiyum stresi altındaki bitkilerde stomaların kapanması nedeniyle transpirasyonla su kaybı azaltmakta ve kadmiyum taşınması engellenmektedir (Salt vd., 1995).



Şekil-5. Kadmiyum'un coğrafik yayılımı (katı ve sulu ortam toplam) kg/km²/yıl (2001)

Cd'in, bitkilerde oksidatif strese neden olan toksik bir ağır metal olduğu bilinmektedir (Bahmani vd., 2012). Doğada Cd, metallerden, fosfat gübrelemesinden (Nriagu ve Pacyna, 1988) ve kaya mineralizasyon sürecinden (Baker vd., 1990) serbest kalmaktadır. Toprak-bitki sisteminde bu metalin yüksek oranda mobilitesi besin zincirine girişini kolaylaştırmaktadır (Nogawa vd., 1987). Çevresel bir kirletici olan Cd'nin araştırılması etkileyici olmakla beraber, bitkide yarattığı toksik etkilerin mekanizması tam olarak anlaşılabilmiş değildir (Di Toppi ve Gabrielli, 1999). Yüksek miktarda Cd'a maruz kalan bitkilerde bir dizi toksik belirtiler meydana gelmektedir. Serbest Cd plazmatik kompartmanlarda hücre metabolizmasını ve düzenlenmesini bozarak, yüksek oranda toksisiteye (Van Assche ve Clijsters, 1990), büyümede gecikmeye, fotosentezin inhibisyonuna, su ilişkilerinde değişikliğe, makro ve mikro besinlerin alınması ve dağıtılmasında sıkıntılara, katyonların dışarı akışına ve serbest radikallerin çoğalmasına (Prasad, 1995; Ramos, 2002) yol açmaktadır. Farklı mısır (*Zea mays* L.) varyeteleri üzerinde yapılan bir çalışmada kadmiyum ve kurşunun yol açtığı stresin büyüme parametreleri, pigment içeriği, antioksidan enzim seviyeleri, malondialdehit (MDA) içeriği üzerine etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada artan ağır metal dozuna bağlı olarak kök ve koleoptil uzunlukları azalmış, pigment içeriği azalmış, iyon sızıntısı ve MDA miktarının arttığı ortaya konulmuştur (Ayhan, 2006). Başka bir araştırma da, hidrofonik sistemde yetiştirilmiş olan mısır (*Zea mays* L.) fidelerine farklı kadmiyum (Cd) konsantrasyonları

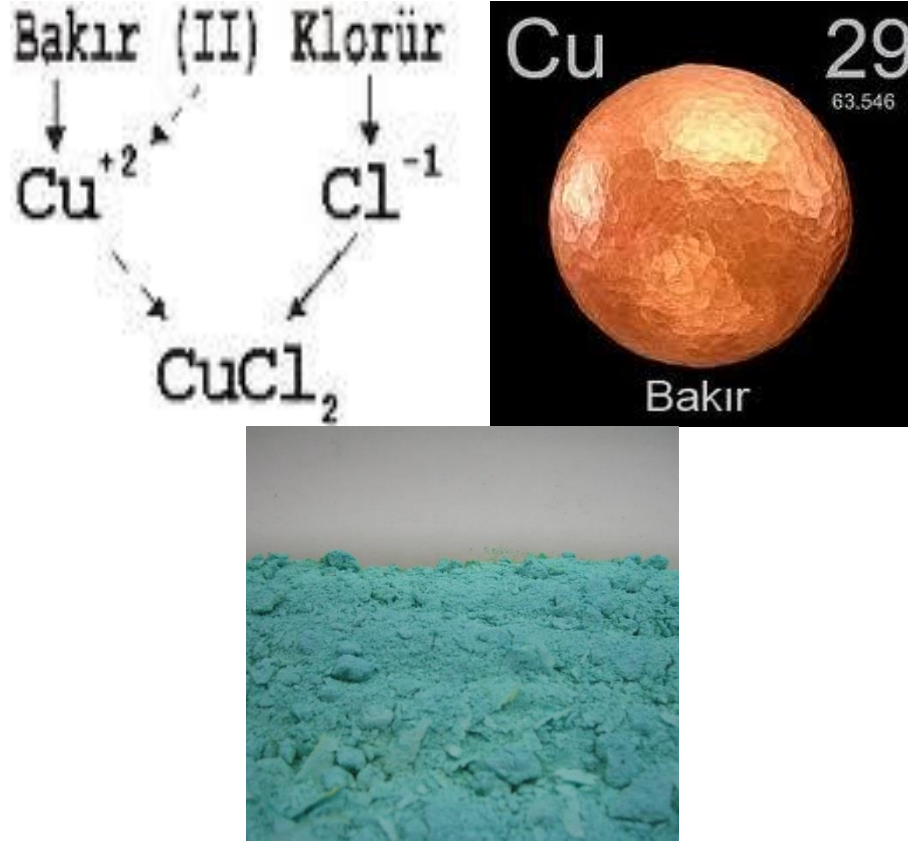
(0, 0.01, 0.1, 1 mg\lt) uygulanmış ve antioksidan enzim sistemi analiz edilmiştir. Bitkilerin büyüme parametrelerine kök ve sürgünlerinde prolin içeriğine ve Cd içeriğine, yapraklarında klorofil miktarına bakılmıştır. Cd konsantrasyonu arttıkça dokularda klorofil miktarı ve süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi azalmıştır. Ancak, sürgün ve köklerde biriken Cd miktarı artmış, buna bağlı olarak MDA içeriği, prolin miktarı, peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) aktivitesi de artmıştır. Sonuç olarak yüksek Cd seviyeleri mısır (*Zea mays* L.) da büyümeyi olumsuz yönde etkilemiştir (Zhao, 2011). Mısırdaki (*Zea mays* L. cv. KJ9451) yapılan başka bir çalışmada kadmiyum toksisitesinin, tohum çimlenmesi, fide büyümesi, pigment geliştirme ve enzim aktivitesi açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Kadmiyumun yüksek konsantrasyonlarında, çimlenme yüzdesi, taze ağırlık ve kuru ağırlık azalmıştır. Kadmiyumun dozlarının artışına bağlı olarak katalaz artmış ve peroksidaz aktivitesinin azaldığı gözlenmiştir (Chaudhary ve Sharma, 2009). Mısır fideleri üzerinde (*Zea mays* L. cv. Dekalb DK604) Cd kaynaklı oksidatif stres sonucunda; MDA miktarı ve karbonil birikimi ayrıca protein oksidasyonu artmıştır. Askorbat peroksidaz (APX) ve SOD aktivitesi metal muamelesine bağlı olarak ölçülmüş, köklerde APX artmış ve SOD aktivitesinde önemsiz değişimler tespit edilmiştir. Redükte glutatyon (GSH) içeriğinde de azalma meydana gelmiştir. Kök ve sürgünlerde taze ağırlık Cd konsantrasyonu artışına bağlı olarak azalmıştır (Ivarez vd., 2006). Mısır (*Zea mays* L.) bitkilerinde yapılan bir diğer çalışmada, kadmiyum alımı potansiyeli incelemiştir. Bitkiler, Cd muamelesi (0, 3, 6, 12, 25, 50 mg\kg) topraklarda büyütülmüş ve daha sonra yapılan analizler biyokütlenin etkilendiğini ortaya koymuştur (Selvam ve Wong, 2009). Cd ile fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) fidelerinde yapılan bir başka çalışmada Cd stresine bağlı olarak kök ve sürgün uzunlukları, çimlenme yüzdesi azalma göstermiştir (Bahmani, 2012). Başka bir çalışmada havuç (*Daucus carota* L.) bitkisine farklı konsantrasyonlarda Cd (10, 20, 40 mg\g) uygulanmış ve Cd konsantrasyonları arttıkça kök ve sürgünlerin yaş ve kuru ağırlıklarında azalma gözlenmiştir (Auda ve Emad, 2010). Buğday (*Triticum aestivum* L.) fidelerinde yapılan bir çalışmada; toprağa uygulanan Cd konsantrasyonları arttıkça kuru ağırlık azalmış, Cd konsantrasyonun dokudaki birikimi artmıştır (Kalinbacak, 2012). Narenciye'nin anaç köklerinde yapılan bir çalışmada, Cd' un yol açtığı oksidatif stresin etkilerini değerlendirmek amacıyla, fidanlar hidrofonik yöntemle 7 gün boyunca Cd konsantrasyonlarına maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak, Cd konsantrasyonuna maruz kalan köklerde oksidatif strese bağlı olarak; MDA, süperoksit radikali ($O_2 \cdot^-$), hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarı ve lipoksigenaz aktivitesi (LOX) artmıştır. Cd uygulamasında antioksidan

enzimler; CAT, SOD aktivitesi ve gayakol tipi peroksidaz (G-POD) artmıştır. Kök taze ve kuru ağırlığı, kök uzunluğu, yaprak kuru ağırlığı, kök / sürgün kuru ağırlık oranı azalmıştır, yaprak taze ağırlığı artmaktadır (Jouili, 2004). Kadmiyum stresi altındaki köklerde hücre ölümü artmaktadır. SA' nın, bitkilerde kadmiyum alımını önlemek suretiyle kökleri oksidatif stresin yarattığı hasardan koruyabileceği ileri sürülmektedir. Bu hipotezi test etmek için yapılan bir çalışmada; pirinç (*Oryza sativa* L.) bitkisinin 50 µM Cd'a maruz kalan grubu ve Cd'a maruz kalmayan diğer grubundaki köklerde hidrofonic deneyler yapılmıştır. Köklerde H₂O₂ düzeylerindeki değişiklikler, hücre ölümü, dokudaki Cd birikimi zamana bağlı olarak SA ön muamelesi eşliğinde çalışılmıştır. Cd ile muamele edilen köklerde MDA, H₂O₂ miktarı, peroksidaz, POD, SOD aktiviteleri artmıştır ve büyüme engellenmiştir. Cd ile muamele edilmeyen köklerde H₂O₂ artışı, Cd ile muamele edilene göre daha düşük bulunmuştur. SA ön uygulaması ile enzimatik olan ve olmayan antioksidanlar yükselmiş, H₂O₂ ve MDA miktarları düşmüştür. Bu çalışmada SA'nın oksidatif hasarı ve büyümenin engellenmesini azalttığı gözlenmiştir (Guo, 2009). Nikel, kadmiyum ve molibden'in şeker pancarında (*Beta vulgaris* L.) kuru ağırlık, nitrat içeriğine, nitrat redüktaz ve glutamin sentetazın aktivitesine, çözülebilir protein içeriğine etkileri araştırılmış ve söz konusu parametreler üzerinde en zararlı etkiye sahip ağır metalin Cd olduğu sonucuna varılmıştır (Kervesan vd., 1998). Kadmiyum uygulanan domates (*Lycopersicon esculentum* L.) fidelerinin yaprak ve köklerinin hücre membranında linoleik ve linolenik asit miktarının azaldığı tespit edilmiştir (Ouariti, 1997). Quariti ve arkadaşları tarafından domates (*Lycopersicon esculentum* L.) ve fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkilerinde yapılan bir çalışmada ise 0-50 mM CdCl₂ içeren besin çözeltilerinin 7 gün süre ile bitkilere uygulanması durumunda, kadmiyum uygulamasının sürgün ve kök kuru ağırlık üretimi üzerinde baskılayıcı etkileri belirlenmiş, ayrıca kadmiyum uygulanan bitkilerin kök ve yapraklarında nitrat redüktaz aktivitesinde azalmalar kaydedilmiştir (Quariti vd., 1997).

Bi ve arkadaşları (2009)' nın yaptığı çalışmada mısır (*Zea mays* L.) bitkilerinde Pb ve Cd yüksek konsantrasyonlarda önemli ölçüde etkiye neden olmuşlardır. Mısır bitkileri ile yapılan bu çalışma Cd'ın en çok kök yoluyla topraktan alındığını ortaya koymuştur. Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkilerinde yapılan çalışmada Cd konsantrasyonları arttıkça yaprakta ve kökte Cd miktarı artmıştır. Yaprakta konsantrasyonların artışıyla klorofil miktarları düşüş göstermiştir (Skórzyńska-Polit, 1998). Kadmiyum stresi altında bitkilerin su ve iyon alımının azalmasının en önemli nedeni kök büyüme ve gelişmesini engellemesidir. Ayrıca kadmiyum stresi altındaki bitkilerde stomaların kapanması

nedeniyle transpirasyonla su kaybı azaltmakta ve kadmiyum taşınması engellenmektedir (Salt vd., 1995).

1.3. Bakır toksisitesi



Şekil-6. Bakır metalinin fizikokimyasal yapısı

Atmosfer koşullarında metalik gri tonda bulunmayan iki metalden birisi olan kırmızımsı renkteki bakır, M.Ö. 5000 yılından beri tanınmaktadır ve adını ilk bulunduğu yer olan Kıbrıs'ın Latincesinden (aes cyprium = Kıbrıs cevheri, cyprium ve daha sonra cuprum) almıştır. Atomik numarası 29, moleküler ağırlığı $63.546 \text{ g.mol}^{-1}$ olan bakır, periyodik tablonun IB serisinde yer alan bir geçiş (transisyon) elementidir. Doğal ortamda kayalarda, toprakta, suda ve havada bulunmaktadır. Toprakta en fazla Cu (I) ve Cu (II) olmak üzere iki formu bulunan bakırın kirlenmemiş topraklardaki konsantrasyonu yaklaşık 10^{-6} - 10^{-7} M düzeylerindedir (Nriagu ve Pacyna, 1988; Kabata-Pendias, 1995). Dünyadaki birçok toprak bakır (Cu) kirlenmesine maruz kalmaktadır (Oliva, 2009 ve Peryea, 2001). Akdeniz Bölgesi bilindiği üzere seracılığın en yoğun yapıldığı, gübre ve tarım ilaçlarının yüksek miktarlarda tüketildiği bir bölgedir. Tarım ilacı olarak yoğun Cu içeren preparatlar kullanılmakta ve böylece toprakların Cu içerikleri artmaktadır. Yapılan çalışmada

topraklara farklı oranlarda Cu uygulanmış ve yetiştiricilik dönemi sonunda toprakta ve yaprakta bakır birikiminin olduğu belirtilmiştir. Bu durum canlı sağlığı bakımından tehlike oluşturmaktadır. Artan Cu dozları meyve sayısı, kök kuru ağırlığı ve bitki boyunu azaltıcı etkide bulunmaktadır (Sönmez vd., 2008). Bakır bitki bünyesinde enzim aktivasyonu, karbonhidrat ve lipid metabolizmasında yer alması nedeniyle önemli bir elementtir (Kacar ve Katkat, 2006).

Bakır kirliliği insan aktivitesi sonucu oluşan; emisyon ve atmosferik depositler, pestisit kullanımı, kanalizasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesi, kömür ve maden yataklarından kaynaklanmaktadır. Toprakta 100 mg/kg, bitki kuru maddesinde ise 15-30 mg/kg'dan daha fazla bakır toksik etkilidir. Bakır toksisitesi, genellikle bitki kök sistemlerinde açığa çıkar ve bitki bünyesinde protein sentezi, fotosentez, solunum, iyon alımı ve hücre membran stabilitesi gibi bazı fizyolojik olayların bozulmasına neden olur (Sossé vd.,2004). Ağır metal kirliliği içeren atık sular genellikle metal endüstriden kaynaklanmaktadır. Atık sular ağır metal kirliliği yönünden, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) düşük, genellikle asidik suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için zehirleyici nitelikte, kendi kendine inorganik karakterli sulardır. Bakır, teknolojik önemi nedeniyle endüstride geniş ölçüde kullanılmakta ve endüstriyel atıklardan belli miktarı besin zincirine girmektedir (İlındır vd., 2010). Bakır (Cu), yüksek konsantrasyonlarda bitkilerin ağır oksidatif hasar görmesine neden olabilmektedir (Madejón vd., 2009). Bakır toksisitesi, genellikle klorozis halinde kendini göstermektedir. Bakır toksisitesi ile yan köklerin gelişimi engellenmektedir. Kök sistemindeki zayıflama nedeniyle diğer elementlerin absorpsiyonu da azalmaktadır. Böylece genel olarak bitki büyümesi engellenmektedir (Kadioğlu, 1999). Mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde kök ucu, toprak kaynaklı stres faktörlerine karşı çok hassastır. Kök uçlarındaki Cu düzeylerinin artışına bağlı olarak SOD aktivitesi artmış, kök uzama oranı azalmıştır (Madejón, 2009). Pirinç (*Oryza sativa* L.) bitkisinde bakırın etkisini araştıran bir çalışmada; hidrofonik yöntemle 5 gün boyunca farklı Cu (0, 10, 50, 100 µM) konsantrasyonları uygulanması sürgün ve kök büyümesini, taze ağırlık kütesini azaltmıştır. Cu konsantrasyon artışına paralel olarak H₂O₂, SOD aktivitesi, MDA miktarı, glutatyon peroksidaz (GPX), glutatyon redüktaz (GR), APX, askorbat, prolin, glutatyon miktarları da artmıştır. Bu çalışmada Cu fazlalığı ROS oluşumunu uyarak oksidatif strese neden olmuştur (Thounaojam vd., 2012). *Amaranthus tricolor* fidanlarında yapılan başka bir çalışmada Cu'nun (0, 0.5, 2, 4 mM/kg) artan konsantrasyonuna bağlı olarak büyüme parametreleri, fotosentez, mineral madde içeriği ve

aktif oksijen metabolizması incelenmiştir. Yapraklarda fotosentetik pigment miktarları, kök ve sürgünde GSH miktarları azalmıştır. H_2O_2 , süperoksit miktarı, SOD, POD, APX ve CAT aktivitesi 0,5 μM Cu konsantrasyonu için artmıştır (Shi-sheng, 2007). Bakır toksisitesinin hıyar (*Cucumis sativus* L.) bitkisindeki fotosentez oranı üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, uygulamalarda 10 mg/g dozu kullanılmıştır. Hıyar (*Cucumis sativus* L.) yapraklarının bakır stresine karşı oluşturdukları tepkiler büyüme periyoduna göre değişmiştir. Fotosentezin olgun yapraklarda kontrole göre %52, genç yapraklarda ise % 27 oranında azaldığı belirlenmiştir (Dunand, 2002) . Cu ile yapılan bir başka çalışmada; domates (*Lycopersicon esculentum* L.) bitkisine uygulanmıştır. Domatesin yapraklarında POX aktivitesi ve CAT aktivitesi düşük konsantrasyonlar için geçici olarak artarken, yüksek konsantrasyonlarda azalma gözlenmiştir (Martins ve Mourato, 2006) . Ayçiçeğinde (*Helianthus annuus* L.) yapılan bir çalışmada; Cu toksisitesi yapraklarında SOD aktivitesini arttırmıştır (Jouili ve El Ferjani, 2004). Ayçiçeğinde (*Helianthus annuus* L.) yapılan başka bir çalışmada ise; Cu fazlalığında yapraklarda POX aktivitelerinin artmış olduğu gözlenmiştir (Jouili ve El Ferjani, 2003). İki saat süreyle Cu'a maruz bırakılan *Arabidopsis thaliana* bitkisi, köklerde oluşan etkileri erken görülmesine rağmen, yapraklarda bu etki daha geç görülmüştür (Opdenakker, 2012). Başka bir çalışmada bakır stresi altındaki *Arabidopsis thaliana* bitkisinde süperoksit dismutaz etkinliği araştırılmıştır. 0, 5 ve 50 μM Cu içeren besin solüsyonunda yedi gün boyunca yetiştirilen *Arabidopsis thaliana* yaprakların da GSH / GSSG oranında azalma gözlenmiştir. Cu stresine maruz kalan bitkilerin tümünde SOD etkinliği artmıştır (Drazkiewicz, 2007).

Bakır fazlalığının bitkilerde doğrudan en belirgin belirtisi klorozisdir. Gereğinden fazla bulunan bakır lipit peroksidasyonuna ve dolayısıyla membranların parçalanmasına yol açmak suretiyle bitkilerde klorozise neden olmaktadır (Keller ve Hammer, 2004). Stritesky'e (1973) göre bu durum bitkinin toprak üstü organlarının Cu içeriği ile yakından ilgilidir. Bakır toksisitesi bitkilerde demir noksanlığını teşvik eder ve demir eksikliğine neden olur (Ouzounidou vd., 1998) .Son zamanlarda, kirleticilerin etkilerini izlemek için biyomarkırlar kullanılması, yüksek ilgi görmüştür. Turp (*Raphanus sativus* L.) bitkisinde yapılan çalışmada bakırın farklı konsantrasyonlarında doz arttırıldıkça bitkideki MDA, SOD, POD, CAT artarken, yüksek konsantrasyonda karotenoid ve klorofil miktarları azalma göstermiştir (Sun vd., 2010). Toksik Cu konsantrasyonlarının oksidan strese neden olduğu, mısır (*Zea mays* L.) fidelerinin kök, gövde ve yapraklarındaki artan hidrojen peroksit (H_2O_2) ve malondialdehit (MDA) oluşumları ile kanıtlandığı gibi, yüksek

derecede teşvik edilmiş guaiakol peroksidaz (GuPX) aktivitesi ile artan düzeylerdeki MDA ve H₂O₂ arasında da paralel bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan, mısır fidelerinin bütün kısımlarındaki katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX) aktivitelerinin azaldığı ve artan MDA ve H₂O₂ birikimlerine paralel olmadığı tespit edilmiştir (Eryılmaz, 2007). Kahverengi pirinç (*Oryza sativa* L.) üzerinde yapılan bir çalışmada Cu ile muamele edildiği zaman pirincin tane verimliliğinin azaldığı görülmüştür (Yan vd., 2006). Arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkisinde yapılan çalışmada çeşitli bakır dozları kullanılmıştır. Artan Cu konsantrasyonlarında klorofil ve total protein miktarları azalmıştır, bununla birlikte CAT ve GPX aktiviteleri artmıştır (Demirevska-Kepova vd., 2004). Hint ginsengi (*Withania Somnifera* L. Dunal) bitkisine farklı konsantrasyonlarda Cu uygulanmıştır ve klorofil a, klorofil b, karotenoid miktarları konsantrasyonun artışına bağlı olarak azalma göstermiştir. Yaprak ve kök uzunlukları buna bağlı olarak azalırken, MDA, H₂O₂ miktarları artmış, CAT, SOD, GPX ise azalmıştır. Monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR) ,dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) artmıştır (Khatun vd., 2008). Su mercimeğinin (*Lemna minor* L.) yapraklarına uygulanan bakır sülfatın antioksidan enzim aktivitelerinde değişikliklere yol açtığı rapor edilmiştir. GR,GST aktiviteleri azalırken, G-POD, P, POD, CAT aktiviteleri azalmıştır (Teisseire vd., 2000).Yüksek bakır konsantrasyonları mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde ağır toksik zarara neden olmuştur (Radoviciu vd., 2009).

1.4. Kadmiyum'un Toksisitesi Üzerine Salisilik Asidin Etkileri İle İlgili Çalışmalar

SA'nın, ağır metallerin bitkiler üzerindeki zararlı etkilerini azalttığını gösteren birçok rapor bulunmaktadır (Mishra ve Choudhuri, 1999; Zhou vd., 2007\ 2009) .

Pirinç (*Oryza sativa* L.) köklerinde SA uygulamasının Cd'a karşı kök enine büyümesi ve kuru ağırlıktaki değişimi azalttığı, ayrıca oksidatif stresi düzenlediği tespit edilmiştir (Choudhry ve Panda., 2004). Cd stresi altındaki arpa (*Hordeum vulgare* L.) fidelerinde büyüme ve fotosentetik parametreler ile antioksidant enzimlerin aktivitesi üzerinde dışardan uygulanan SA'nın pozitif etkisi saptanmıştır (Ashraf vd ., 2003). Arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkisinde dıştan Cd uygulamasının kökte SA içeriğinde artışa neden olması, bitkilerde stres durumunda SA'nın potansiyel önemini ortaya koymaktadır (Ashraf vd., 2003). Mısır (*Zea mays* L.) bitkilerinde SA ön ıslatmasının Cd'ın toksisitesi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir makalede 500 µM SA'nın 6 saatlik ıslatma süreci sonrasında 12 günlük Cd uygulamasına karşı fideleri koruduğu tespit edilmiştir. Cd toksisitesine bağlı

olarak SA uygulaması MDA ve prolin artışını geri çekmiş, klorofil yıkımını azaltmıştır (Krantev vd., 2006). Mısır bitkilerinde yapılan bir diğer çalışmada, SA'nın genç mısır fidelerinin (*Zea mays* L. hibrit) metabolizmasındaki etkisi incelenmiştir ve Cd'nin toksik etkisinin bitkinin yapraklarındaki oksidatif hasarı azalttığı görülmüştür (Szalai vd., 2005). SA'nın kadmiyum (100 µM) toksisitesini hafifletici etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde; fide büyümesi, sürgün ve kök taze ağırlığı, oransal su içeriği (RWC), klorofil miktarı üzerindeki olumsuz etkiler azalmış, serbest prolin, çözünmüş şeker içeriği ve lipid peroksidasyonu daha düşük bir oranda gözlenmiştir. SA (500 µM) 'nın mısır (*Zea mays* L.) fideleri üzerinde kadmiyumun inhibitör etkilerini önemli ölçüde hafiflettiği gözlenmiştir (Mohsenzadeh vd., 2011). Kadmiyum ve bakır gibi metaller, hücresel düzeyde reaktif oksijen türleri (ROS) üretimini teşvik ederler. Reaktif oksijen türleri; DNA, protein, lipid gibi hücresel bileşenlerde geri dönüşümsüz hasarlara yol açar (Opdenakker, 2012). Bezelye (*Pisum sativum* L.) fidelerinde SA ön ıslatmasının Cd (0, 0,5, 1, 2, 5 µM) toksisitesini hafifletici etkileri araştırılmıştır. Yetiştirme ortamına SA eklendiğinde, bitkideki CO₂ asimilasyonu 1 ve 2 µM Cd için artmış, fakat diğer konsantrasyonlarda azalmıştır. Genel olarak enzim aktivitesi Cd konsantrasyonunun artışına bağlı olarak azalmıştır. SA ön uygulaması yapılan fidelerde lipid peroksidasyonu ve peroksidaz aktivitesi azalmıştır. Buna karşılık SA ön uygulamasız fidelerde prolin miktarı ve elektolit akışı daha fazla artış göstermiştir. FAME (yağ asidi metil esterleri), SA ön uygulamasız fidelerde 2 µM Cd konsantrasyonu için artma göstermiştir. SA uygulanmayan fidelerde, linolenik asit (18:3) 'de azalma meydana gelmiştir. SA ön uygulaması sadece 0.5 µM Cd için linoleik asit (18:2) miktarında artmaya yol açmıştır. 2 µM Cd konsantrasyonunda SA ön uygulamasız fidelerde aynı yağ asidinin miktarında artış gözlenmiştir (Popova vd., 2009).

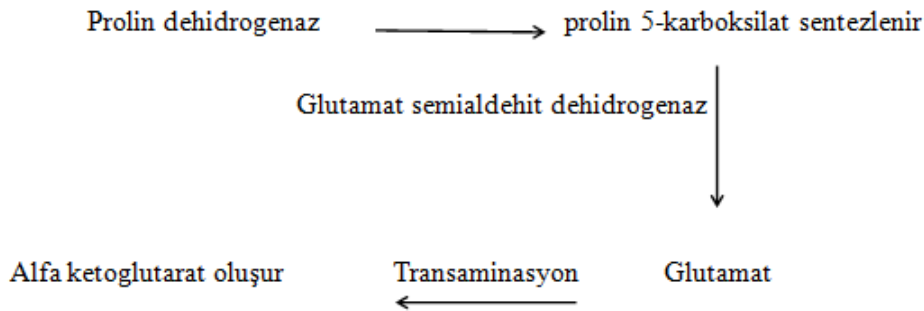
Hardal (*Brassica Juncea* L.) bitkilerinde yapılan çalışmada Cd toksisitesi üzerine SA'nın iyileştirici etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada prolin'in değeri Cd uygulandığında düşerken, Cd SA ile beraber uygulandığında ise prolin değeri artış göstermiştir. MDA ve H₂O₂ değeri ise Cd dozlarıyla artış göstermiş fakat SA uygulaması olduğunda azalmıştır. Bu çalışmada görülmüştür ki SA Cd'nin olumsuz etkilerini zayıflatmış ve oksidatif hasarı iyileştirmiştir (Ahmad vd. 2011). Salisilik asit'in dışsal uygulamasının bezelye (*Pisum sativum* L.) fidelerinde kadmiyum toksisitesini azaltabildiği bildirilmiştir (Popova vd., 2009). SA' nın bu tür hafifletme etkisi Cd stresi altında

yetiştirilen soya fidelerinde de incelenmiştir (Drazic ve Mihailovic, 2005). Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkilerinde yapılan çalışmada yağ asitlerinin değerleri Cd konsantrasyonları arttıkça azalmıştır. Gövde ve kök uzunluğu, yaprak, kök, gövde taze ağırlığı, Cd konsantrasyonları ile azalırken SA uygulamalarıyla artmıştır (Moradkhani vd., 2012). Bir başka çalışmada ise keten (*Linum usitatissimum* L.) bitkilerinde SA ile birlikte Cd'nin toksisitesinin bitki gelişimi, lipid peroksidasyonu ve yağ asidi kompozisyonu üzerine etkileri araştırılmıştır. Köklerde ve sürgünlerde Cd birikiminin arttığı ve SA uygulandığı zaman ise bitki büyümesinin korunduğu tespit edilmiştir. Cd yapraklarda total lipiti ve klorofil miktarını azaltırken, MDA miktarını artırmıştır. Fakat SA uygulanan yapraklarda ise tam tersi bir sonuç ortaya çıkmıştır. Yağ asitlerin de Cd'un 50 µM olan dozunda 16:0 ve 18:0 artmıştır. 18:2 ve 18:3 değerleri Cd'un tüm dozlarında artış gösterirken, 18:1 azalmıştır. SA uygulaması 18:1'i düşürürken, 18:2 ve 18:3'ü arttırmıştır (Belkhadi vd., 2010). Pirinç (*Oryza sativa* L.) bitkisinde yapılan çalışmada MDA içeriği Cd uygulaması ile artarken, SA uygulandığında MDA içeriği azalmıştır. H₂O₂ konsantrasyonu Cd uygulaması ile artarken, SA uygulandığında azalmıştır. POD, SOD, CAT aktivitesi Cd uygulandığında düşerken, SA uygulaması ile birlikte yükselme göstermiştir. GSH değeri Cd uygulaması ile artmış ve SA uygulandığında bu artış desteklenmiştir (Guo vd., 2007). Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) fidelerinde yapılan bir çalışmada artan Cd konsantrasyonlarına karşı SA uygulamasının iyileştirici etkisi incelenmiştir. Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) yapraklarında klorofil ve karotenoid miktarları Cd uygulandığında azalırken, SA uygulaması ile artış gözlenmiştir. SA uygulaması MDA miktarını azalttığı için, oksidatif hasar hafifletildiği bildirilmiştir (Saidi vd., 2013). Mısır (*Zea mays* L.) yapraklarında yapılan bir çalışmada Cd konsantrasyonu arttıkça membranlardaki doymuş yağ asidi (16:0, 18:0) miktarının arttığı, linolenik asit (18:3) miktarının azaldığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada SA ön uygulamasının yağ asidi profilindeki bu değişimleri hafiflettiği ve düşük Cd konsantrasyonlarından yağ asidi profilinin etkilenmediği rapor edilmiştir (Ivanova vd., 2009). Bir diğer çalışmada domates fidelerinde kadmiyum uygulamasının membran lipidlerini etkilemediği, palmitik asidi (16:0) arttırdığı, linolenik asidi azalttığı tespit edilmiştir (Quariti vd., 1997).

Proteinler, aminoasitlerin zincir halinde birbirlerine bağlanmasından oluşan büyük organik bileşiklerdir. Her proteinin kendisine has özelliklerinin olmasını sağlayan özel aminoasit dizilimleri vardır. Proteinlerin işlevlerinin çoğu, kendisini oluşturan amino asitlerin özelliklerinin tayin edilmesiyle anlaşılabilir. Protein zincirinde bir amino

asitin karboksil grubunun bir diğeri amino grubuna bağlanmasıyla oluşan peptit bağları mevcuttur. Her proteindeki aminoasit dizilimi özel bir gen tarafından tanımlanır. Yani her proteinin bir genetik kodu mevcuttur. Polisakkaritler, nükleik asitler ve yağlar gibi makro moleküllere benzer şekilde, proteinler de canlı organizmaların temel bileşenleri olup hücrelerin içindeki her süreçte aktif bir şekilde yer alırlar. Çoğu protein, biyokimyasal tepkimelerde katalizör işlevi gören enzimlerdir ve metabolizma için yaşamsal bir role sahiptir.

Prolin, proteinleri oluşturan 20 aminoasitten biridir. Diğer tüm aminoasitler birincil amino grubu taşımalarına rağmen, prolin yan zincirindeki üç karbon atomu bir halka oluşturarak tekrar peptit bağındaki nitrojen atomuna bağlandığı için, birincil amino (-NH₂) grubundan yoksundur. Prolindeki nitrojen (azot) aslında ikincil amino grubu olarak nitelendirilebilir. Prolin bazen aminoasit olarak da adlandırılmaktadır. Aslında, IUPAC adlandırma sistemine göre imin grupları karbon-nitrojen arasında çift bağ bulunmasını gerektirir. Biyolojik terminolojide, aminoasit listesi genellikle prolini de içermektedir. Prolinon-esansiyel ve glukojenik bir aminoasittir. Sentezi ve yıkımı alfa ketoglutaratüzerinden olur. Prolin dehidrogenaz aktivitesi ile prolin 5-karboksilat sentezlenir. Prolin 5-karboksilattan glutamat semialdehit dehidrogenaz ile glutamat oluşur ve bunu glutamatın transaminasyonu ile alfa ketoglutarat oluşumu izler.



Şekil 7. Prolin sentezi ve yıkımının metabolik yolu

Bitkilerde "stres metabolitleri" birikimi de ağır metaller ile tetiklenen olabilir. Bu metabolitler arasında, prolin muhtemelen bitkilerde en yaygın olanıdır. Buna ek olarak, prolin birikimi sadece çevresel stres göstergesi olarak kabul edilmez, aynı zamanda ağır

metal stresine karşı önemli bir koruyucu rol oynadığı düşünülmektedir (Alia-Saradhi, 1991; Sharma vd., 1998). Serbest prolin bitkilerde Cd iyonu ile şelat ve toksik olmayan bir Cd-prolin kompleksi oluşturduğu bilinmektedir (Sharma vd., 1998).

Tuz stresinde prolin birikiminin kesin rolü tam olarak tespit edilememesine karşın, genel olarak prolinin tuza dayanıklılığın bir göstergesi olarak çalıştığı kabul edilmektedir (Lin vd., 1996 ; Lutts vd., 1996) . Stres koşullarında büyüme gelişme gösteren bitkilerde prolin birikimi türe özgü nitelik taşımakta, ayrıca aynı türün varieteleri arasında bile farklılıklar göstermektedir (Cavalieri vd., 1979 ; Singh vd., 1972). Kadmiyum stres altında yetiştirilen su teleği (*Groenlandia densa*) bitkisinde artan Cd konsantrasyonlarına bağlı olarak MDA, GSH, prolin değerlerinin arttığı gözlenmiştir (Yılmaz vd., 2011). *Solanum nigrum* L. bitkisinde yapılan bir çalışmada Cd uygulanan bitki de prolin miktarı 50µM seviyesinde en yüksek artışı göstermiştir (Sun vd., 2007). Buğday (*Triticum aestivum* L.) fidelerinin kök ve yapraklarında yapılan bir çalışmada, buğday fidelerine Zn çözeltileri verildiğinde prolin miktarı hem kökte hem de yaprakta artarken, kökte yaprağa göre daha fazla artmıştır (Li vd., 2013). Sarmak (*Atriplex halimus* L.) bitkisinde yapılan bir çalışmada hidrofonik şekilde bitkiye Cd verildiğinde, artan Cd konsantrasyonları ile birlikte prolin içeriği artmıştır (Nedjimi ve Daoud, 2008). Mısır fidelerinde yapılan bir çalışmada bakır klorür uygulanan mısır fidelerinde bakır konsantrasyonunun artışına bağlı olarak prolin içeriği artış göstermiştir (Wen vd., 2013). Tatlı mısır sürgünlerinde ki prolin içeriği CuCl₂ muamelesinden sonra artış göstermiştir (Chen vd., 2001). Kurşun stresine maruz kalan buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinde prolin metabolizmasındaki artış, artan prolin düzeyleri ile ilişkili bulunmuştur (Yang vd., 2011). Kadmiyum stresinde soya fasulyesi bitkilerinin köklerinde prolin seviyeleri artmıştır (Balestrasse vd., 2005). Yer fıstığı (*Arachis hypogaea* L.) fidelerinde yapılan bir çalışmada fidelere Cd'nin artan dozları uygulandığında prolin miktarında artış gözlenmiştir (Dinakar vd., 2008).

Malondialdehit (MDA), membran lipid peroksidasyonunun önemli bir son ürünüdür. Herhangi bir stres faktörünün hücre membranları üzerinde lipid peroksidasyonuna ne ölçüde yol açtığını bu ürünün miktarına bakarak tayin etmek mümkündür (Choudhury vd., 2004).

Glutasyon (GSH), hücrelerde suda çözünebilir formlarda bulunan düşük molekül ağırlıklı antioksidan bir moleküldür (Travacio vd., 2000). Glutasyon genellikle tüm hücrelerde milimolar (mM) düzeylerde bulunur (Sen vd., 1997). Hücre içi GSH derişimi

hücre tipine bağı olarak 0.5-10 mM arasında değışmektedir. GSH'ın hücre içi lokalizasyonu incelendiğinde, sitoplazma ve mitokondriye ait havuzların, GSH içeriklerinin birbirinden farklı olduğı tespit edilmiştir. Sitosolik havuzun GSH içeriğı hücre sel savunma fonksiyonu ile karakterize edilirken, mitokondriyal havuzun GSH içeriğı mitokondrinin fonksiyonlarının korunabilmesi açısından gerekli olduğı düşünölmektedir (Reed vd., 2001) .

2. MATERYAL ve METOT

2.1. MATERYAL

Mısır (*Zea mays* L.), kapalı tohumlular bölümünün (*Angiospermeae*), tek çenekliler sınıfına (*Monocotyledonae*) giren, buğdaygiller (*Poaceae*) familyasına ait tek yıllık otsu bir bitkidir. Gelişmiş bir kök sistemine sahip olan mısır bitkisinde embriyonal kökler, genellikle bitkinin yaşamı boyunca görevlerini sürdürmelerine rağmen, asıl kök sistemi, erken fide evresinde ilk yaprağın çıkışından sonra, gövdenin toprak yüzeyinin 3–5 cm altındaki boğumlarından çıkan ek köklerden ve toprak yüzeyinin hemen üstündeki 1–3. boğumdan çıkan destek köklerden oluşur. Ek kökler 60–80 cm yanlara, 2–2,5 m derinlere yayılabilir. Kök derinliği, toprağın yapısı, sıcaklığı, nemi ve havasına bağlı olarak değişebilir (Elçi, 1987; Kün, 1997). Kırtok'a göre (1998) mısır danesinin kimyasal bileşimini % 70 nişasta, % 10-15 protein, % 5 yağ, % 2 şeker, % 2 kül ve pentozanlar oluşturur. Farklı görüşler ileri sürülse de, son araştırmalar mısır bitkisinin orijininin ve gen merkezinin Amerika olduğunu göstermektedir. Güney Amerika'da binlerce yıldır kültürünün yapıldığını gösteren arkeolojik ve paleobotanik kanıtlar bulunmuştur (Benson ve Pearce, 1987; Brenner, 1991).

Bileşikler	Ortalama	Olması gereken sınırlar
Kuru madde	8,90	87-91
Nişasta	72,0	64-78
Protein	10,0	9,3-10,7
Yağ	4,4	4,0-4,8
Selüloz	2,2	2,1-2,3
Kül	1,3	0,9-1,5

Şekil 8. Mısır tanesinin organik madde içeriği (Kırtok, 1998).

Mineral element	Olması gereken birimler	Mevcut değerler
Kalsiyum	%	0,0128
Fosfor	%	0,3655
Potasyum	%	0,3400
Demir	%	0,003
Magnezyum	%	0,1360
Sodyum	%	0,0408
Klor	%	0,0240
Sülfür	%	0,1190
İyot	%	0,00001
Çinko	%	0,0017
Bakır	%	3,1750
Kobalt	mg/lb	0,0043
Florin	mg/lb	0,3000

Şekil 9. Mısır tanesinin mineral element içeriği (% 85 kuru madde üzerinden)
(Kırtok,1998).

Mısır tipik bir sıcak iklim tahılıdır. Minimum çimlenme sıcaklığı 9-10°C olup, optimum çimlenme sıcaklığı 18°C' nin üzerindedir. En uygun büyüme sıcaklığı ise 20-30°C arasında yer almaktadır (Lagriffoul, 1998). Mısır bitkisinin nem isteği de fazladır. Mısır için optimum ve minimum bağıl nem değerleri sıcaklığa ve alınabilen su miktarına bağlı olmakla birlikte; genel olarak nem % 60' ın altına düşmemesi gerekir. Mısır bitkisi suyu oldukça ekonomik biçimde kullanır. Birim kuru madde yapımı için tükettiği su miktarı öteki tahıllara göre azdır. Ancak, toplam yaprak yüzeyinin, dolayısıyla fotosentez ve transpirasyon alanının fazla ve meydana getirdiği kuru madde miktarının yüksek olduğu düşünüldüğünde su tüketimi de artacaktır. Yapılan tez çalışmasında kullanılan bitki materyali; Arzuman firmasına ait olup, tür adı haşlamalık mısır olarak geçen (Parti No: TR 42.1082.1102, Paketleme Tarihi: Ocak 2012) standart tohum etiketli mısır kullanıldı.

Biz bu çalışmada, önceden yapılmış araştırmaların ışığında farklı kadmiyum (Cd) ve bakır (Cu) konsantrasyonlarının mısır (*Zea Mays* L. cv) fidelerinde yarattığı toksik etkiye karşı, salisilik asit (SA) ön ıslatmasının fizyolojik ve biyokimyasal bazı parametreler üzerinde hafifletici ya da teşvik edici etkilerini araştırmayı amaçladık.



Şekil-10. Metal uygulaması öncesi saf su ile ıslatılmış tohumlardan gelişen 15 günlük fidelerin genel görünümü



Şekil- 11. Metal uygulaması öncesi SA ile ıslatılmış tohumlardan gelişen 15 günlük fidelerin genel görünümü

2.1.1. Test Çözeltilerinin Hazırlanması

CdCl_2 sulu çözeltisi hazırlamak için, molekül ağırlığı 183,31 olan CdCl_2 bileşiğinden 1000 mM'lık stok çözelti hazırlandı ve bu çözeltiden seyreltme yöntemi kullanılarak test çözeltileri olan 0, 10, 50, 75 μM lık konsantrasyonlar oluşturuldu.

CuCl_2 sulu çözeltisi hazırlamak için, molekül ağırlığı 106,40 olan CuCl_2 bileşiğinden 1000 mM'lık stok çözelti hazırlandı ve bu çözeltiden seyreltme yöntemi kullanılarak test çözeltileri olan 0, 5, 10, 20 mMlık konsantrasyonlar oluşturuldu.

0.5 mM SA sulu çözeltisi hazırlamak için; 0,14 gram SA alınır üzerine örtecek kadar etil alkol bırakıldı ve 1 gün çözünmesi beklendi. Daha sonra üzerine 1 lt saf su konularak çözelti oluşturuldu.

2.1.2. Bitki Materyaline Yapılan Uygulamalar:

Deney materyalimiz olan mısır fidelerini yetiştirmek için, tamamen homojen olan (uniform) tohumlar seçildi ve eşit miktarda iki gruba ayrılarak, bir grup 0.5 mM SA ile diğer grup ise saf su ile ıslatıldı ve karanlıkta 6 saat 23-25 °C'de bekletildi. Bu sürenin sonunda tohumlar hava alabilecekleri kapaklı çimlendirme kutularına dizilerek, 3 gün

süreyle 23-25 °C’de karanlıkta çimlenmeye bırakıldı. Daha sonra radikula uzunlukları eşit büyüklükte olan çimlenmiş tohumlar seçilerek önceden hazırlanan belirli oranlarda kum ve toprak karışımıyla doldurulmuş plastik saksılara ekildi. Burada fideler uzun gün periyodunda (16/8) normal gün ışığında 15 günlük oluncaya kadar belirli aralıklarla ve eşit miktarda musluk suyu ile sulandı. 15 günlük fidelerden, tamamen homojen büyüyen fideler seçilerek deney materyali olarak kullanıldı. 15 günlük mısır fideleri aynı sayıda fideden oluşan 2 gruba ayrıldı. Biz çalışmamızda 2 farklı metal uyguladığımız için grup sayımız 16 olmaktadır. İlk sekizerli gruba ait fideler hidrofonic yöntem kullanılarak CdCl₂’den hazırlanan farklı kadmiyum konsantrasyonlarına (0, 10, 50 ve 75 µM) 2 gün boyunca maruz bırakıldı. Diğer sekizerli gruba ait fideler ise CuCl₂ ‘den hazırlanan farklı bakır konsantrasyonlarına (0, 5, 10, 20 mM) 4 gün boyunca maruz bırakıldı. Daha sonra farklı uygulamalar görmüş gruplara ait fidelerde çeşitli büyüme parametreleri (fide boyu, fidelerin yaprak ve köklerinde taze ağırlığı gr başına mg cinsinden kuru ağırlık miktarı) tespit edildi, pigment, prolin, MDA, redükte glutatyon ve yağ asidi analizleri yapıldı.

2.1.3. Kimyasal Maddeler ve Organik Çözücüler:

Salisilik asit, kadmiyum klorür, bakır klorür, aseton, sülfosalisilik asit, ninhidrin, etil alkol, Na₂HPO₄, glasiyel asetik asit, toluen, sodyum fosfat tamponu, trikloroasetik asit (TCA), 2-thiobarbutirik asit (TBA), sodyum hidroksit, biüret reaktifi, folin reaktifi, hidroklorik asit, Butilhidroksitoluen (BHT), bütanol, hexan, heptan, methanol, yağ asidi standardı, N-tert-Butildimetihisilil-N-metiltrifluoroasetamid (MTSFA), prolin, glutatyon redüktaz (GSH) ve protein standardıdır. Kullanılan bu kimyasallar Merck, Sigma ve Fluka firmalarından temin edildi.

2.1.4. Kullanılan Aletler ve Cihazlar:

Homojenizatör, etüv, döner buharlaştırıcı (rotavapor), UV spektrofotometre, HPLC, Gaz kromatografisi (GC) , vorteks, sonikasyon, hassas terazi, otomatik pipetler, buzdolabı, su banyosu kullanıldı.

2.2.METOTLAR

2.2.1. Bitkide Tespit Edilen Parametreler ve Yapılan Kimyasal Analizler

2.2.1.1. Büyüme Parametrelerinin Alınması:

Bu amaçla bütün gruplarda başlangıçta çok homojen fideler kullanıldığından sadece nihai boy ölçümleri esas alındı. Metal uygulamasından sonra fidelerin son ağırlıkları tespit edildi. Uygun paketlemeler ve işaretlemeler yapılarak 105 °C' lik etüvde 3-6 saat aralıklarla sabitleşmiş kuru ağırlıkları tespit edildi. Böylelikle taze ağırlık başına düşen kuru madde miktarı belirlendi (mg KA. g⁻¹ TA).

2.2.2.2. Klorofil (a+b) ve Karotenoid İçeriğinin Belirlenmesi:

Uygulama yapılan bütün gruplardan ayrı ayrı 0,5 g taze yaprak dokusu materyal olarak kullanıldı. Steril bir havanda küçük parçalara ayrılan yaprak dokusu 40 ml % 80' lik aseton ile 3-4 dakika ezildi ve yeşil renkli bir ekstrakt elde edildi. Daha sonra bu ekstrakt buhner hunisi ile vakumlanarak süzüldü. Geri kalan tortu 30 ml % 80'lik aseton ile tekrar ezildi. Bu işlem tortunun rengi tamamen renksizleşinceye kadar sürdürüldü ve buhner hunisi ile süzülerek süzüntüler birleştirildi. Geriye kalan renksiz tortu % 80'lik asetonla yıkanarak toplam süzüntünün son hacmi 100 ml' ye tamamlandı. Bütün bu işlemler her bir grup için ayrı ayrı yapıldı. Daha sonra spektrofotometre de ekstraktların 440, 645, 652 ve 663 nm dalga boylarında ayrı ayrı absorbanları köre karşı okundu. Elde edilen absorban değerlerinden mg.g⁻¹ taze ağırlık cinsinden pigment tayinine gidildi (Witham, 1971) .

2.2.2.3. Prolin (PrI) Analizi:

Mısır fidelerinin kök ve yapraklarında olmak üzere iki farklı dokuda çalışıldı. Bu amaçla bütün gruplar için ayrı ayrı eşit miktarda doku kullanıldı. 1'er g taze yaprak ve kök (nodülleri ayıklanmış) dokusu steril bir makasla parçalara bölünerek materyal olarak kullanıldı. Örnekler falkon tüplerine konuldu. Bundan sonra üzerine % 3 lük sülfosalisilik asit eklenerek 4 dakika süreyle homojenize edildi. Falkon tüplerinde olan karışımlar 6500 rpm de 10 dk santrifüj edildi. Bu süreç sonunda faz ayrımı oldu. Üst faz ayrı bir tüpe alındı. Daha sonra her örnekten 1 ml örnek alınarak başka deney tüpüne alındı ve sonra üzerlerine 1ml ninhidrin-asit karışımı (1.25 gr ninhidrin+30 ml 6 M fosforikasit+20 ml asetik asit) eklendi ve tekrar üzerlerine 1ml glasiyel asetik asit eklendikten sonra örnekler

vortekslendi ve daha sonra 100°C’de 1 saat su banyosunda kaynatıldı. Süre sonunda örnekler çıkarılıp soğumaya bırakıldı. Soğuduktan sonra üzerlerine 2 ml toluen eklendi. Kromofor içeren toluen fazı aspire edilerek oda sıcaklığına gelmesi beklendi. Spektrofotometre de 520 nm’de absorbansları okundu. Spektrofotometre de okunan absorbans değerleri prolin standart eğrisinde yerine konularak buna karşılık gelen prolin konsantrasyonu $\mu\text{mol.g}^{-1}$ taze ağırlık cinsinden tespit edildi (Bates, 1973).

2.2.2.4. Malondialdehit (MDA) Analizi:

Mısır fidelerinin kök ve yapraklarında olmak üzere iki farklı dokuda çalışıldı. Bu amaçla bütün gruplar için ayrı ayrı eşit miktarda doku kullanıldı. 1’er g taze yaprak ve kök doku (nodülleri ayıklanmış) steril bir makasla parçalara bölünerek materyal olarak kullanıldı. Örnekler falkon tüplerine konuldu ve üzerine 10 ml % 0,1’lik TCA ilave edilerek steril bir havanda parçalandı. Elde edilen homojenat 3 santrifüj tüpüne eşit şekilde ayrılarak ve 6000 gravitede 15 dakika santrifüj yapıldı. Santrifüjden sonra üst fazlar ayrı ayrı üç tüpe alınır ve tüplere 4’er ml % 0,5’lik TBARS ilave edilir ve vortekslendi. Daha sonra her bir tüpe 0,4’er ml BHT ilave edilir. 95 °C’de 30-45 dakika ısıtıldı ve buz banyosunda soğutuldu (oda sıcaklığında 10-15 dakika beklendi). Her bir tüpe 3’er ml bütanol ilave edildi, vortekslendi ve santrifüj yapılarak süpernatant kısmı otomatik pipetle dikkatli bir şekilde bir tüpe toplandı. Spektrofotometre de 532 nm’de köre karşı absorbansları okundu. Spektrofotometre de okunan absorbans değerleri TBARS standart eğrisinde yerine konularak buna karşılık gelen malondialdehit konsantrasyonu nmol.g^{-1} taze ağırlık cinsinden tespit edildi (Heath ve Packer, 1968).

2.2.2.5. Glutasyon (GSH) Analizi:

Mısır fidelerinin kök ve yapraklarında olmak üzere iki farklı dokuda çalışıldı. Bu amaçla bütün gruplar için ayrı ayrı eşit miktarda doku kullanıldı. 1’er g taze yaprak ve kök doku (nodülleri ayıklanmış) steril bir makasla parçalara bölünerek materyal olarak kullanıldı. Örnekler ayrı ayrı erlenler içine konuldu. Üzerine 30 ml % 5’lik TCA eklenerek homojenize edildi. elde edilen homojenat 6000 gravitede 4 °C’de 15 dakika süreyle santrifüj edildi. Süpernatant’ın pH’ sı 7,5’ e ayarlandı ve 412 nm’ de absorbansı okundu. Absorbans sonuçları GSH için hazırlanan standart eğride yerine konularak, $\mu\text{g.g}^{-1}$ taze ağırlık olarak yorumlandı (Ellman, 1959; Griffith, 1980) .

2.2.2.6. Yağ Asidi (FA) Analizi

Mısır fidelerinin kök ve yapraklarında olmak üzere iki farklı dokuda çalışıldı. Bu amaçla bütün gruplar için ayrı ayrı eşit miktarda doku kullanıldı. 1'er g taze yaprak ve kök dokusu (nodülleri ayıklanmış) steril bir makasla parçalara bölünerek materyal olarak kullanıldı. Örnekler falkon tüplerine konuldu. Bundan sonra üzerine 10 ml tris tamponu (TRİS Baz, TRİS HCL, EDTA) eklenerek 4 dakika süreyle homojenize edildi. Falkon tüplerinde olan karışımlar 6000-7000 rpm de 10 dk santrifüj edildi. Bu süreç sonunda faz ayrımı oldu. Üst faz ayrı bir tüpe alındı ve yağ asidi için alt fazda kalan falkon tüplerinde kalan pelet üzerine 10 ml BHT'li hexan / izopropil alkol (3/2, v/v) eklendi ve homojenize edildi. Homojenizasyondan sonra numune 7000 rpm de 10 dk santrifüj edildi. Üst fazlar tüplere alındı. Sıvı üzerine % 2'lik methanol sülfürik asitten 5 ml örneklerin üzerine ilave edildi. Sonra bu örnekler 55 °C etüvde 12-55 saat bekletildi. Süre sonunda örnekler etüvden çıkarılarak soğumaya bırakıldı. Soğuduktan sonra çıkarılan örneklerin üzerine 5 ml % 5'lik NaCl çözeltisi eklendi ve hemen ardından 5 ml Hekzan (n- Hexan) ilave edildi ve vorteksle karıştırıldı. Oda sıcaklığında 3-5 saat beklendi. Süre sonunda üst faz alındı, alt faz döküldü ve üst faz aynı deney tüpüne alındı ve üzerine 5 ml %2'lik KHCO₃ ilave edildi ve 2-3 saat oda sıcaklığında bekletildi. Süre sonunda üst faz küçük tüplere alındı ve alt faz döküldü ve örnekler 37-40 °C etüvde uçmaya bırakıldı. Uçma meydana geldikten sonra örnek kalıntılarının olduğu deney tüplerine 1 ml heptan eklendi ve örnekler vorteksledikten sonra 1 ml örnek viallere alınıp GC'de analiz edildi (Cristie, 1990 ; Hara ve Radin, 1978). Bu amaçla her yağ asidi için özel marker ile hazırlanan standart pikler kullanıldı. Yağ asidi miktarları ağırlığın % değeri olarak verildi.

İstatistik Analizler:

Çalışmamızdaki bütün parametreler 3 tekrarlı olarak analiz edildi. Verilerin doğruluk değerleri SPSS 15 paket programı kullanılarak ortalama ve One -way ANOVA ile test edildi. Gruplar arasındaki farklılıklar $P \leq 0.05$ önemlilik seviyesinde ayırt edildi.

3. BULGULAR

Bu araştırmada farklı kadmiyum (0, 10, 50 ve 75 μ M) ve bakır (0, 5, 10, 20 mM) konsantrasyonlarının mısır fidelerine uygulanmasından önce, salisilik asit ön ıslatmasının kadmiyum'a ve bakır'a verilen fizyolojik ve biyokimyasal cevaplar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, salisilik asit ön ıslatması 0.5 mM konsantrasyonunda ve 6 saat şişirme şekilde tasarlanmıştır. Daha sonra farklı kadmiyum ve bakır konsantrasyonları gruplara ayrı ayrı uygulanmıştır. Uygulamaların tümü kökler aracılığıyla hidrofonic yöntem ile yapılmıştır. 48 saatlik Cd ve 72 saatlik Cu uygulamasından sonra fideler de büyüme parametreleri (fidelerde kök ve yaprak boyu, fidelerin kök ve yapraklarında taze ağırlık başına kuru ağırlık miktarı (mg /gr), yapraklarda pigment, ayrıca kök ve yapraklarda prolin, malondialdehit, redükte glutatyon (GSH) miktarları ve yağ asitleri bakımından analiz yapılmıştır.

3.1. Büyüme Parametrelerindeki Değişiklikler

Fidelere yapılan uygulamaların kök ve yapraktaki büyüme parametreleri üzerine etkileri incelendiğinde genelde, kontrol grubu fidelerine kıyasla salisilik asit ön ıslatmalı ve ön ıslatmasız bütün gruplarda anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Uygulama yapılan fidelerin kök uzunluklarında kontrole kıyasla; 10 μ M Cd, 50 μ M Cd, 75 μ M Cd, SA+ 50 μ M Cd ve SA+75 μ M Cd grupları için sırasıyla; % 12.19, % 44.52, % 64.92, % 24.12 ve % 51.74 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Sadece SA (kontrol) grubu fidelerinde; % 25.12 oranında artış gözlenmiştir ($P \leq 0,05$). Fakat SA+10 μ M Cd grubunda artış olmasına rağmen istatistikî açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 10 μ M Cd a göre SA+10 μ M Cd gruplarında; % 17.56 oranında artış, 50 μ M Cd a göre SA+50 μ M Cd gruplarında; % 36.77 oranında artış, 75 μ M Cd a göre SA+75 μ M Cd gruplarında; % 37.58 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yaprak uzunluklarında kontrole kıyasla; 10 μ M Cd, 50 μ M Cd, 75 μ M Cd, SA+10 μ M Cd, SA+50 μ M Cd ve SA+75 μ M Cd grupları için sırasıyla; % 19.29 , % 37.88, % 54.58, % 2.82, % 28.47 ve % 49.64 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Sadece SA grubu fidelerinde % 10.35 artış gözlenmiştir

($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 10 μM Cd' a göre SA+10 μM Cd grubunda; % 14.51 oranında artış, 50 μM Cd' a göre SA+50 μM Cd grubunda; % 15.47 oranında artış ve 75 μM Cd' a göre SA+75 μM Cd grubunda ; % 37.11 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin kök uzunluğunda ise kontrole kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 18.17 , % 28.60 , % 51.56 , % 3.13 , % 15.86 ve % 39.03 oranlarında azalma gözlenmiştir ($P \leq 0,05$). SA (kontrol) grubunda ise; % 17.74 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında ise; 5 mM Cu a göre SA+5 mM Cu gruplarında; % 18.36 oranında artış, 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 17.83 oranında artış, 20 mM Cu a göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 25.86 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yaprak uzunluklarında kontrole kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+ 5 mM Cu, SA+ 10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 30.83 , % 41.05 , % 64.59 , % 20.31, % 31.93 ve % 51.45 oranlarında azalma gözlenmiştir ($P \leq 0,05$). SA grubunda ise; % 6.02 oranında artış gözlenmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında ise; 5 mM Cu a göre SA+ 5 mM Cu gruplarında ; %14.51 oranında artış, 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 15.47 oranında artış, 20 mM Cu a göre SA+20 mM Cu gruplarında ; % 37.11 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).



Şekil-12. Kontrol (saf su ve SA) fidelerinin genel görünümü

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde taze ağırlık başına düşen kuru ağırlık miktarları (mg/gr) kontrole kıyasla; 10 μ M Cd, 50 μ M Cd, 75 μ M Cd, SA+ 50 μ M Cd ve SA+ 75 μ M Cd grupları için sırasıyla; % 2.79, % 15.96, % 23.77, % 12.23 ve % 17.01 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Sadece SA grubu fidelerinde % 3.96 oranında artış gözlenmiştir ($P \leq 0,05$). Fakat SA+ 10 μ M Cd grubunda artış olmasına rağmen istatistikî açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 10 μ M Cd ya göre SA+ 10 μ M Cd gruplarında; % 2.51 oranında artış, 50 μ M Cd ya göre SA+50 μ M Cd gruplarında; % 4.43 oranında artış, 75 μ M Cd ya göre SA+ 75 μ M Cd gruplarında; % 8.86 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).



Şekil-13. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 10 μ M Cd konsantrasyonlu fideler.

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında taze ağırlık başına düşen kuru ağırlık miktarları (mg/gr) kontrole kıyasla; 10 μ M Cd, 50 μ M Cd, 75 μ M Cd, SA+10 μ M Cd, SA+50 μ M Cd ve SA+ 75 μ M Cd gruplarında sırasıyla; % 6.18, % 13.76 , % 34.21, % 2.52, % 7.44 ve % 22.72 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Sadece SA grubu fidelerinde % 7.70 artış gözlenmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 10 μ M Cd ya göre SA+10 μ M Cd gruplarında; % 3.90 oranında artış, 50 μ M Cd ya göre SA+50 μ M Cd gruplarında; % 7.32 oranında artış, 75 μ M Cd ya göre SA+75 μ M Cd gruplarında; % 17.46 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).



Şekil-14. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 50 µM Cd konsantrasyonlu fideler.



Şekil-15. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 75 µM Cd konsantrasyonlu fideler

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde taze ağırlık başına düşen kuru ağırlık miktarları (mg/gr) kontrole kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+ 5 mM Cu , SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 8.22 , % 12.33 , % 16.99 , % 6.49, % 10.82 ve % 15.25 oranlarında azalma göstermiştir. SA ve gruplarında ise; % 6.49 oranında artış göstermiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında ise; 5 mM Cu ya göre SA+ 5 mM Cu gruplarında; % 1.88 oranında artış, 10 mM Cu ya göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 1.72 oranında artış, 20 mM Cu ya göre SA+ 20 mM Cu gruplarında; % 2.08 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında taze ağırlık başına düşen kuru ağırlık miktarları (mg/gr) kontrole kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+ 5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 11.87, % 16.32, % 19.74, % 7.30, % 10.73 ve % 14.15 oranlarında azalma göstermiştir. SA grubunda ise; % 6.27 oranında artış göstermiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında ise; 5 mM Cu ya göre SA+ 5 mM Cu gruplarında; % 5,18 oranında artış, 10 mM Cu ya göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 6.68 oranında artış, 20 mM Cu ya göre SA+ 20 mM Cu gruplarında; % 6.97 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).



Şekil-16. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 5 mM Cu konsantrasyonlu fideler



Şekil-17. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 10 mM Cu konsantrasyonlu fideler



Şekil-18. SA ile ıslatılmamış ve ıslatılmış 20 mM Cu konsantrasyonlu fideler

Tablo 1. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyum'un kök ve yaprak boyu artışı üzerine etkileri

Fide Boyu değişimi (mm/cm)	Kök		Cd			
		SA	0	10	50	75
		0	4,02±0,008	3,53±0,004*	2,32±0,004*	1,41±0,009*
		0,5	5,03±0,005*□	4,13±0,004□	3,05±0,008*□	1,94±0,008*□
	Yaprak	0	4,25±0,010	3,43±0,008*	2,64±0,004*	1,93±0,006*
		0,5	4,69±0,007*□	4,13±0,062*□	3,04±0,004*□	2,14±0,005*□
	*:Kontrolle kıyasla □: Gruplar arası; p≤0.05olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 10)					

Tablo 2. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, bakır'ın kök ve yaprak boyu artışı üzerine etkileri

Fide Boyu Değişimi (mm/cm)	Kök		Cu			
		SA	0	5	10	20
		0	4,79±0,024	3,92±0,004*	3,42±0,005*	2,32±0,004*
		0,5	5,64±0,010*□	4,64±0,005*□	4,03±0,006*□	2,92±0,005*□
	Yaprak	0	5,48±0,020	3,79±0,009*	3,23±0,013*	1,94±0,010*
		0,5	5,81±0,012*□	4,34±0,012*□	3,73±0,005*□	2,66±0,012*□
	*:Kontrole kıyasla □: Gruplar arası; p≤0.05olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 10)					

Tablo 3. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyum'un kök ve yaprakta ağırlık artışı üzerine etkileri

Ağırlık değişimi (mg KA\ gr TA)	Kök		Cd			
		SA	0	10	50	75
		0	8,58±0,012	8,34±0,018*	7,21±0,011*	6,54±0,012*
		0,5	8,92±0,008*□	8,55±0,011□	7,53±0,023*□	7,12±0,006*□
	Yaprak	0	7,92±0,004	7,43±0,003*	6,83±0,008*	5,21±0,016*
		0,5	8,53±0,006*□	7,72±0,003*□	7,33±0,006*□	6,12±0,007*□
	*:Kontrole kıyasla □: Gruplar arası; p≤0.05olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 10)					

Tablo 4. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, bakır'ın kök ve yaprakta boyu artışı üzerine etkileri

Ağırlık değişimi (mg KA\ gr TA)	Kök		Cu			
		SA	0	5	10	20
		0	9,24±0,014	8,48±0,018*	8,10±0,012*	7,67±0,037*
		0,5	9,84±0,012*□	8,64±0,006*□	8,24±0,008*□	7,83±0,006*□
	Yaprak	0	8,76±0,015	7,72±0,006*	7,33±0,006*	7,03±0,007*
		0,5	9,31±0,012*□	8,12±0,006*□	7,82±0,004*□	7,52±0,005*□
	*:Kontrole kıyasla □: Gruplar arası; p≤0.05 olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 10)					

3.2. Klorofil (a+b) ve Karotenoid Miktarlarındaki Değişiklikler

Fidelere yapılan uygulamaların yaprakta klorofil (a+b) miktarı üzerine etkileri incelendiğinde, kontrol grubu fidelerine kıyasla salisilik asit ön ıslatmalı ve ön ıslatmasız bütün gruplarda anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla; 10 µM Cd, 50 µM Cd, 75 µM Cd, SA+10 µM Cd, SA+50 µM Cd ve SA+75 µM Cd gruplarında sırasıyla; % 40.17, %51.16, % 80.05, % 33.60, % 42.31 ve % 72.62 oranlarında azalma tespit edilmiştir (P≤0,05). Sadece SA grubunda % 16.58 oranında artış gözlenmiştir (P≤0,05). Gruplar arasında; 10 µM Cd ya göre SA+10 µM Cd gruplarında; % 10.97 oranında artış, 50 µM Cd ya göre SA+ 50 µM Cd gruplarında; % 17.49 oranında artış, 75 µM Cd ya göre SA+75 µM Cd gruplarında; % 35.33 oranında artış tespit edilmiştir (P≤0,05).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+ 5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+ 20 mM Cu gruplarında sırasıyla % 38.38, % 54.15, % 63.77, % 31.5 , % 50.47 ve % 56.62 azalma tespit edilmiştir (P≤0,05). SA grubunda ise; % 20.94 oranında artış tespit edilmiştir (P≤0,05). Gruplar arasında; 5 mM Cu ya göre SA+ 5 mM Cu gruplarında; % 11.15 oranında artış, 10 mM Cu ya göre SA+ 10 mM Cu gruplarında; % 8.03 oranında artış, 20 mM Cu ya göre SA+ 20 mM Cu gruplarında; % 19.72 oranında artış bulunmuştur (P≤0,05).

Karotenoid miktarları için; uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla; 10 µM Cd, 50 µM Cd, 75 µM Cd, SA+ 10 µM Cd, SA+ 50 µM Cd, SA+ 75 µM Cd için

sırasıyla; % 11.91, % 34.68, % 61.70, % 10.21, % 26.80, % 55.31 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). SA grubunda ise % 18.93 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 10 μM Cd ya göre SA+10 μM Cd gruplarında; % 1.93 oranında artış, 50 μM Cd ya göre SA+50 μM Cd gruplarında; % 12.05 oranında artış, 75 μM Cd ya göre SA+75 μM Cd gruplarında; % 16.66 oranında artış göstermiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+ 5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+ 20 mM Cu gruplarında sırasıyla % 41.08 , % 51.78, % 58.57, % 32.93, % 48.04 ve % 54.66 azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). SA grubunda ise; % 13.58 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu ya göre SA+5 mM Cu gruplarında; % 15.59 oranında azalma, 10 mM Cu ya göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 7.74 oranında artış, 20 mM Cu ya göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 9.42 oranında artış göstermiştir ($P \leq 0,05$).

Tablo 5: SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinin yapraklarında, kadmiyum'un fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri

Klorofil (a+b) miktarı (mg.g ⁻¹ TA)	SA	Cd			
		0	10	50	75
	0	2,056±0,11	1,230±0,033*	1,0043±0,011*	0,416±0,013*
	0,5	2,397±0,014*□	1,365±0,004□*	1,186±0,005*□	0,563±0,023*□
Karotenoid miktarı (mg.g ⁻¹ TA)	0	0,470±0,006	0,414±0,010*	0,307±0,057*	0,180±0,028*
	0,5	0,559±0,028*□	0,422±0,014□*	0,344±0,028*□	0,210±0,020*□
*:Kontrole kıyasla □: Gruplar arası; ; $p \leq 0.05$ olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 3)					

Tablo 6: SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinin yapraklarında, bakır'ın fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri

	SA	Cu			
		0	5	10	20
Klorofil (a+b) miktarı (mg.g ⁻¹ TA)	0	2,225±0,020	1,371±0,300*	1,02±0,089*	0,80±0,069*
	0,5	2,691±0,029*□	1,524±0,006*□	1,102±0,009*□	0,965±0,022*□
Karotenoid miktarı (mg.g ⁻¹ TA)	0	0,589±0,023	0,347±0,007*	0,284±0,004*	0,244±0,011*
	0,5	0,669±0,015*□	0,395±0,006*□	0,306±0,001*□	0,267±0,006*□
*:Kontrole kıyasla □: Gruplar arası; ; p≤0.05olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 3)					

3.3. Prolin Miktarındaki Değişiklikler:

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrole kıyasla; 10 µM Cd ve 50 µM Cd, gruplarında sırasıyla; % 11.24 ve % 18.87 oranlarında artış gözlenmiştir. SA+75 µM Cd grubunda ise; % 11.70 oranında azalma tespit edilmiştir (P≤0,05). 75 µM Cd, SA+50 µM Cd ve SA gruplarında artış, SA+10 µM Cd grubunda azalış olsa da istatistikî açıdan anlamlı bulunamamıştır (P>0.05). Gruplar arasında; 10 µM Cd' a göre SA+10 µM Cd gruplarında; % 12.22 oranında azalma, 50 µM Cd' a göre SA+50 µM Cd gruplarında; % 9.90 oranında azalma, 75 µM Cd' a göre SA+75 µM Cd gruplarında; % 18.67 oranında azalma tespit edilmiştir (P≤0,05).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında prolin miktarı kontrol grubuna kıyasla; 10 µM Cd, 75 µM Cd, SA, SA+ 50 µM Cd, SA+75 µM Cd gruplarında sırasıyla; % 19.59 , % 30.18, % 15.57, % 54.04, % 10.08 oranlarında artış göstermiştir (P≤0,05). 50 µM Cd, SA+ 10 µM Cd gruplarında artış tespit edilse de istatistikî açıdan anlamlı bulunamamıştır (P>0,05). Gruplar arasında ise; 50 µM Cd ya göre SA+50 µM Cd gruplarında; % 1.09 oranında artış, 75 µM Cd ya göre SA+75 µM Cd gruplarında; % 18.67 oranında azalma tespit edilmiştir (P≤0,05).

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu ve 10 mM Cu gruplarında; % 19.10 ve % 57.50 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). 20 mM Cu, SA gruplarında artış, SA+5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında azalma tespit edilmiş, fakat istatistikî açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu ya göre SA+5 mM Cu gruplarında; % 21.78 oranında azalma, 10 mM Cu ya göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 38.04 oranında azalma tespit edilmiştir ($P > 0,05$). 20 mM Cu ya göre SA+20 mM Cu gruplarında azalma tespit edilmiş, fakat istatistikî açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 59.33, % 91.34, % 75.28, % 41.72, % 68.06 ve % 148.91 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). SA grubundaki artış istatistikî açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu ya göre SA+5 mM Cu gruplarında; % 11.05 oranında azalma, 10 mM Cu ya göre SA+10 mM Cu; % 12.16 oranında azalma, 20 mM Cu ya göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 42 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Tablo 7. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyum toksisitesinin kök ve yaprakta prolin, malondialdehit ve glutatyon miktarları üzerine etkileri

Kadmiyum (μM)		Prolin ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{TA}$)		MDA ($\text{nmol.g}^{-1}\text{TA}$)		Glutatyon ($\mu\text{g.g}^{-1}\text{TA}$)	
		SA (0 mM)	SA 0.5 mM)	SA (0 mM)	SA (0.5 mM)	SA (0 mM)	SA (0.5 mM)
Kök	0	30,67 $\pm$ 0,05	33,84 $\pm$ 1,58	14,80 $\pm$ 0,67	17,91 $\pm$ 0,64*□	121,95 $\pm$ 7,14	124,26 $\pm$ 2,84*□
	10	34,12 $\pm$ 0,04*	29,95 $\pm$ 0,28□	28,55 $\pm$ 0,94*	22,19 $\pm$ 0,70*□	149,38 $\pm$ 4,11*	168,76 $\pm$ 1,30*□
	50	36,46 $\pm$ 1,87*	32,85 $\pm$ 0,45□	74,49 $\pm$ 1,53*	33,07 $\pm$ 1,43*□	148,17 $\pm$ 6,02*	180,52 $\pm$ 2,54*□
	75	33,30 $\pm$ 1,47	27,08 $\pm$ 1,19*□	35,77 $\pm$ 0,98*	26,69 $\pm$ 0,17*□	114,57 $\pm$ 2,64	209,13 $\pm$ 1,15*□
Yaprak	0	49,90 $\pm$ 2,59	57,67 $\pm$ 2,52*□	89,20 $\pm$ 3,15	63,23 $\pm$ 2,90*□	233,08 $\pm$ 9,27	195,15 $\pm$ 12,74*□
	10	59,68 $\pm$ 1,18*	54,55 $\pm$ 1,09	108,33 $\pm$ 5,39*	89,71 $\pm$ 5,81□	382,68 $\pm$ 3,14*	323,31 $\pm$ 17,19*□
	50	77,72 $\pm$ 0,37	76,87 $\pm$ 1,68*□	149,47 $\pm$ 2,51*	127,58 $\pm$ 1,55*□	351,59 $\pm$ 9,33*	275,83 $\pm$ 11,16*□
	75	64,96 $\pm$ 0,80*	54,93 $\pm$ 0,78*□	130,15 $\pm$ 2,05*	110,17 $\pm$ 4,01*□	218,22 $\pm$ 6,74	178,93 $\pm$ 7,36*□

*:Kontrolle kıyasla □: Gruplar arası; $p \leq 0,05$ olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması $\pm$ SE (n: 3)

Tablo 8. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, bakır toksisitesinin kök ve yaprakta prolin, malondialdehit ve glutatyon miktarları üzerine etkileri

Bakır (mM)		Prolin ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{TA}$)		MDA ($\text{nmol.g}^{-1}\text{TA}$)		Glutatyon ($\mu\text{g.g}^{-1}\text{TA}$)	
		SA (0 mM)	SA (0.5 mM)	SA (0 mM)	SA (0.5mM)	SA (0 mM)	SA (0.5 mM)
Kök	0	28,90 $\pm$ 0,70	31,96 $\pm$ 1,88	27,21 $\pm$ 2,23	32,29 $\pm$ 2,10	132,63 $\pm$ 4,26	153,26 $\pm$ 3,33 *□
	5	34,42 $\pm$ 3,76 *	26,92 $\pm$ 0,80□	44,95 $\pm$ 0,48*	29,30 $\pm$ 2,06□	239,36 $\pm$ 3,38 *	261,05 $\pm$ 4,02 *□
	10	45,52 $\pm$ 2,67 *	28,20 $\pm$ 0,81□	52,39 $\pm$ 3,29*	41,21 $\pm$ 0,88* □	317,55 $\pm$ 2,56 *	354,70 $\pm$ 2,95 *
	20	29,92 $\pm$ 0,46	24,94 $\pm$ 1,22	56,30 $\pm$ 1,96*	39,65 $\pm$ 1,64* □	247,14 $\pm$ 2,49 *	270,47 $\pm$ 3,62 *□
Yaprak	0	42,52 $\pm$ 0,33	47,64 $\pm$ 1,71	101,15 $\pm$ 5,28	76,86 $\pm$ 0,94* □	222,13 $\pm$ 5,05	279,97 $\pm$ 4,21 *□
	5	67,75 $\pm$ 1,53 *	60,26 $\pm$ 2,76* □	106,34 $\pm$ 2,19	88,04 $\pm$ 1,57□	347,40 $\pm$ 12,4 8*	411,54 $\pm$ 7,30 *□
	10	81,36 $\pm$ 1,69 *	71,46 $\pm$ 0,64* □	109,60 $\pm$ 4,59	94,34 $\pm$ 2,29□	414,44 $\pm$ 6,34 *	536,44 $\pm$ 10,5 7*□
	20	74,64 $\pm$ 2,61 *	105,84 $\pm$ 1,33 *□	227,59 $\pm$ 11,6 4*	163,58 $\pm$ 4,43 *□	295,99 $\pm$ 7,00 *	372,32 $\pm$ 2,85 *□
*:Kontrole kıyasla □: Gruplar arası; $p \leq 0.05$ olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması $\pm$ SE (n: 3)							

3.4. Malondialdehit Miktarındaki Değişiklikler

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 10 μM Cd, 50 μM Cd, 75 μM Cd, SA grubu, SA+ 10 μM Cd, SA+50 μM Cd ve SA+75 μM Cd gruplarında sırasıyla; % 92.90, % 403.3, % 141.68, % 21.01, % 49.93, % 123.44 ve % 80.33 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 10 μM Cd ya göre SA+10 μM Cd gruplarında; % 22.27 oranında, 50 μM Cd ya göre SA+50 μM Cd gruplarında; % 55.60 oranında, 75 μM Cd ya göre SA+75 μM Cd gruplarında; % 25.38 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 10 μ M Cd, 50 μ M Cd, 75 μ M Cd, SA+50 μ M Cd ve SA+75 μ M Cd gruplarında sırasıyla; % 21.44 , % 67.56 , % 45.90 , % 43.02 ve % 23.50 oranlarında artış tespit edilmiştir. SA grubunda ise; % 29.11 oranında azalma gözlenmiştir ($P \leq 0,05$). SA+10 μ M Cd grubunda ise artış tespit edilmiştir, fakat istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 10 μ M Cd göre SA+10 μ M Cd gruplarında; % 17.18 oranında azalma, 50 μ M Cd ya göre SA+50 μ M Cd gruplarında; % 14.64 oranında azalma, 75 μ M Cd ya göre SA+75 μ M Cd gruplarında; % 15.35 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 65.19 , % 92.53, % 106.9, % 51.45 ve % 45.71 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). SA, SA+5mM Cu gruplarında artış tespit edilmiş, fakat istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu ya göre SA+5 mM Cu gruplarında; % 34.81 oranında azalma, 10 mM Cu ya göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 21.33 oranında azalma, 20 mM Cu ya göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 29.57 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 20 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında; % 125 ve % 61.72 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). SA grubunda; % 24.01 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). 5 mM Cu ve 10 mM Cu gruplarında artış, SA+5 mM Cu, SA+10 mM Cu gruplarında azalma tespit edilmiş, fakat istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu ya göre SA+5 mM Cu gruplarında; % 17.20 oranında azalma, 10 mM Cu ya göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 13.92 oranında azalma, 20 mM Cu ya göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 28.12 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

3.5.Glutasyon Miktarındaki Değişiklikler

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 10 μ M Cd, 50 μ M Cd, SA, SA+10 μ M Cd ve SA+50 μ M Cd, SA+75 μ M Cd gruplarında sırasıyla; % 22.49 , % 21.50, % 1.89, % 0.38, % 48.02 ve % 71.48 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). 75 μ M Cd gruplarında azalış tespit edilmiş, fakat istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 10 μ M Cd ya göre SA+10 μ M Cd gruplarında; % 12.97 oranında artış, 50 μ M Cd ya göre SA+50 μ M Cd gruplarında; % 21.83 oranında artış, 75 μ M Cd ya göre SA+75 μ M Cd gruplarında; % 82.53 oranında artış göstermiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 10 µM Cd, 50 µM Cd, SA+10 µM Cd, SA+50 µM Cd ve gruplarında sırasıyla; % 64.18, % 50.84, % 38.71 ve % 18.34 oranlarında artış, SA ve SA+75 µM Cd gruplarında; % 16.27 ve % 23.23 oranlarında ise azalış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). 75 µM Cd grubunda azalma tespit edilmiş olmakla birlikte bu istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 10 µM Cd ya göre SA+10 µM Cd gruplarında; % 15.51 oranında azalma, 50 µM Cd ya göre SA+50 µM Cd gruplarında; % 21.54 azalma ve 75 µM Cd ya göre SA+75 µM Cd gruplarında; % 18 azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA, SA+5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 80.47, % 139.42, % 86.33, % 15.55, % 96.82, % 167.43 ve % 103.92 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu ya göre SA+5 mM Cu gruplarında; % 9.06 oranında, 20 mM Cu ya göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 9.43 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). 10 mM Cu ya göre SA+10 mM Cu gruplarında artış tespit edilmiş, fakat istatistikî açıdan anlam bulunmamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA, SA+5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 56.39, % 86.57, % 33.25, % 26.03, % 85.26, % 141.49 ve % 67.61 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu ya göre SA+5 mM Cu gruplarında; % 18.46 oranında artış, 10 mM Cu ya göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 29.43 oranında artış, 20 mM Cu ya göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 25.78 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

3.6. Yağ asidi Miktarlarındaki (%) Değişiklikler

Yapılan Cd ve Cu uygulamalarının fidelerin yağ asidi bileşimi etkileri;

3.6.1. Palmitik asit (16:0):

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 50 µM Cd, 75 µM Cd, SA, SA+50 µM Cd ve SA+75 µM Cd gruplarında sırasıyla; % 17.79, % 22.62, % 1.61, % 8.54 ve % 13.40 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). 10 Cd ve SA+10 µM Cd gruplarındaki artış anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında ise; 50 µM Cd e göre SA+50 µM Cd gruplarında; % 9.25 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Fakat diğer gruplarda azalmalar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 10 µM Cd, 50 µM Cd, 75 µM Cd, SA+10 µM Cd, SA +50 µM Cd ve SA+75 µM Cd gruplarında sırasıyla; % 8.05, % 11.93, % 16.06, % 2.91 , % 7.93 ve % 9.99 oranlarında artış, SA grubu fidelerinde ise; % 2 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında ise; 10 µM Cd e göre SA+10 µM Cd gruplarında; % 5.14 oranında, 50 µM Cd a göre SA+50 µM Cd gruplarında; % 4.75 oranında, 75 µM Cd e göre SA+75 Cd gruplarında; % 6.07 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 4.15, % 12.55, % 17.55, % 5.46 ve % 6.69 oranlarında artış, SA ve SA+5 mM Cu gruplarında; % 12.96 ve % 8.90 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu a göre SA +5 mM Cu gruplarında; % 13.05 oranında, 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 7.09 oranında, 20 mM Cu a göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 6.69 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 3.34 , % 8.13 , % 18.01 , % 1.28 , % 5.40 ve % 13.14 oranlarında artış, SA grubunda ise; % 3.06 azalış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arası; 5 mM Cu a göre SA+5 mM Cu gruplarında; % 2.06 oranında, 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 2.73 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Fakat diğer gruptaki azalmalar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

3.6.2. Palmioleik asit (16:1) :

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 10 µM Cd, 50 µM Cd, 75 µM Cd, SA +50 µM Cd ve SA+75 µM Cd gruplarında sırasıyla; % 4.25, % 7.39, % 9.53, % 2.18 ve % 6.30 oranlarında artış, SA ve SA+10 µM Cd gruplarında; % 3.23, % 0.77 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında ise; 10 µM Cd e göre SA+10 µM Cd gruplarında; % 5.02 oranında, 50 µM Cd a göre SA+50 µM Cd de gruplarında; % 5.21 oranında, 75 µM Cd e göre SA+75 µM Cd gruplarında; % 3.23 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, SA ve SA+5 mM Cu gruplarında; % 5.89, % 4.40, % 1.41 ve % 3.10 oranlarında artış, 20 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında; % 5.39, % 1.89 ve %

7.07 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arası; 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 6.29 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplar arasında farklı oranlarda azalma olsa da istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde yapılan analizlerde 16:1 yağ asidine rastlanmamıştır.

3.6.3. Stearik asit (18:0) :

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 10 μ M Cd, 50 μ M Cd, 75 μ M Cd, SA+ 10 μ M Cd, SA+50 μ M Cd, SA+75 μ M Cd sırasıyla; % 11.29, % 18.17, % 27.61, % 0.29, % 6.36, % 12.43 oranlarında artış, SA grubu için azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında ise; 50 μ M Cd e göre SA+50 μ M Cd gruplarında; % 11.81 oranında, 75 μ M Cd e göre SA+75 μ M Cd gruplarında; % 15.18 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplardaki azalmalar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$)

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 10 μ M Cd, 50 μ M Cd, SA+10 μ M Cd, SA +50 μ M Cd ve SA+75 μ M Cd gruplarında sırasıyla; % 3, % 5.41, % 0.73, % 2.73 ve % 4.96 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplarda ise tespit edilen farklılıklar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında ise; 10 μ M Cd e göre SA+10 μ M Cd gruplarında ; % 2.27 oranında, 50 μ M Cd a göre SA+50 μ M Cd gruplarında; % 2.27 oranında, 75 μ M Cd e göre SA+75 μ M Cd gruplarında; % 1.76 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında; % 1.80, % 10.46, % 16.03, % 0.55, % 5.82 ve % 11.24 oranlarında artış, SA grubunda ise; % 1.84 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu a göre SA +5 mM Cu gruplarında; % 1.15 oranında, 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 4.64 oranında, 20 mM Cu a göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 4.79 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 2.24, % 4.08, % 6.93, % 0.94, % 3.08 ve % 5.94 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arası; 20 mM Cu a göre SA+ 20 mM Cu gruplarında; % 0.99

oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplarda farklı oranlarda azalma olsa da istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

3.6.4. Oleik asit (18:1):

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 10 μM Cd, 50 μM Cd, 75 μM Cd, SA+ 10 μM Cd, SA+50 μM Cd, SA+75 μM Cd gruplarında sırasıyla; % 9.81, % 18.47, % 28.66, % 13.11 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). SA grubu için % 2.36 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında ise; 10 μM Cd e göre SA+10 μM Cd gruplarında; % 8.41 oranında, 50 μM Cd e göre SA+50 μM Cd gruplarında; % 11.42 oranında, 75 μM Cd e göre SA+75 μM Cd gruplarında; % 15.55 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 75 μM Cd, SA, SA+10 μM Cd, SA +50 μM Cd ve SA+75 μM Cd gruplarında sırasıyla; % 2.54, % 0.63, % 1.44, % 2.33, % 3.22 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplardaki azalmalar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında ise; 10 μM Cd e göre SA+10 μM Cd gruplarında; % 0.75 oranında, 50 μM Cd a göre SA+50 μM Cd gruplarında; % 0.84 oranında, 75 μM Cd e göre SA+75 μM Cd gruplarında; % 0.68 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu ve SA+10 mM Cu gruplarında; % 6.12, % 11.74, % 20.10 ve % 1.29 oranlarında artış, SA grubunda ise; % 7.79 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplardaki değişimler ise istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 10.45 oranında, 20 mM Cu a göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 9.69 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplardaki değişimler ise istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+10 mM Cu, SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 0.57, % 2.09, % 4.40, % 1.02, % 2.17 oranlarında artış, SA ve SA+5 mM Cu gruplarında; % 0.61, % 1.03 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu a göre SA+ 5 mM Cu gruplarında; % 1.03 oranında, 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 1.07 oranında azalma, 20 mM Cu a göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 2.23 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

3.6.5. Linoleik asit (18:2):

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 10 μM Cd, 50 μM Cd ve 75 μM Cd gruplarında sırasıyla; % 9.51 , % 15.09 ve % 20.12 oranında artış, SA , SA+ 10 μM Cd ve SA+ 50 μM Cd gruplarında; % 8.37, % 5.56, % 1.25 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplardaki değişiklikler ise istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında ise; 10 μM Cd e göre SA+10 μM Cd gruplarında; % 15.07 oranında, 50 μM Cd e göre SA+50 μM Cd gruplarında; % 16.34 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruptaki değişiklik ise istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 10 μM Cd, 50 μM Cd, 75 μM Cd ve SA +50 μM gruplarında sırasıyla; % 0.84, % 3.03, % 0.73, % 5.93 ve % 1.85 oranlarında artış, SA ve SA+10 μM Cd gruplarında ise; % 2.14 ve % 0.15 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplardaki değişiklikler ise istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında ise; 10 μM Cd e göre SA+10 μM Cd gruplarında; % 0.99 oranında, 50 μM Cd a göre SA+50 μM Cd gruplarında; % 1.18 oranında, 75 Cd e göre SA+75 Cd gruplarında; % 1.85 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu ve 20 mM Cu gruplarında; % 8.43, % 13.71 ve % 16.69 oranlarında azalma, SA grubunda; % 22.74 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplardaki değişiklikler ise istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu a göre SA +5 mM Cu gruplarında; % 12.60 oranında, 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 5.62 oranında, 20 mM Cu a göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 4.74 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında; % 1.02, % 3.50, % 18.13, % 2.12 ve % 11.12 oranlarında artış, SA grubu fidelerinde; % 1.90 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplardaki değişiklikler ise istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu a göre SA +5 mM Cu gruplarında; % 1.71 oranında, 10 mM Cu a göre SA +10 mM Cu; % 2.12, 20 mM Cu a göre SA+20 mM Cu; % 11.12 azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

3.6.6. Linolenik asit (18:3) :

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde yapılan analizlerde 18:3 yağ asidine rastlanmamıştır. Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 10 μ M Cd, 50 μ M Cd, 75 μ M Cd, SA+10 μ M Cd, SA +50 μ M Cd ve SA+75 μ M Cd gruplarında sırasıyla; % 17.27, % 27.14, % 33.61, % 9.83, % 18.38 ve % 23.71 oranlarında azalma, SA grubu fidelerinde ise; % 7.73 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında ise; 10 μ M Cd e göre SA+10 μ M Cd gruplarında; % 7.44 oranında, 50 μ M Cd a göre SA+50 μ M Cd gruplarında; % 8.76 oranında, 75 μ M Cd e göre SA+75 μ M Cd gruplarında; % 9.90 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA, SA+5 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 5.90 , % 3.58 , % 13.94, % 19.49 ve % 16.73 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplardaki değişiklikler ise istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu a göre SA +5 mM Cu gruplarında; % 10.58 oranında, 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 13.59 oranında, 20 mM Cu a göre SA+20 mM Cu gruplarında ; % 15.77 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 5 mM Cu, 10 mM Cu, 20 mM Cu, SA+10 mM Cu ve SA+20 mM Cu gruplarında sırasıyla; % 9.71 , % 15.59, % 21.19, % 9.10 ve % 6.41 oranlarında azalma, SA grubunda % 9.58 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Diğer gruplardaki değişiklikler ise istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında; 5 mM Cu a göre SA +5 mM Cu gruplarında; % 11.05 oranında, 10 mM Cu a göre SA+10 mM Cu gruplarında; % 9.10 oranında, 20 mM Cu a göre SA+20 mM Cu gruplarında; % 6.41 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Tablo 9. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyum toksisitesinin kökte yağ asidi bileşiminin (%) değişimi üzerine etkileri

Yağasidi miktarları (%)	Kök	SA	Cd			
			0	10	50	75
	16:0	0	27,14±0,314	39,81±0,407	44,93±0,330*	49,76±0,223*
		0,5	28,75±0,157*□	30,57±0,376	35,68±0,261*□	40,54±0,292*□
	18:0	0	33,72±0,257	45,01±0,308*	51,89±0,063*	61,33±0,310*
		0,5	30,51±0,304*□	34,01±0,04*	40,08±0,092*□	46,15±0,378*□
	18:1	0	17,61±0,226	27,42±0,413*	36,08±0,300*	46,27±0,720*
		0,5	15,25±0,153*□	19,01±0,497□	24,66±0,181□	30,72±0,271*□
	18:2	0	22,01±0,106	31,52±0,701*	37,10±0,332*	42,13±0,535*
		0,5	13,64±0,251*□	16,45±0,333*□	20,76±0,509*□	25,91±0,389
*:Kontrolle kıyasla □: Gruplararası; p≤0.05olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 3)						

Tablo 10. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyum toksisitesinin yaprakta yağ asidi bileşiminin (%) değişimi üzerine etkileri

Yağasidi miktarları (%)	Yaprak	SA	Cd			
			0	10	50	75
	16:0	0	11,56±0,04	19,61±0,106*	23,49±0,188*	27,62±0,363*
		0,5	9,56±0,297*□	14,47±0,185*□	19,49±0,232*□	21,55±0,05*□
	16:1	0	11,43±0,275	15,68±0,168*	18,82±0,078*	20,96±0,425*
		0,5	8,20±0,058*□	10,66±0,292*□	13,61±0,151*□	17,73±0,018*□
	18:0	0	5,68±0,095	8,68±0,136*	10,87±0,063*	12,40±0,290
		0,5	3,39±0,071	6,41±0,194*□	8,41±0,117*□	10,64±0,265*□
	18:1	0	5,13±0,078	4,44±0,178	3,64±0,160	2,59±0,185*
		0,5	4,50±0,130*□	3,69±0,125*□	2,80±0,135*□	1,91±0,032*□
18:2	0	13,64±0,202	14,48±0,182*	16,67±0,152*	19,57±0,201*	
	0,5	11,50±0,204*□	13,49±0,223*□	15,49±0,183*□	17,72±0,039□	
18:3	0	55,08±0,352	37,81±0,540*	27,94±0,507*	21,47±0,765*	
	0,5	62,81±0,322*□	45,25±0,413*□	36,70±0,642*□	31,37±0,689*□	
*:Kontrolle kıyasla □: Gruplararası; p≤0.05olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 3)						

Tablo 11. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, bakır toksisitesinin kökte yağ asidi bileşiminin (%) değişimi üzerine etkileri

Yağ asidi miktarları (%)	Kök	SA	Cu			
			0	5	10	20
	16:0	0	30,64±0,244	34,79±0,376*	43,19±0,535*	48,19±0,266*
		0,5	17,68±0,272*□	21,74±0,333*□	36,10±0,385*□	41,50±0,261 *
	18:0	0	9,91±0,441	11,71±0,108*	20,37±0,477*	25,94±0,393*
		0,5	8,07±0,334*□	10,46±0,197*□	15,73±0,328*□	21,15±0,224*□
	18:1	0	19,86±0,227	25,98±0,363*	31,60±0,260*	39,96±0,173*
		0,5	12,07±0,172*	16,54±0,287	21,15±0,598*□	30,27±0,219□
	18:2	0	23,98±0,325	15,55±0,437*	10,27±0,600*	7,29±0,243*
		0,5	46,72±0,169*□	28,15±0,340□	15,89±0,382□	12,03±0,130□
18:3	0	15,03±0,360	18,39±0,370	20,93±0,150*	25,99±0,170*	
	0,5	18,61±0,220*□	28,97±0,070*□	34,52±0,240*□	41,76±0,191 *□	
*:Kontrole kıyasla □: Gruplararası; p≤0.05olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 3)						

Tablo 12. SA ön ıslatmalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, bakır toksisitesinin yaprakta yağ asidi bileşiminin (%) değişimi üzerine etkileri

Yağasidi miktarları (%)	Yaprak	SA	Cu			
			0	5	10	20
	16:0	0	14,78±0,190	18,12±0,039*	22,91±0,008*	32,79±0,21*
		0,5	11,72±0,117*□	16,06±0,308*□	20,18±0,200*□	27,92±0,306*
	16:1	0	11,37±0,250*	17,26±0,192*	15,776±0,098*	5,98±0,072*
		0,5	12,78±0,549*□	14,47±0,166*	9,48±0,092*□	4,30±0,012*
	18:0	0	4,53±0,122	6,77±0,066*	8,61±0,248*	11,46±0,190*
		0,5	2,47±0,251	5,47±0,156*	7,61±0,108*	10,47±0,231*□
	18:1	0	5,42±0,152	5,99±0,063*	7,51±0,234*	9,82±0,041*
		0,5	4,81±0,044*□	4,96±0,088*□	6,44±0,124*□	7,59±0,242*□
18:2	0	14,42±0,228	15,44±0,286*	17,92±0,188*	32,55±0,325*	
	0,5	12,43±0,233*□	13,73±0,102□	15,80±0,045*□	21,43±0,817*□	
18:3	0	55,33±0,460	45,62±0,710*	39,74±0,727*	34,14±0,412*	
	0,5	64,91±0,506*□	56,67±0,730□	48,84±0,641*□	40,55±0,285*□	
*:Kontrole kıyasla □: Gruplararası; p≤0.05olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 3)						

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Mısır (*Zea mays* L.) fideleri üzerinde yapılan bu çalışmada, salisilik asit ön ıslatması yapılmış tohumlardan gelişen fidelere uygulanan farklı kadmiyum ve bakır konsantrasyonlarına verilen cevaplar araştırılmıştır.

Genel olarak fidelere uygulanan kadmiyum konsantrasyonları arttıkça, gerek salisilik asit ön ıslatması yapılan, gerekse yapılmayan gruplarda kontrole kıyasla, fide boyu büyümesi, taze ağırlık başına düşen kuru ağırlık miktarları çoğu kez anlamlı bir şekilde azaltmıştır (Ayhan, 2006; Zhao, 2011; Chaudhary vd, 2009; Ivarez, 2006; Auda, 2010; Kalınbacak, 2012; Hassan, 2005; Krantev, 2008; Panda, 2004; Guo vd, 2009; Mohsenzadeh vd, 2011; Moradkhani, 2012). Bu konuda SA ön ıslatmasının Cd' in büyüme üzerindeki inhibitif etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Mohsenzadeh vd, 2011; Moradkhani, 2012; Saidi, 2013). Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol fidelerine kıyasla, Cd konsantrasyonu arttıkça pigment miktarları aynı şekilde azalmıştır. Benzer sonuçlar kadmiyum uygulanmış farklı bitkilerde de rapor edilmiştir (Ayhan, 2006; Zhao, 2011; Chaudhary vd., 2009; Skórzyńska-Polit, 1998; Krantev, 2006; Mohsenzadeh vd., 2011; Saidi, 2013; Lopez-Millan vd., 2009; Costa ve Spitz, 1997). SA ön ıslatmasının Cd' un pigment yıkımını üzerindeki stimülatif etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Krantev, 2006; Mohsenzadeh vd., 2011; Belkhadi, 2010; Saidi, 2013; Krantev, 2008). Makroskobik anlamda söz konusu ağır metalin uyguladığı fidelerin yapraklarında nekrosis, klorozis, büzüşme ve özellikle köklerde doku yıkımlarına bağlı yumuşamalar gözlenmiştir. Sonuçlarımıza göre; uygulanan Cd konsantrasyonunun artışına paralel olarak gerek büyüme parametreleri için, gerekse pigment yıkımı için SA'nın hafifletme çabası da artmıştır. Değerlere (%) bakıldığında, gerek büyüme parametrelerinde, gerekse pigment miktarlarında SA'nın hafifletme konusunda en başarılı olduğu konsantrasyon 75 µM Cd konsantrasyonudur.

Literatür taramalarımızda mısırdaki, bakır ile SA'yı birlikte çalışan bir makaleye rastlamadık. Bu yüzden parametreleri çoğunlukla dolaylı makaleler üzerinden tartışmak zorunda kaldık. Genel olarak fidelere uygulanan bakır konsantrasyonları arttıkça, gerek salisilik asit ön ıslatması yapılan, gerekse yapılmayan gruplarda kontrole kıyasla fide boyu büyümesi, taze ağırlık başına düşen kuru ağırlık miktarları çoğu kez anlamlı bir şekilde azalmıştır (Madejon, 2009; Thounaojam vd., 2012; Khatun, 2008; El-Tayeb, 2006). SA ön

ıslatmasının Cu' nun büyüme üzerindeki inhibitif etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (El-Tayeb, 2006). Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında pigment miktarı aynı şekilde azalmıştır. Benzer sonuçlar Cu uygulanmış farklı bitkilerde de rapor edilmiştir (Shi-Sheng, 2007; Sun, 2010; Demirevska- Kepova, 2004; Khatun, 2008; Dunand, 2002). SA ön ıslatmasının Cu' nun pigment yıkımı üzerindeki inhibitif etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (El-Tayeb, 2006). Sonuçlarımıza göre; uygulanan Cu konsantrasyonunun artışına paralel olarak, büyüme parametreleri üzerinde oluşan inhibitif etki ve klorofil (a+b) yıkımı konusunda SA ön ıslatması hafifletici bulunmuştur. Gerek büyüme parametrelerinde, gerekse pigment miktarlarında SA'nın hafifletme bakımından en başarılı olduğu konsantrasyon 20 mM Cu konsantrasyonudur. Ancak sadece karotenoid yıkımında SA'nın en başarılı olduğu konsantrasyon 5 mM Cu konsantrasyonu olmuştur.

Özellikle ağır metal stresinde tipik bir parametre olan ve sıklıkla yapraklarda sorgulanan prolin miktarı konusunda kontrole kıyasla, uygulama yapılan diğer gruplarda genellikle anlamlı artışlar tespit edilmiştir (Zhao, 2011; Thounaojam vd., 2012). Kontrol grubuna göre, Cd uygulanan gruplarda kök ve yaprakta prolin miktarı anlamlı bir şekilde artmıştır (Zhao, 2011). SA ön ıslatmalı gruplara kıyasla, Cd uygulanan gruplarda anlamlı artışlar tespit edilmiştir (Zhao, 2011; Yılmaz, 2011; Sun, 2007; Nedjimi ve Daoud, 2008; Balestrasse, 2005; Dinakar, 2008; Vassilev ve Lidon, 2011). Prolin miktarı değişimi konusunda yapraklarda ve köklerde benzer sonuçlar elde edilmiştir (Krantev, 2006). Gerek yaprak, gerekse kökte SA ön ıslatmasının en etkili hafifletme çabası 75 μ M Cd konsantrasyonu için tespit edilmiştir. Bu durum, ağır metal stresinin sebep olduğu oksidatif stresin, salisilik asit ön ıslatmalı gruplarda daha az seviyede yaşandığını düşündürmektedir (Krantev, 2006; Mohsenzadeh, 2011; Metwally vd, 2003; Popova vd, 2009). 50 μ M Cd konsantrasyonuna kıyasla, gerek kök gerekse yaprakta prolin miktarlarında en yüksek konsantrasyon olan 75 μ M Cd konsantrasyonu için hücre ölümüne dayalı olduğunu düşündüğümüz düşüşler yaşanmıştır. Prolinin, stres altındaki bitki hücrelerinde osmoregülasyona dayalı bir rol oynadığı ileri sürülmektedir (Sharma vd., 1998).

Kontrol grubuna göre, Cu uygulanan gruplarda köklerde genellikle ve yapraklarda ise sürekli prolin miktarı anlamlı bir şekilde artmıştır (Wen, 2001; Chen, 2001; Thounaojam vd., 2012). Ayrıca SA ön ıslatmalı gruba göre, yaprakta bakırın en yüksek konsantrasyonu olan 20 mM Cu' da prolin miktarı bakımından hücre ölümüne dayalı olduğunu düşündüğümüz düşüşler tespit edildi. Benzer şekilde bu durum Cu'nun sebep

olduğu oksidatif stresin salisilik asit ön ıslatmalı gruplarda daha az seviyede yaşandığını düşündürmektedir (El-Tayeb, 2006; Abdel, 2011). SA' nın hafifletici etkisi, kökte 5 mM Cu konsantrasyonu, yapraklarda ise 20 mM Cu konsantrasyonu için en etkili olmuştur.

Yapraklarda ve köklerde oksidatif stresin şiddetini gösteren önemli bir diğer parametre olan ve hücre membranındaki lipid peroksidasyonunun hızını gösteren MDA konusunda çalışılan gruplar arasında önemli artışlar tespit edilmiştir. Kontrole göre Cd uygulaması MDA miktarını arttırmıştır (Ayhan, 2006; Zhao, 2011; Ivarez, 2006; Jouili, 2004; Guo, 2009; Krantev, 2006; Mohsenzadeh vd, 2011; Popova, 2009; Ahmad, 2011; Belkhadi, 2010; Guo, 2007; Saidi, 2013; Yılmaz, 2011; Metwally vd., 2003; Krantev, 2008). Bu sonuçlara göre, SA ön ıslatması Cd'ın yol açtığı MDA artışını yaprakta ve kökte hafifletmiştir (Guo, 2007\ 2009; Popova, 2009; Saidi, 2013; Mohsenzadeh vd., 2011; Ahmad, 2011). 50 µM Cd konsantrasyonuna kıyasla, gerek kök gerekse yaprakta MDA miktarlarında da en yüksek konsantrasyon olan 75 µM Cd konsantrasyonu için hücre ölümüne dayalı olduğunu düşündüğümüz düşüşler yaşanmıştır (Krantev, 2006) .

Kontrol grubuna kıyasla, Cu uygulaması da gerek kök gerekse yaprakta MDA miktarında artışa yol açmıştır (Thonaojam vd., 2012; Sun, 2010; Eryılmaz, 2007; Khatun, 2008; El-Tayeb, 2006). Cu'un sebep olduğu oksidatif stresin göstergesi olan MDA miktarındaki artışı azaltma konusunda, SA ön ıslatması kökte ve yaprakta 20 mM Cu konsantrasyonu için daha başarılı bulundu (El-Tayeb, 2006).

Cd uygulanan mısır fidelerinin köklerinde ve yapraklarında salisilik asit ön ıslatmalı ve ön ıslatmasız bütün gruplarda kontrole kıyasla genel anlamda glutasyon değerleri yüksek bulundu (Hatata, 2008; Guo, 2009; Yılmaz, 2011). Salisilik asit ön ıslatmalı gruplarda, Cd uygulanan fidelerin köklerine kıyasla glutasyon miktarında artışlar (Guo, 2009; Szalai vd., 2013), yapraklarında ise azalmalar tespit edildi (Szalai vd., 2013).

Cu uygulanan mısır fidelerinin köklerinde ve yapraklarında salisilik asit ön ıslatmalı ve ön ıslatmasız bütün gruplarda kontrole kıyasla genel anlamda glutasyon değerleri yüksek bulundu (Thonaojam vd., 2012; Demirevska- Kepova, 2004). Cu uygulanan fidelerin köklerine ve yapraklarına kıyasla salisilik asit ön ıslatmalı gruplarda anlamlı artışlar tespit edildi. Bu konuda tartışmaya zemin oluşturacak bir literatüre rastlanmadı. Bu sonuçlar, SA' nın glutasyon biyosentezinde özel bir rol oynadığını düşündürmektedir (Freeman vd., 2005). Dolayısıyla glutasyon konusundaki farklılıklar enzimsel bir dayanağa oturtulabilir. Bu sonuçlar salisilik asit ön ıslatmalı gruplarda artan glutasyonun serbest

radikallere karşı savunmada bir üstünlük sağladığı ya da serbest radikallerin salisilik asit ön ıslatmalı gruplarda daha az üretildiği şeklinde de yorumlanabilir. Nitekim tek başına salisilik asit ön ıslatmalı fidelerin köklerinde ve yapraklarında glutatyon miktarı kontrole kıyasla daha fazla bulunmuştur (Guo, 2009).

Farklı bitkilerde Cd'nin yol açtığı toksik stres veya oksidatif stres fidelerin yapraklarındaki membranlarda yağ asidi profilini etkilemiştir (Ben Ammar vd, 2005; Nouairi vd, 2006). Cd uygulamaları 16:0'ı yaprak ve köklerde artırırken (Quariti,1997; Belkhadi,2010; Ivanova, 2009), SA ön ıslatmasıyla bu artış hafifletilmiştir (Ivanova,2009). Cd uygulamaları 16:1'i yapraklarda artırırken (Quariti,1997), SA ön ıslatmasıyla bu artış hafifletilmiştir. Cd uygulamaları 18:0'ı yaprak ve köklerde artırırken (Ivanova, 2009; Quariti, 1997; Belkhadi, 2010), SA ön ıslatmasıyla bu artış hafifletilmiştir (Ivanova, 2009). Cd uygulamaları 18:1'i yaprakta azaltırken (Quariti, 1997; Belkhadi, 2010), kökte artırmıştır. SA ön ıslatması bu düşüşte artışa neden olmuştur (Belkhadi, 2010). Cd uygulamaları 18:2'ı kök ve yapraklarda artarken (Belkhadi, 2010; Popova, 2009; Quariti, 1997), SA ön ıslatması düşüşe neden olmuştur. Cd uygulamaları 18:3'ü yaprakta düşerken (Quariti, 1997; Ivanova, 2009; Popova, 2009), SA ön ıslatmasıyla miktarı artmıştır (Ivanova, 2009). Kontrole kıyasla, yaprakta 16:0, 16:1, 18:0, 18:1, 18:2 yağ asitleri azalırken, 18:3' te artış meydana gelmiştir. Kökte ise, 16:1 ve 18:3'e rastlanmamıştır. Diğer yağ asitleri için de benzer sonuçlar tespit edilmiştir.

Cu uygulamaları ile 16:0'ı de köklerde ve yapraklarda artırırken (Quariti, 1997), SA ön ıslatmasıyla bu artış hafifletilmiştir. Cu uygulamaları ile 16:1'i yapraklarda artarken (Quariti, 1997), SA ön ıslatmasıyla bu artış hafifletilmiştir. Cu uygulamaları 18:1'i kökte ve yaprakta artırırken (Quariti, 1997), SA ön ıslatmasıyla azalışa neden olmuştur. Cu uygulamaları 18:2'si yapraklarda artırırken (Quariti, 1997), kökte azaltmıştır (Quariti, 1997), SA ön ıslatmasıyla yaprakta azalmaya, kökte artışa neden olmuştur. Cu uygulamaları 18:3'ü yaprakta düşerken, kökte artmıştır (Quariti, 1997), SA ön ıslatmasıyla ise hem kökte hemde yaprakta artışa neden olmuştur. Kökte ise, 16:1 e rastlanmamıştır. Kontrol grubuna göre, Cd uygulanan gruplarda yaprakta 18:1 ve 18:3 azalmış, Cu uygulanan gruplarda yaprakta 18:3, kökte ise 18:2 azalmıştır. Diğer bütün yağ asitleri hem kökte hemde yaprakta iki metal uygulamasında da artmıştır.

SA' nın tek başına uygulandığı fidelerde, kontrol fidelerine kıyasla hem Cd, hem de Cu için tasarlanan deneyde, büyüme parametrelerinde artış tespit edilmiştir (Moradkhani, 2012; El-Tayeb, 2006). Aynı şekilde, klorofil (a+b) ve karotenoid yıkımını azaltıcı veya sentezini artırıcı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (El-Tayeb, 2006; Mohsenzadeh vd., 2011). Cd için tasarlanan deneyde; SA tek başına uygulandığında kontrole kıyasla, MDA miktarını kökte artırmış, yaprakta ise azaltmıştır. Aynı şekilde glutasyon miktarını kökte artırmış, yaprakta azaltmış, prolin miktarını ise yaprakta artırmıştır (Szalai, 2013). SA tek başına uygulandığında kontrole kıyasla kökte; 16:0, 16:1, 18:1, 18:2 azaltmış, 18:3 ise artırmıştır. Yaprakta; 16:0 artırmış, 18:0,18:1,18:2 azaltmıştır. Cu için tasarlanan deneyde ise; SA tek başına uygulandığında kontrole kıyasla, MDA miktarını yaprakta azaltmıştır (El-Tayeb, 2006). Glutasyon miktarını yaprakta ve kökte artırmıştır. SA tek başına uygulandığında kontrole kıyasla kökte; 18:0 azaltmış, 18:1 ve 18:3 artırmıştır. Yaprakta; 16:0, 18:1, 18:2 azaltmıştır, 16:1 ve 18:3 artırmıştır (Quariti,1997). Bu sonuçlar seçilen SA konsantrasyonunun eşik değerde olduğunu, yani toksik etkisinin zayıf olduğunu ve oksidatif stres ile karşılaştığında, aksi (zıt) etki yarattığını düşündürmektedir.

Doğal olarak bitkiler için gerekli bir element olmayan Cd'nin çok düşük konsantrasyonlarda toksik olduğu, ancak gerekli bir element olan Cu'nun toksiklik sınırının Cd'a göre çok yüksek olduğu tespit edildi. Sonuç olarak elde edilen bulgular seçilen konsantrasyonlara, planlanan uygulama şekline ve süresine bağlı olarak salisilik asit ön ıslatmasının, mısır fidelerinde kadmiyum'un ve bakır'ın belirli parametreler üzerinde sebep olduğu oksidatif stresi sınırlı ölçüde de olsa düzenleyebildiğini düşündürmektedir. Ancak konunun tam anlaşılması açısından, enzimatik olan ve olmayan antioksidan temizleyici unsurların da çalışılmasının çalışmamıza katkı sağlayacağı kanaatindeyiz.

KAYNAKLAR

- Ahmad P., Nabi G. and Ashraf M.**, 2011. Cadmium-induced oxidative damage in mustard (*Brassica juncea* L. Czern.& Coss.) plants can be alleviated by salicylic acid. *South African Journal of Botany*, **77**, 36–44.
- Alia-Saradhi, P.P.**, 1991. Proline accumulation under heavy metal stress, *J. Plant Physiol.*, **138**, 554–558.
- Alvarez, A.L.**, 2000. Salicylic acid in machinery of hypersensitive cell death and disease resistance. *Plant Mol. Biol.* **44**, 429–442.
- Arteca, R.N.**, 1996. Plant Growth Substance Principles and Applications, *Chapman and Hall*, New York, **332** p.
- Ashraf, M.**, 1994. Breeding for salinity tolerance in plants, *critical reviews in plant sciences*, **13**, 27–42.
- Ashraf, M., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K.J.**, 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium Toxicity in Barley Seedlings, *Plant Physiology*, **132**, 272–281.
- Auda, A.M. and Emad, E.S.A.**, 2010. Cadmium and Zinc Toxicity Effects on Growth and Mineral Nutrients of Carrot (*Daucus Carota*), *Pak. J. Bot.*, **42**, 341–351.
- Ayhan, B.**, 2006. Mısır (*Zea mays* L.)’ın Bazı Çeşitlerinde Ağır Metal (Cd, Pb) Stresinin Etkilerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bachthaler, G. and Stritesky, A.**, 1973. Wachstumsuntersuchungen an Kulturpflanzen auf einem mit Kupfer überversorgten Mineralboden, *Bayer Landwirtsch Jahrb.*, **50**, 73–81.
- Bahmani, R., Bihamta, M. R., Habibi, D., Forozesh, P. and Ahmadvand, S.**, 2012. Effect of Cadmium Chloride on Growth Parameters of Different Bean Genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.), *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science*, **7**, 35–40.
- Baker, A.J.M., Ewart, K., Hendry, G.A.F., Thrope, P.C., and Walker, P.L.**, 1990. The evolutionary basis of cadmium tolerance in higher plants, In: *4th International Conference on Environmental Contamination*, Barcelona, **23–29**p.

- Balestrasse, K.B., Gallego, S.M., Benavides, M.P. and Tomaro, M.L.,** 2005. Polyamines and proline are affected by cadmium stress in nodules and roots of soybean plants, *Plant Soil*, **270**, 343–353.
- Baş, A.L. ve Demet, Ö.,** 1992. Çevresel Toksikoloji Yönünden Bazı Ağır Metaller, *Ekoloji*, **5**, 42–46.
- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teare, I.D.,** 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies, *Plant and Soil*, **39**, 205–207.
- Belkhadi, A., Hediji, H., Abbas, Z., Nouairi, I., Barhoumi, Z., Zarrouk, M., Chaibi, W. and Djebali, W.,** 2010. Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in *Linum usitatissimum* L., *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **73**, 1004–1011.
- Benson, G.O. and Pearce, R.B.,** 1987. Corn Perspective and Culture. Corn Chemistry and Technology. Watson, S.A. and Ramstad, P.E., (eds.), *American Association of Cereal Chemistry*, St. Paul, Minnesota, USA, **605p**.
- Bezrukova, M.V., Sakhabutdinova, R., Fatkhutdinova, R.A. and Kyldiarova, I.,** 2001. The role of hormonal changes in protective action of salicylic acid on growth of wheat seedlings under water deficit, *Agrochemiya (Russ.)*, **2**, 51–54.
- Bi, X., Feng, X., Yang, Y., Li, X., Shin, G., Li, F., Qiu, G., Li, G., Liu, T. and Fu, Z.,** 2009. Allocation and source attribution of lead and cadmium in maize (*Zea mays* L.) impacted by smelting emissions. *Environmental Pollution*, **157**, 834–839.
- Blum, A.,** 1985. Breeding crop varieties for stress environments, *Critical reviews in Plant Sciences*, **2**, 199–238.
- Brohi, A., Akgün, A., Rüştü M. ve Sabit K.E.,** 1994. Bitki Besleme. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:4 Kitaplar Serisi:4 Tokat.
- Blaylock, M. J. and J. W. Huang,** 2000. Phytoextraction of metals. Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. Eds., Raskin, I. and B.D. Ensley. John Wiley and Sons, Inc, Toronto, p. 303.

- Cavalieri, A.J. and Huang, A.H.C.**, 1979. Evaluation of proline accumulation in the adaptation of diverse species of marsh halophytes to the saline environment, *Amer. J. Bot.*, **66**, 307–312.
- Chaudhary, S. and Sharma, Y.K.**, 2009. Interactive studies of potassium and copper with cadmium on seed germination and early seedling growth in maize (*Zea mays* L.), *Journal of Environmental Biology*, **30**, 427–432.
- Chen, C.T., Chen, L., Chuan, C.L. and Kao, C.H.**, 2001. Regulation of proline accumulation in detached rice leaves exposed to excess copper, *Plant Science*, **160**, 283–290.
- Christie, WW**, 1990. Gas Chromatography and Lipids. The Oily Press: Glasgow, 302 .
- Choudhury, S. and Panda, S.K.**, 2004. Role of Salicylic acid in Regulating Cadmium Induced Oxidative in *Oryza sativa* L. Roots, *Bulg. J. Plant Physiol*, **30**, 95–110.
- Costa G, Spitz E.**, 1997. Influence of cadmium on soluble carbohydrates, free amino acids, protein content of in vitro cultured *Lupinus albus*. *Plant Science* (Shannon) **128**:131-40.
- Dat, J.F., Lopez-Dalgado, H., Foyer, C.H. and Scott, I.M.**, 1998. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings, *Plant Physiol*, **116**, 1351–1357.
- Davies, P.J.**, 1995. Salicylic Acid, Plant Hormones, Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. *Klower Acad. Pub.*, London, **833** p.
- Demirevska-Kepova, K., Simova-Stoilova, L., Stoyanova, Z., Hölzer, R. and Feller, U.** 2004. Biochemical changes in barley plants after excessive supply of copper and manganese. *Environmental and Experimental Botany*, **52**, 253–266.
- Di Toppi, L. S. and Gabrielli, R.**, 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environ, Exp. Bot.* **41**, 105–130.
- Dinakar, N., Nagajyothi, P.C., Suresh, S., Udaykiran, Y. and Damodharam, T.**, 2008. Phytotoxicity of cadmium on protein, proline and antioxidant enzyme activities in growing *Arachis hypogaea* L. Seedlings. *Journal of Environmental Sciences*, **20**, 199–206.

- Drazic, G. and Mihailovic, N.,** 2005. Modification of cadmium toxicity in soyabean seedlings by salicylic acid. *Plant Science*, **168**, 511–517.
- Drazkiewicz, M., Polit, E.S. and Krupa, Z.,** 2007. The redox state and activity of superoxide dismutase classes in *Arabidopsis thaliana* under cadmium or copper stress. *Chemosphere*, **67**, 188–193.
- Dunand, V.F., Epron, D., Sosso, A.B. and Badot, P.M.,** 2002. Effect of copper growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. *Plant Science*, **163**, 53-58.
- Durner, J., Shah, J. and Klessig, D.F.,** 1997. Salicylic acid and disease resistance in plants. *Trends Plant Sci.*, **2**, 266-74.
- Ebehard, S., Doubrava, N., Marta, V., Mohnon, D., Southwick, A., Darviell, A. and Albersheim, P.,** 1989. Pectic cell wall fragments regulate tobacco thin-cell layer explant morphogenesis. *Plant Cell*, **1**, 747-755.
- Elçi, Ş., Kolsarıcı, Ö., ve Geçit, H.H.,** 1997. Tarla Bitkileri, A. Ü. *Ziraat Fak. Yay.*, **1008**, 30–238.
- Elman, G.L.,** 1959. Tissue sulphydryl groups. *Arch. Biochem. Biophys.*, **82** pp. 70-77.
- El-Tayeb, M.A.,** 2005. Response of Barley Grains to The Interactive Effect of Salinity and Salicylic Acid. *Plant Growth Regulation*, **45**, 215–224.
- El-Tayeb, M.A, El-Enay A.E, Ahmed N.L,** 2006. Salicylic acid-induced adaptive response to copper stres in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Growth Regul.* **50**, 191-199.
- Eryılmaz, F.,**2007. Bakır (Cu) uygulanmış mısır (*Zea mays* L.) fidelerindeki antioksidan aktivitelerin fizyolojik ve anatomik yönden incelenmesi. *Doktora tezi*. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Fariduddin, Q., Hayat, S. and Ahmad, A.**2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica*, **41**,281-284.

- Foyer, C.H., Lopez-Oelgado, H., Dat, J.F. and Scott, J.M.,** 1997, Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. *Physiol. Plant*, **100**, 241-254.
- Freeman JL, Garcia D, Kim D, Hopf A, Salt DE,** 2005. Constitutively elevated salicylic acid signals glutathione-mediated nickel tolerance in *Thlaspi* nickel hyperaccumulators. *Plant physiol.* **137**:1082-91.
- Glass, A.D.,** 1973a. Influence of phenolic acids on ion uptake. III. Inhibition of potassium absorption. *Chemistry and Physiology of salicylic acid J. Exp. Bot.*, **25**, 1104–1113.
- Glass, A.D.,** 1973b. Influence of phenolic acids on ion uptake. I. Inhibition of phosphate uptake. *Plant physiol*, **51**, 1037–1041.
- Griffith, O.W.,** 1980. Determination of glutathione and glutathione disulfid using glutathione reductase and 2-vinylpyridine. *Anal. Biochem.*, **106**, 207–12.
- Guo, B., Liang, Y. and Zhu, Y.** 2009. Does salicylic acid regulate antioxidant defense system, cell death, cadmium uptake and partitioning to acquire cadmium tolerance in rice?. *Journal of Plant Physiology*, **166**, 20–31.
- Guo, B., Liang, Y.C., Zhu, Y.G. and Zhao, F.J.,** 2007. Role of salicylic acid in alleviating oxidative damage in rice roots (*Oryza sativa*) subjected to cadmium stress. *Environmental Pollution*, **147**, 743-749.
- Guo, X., Wei, Z., Wu, Q., Qiu, J. and Zhou, J.L.,** 2011. Cadmium and Zinc Accumulation in Maize Grain as Affected by Cultivars and Chemical Fixation Amendments. *Soil Science Society of China Published by Elsevier B.V. and Science Press. Pedosphere*, **21**, 650–656.
- Güler, E.A.,** 2011. Besin çözeltilisine artan seviyelerde uygulanan kadmiyum ve kurşunun bazı mısır ve ayçiçeği genotiplerinin gelişimi ve mineral içeriği üzerine etkisinin belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.
- Hale, M.G. and Orcutt, D.M.,** 1987. The physiology of plants under stress. *Wiley and Sons*, New York, **206** p.
- Halliwell, B. and Gutteridge, J.,** 2002. *Free radicals in biology and medicine*, Thiredition, Oxford Uni. Press.

- Hara, A. and N.S. Radin.,** 1978. Lipid extraction of tissues with low-toxicity solvent. *Anal. Biochem.*, **90** (1), 420-426
- Hatata MM, Abdel- Aal EA.,** 2008. Oxidative stress and Antioxidant Defense Mechanisms in Response to Cadmium Treatments. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, **416**: 655-669.
- Hayat, S. and Ahmad, A.,** 2007. Salicylic acid: a plant hormone, *Department of Botany*, 1–14.
- Heath, R.L. and Packer, L.,** 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys.*, **125**, 189–98.
- Hutton, M.,** 1983. “Sources of Cadmium in the Environment”. *Ecotoxicology Environmental Safety*, **7**, 9–24.
- Ilındır, D., Cesur, E. ve Sağlam, Ö.,** 2010. Ham ve kalsine kil kullanılarak atık sulardaki organik madde ve iyonların giderimi. *Kimya-1 Çalıştayı*. Tübitak - Bideb. Çanakkale.
- Ivarez, R.R.A., Ortega V. C., Ana A. F., del Campo F. F. and Hernandez L. E.,** 2006. Stress Responses of *Zea mays* to Cadmium and Mercury. *Plant and Soil*, **279**, 41–50.
- Janda, K, Hideg, E., Szalai G, Kovács L and Janda T.,** 2012. Salicylic acid may indirectly influence the photosynthetic electron transport. *Journal of Plant Physiology*, **169**, 971– 978.
- Janda, T., Szalai, G., Tari, I. and Paldi, E.,** 1999. Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta*, **208**, 175–180.
- Jouili H. and El Ferjani E.,** 2003. Changes antioxidant and lignifying enzyme activities in sunflower roots (*Helianthus annuus* L.) stressed with copper excess. *Comptes Rendus Biologi*, **326**, 639–644.
- Jouili, H. and El Ferjani, E.,** 2004. Effects of copper excess on superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in sunflower seedlings (*Helianthus annuus* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, **26**, 29–35.

- Kabata-Pendias, A.**, 1995. Agricultural problems related to excessive trace metals contents of soil, In: Salmons, W. ve Forsther, U., Editors, Concerning Heavy.
- Kacar, B. ve Katkat, V.**, 2006. Bitki Besleme. *Nobel Yayın*, 849.
- Kadioğlu, A.**, 1999. Bitki fizyolojisi, *Trabzon*.
- Kalınbacak, K., Yurdakul, İ., Gedikoğlu, İ.**, 2012. Buğdayda Kadmiyumun Toksiklik Sınırının Belirlenmesi ve Bazı Ekstraksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Toprak Su Dergisi*, **1**, 28–37.
- Keller, C. and Hammer, D.**, 2004. Metal availability and soil toxicity after repeated croppings of *Thlapsi caerulescens* in metal contaminated soils, *Elsevier Environmental Polution*, **131**, 243–254.
- Keltjens, W. G. and Beusichem, M.L.**, 1998. Phytochelatins as biomarkers for heavy metal toxicity in maize: Single metal effects of copper and cadmium. *Journal of Plant Nutrition*, **21**, 635-648.
- Kervesan, S., Petroviç N., Popovic, M. and Kandrak, J.**, 1998. Effect of heavy metals on nitrate and protein metabolism in sugar beet. *Biologia Plantarum*, **41**, 235–240.
- Khatun, S., Ali, M.B., Hahna, E. and Paek, K.**, 2008. Copper toxicity in *Withania somnifera*: Growth and antioxidant enzymes responses of *in vitro* grown plants. *Environmental and Experimental Botany*, **64**, 279–285.
- Kılıçel, F.**, 1996. Van şehir merkezindeki yol tozlarında toksik ağır metal (Pb, Cd, Cu, Ni, Mn, Bi, Co) kirliliğinin araştırılması, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora tezi*, Van.
- Kocaçalıskan, İ.**, 2001. Bitki Fizyolojisi. Kütahya.
- Krantev, A., Yordanova, R. and Popova, L.**, 2006. Salicylic acid decreases Cd toxicity in maize plants. *Gen. Appl. Plant Physiol*, 45-52.
- Kün, E.**, 1997. Sıcak İklim Tahılları, A. Ü. Ziraat Fak. Yay., 1452, *Ders Kitabı*: **432**, Ankara.
- Lagriffoul, A., Mocquot, B., Mench, M. and Vangronsveld, J.**, 1998. Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.), *Plant and Soil*, **200**, 241-250.

- Larson, L.A. and Beevers, H.**, 1965. Amino acid metabolism in young pea seedlings. *Plant Physiol*, **40**, 424-432.
- Lawlor, D. W. and Cornic, G.**, 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ*, **25**, 275–294.
- Levitt, J.**, 1980. Responses of plants to environmental stresses, **1,2** nd ed. *Academic Pres*, New York.
- Li, X., Yang, Y., Jia, L., Chen, H and Wei, X.**, 2013. Zinc-induced oxidative damage, antioxidant enzyme response and proline metabolism in roots and leaves of wheat plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **89**, 150–157.
- Lin, C.C. and Kao, C.J.**, 1996. Proline accumulation is associated with inhibition of rice seedling root growth caused by NaCl. *Plant Science*, **114**, 121–128.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J. and Rondall, R. J.**, 1951. Protein measurement with folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265–275.
- Lopez-Millan AF, Sagardoy R, Solanas M, Abadia A. Abadia J.**, 2009. Cadmium Toxicity in tomato plants grown in hidroponics. *Environmental and experimental Botany*, **65** (2-3): 376-385.
- Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J.**, 1996. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Plant Growth Regul*, **19**, 207–218.
- Madejón, P., Ramírez, B.J.E., Corrales, I., Barceló, J. and Poschenriedera, C.** 2009. Copper-induced oxidative damage and enhanced antioxidant defenses in the root apex of maize cultivars differing in Cu tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, **67**, 415–420.
- Martins L.L. and Mourato M. P.**, 2006. Effect of excess copper on tomato plants : Growth parameters, enzyme activities, chlorophyll and mineral content. *Journal of Nutrition*, **29**, 2179–2198.
- Mishra, A. and Choudhuri, M.A.**, 1999. Effects of salicylic acid on heavy metalinduced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. *Biologia Plantarum*, **42**, 409–415.

- Misra, N. and Saxena, P.**, 2009. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. *Plant Sci.*, **177**, 181–189.
- Mohsenzadeh, S., Shahrtash, M. and Mohabatkar, H.**, 2011. Interactive effects of salicylic acid and silicon on some physiological responses of cadmium-stressed maize seedlings. *Iranian Journal of Science & Technology*, **A1**, 57–60.
- Moradkhani, S. , Nejad, K.A.R., Dilmaghani, K. and Chaparzadeh, N.**, 2012. Effect of salicylic acid treatment on cadmium toxicity and leaf lipid composition in sunflower. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, **8**,. 78–89.
- Nedjimi, B. and Daoud, Y.**, 2008. Cadmium accumulation in *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* and its influence on growth, proline, root hydraulic conductivity and nutrient up take. *Flora*, **204**, 316–324.
- Niess, D.H.**, 1999. Microbial heavy-metal resistance, *Appl. Microbiol. Biotech.*, **51**, 730–750.
- Nogawa, G., Honda R., Kiod T., Tsuritani I and Yamanda Y.**, 1987. Limits to protect people eating cadmium in rice, based on epidemiological studies. *Trace Subst. Environ Health*, **21**, 431–439.
- Nriagu, J.O. and Pacyna, J.M.**, 1988. Quantitative assesment of worldwide contramination of air, water and soil with trace metals. *Nature*, **333**, 134–139.
- Oliva S.R., Valdés B. and Leidi E.O.**, 2009. Accumulation and in vivo tissue distribution of pollutant elements in *Erica andevalensis*, *Sci. Total Environ.* **407**, 1929–1936.
- Opdenakker, K., Remans, T., Keunen, E., Vangronsveld, J. and Cuypers, A.**, 2012. Exposure of *Arabidopsis thaliana* to Cd or Cu excess leads to oxidative stress mediated alterations in MAPKinase transcript level. *Environmental and Experimental Botany*, **83**, 53–61.
- Ouariti O., Boussama N., Cherif A. and Ghorbal M.H.**, 1997. Cadmium and Copper Induced Changes In Tomato Membrane. *Lipids Phytochemistry*, **45**, 1343–1350.
- Ouzounidou, G., Ilias, I., Tranopoulou H. and Karataglis, S.**, 1998. Amelioration of copper toxicity by iron on spinach physiology, *Plant Nutr.*, **21**, 2089–2101.

- Özbek, H., Kaya Z., Gök, M ve Kaptan, H.,** 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No:73.Ders Kitapları Yayın No: 16, ADANA.
- Özeker, E.,** 2005. Salisilik Asit ve Bitkiler Üzerindeki Etkileri. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Dergisi.*, **42**, 213–223.
- Pal, M., Szalai G., Horvath, E., Janda, T. and Paldi, E.,** 2002. Effect of salicylic acid during heavy metal stress. Proc. 7th Hungarian Cong. *Plant Physiol*, **46**, 119–120.
- Peryea, F.J.,** 2001. Heavy metal contamination in deciduous tree fruit orchards: implications for mineral nutrient management. *Acta Hortic.* **564**, 31–40.
- Popova, L., Pancheva T. and Uzunova A.,** 1997. Salicylic Acid: Properties, biosynthesis and physiological role. *Bulg. j. plant physiol.*, **23**, 85–93.
- Popova, L.P., Maslenkova, L.T., Yordanova, R.Y., Ivanova, A.P., Krantev, A.P., Szalai, G. and Janda, T.,** 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, **47**, 224–231.
- Prasad, M.N.V.,** 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environmental and Experimental Botany*, **35**, 525–545.
- Quariti, O., Gouia, H. and Ghorbal, M.H.,** 1997. Responses of Bean and Tomato Plants to Cadmium: Growth, Mineral Nutrition and Nitrate Reduction. *Plant Physiology and Biochemistry*, **35**, 347–354.
- Radoviciu E.M., Tomulescu I.M. and Merca V.V.,** 2009. Effects Induced Following The Treatments with Copper, Manganese and Zinc On Corn Seeds Germination (Carrera, Turda 200 And Hd-160). *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Biologie Tom*, **XVI /1**, 105–107.
- Radwan, D.E.M.,**2012. Salicylic acid induced alleviation of oxidative stress caused by clethodim in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, **102**,182–188.
- Ramos, I., Esteban E., Lucena J.J. and Garate A.,** 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca* sp. Cd- Mn Interaction. *Plant Science*, **162**, 761–767.

- Raskin, I.**, 1992a . Role of salicylic acid in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, **43**, 439–463.
- Raskin, I.**, 1992b. Salicylate, a new plant hormone. *Plant Physiol.*, **99**, 799–803.
- Reed, D.J.**, 2001. Mechanisms of Chemically Induced Cell Injury and Cellular Protections Mechanisms, **697**, Eds. Hodgson, E. & Smart, R. C. Introduction to biochemical toxicology. Wiley-Interscience, New York, *Third edition*.
- Ross, M.S.**, 1994. Sources and form of potentially toxic metals in soil-plant systems, In: Ross, M.S., Editor, Toxic Metals in Soil-Plant Systems, John Wiley, Chichester.
- Ruis-Jiménez, J., Luque-García, J.L., and Luque de Castro, M.D.**, 2003. Dynamic ultrasound-assisted extraction of cadmium and lead from plants prior to electrothermal atomic absorption spectrometry, *Anal. Chim. Acta*, **480**, 231–237.
- Saidi I., Ayouni M., Dhied A., Chtovrou Y., Chaibi W. and Djebali W.**, 2013. Oxidative damages induced by short-term exposure to cadmium in bean plants: Protective role of salicylic acid. *South African Journal of Botany*, **85**, 32–38.
- Sakhabutdinova, A.R., Fatkhutdinova, D.R., Bezrukova, M.V. and Shakirova, F.M.**, 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *Bulg. J. Plant Physiol.*, **Special Issue**, 314–319.
- Salt, D., Price, R., Pickering, I and Raskin, I.**, 1995. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. *Plant Physiol.*, **109**, 1427–1433.
- Schutzendubel, A. and Polle, A.** 2002. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of experimental Botany, Antioxidant and Reactive oxygen in plant*. **53**, 1351–1365.
- Selvam A. and Wong J. W-C.**, 2009. Cadmium uptake potential of *Brassica napus* cocropped with *Brassica parachinensis* and *Zea mays*. *Journal of Hazardous Materials* **167**, 170–178.
- Sen, C. K.**, 1997. Nutritional biochemistry of cellular glutathione. *Nut. Biochem.*, **8**, 660–662.
- Shakirova, F.M. and Bezrukova, M.V.**, 1997. Induction of wheat resistance against environmental and salinization by salicylic acid. *Biology Bulletin*, **24**, 109–112.

- Shalaby, E.E., Epstein, E. and Qualset, C.O.**, 1993. Variation in Salt tolerance among some wheat and Triticale genotypes, *J. Agronomy and Crop Science*, **171**, 298-304.
- Sharma, S.S., Schat, H. and Vooijs, R.**, 1998. In vitro alleviation of heavy metal induced enzyme inhibition by proline. *Phytochemistry*, **46**, 1531–1535.
- Shi-sheng, K.E.**, 2007. Effects of Copper on the Photosynthesis and Oxidative Metabolism of *Amaranthus tricolor* Seedlings. *Agricultural Sciences in China*, **6**, 1182–1192.
- Singh, T.N., Aspinall, D. and Paleg, L.G.**, 1972. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: A potential metabolic measure of drought resistance. *Nature (London)*, **236**, 188–190.
- Skórzyńska-Polit, E., Tukendorf, A., Selstam, E. and Baszyński T.**, 1998. Calcium modifies Cd effect on runner bean plants. *Environmental and Experimental Botany*, **40**, 275–286.
- Slaymaker, D.H., Navarre, D.A., Clark, D., Del-Pozo, O., Martin, G.B. and Klessig, D.F.**, 2002. The tobacco salicylic acid-binding protein 3 (SABP3) is the chloroplast carbonic anhydrase, which exhibits antioxidant activity and plays a role in the hypersensitive defense response. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **99**, 11640–11645.
- Sossé, B.A., Genet, P., Dunand-Vinit, F., Toussaint, L.M., Epron, D and Badot, P.M.**, 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*, **166**, 1213-1218.
- Sönmez, İ., Kaplan, M., Sönmez, S.**, 2008. Kimyasal gübrelerin çevre kirliliği üzerine etkileri ve çözüm önerileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, **25**, 24-34.
- Sun, B.Y., Kan, S.H., Zhang, Y.Z. , Deng, S.H. , Wu, J., Yuan, H., Qi, H., Yang, G., Li, L., Zhang, X.H., Xiao, H., Wang, Y.Z., Peng, H. and Li, Y.W.**, 2010. Certain antioxidant enzymes and lipid peroxidation of radish (*Raphanus sativus* L.) as early warning biomarkers of soil copper exposure. *Journal of Hazardous Materials*, **183**, 833–838.

- Sun, R., Zhou, Q., Sun, F. and Jin, C.,** 2007. Antioxidative defense and proline/phytochelatin accumulation in a newly discovered Cd-hyperaccumulator, *Solanum nigrum* L., *Environmental and Experimental Botany*, **60**, 468–476.
- Szalai, G., Páldi, E., Janda, T.,**2005. Effect of salt stress on the endogenous salicylic acid content in maize (*Zea mays* L.) plants. Proceedings of the 8th Hungarian Congress on Plant Physiology and the 6th Hungarian Conference on Photosynthesis, *Acta Biologica Szegediensis*, **49**, 47–48.
- Szalai G, Krantev A, Yordanova R, Popova L.P, Janda T.,** 2013. Influence of salicylic acid on phytochelatin synthesis in *Zea mays* during Cd stress. *Turk J. Bot.* **37**, 708-714.
- Tasgin, E., Attici, O. and Nalbantogly, B.,** 2003. Effect of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter wheat leaves. *Plant Growth Regulation*, **41**, 231–236.
- Teisseire, H. , Guy, V.,** 2000. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). *Plant Science*,**153**, 65–72.
- Thounaojam, T.C., Panda, P., Mazumdar, P., Kumar, D., Sharma, G.D., Sahoo, L. and Panda, S.K.,** 2012. Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice. *Plant Physiology and Biochemistry*, **53**, 33–39.
- Topçu, S.,** 1998. Tarım Mühendisliğinde Çevre Sorunları. *Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın* No: 207 Ders Kitapları Yayın No: **A-65**. 269s.
- Travacio, M. Polo, J.M. and Llesuy, S.,** 2000. Chromium (VI) induces oxidative stress in the mouse brain. *Toxicol.*, **150**, 137-146.
- URL-http://www.cedgem.gov.tr/Cevreatlasi/Atlasin_Metni.Pdf,** 2007. Çevre Bakanlığı Sitesi, *Ankara*.
- Uzunova, A.N. and Popova, L.P.,** 2000. Effect of salicylic acid on leaf anatomy and chloroplast ultra structure of barley plants. *Photosynthetica*, **38**, 243–250.
- Van Assche, F. and Clijsters, H.,** 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plants Cell Environ*,**13**, 195-206.

- Wen, J., Gong, M., Liu, Y., Hu, J. and Deng, M.,** 2013. Effect of hydrogen peroxide on growth and activity of some enzymes involved in proline metabolism of sweet corn seedlings under copper stress. *Scientia Horticulturae*, **164**, 366–371.
- Witham, F.H., Blaydes, D.F. and Dewlin, R.M.,** 1971. Experiments in Plant Physiology New york, *Von Nonstrand Reinhold Company*, 55–56.
- Yağmur, B., Hakerlerler, H ve Kılınç, R.,** 2003. Gübreler ve İnsan Sağlığı. *Çiftçi Dergisi*, sayı:2.
- Yalpani, N.; Silverma,P., Wilson,T.M.A., Kleier D.A., and Raskin I.,** 1991. Salicylic Acid is A Systemic Signal and An Inducer of Pathogenesis- Related Proteins in Virus – Infected Tobacco. *The Plant Cell*, **3**, 809–818.
- Yan, Y.P., Pan, X.B., He, J.Y., Zhu, C., Cheng, C. and Sun, Z.Y.,** 2006. Accumulation of copper in brown rice and effect of copper on rice growth and grain yield in different rice cultivars. *Chemosphere*, **65**, 1690–1696.
- Yang, Y.L., Zhang, Y.Y., Wei, X.L., You, J., Wang, W.R., Lu, J. and Shi, R.X.,** 2011. Comparative antioxidative responses and proline metabolism in two wheat cultivars under short term lead stress. *Ecotoxicol. Environ. Safe*, **74**, 733–740.
- Yılmaz D.D. and Parlak U,K.,** 2011. Changes in proline accumulation and antioxidative enzyme activities in *Groenlandia densa* under cadmium stress. *Ecological Indicators*, **11**, 417–423.
- Zengin, F. ve Munzuroğlu, Ö.,** 2003. Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) Kök, Gövde ve Yaprak Büyümesi Üzerine Kadmiyum (Cd^{++}) ve Civa (Hg^{++})’nın Etkileri. *C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt **24** Sayı 1.
- Zenk, M.H.,** 1996. Heavy metal detoxification in higher plants—a review, *Gene*, **179**, 21–30.
- Zhao, Y.,**2011. Cadmium Accumulation And Antioxidative Defenses In Leaves Of *Triticum aestivum* L. and *Zea mays* L.. *African Journal of Biotechnology*, **10**, 2936–2943.
- Zhou, Z.S., Guo, K., Elbaz, A.A. and Yang, Z.M.,** 2009. Salicylic acid alleviates mercury toxicity by preventing oxidative stress in roots of *Medicago sativa*. *Environmental and Experimental Botany* **65**, 27–34.

Zhou, Z.S., Huang, S.Q., Guo, K., Mehta, S.K., Zhang, P.C. and Yang Z.M., 2007.
Metabolic adaptations to mercury induced oxidative stress in roots of *Medicago sativa* L. *Journal of Inorganic Biochemistry*, **101**, 1–9.

Özgeçmiş	
Kişisel bilgiler	
Ad / Soyad	Tuğba YILDIZ
e-Posta	tgbyldz23@gmail.com
Uyruk	T.C
Doğum tarihi	20.05.1987
Ana dil	Türkçe
Diğer dil	İngilizce
Bilgisayar beceri ve yeterlilikleri	(Microsoft Office, Excel, Word, PowerPoint)
Stajlar	F.Ü. Eğitim Araştırma Ve Uygulama Hastanesinde Mikrobiyoloji bölümü 20 iş günü
	F.Ü. Eğitim Araştırma Ve Uygulama Hastanesinde Biyokimya bölümü 20 iş günü
Sertifikalar	Bilgisayar İşletmenlik Sertifikası

EĞİTİM BİLGİLERİ

LİSE	
Okulu	Özel Bilgem Lisesi
Bölümü	SAYISAL
Ortalama	4.20
Mezuniyet Tarihi	15.06.2004

ÜNİVERSİTE		
Lisans		
Mezun Olduğu Üniversite	FIRAT ÜNİVERSİTESİ	
Fakültesi	FEN FAKÜLTESİ	
Bölümü	BİYOLOJİ	
Mezuniyet Tarihi	06.06.2011	
Lisans Mezuniyet Not Ortalaması	4'LÜK SİSTEM: 2.60	100'LÜK SİSTEM: 66.40

Yüksek Lisans		
Mezun Olduğu Üniversite	FIRAT ÜNİVERSİTESİ	
Fakülte /Enstitü	FEN FAKÜLTESİ / FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ	
Anabilim Dalı	BİYOLOJİ	
Bilim Dalı	BOTANİK	
Mezuniyet Tarihi	12.02.2014	
Yüksek Lisans Not Ortalaması	4'LÜK SİSTEM: 3.45	100'LÜK SİSTEM: 87.05