

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MISIR (*Zea mays* L.) BİTKİLERİNDE KADMIYUMUN
TOKSİTİTESİ İLE NİTRİK OKSİT ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
DİDEM DEVECİ
(121110110)

Anabilim Dalı: Biyoloji
Programı: Botanik

Danışman: Doç. Dr. Songül GÜLENGÜL
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22.06.2015

HAZİRAN-2015

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MISIR (*Zea mays* L.) BİTKİLERİNDE KADMIYUMUN TOKSİTİTESİ İLE NİTRİK
OKSİT ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİDEM DEVECİ
(121110110)

Tezin Enstitüye Teslim Edildiği Tarih : 22.06.2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 21.07.2015

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

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ökkeş YILMAZ (F.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Ayhan Oğuz KİREÇCİ (B.E.Ü.)

AĞUSTOS-2015

ÖNSÖZ

Ekosistemlerin toprak, su ve hava gibi ortamlarında yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller, son yıllarda Dünya üzerindeki bütün organizmaların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Ağır metaller genellikle bulundukları ortamda biyodegradasyona uğramadıklarından dolayı kolaylıkla ekosistemlerde birikebilmekte ve çok kompleks yapılar oluşturarak toksik etkilerini arttırabilmektedirler. Kadmiyum, bitkilerde strese neden olan en toksik ağır metaldir. Kadmiyum vb. ağır metallerin çevredeki varlığı, bitkilerde hücre membranlarında içine alınıp ve hücrelere taşınma olaylarında görev yapan farklı mekanizmaları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle kadmiyumun toksik etkisi ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar her geçen gün artmaktadır.

Nitrik oksit (NO) uzun yıllardan beri bilim dünyasında varlığı bilinen gaz yapıda bir moleküldür. NO' nun bitkilerde tohum çimlenmesi, kök organogenezi, stoma hareketleri, senesens ve hücre çeperi lignifikasyonunda, sitosol, kloroplastlar, peroksizomlar ve mitokondrilerde çeşitli enzimlerin sentezi ve/veya düzenlenmesi ve ayrıca biyotik ve abiyotik stres koşullarında rol oynadığı bilinmektedir. NO sentezi bitki türüne, dokusuna ve bitkinin içinde bulunduğu yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişmektedir. NO, normal koşullarda bitki hücrelerinde az miktarda sentezlenmektedir. Hücreler NO' ya oldukça duyarlıdır ve çeşitli hücresel aktivitelerin gerçekleşmesi için gereklidir. NO, SNP formunda bitkiye dışardan takviye edildiğinde, Cd' ye karşı bitki köklerinde oksidatif hasarı azalttığı ve Cd' nin toksisitesine karşı koruyucu bir rol oynadığı ileri sürülmektedir. Bu çalışma, Cd kaynaklı oksidatif strese maruz kalan mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerine NO uygulamasının etkilerini araştırarak, bu konuda yapılan çalışmalara katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Araştırma konusunun ve uygulama yöntemlerinin belirlenmesinde, deneylerin yürütülmesinde ve sonuçlarının değerlendirilip tartışılmasında, tezin yazılmasında ve anlatım dilinin düzeltilmesinde her türlü yardımlarını gördüğüm tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Songül GÜLENGÜL' e, bölüm hocalarımızdan Prof. Dr. Ökkeş YILMAZ' a, eleştirileriyle bana destek olan eşim EYYÜP DURAN' a ve arkadaşım Seda BEYAZ' a, maddi ve manevi destekleri için AİLEM' e teşekkür ederim. Bu araştırma FÜBAP FF.13.16 nolu proje ile desteklenmiştir.

DİDEM DEVECİ

ELAZIĞ-2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Ağır Metal Stresi	3
1.2. Bitkilerde Ağır Metal Alınımı	4
1.3. Bitkilerde Ağır Metal Taşınımı	4
1.4. Ağır Metale Maruz Kalmanın Bitkilerde Yol Açtığı Zararlar	5
1.5. Bitkilerin Ağır Metal Zararından Korunma Mekanizmaları	5
1.6. Kadmiyum'un Kimyasal Özellikleri	6
1.7. Kadmiyum'la Yapılan Çalışmalar	9
1.8. Nitrik Oksit'in Kimyasal Özellikleri	13
1.9. Nitrik Oksit'in Metabolizması	15
1.10. Nitrik Oksitin Bitkilerdeki Fizyolojik Etkileri	17
1.11. Nitrik Oksit'in Bitki Büyüme Ve Gelişmesine Etkileri	19
1.12. Biyotik Ve Abiyotik Stres Koşullarında Nitrik Oksit'in Rolü	20
1.13. Senesens Kavramı	21
1.14. Senesens Sırasında Meydana Gelen Yapısal, Biyokimyasal Ve Moleküler Değişiklikler	23
1.15. Nitrik Oksit İle Senesens Arasındaki İlişki	24
1.16. Senesens İle Bitki Büyüme Düzenleyicileri Arasındaki İlişki	25
1.17. Nitrik Oksit İle Tuz Stresi Arasındaki İlişki	26
1.18. Nitrik Oksit İle Oksidatif Stres Arasındaki İlişki	26
1.19. SNP İle Yapılan Çalışmalar	28
1.20. SNP ve Kadmiyum'la Yapılan Çalışmalar	28

2.	MATERYAL ve METOD	31
2.1.	Materyal	31
2.1.1.	Test Çözeltilerinin Hazırlanması	34
2.1.2.	Bitki Materyaline Yapılan Uygulamalar	35
2.1.3.	Kimyasal Maddeler ve Organik Çözücüler	35
2.1.4.	Kullanılan Aletler ve Cihazlar	36
2.2.	Metotlar	36
2.2.1.	Bitkide Tespit Edilen Parametreler ve Yapılan Kimyasal Analizler	36
2.2.1.1.	Büyüme Parametrelerinin Alınması	36
2.2.1.2.	Klorofil (a+b) ve Karotenoid İçeriğinin Belirlenmesi	36
2.2.1.3.	Prolin (PrI) Analizi	37
2.2.1.4.	Malondialdehit (MDA) Analizi	37
2.2.1.5.	Redükte Glutasyon (GSH) Analizi	38
2.2.1.6.	Okside Glutasyon (GSSG) Analizi	38
2.2.1.7.	Yağ Asidi (FA) Analizi	38
2.3.	İstatistik Analizler	39
3.	BULGULAR.....	40
3.1.	Büyüme Parametrelerindeki Değişiklikler	40
3.2.	Klorofil (a+b) ve Karotenoid Miktarlarındaki Değişiklikler	47
3.3.	Prolin Miktarındaki Değişiklikler	48
3.4.	Malondialdehit Miktarındaki Değişiklikler	49
3.5.	Redükte Glutasyon (GSH) Miktarındaki Değişiklikler	51
3.6.	Okside Glutasyon (GSSG) Miktarındaki Değişiklikler	52
3.7.	Yağ asidi Miktarlarındaki (%) Değişiklikler	53
3.7.1.	Palmitik asit (16:0)	54
3.7.2.	Palmioleik asit (16:1)	54
3.7.3.	Stearik asit (18:0)	55
3.7.4.	Linoleik asit (18:2)	55
3.7.5.	Linolenik asit (18:3)	56
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	58
	KAYNAKLAR	62
	ÖZGEÇMİŞ.....	88

ÖZET

Bu çalışmada, mısır fidelerine önceden farklı SNP (25 ve 50 μ M) konsantrasyonları uygulandıktan sonra, bu fidelerin farklı kadmiyum (25, 50 ve 75 μ M) konsantrasyonlarına karşı verdiği fizyolojik ve biyokimyasal cevaplar araştırıldı. Çalışma materyali olarak mısır (*Zea mays* L.) tohumlarından geliştirilen 15 günlük fideler kullanıldı. Fidelere yapılan tüm uygulamalarda kökten hidrofonic yöntem tercih edildi. Fidler 3 gruba ayrılarak 48 saat süreyle SNP ön uygulaması yapıldı. Daha sonra bu 3 gruba, kendi içinde kontroller (saf su ve SNP' ler) saklı tutulmak suretiyle kadmiyumun farklı konsantrasyonları ayrı ayrı uygulandı. Farklı muameleler görmüş fidelelerde boy artışı, taze ağırlık başına düşen kuru ağırlık miktarı gibi büyüme parametreleri tespit edildi. Ayrıca kök ve yaprakta prolin, malondialdehit (MDA), redükte glutatyon (GSH), okside glutatyon (GSSG), total yağ asidi analizleri ve yaprakta pigment analizi yapıldı.

Elde edilen sonuçlara göre; SNP ön uygulamasız fidelelere kıyasla, SNP ön uygulamalı fidelelerde büyüme parametreleri üzerinde Cd uygulanmasından kaynaklanan inhibitif etkiler, daha hafiflemiş bulundu. Aynı şekilde yapraklardaki pigment (klorofil (a+b) ve karotenoid) yıkımları da daha az bulundu. SNP ön uygulamasız fidelelere kıyasla, SNP ön uygulamalı fidelelerde; hem kök hem de yaprakta malondialdehit miktarı azaldı; prolin miktarı kökte azaldı, yaprakta ise arttı; redükte glutatyon miktarı kökte ve yaprakta arttı; okside glutatyon miktarı kökte ve yaprakta azaldı. SNP ön uygulamasız fidelelere kıyasla, SNP ön uygulamalı fidelelerde yağ asidi değişimleri; palmitik asit için köklerde arttı, yapraklarda azaldı; palmioleik asit miktarı yaprakta azaldı; stearik asit ise köklerde azaldı; linoleik asit köklerde arttığı halde yapraklarda azaldı; linolenik asit ise yapraklarda yüksek bulundu. Palmioleik asit ve linolenik asit köklerde, stearik asit ise yapraklarda bulunamadı. Sonuçlar değerlendirildiğinde, genel olarak 50 μ M SNP ön uygulamasının Cd toksisitesini baskılama konusunda 25 μ M SNP' den daha başarılı bulundu.

Anahtar Kelimeler: Mısır (*Zea mays* L.), Nitrik oksit, SNP, Kadmiyum Toksikitesi, Oksidatif hasar

SUMMARY

CORN (*Zea mays* L.) PLANTS NITRIC OXIDE TOXICITY OF CADMIUM IN THE INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN

In this study, after corn to seedlings were applied to different SNP (25 and 50 μ M) concentrations, it investigated that gave against the different cadmium (25, 50 and 75 μ M) concentrations of these seedlings on physiological and biochemical responses. Fifteen days seedlings of corns (*Zea mays* L.) were made use of studying material. Seedlings in all applications made from root hydroponic method was preferred. The seedlings were divided into three groups and these groups were made first SNP application throughout forty-eight hours. After that, these three groups to except controls (pure water and SNPs) were separately applied different concentrations of cadmium. The seedlings in which they had treated differently detected growth parameters such as the amount height increase and dry weight per amount per green weight. In addition to proline analysis of root and leaf malondialdehyde (MDA), reduced glutathione (GSH), oxidized glutathione (GSSG), total fatty acid analysis, and pigment analysis of leaf were practised.

According to the obtained results; growth parameters on SNP pre-applied seedlings had inhibiting effect that arised from application Cd in comparison with SNP pre intervention of the application. In the same way as the leaves pigment (chlorophyll (a + b) and carotenoids) found that the less destruction. The pre-applied seedlings of SNP reduced amount of malondialdehyde both roots and leaves; amount of proline reduce to roots and increased to leaves; the amount of glutathione increased roots and leaves; the amount of oxidized glutathione decreased leaf and root. The SNP as compared pre-intervention of the application, fatty acids changes during SNP pre-applied seedlings; palmitic acid were increased in roots, decreased in leaves; palmioleic acid decreased in leaf; stearic acid decreased in root; linoleic acid in roots increased and decreased in leaves; linolenic acid increased in leaves. Palmioleic acid and linolenic acid could not be found in the roots, also stearic acid could not be found in the leaves. When the results are evaluated in generally, 50 μ M of SNP pre-applied was more successful than 25 μ M of SNP applied according to the suppress toxicity of Cd.

Keywords: Corn, Nitric Oxide, SNP, Cadmium Toxicity, Oxidative damage.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Ağır metallerin doğaya yayılması	2
Şekil 2. Kadmiyum ağır metalinin fizyokimyasal yapısı	7
Şekil 3. Enzimatik yollarla NO üretimi	16
Şekil 4. SNP'nin kimyasal yapısı	16
Şekil 5. Bitkilerde meydana gelen senesens çeşitleri (Leopold, 1961)	22
Şekil 6. Mısır bitkisi	32
Şekil 7. Çimlendirilmiş 3 günlük mısır (<i>Zea mays</i> L.) tohumlarının genel görünümü	34
Şekil 8. 15 günlük mısır fidelerinin uygulamalar öncesi genel görünümü	34
Şekil 9. Kontrol (saf su, 25 µM SNP ve 50 µM SNP) fidelerinin genel görünümü	41
Şekil 10. SNP ile ön uygulamasız ve ön uygulamalı 25 µM Cd konsantrasyonlu fideler .	43
Şekil 11. SNP ile ön uygulamasız ve ön uygulamalı 50 µM Cd konsantrasyonlu fideler ..	44
Şekil 12. SNP ile ön uygulamasız ve ön uygulamalı 75 µM Cd konsantrasyonlu fideler .	46

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Bitkilerde nitrik oksitin fizyolojik etkileri (Beligni ve Lamattina, 2001b).	18
Tablo 2. Dünya'daki Başlıca Mısır Üreten Ülkeler (1998). (Şahin, 2001)	31
Tablo 3. Mısır tanesinin mineral element içeriği (% 85 kuru madde üzerinden) (Kırtok,1998).	33
Tablo 4. 100 kg mısırdan elde edilebilen maddeler (Kanburoğlu ve Öğretir, 1980).	33
Tablo 5. SNP ön uygulamalı mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, kadmiyumun kök ve sürgün boyu artışı üzerine etkileri	45
Tablo 6. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız fidelerde kadmiyumun mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinin ağırlık değişimi üzerine etkileri	47
Tablo 7. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, kadmiyumun fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri	48
Tablo 8. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, kadmiyumun kök ve yaprakta malondialdehit ve prolin miktarları üzerine etkileri	49
Tablo 9. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, kadmiyumun kök ve yaprakta GSH ve GSSG miktarları üzerine etkileri	53
Tablo 10. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, kadmiyumun kökte yağ asidi bileşiminin (%) değişimi üzerine etkileri	56
Tablo 11. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız mısır (<i>Zea mays</i> L.) fidelerinde, kadmiyumun yaprakta yağ asidi bileşiminin (%) değişimi üzerine etkileri	57

KISALTMALAR LİSTESİ

µg	: Mikrogram
µM	: Mikromolar
µL	: Mikrolitre
µmol	: Mikromol
µg/g	: Mikrogram/gram
ABA	: Absisik Asit
ATP	: Adenozin Trifosfat
APX	: Askorbat peroksidaz
BHT	: Butilhidroksitoluen
CAT	: Katalaz
cm	: Santimetre
c-PTIO	: 2-(4-Carboxyphenyl)-4,4,5,5-tetramethylimidazoline-1-oxyl-3-oxide
EDTA	: Etilen DiaminTetra
g	: Gram
GA	: Giberellik Asit
GC	: Gaz kromatografisi
GPX	: Glutatyon peroksidaz
GSH	: Redükte glutatyon
GSSG	: Okside glutatyon
G-POD	: Gayakol tipi peroksidaz
HPLC	: Yüksek basınçlı sıvı kromatografisi
IAA	: Indol 3-Asetik Asit
Kg	: Kilogram
LOX	: Lipoksigenaz aktivitesi
MDA	: Malondialdehit
mg	: Miligram
µg/lt	: mikrogram/litre
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
mM	: Milimolar
N	: Normalite

NADP(H): Nikotinamid Adenin dinükleotid Fosfat

nm : Nanometre

nmol : Nanomol

nmol/g : nanomol/gram

pH : Hidrojen Gücü (Power of Hydrogen)

ppm : Milyonda Bir (mg/1000 ml)

POD : Peroksidaz

ROS : Reaktif oksijen türleri

RNA : Ribonükleik asit

RWC : Nispi Su Miktarı

SOD : Süperoksit Dismutaz

TA : Taze Ağırlık

TBA : 2- Thiobarbutirik

TCA : Trikloroasetik Asit

TEP : 1, 1, 3, 3 – Tetraethoxypropane

UV : Ultra Viyole

UV-B : Ultra Viyole-B

SEMBOLLER LİSTESİ

Ag	: Gümüş
Cd	: Kadmiyum
CdCl₂	: Kadmiyum klorür
CO₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Fe-S	: Demir-Kükürt
H₂O₂	: Hidrojen peroksidad
Hg	: Civa
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
NO	: Nitrik Oksit
NO⁻	: Nitroksil İyonu
NO₂⁻	: Nitrit
NO₃⁻	: Nitrat
NOS	: Nitrik Oksit Sentaz
NR	: Nitrat Redüktaz
O₂·	: Oksijen İyonu
OH⁻	: Hidroksil İyonu
OONO⁻	: Peroksinitrit
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
ROS	: Reaktif Oksijen Türleri
S	: Kükürt
SA	: Salisilik Asit
Se	: Selenyum
SNP	: Sodyum Nitroprussit
SNAP	: S-Nitroso-N-Asetil-Penisilamin
SNP	: Sodyum Nitroprussit

-OH : Hidroksil grubu

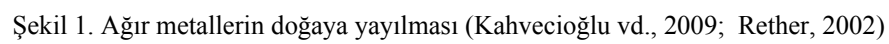
Zn : Çinko

1.GİRİŞ

Toprakta belli koşullarda çimlenen tohumdan kök, gövde ve yaprak gibi organların gelişmesi, eski çağlardan beri insanların ilgilendiğı önemli konulardan biri olmuştur. Çünkü primer üreticiler olan bitkiler insanların yaşamını devam ettirebilmesi için gıda, hammadde ve enerji kaynağı olarak her zaman vazgeçilmez olmuştur. Bitkiler gelişip fizyolojik evrelerini tamamlamada ihtiyaç duydukları maddeleri kolayca topraktan kökleriyle almaktadırlar. Son yıllarda ekosistemlerin toprak, su ve hava gibi ortamlarında yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller, bütün organizmaların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Ağır metallerin çevreye yayılmasına sebep olan etkenlerin başında endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar, kentsel atıklar gelmektedir (Öktüren Asri ve Sönmez, 2006). Yoğunluğu 5 gr/cm³ ten büyük olan veya atom ağırlığı 50 ve daha büyük olan elementlere “**ağır metaller**” denir. Ağır metaller yer kabuğunda doğal olarak bulunurlar, bozulmaz ve kaybolmazlar (Hamutoğlu vd., 2012). Bundan dolayı kirlenmiş topraklar, yer altı suları ve yüzey sularının temizlenmesi için kirlenmiş alanlardan toksik metallerin uzaklaştırılması gerekir (Şahin, 2007).

Ağır metaller, ekolojik dengeyi bozan, canlı büyüme ve gelişimini önemli ölçüde hasara uğratan ve çevreyi kirleten temel öğelerden biridir (Ruis-Jiménez vd., 2003). Birçok kirlenmede olduğu gibi ağır metal kirlenmesinde de öncelikle etkilenen grup bitkilerdir (Ayhan, 2006).

Ağır metallerden bakır (Cu) ve çinko (Zn) yaşam için gereklidir. Bitkilerde çinko, metabolizma olaylarını düzenleyen enzim sistemi için gereklidir. Buna rağmen kurşun (Pb) ve civa (Hg) gibi diğer metallerin faydalı biyokimyasal fonksiyonları yerine getirdiğı bilinmemektedir. Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn gibi topraktaki bazı ağır metallerin yüksek konsantrasyonları doğal su ve karasal ekosistemlerinin bozulmasına neden olmaktadır. Bitkiler için bazı ağır metaller düşük konsantrasyonlarda önemli mikro besin elementlerdir. Ancak bunların yüksek konsantrasyonları çoğunlukla bitki türlerinin büyümesini engeller, bu da metabolik düzensizliğe sebep olmaktadır. Bazı araştırmacılar, metal zengini topraklarda yetişen bazı bitki türlerinin endemik olduğunu ve toksik dozlardan daha fazlasını tolere edebildiğini bildirmişlerdir (Okçu vd., 2009). Bu akümülatör bitkiler ağır metalleri inaktif formda biriktirmekte ve bazı özel enzimlerle beraber kendi yaşamsal faaliyetlerini düzenlemektedirler (Hamutoğlu vd., 2012).



Toprakta yüksek konsantrasyonlarda ağır metaller, bitki gelişimini ve metabolik faaliyetlerini engellemekte, ürün kalitesini etkilemekte hatta bazen bitki ölümüne yol açmaktadır (Şahin, 2007). Toprakta ağır metallerin ortaya çıkardığı kirliliğin bitkilerdeki semptomları ağır metalin cinsine göre değişebildiği gibi, bitki türleri arasında da farklılık gösterebilmektedir. Ağır metallerin genel olarak bitkilerdeki toksisite belirtileri yaprakta klorozis ve nekrozis oluşumu, gövde ve kök kısımlarının deformasyonu gibi belirtiler şeklinde sıralanabilir (Sümer vd., 2013).

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; Kocaçalışkan, 2001).

Bitkiler yaşamlarının belirli dönemlerinde değişik streslere maruz kalmaktadırlar. Örneğin; tuz stresi ile beraber kuraklık stresinden, yine soğuk stresi ile beraber kuraklık stresinden bahsedilebilir. Bitkilerde ağır metal toksisitesi beraberinde oksidatif stresi getirmektedir.

1.1. Ağır Metal Stresi

Ağır metallerin alınma miktarları bitki türüne ve yaşına bağlı olarak farklılık gösterir. Bütün bitkiler topraktan ve sudan kendi büyüme ve gelişimleri için gerekli olan mineral elementleri toplama yeteneğine sahiptirler. Birçok bitki biyolojik fonksiyonları henüz tam olarak bilinmemekle beraber bazı ağır metalleri biriktirme yeteneğine sahiptir. Bu ağır metaller bitki türüne göre zaman zaman Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se ve Hg olabilmektedir. Farklı bitki türlerine göre ağır metallerin hem tolere edilebilir, hem de biriktirilebilir üst sınırları farklılık göstermektedir (Okçu vd., 2009).

Bitkiler, ağır metallerin zararlarını tolere edebilecek; aminoasit, ferritin, ağır metalotiyenin ve fitokelatin gibi moleküllerle kompleks yapılar yaparak hücre duvarları ve vakuol gibi metabolik yollardan uzak bölgelerde biriktirme, antioksidan enzim aktivitelerinin ve antioksidan moleküllerinin miktarlarının artırılması ve hücre membranlarının onarılması gibi birçok savunma mekanizmasına sahiptir (Greger ve Lindberg, 1986; Jackson vd., 1990; Verkleij ve Schat, 1990; Krämer vd., 1996; Sanita di

Toppi ve Gabrielli 1999; Prasad vd., 2001; Hall, 2002; Verma ve Dubey, 2003; Zacchini vd., 2003; Benavides vd., 2005).

1.2. Bitkilerde Ağır Metal Alınımı

Yapılan çalışmalar bitkilerin, atmosferde bulunan ağır metalleri çok az miktarda da olsa yaprakları (foliar) aracılığı ile alabildiklerini göstermiş olsa da (Harrison ve Chirgawi, 1989; Lindberg vd., 1992; Godzik, 1993; Marschner, 1995) ağır metal alınımının daha ziyade kökler aracılığı ile gerçekleştiği bilinmektedir (Ayhan, 2006). Ağır metaller toprakta, kolloidlerin yüzeyine tutunmuş halde, organik maddelerin yapısına bağlı halde ve toprak çözeltisi içerisinde iyon halinde bulunmaktadır. Bitkiler ancak toprak çözeltisinde iyon halinde bulunan ağır metalleri kökleri aracılığıyla alabilmektedirler. Çevresel koşulların değişmesi (pH, sıcaklık, diğer metallerin varlığı, mikroorganizmalar vb.) toprak çözeltisi içindeki ağır metal konsantrasyonunu değiştireceğinden dolayı ağır metal alınımını da etkilemektedir. Kök katyon değişim kapasitesi ve kök yüzey alanı gibi özellikler de ağır metal alınımını etkilemektedir (Davies, 1995). Örneğin pH' ın düşmesi ortamdaki H^+ iyonlarının artmasına neden olmakta ve artan H^+ katyonları, ağır metal katyonları ile rekabete girmektedir, kolloidlere tutunmasını engellemekte ve dolayısıyla bu da ağır metallerin toprak çözeltisindeki konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır (Marschner, 1995; Greger, 1999).

1.3. Bitkilerde Ağır Metal Taşınımı

Bitkilerin topraktan kökleriyle aldıkları ağır metaller ksilem aracılığı ile gövde ve yapraklara iletilmektedir. Kök vasıtasıyla alınan ağır metaller apoplastik ve/veya simplastik yolla ksileme ulaşırlar. Endodermal hücre tabakası, ksileme apoplastik yoldan ağır metal ulaşımını engelleyen bir bariyer görevi görmektedir (Seregin ve Ivanov, 1997; Tester ve Leigh, 2001). Bundan dolayı genellikle ağır metaller simplastik yoldan bu tabakayı aşip ksileme ulaşmak zorundadırlar (Tester ve Leigh, 2001). Kadmiyum iyon halinde ksilemde taşınabilmektedir (Mench vd., 1988). Bunun yanı sıra organik asitlerin de taşınmada rol oynadığı rapor edilmiştir (Greger, 1999). Floem aracılığıyla da ağır metal iletiminin olup olmadığının tespit edilmesine yönelik çalışmalarda, Cd uygulanmış yapraklarda kısmi bir taşınım söz konusu olsa da (Greger vd., 1993), Cd, Cu ve Zn ile

yapılan diğer araştırmalarda (Ayhan, 2006), bu ağır metallerin yapraklardan köklere giden bir iletiminin olmadığı tespit edilmiştir.

1.4.Ağır Metale Maruz Kalmanın Bitkilerde Yol Açtığı Zararlar

Toksik konsantrasyonlarda ağır metale maruz kalan bitkilerde pek çok metabolik değişiklik meydana gelmektedir. Bu değişikliklerin yol açtığı zararların bir kısmı gözle görülebilir düzeydeyken bazıları ancak karmaşık biyokimyasal analizler ile tespit edilebilmektedir (Ayhan, 2006).

Kök, gövde ve yapraklarda meydana gelen değişiklikler;

➤ Ağır metal zararının en belirgin etkisi köklerde görülmektedir (Tester ve Leigh, 2001; Verma ve Dubey, 2003). Yüksek ağır metal konsantrasyonuna maruz kalmış bitkilerde kökler, normal bitki köklerine göre çok daha kısadır ve saçak kök sayısında ve/veya yan köklerde azalma görülebilmektedir. Bunların yanı sıra köklerde lignifikasyon ile epidermis ve hipodermiste bazı yapısal değişiklikler de tespit edilmiştir. Daha sonra gövde uzaması da ağır metal alınımından etkilenmektedir. Gerek kök ve gerekse gövdenin taze ve kuru ağırlıklarında azalma meydana gelmektedir (Barceló ve Poschenrieder, 1990; Punz ve Sieghardt, 1993; Hagemeyer ve Breckle, 1996; Peralta vd., 2001; Munzuroğlu ve Geçkil, 2002; Stolt vd., 2003; Köleli vd., 2004; Sharma vd., 2004; Chaoui ve Ferjani, 2005; Lombardi ve Sebastiani, 2005).

➤ Maruz kalınan ağır metal çeşidine ve konsantrasyonuna bağlı olarak bitki yapraklarında; şekil değişikliğinin yanı sıra klorozis (sararma) ve nekrotik leke oluşumu görülebilmektedir (Krupa ve Moniak, 1998; Lagriffoul vd., 1998; Benavides vd., 2005; Köleli vd., 2004; Lombardi ve Sebastiani, 2005). Benavides ve arkadaşlarına (2005) göre, Cd toksisitesinin en belirgin etkisi, yaprak büyümesinin inhibisyonu, yapraklarda yuvarlanma ve sararmadır. Aynı araştırmacılar, yapraklardaki klorozisin, Fe yetersizliği (Haghiri, 1973), P yetersizliği ya da Mn taşınımının engellenmesi (Godbold ve Huttermann, 1985) nedeniyle olabileceği ileri sürülmüştür.

1.5. Bitkilerin Ağır Metal Zararından Korunma Mekanizmaları

Bitkiler, ağır metallerle kirlenmiş topraklarda yaşayabilmek için 3 temel strateji geliştirmişlerdir (Baker ve Walker, 1990);

a) Metal dışlayıcılar: Topraktaki ağır metal konsantrasyonundan yüksek olan konsantrasyonların girişini engelleyen ve köklerinde metallerin geniş oranını kontrol altında tutan bitkiler.

b) Metal indikatörler: Kendi dokularında ağır metalleri biriktiren ve toraktaki ağır metal seviyeleri genellikle dokularındaki ağır metal seviyelerini gösteren bitkiler.

c) Toplayıcılar: Toprakta hazır halde bulunan ağır metalleri kendi dokularında çok yoğun şekilde bulunduran bitkiler (Okçu vd., 2009).

Bugün 400 kadar ağır metal biriktirici bitki bulunduğu bilinmektedir. Bu bitkilerden en bilineni *Thlaspi caerulescens*' dir. Bitkilerin ağır metallere tolerans mekanizmaları özetlenecek olursa;

1) Hücre duvarlarına metal bağlanması: Pb-karbonat olarak tutulur.

2) Hücre membranlarına doğru taşınımın azalması: Ağır metaller bitki köklerinde tutulur, gövde ve sürgünlere taşınması engellenir.

3) Vakuollerde depolanma: Zn elementi Zn fitalat, malat ve oksalat gibi düşük molekül ağırlıklı organik bileşikler halinde, Cd thiol gruplarına ve Ni histidin ile bağlanarak vakuollerde depolanır.

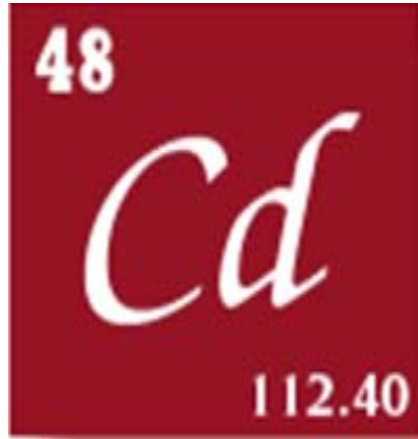
4) Şelatlama: Cd' nin thiol gruplarına, Pb glutatyon ve aminoasitlere bağlanarak fitoşelatlar oluştururlar. Öte yandan organik asitlerden sitrat, malat ve malonat ile birleşerek fitoşelatları oluştururlar. Metallothioneinler pek çok hayvan ve bitkide bulunan proteinlerdir. Ağır metaller ile bağlanarak protein bileşikleri oluştururlar (Aksu ve Yıldız, 2004).

Başka bir görüşe göre; bitkilerin strese cevabı, kaçınma (sakınma) ve tolerans (dayanma) olmak üzere iki şekilde olmaktadır (Lewitt, 1980; Bray vd., 2000). Kaçınma, stres faktörlerinin bitkiye girişinin önlenmesi ya da azaltılması olup, bitki morfolojisinde ve metabolizmasında değişiklikler meydana getirmektedir. Tolerans, stres faktörlerinin etkilerinin giderilmesi, azaltılması ve ortadan kaldırılması gibi aktif mekanizmaları içine almaktadır (Ayhan, 2006).

1.6. Kadmiyum'un Kimyasal Özellikleri

Ağır metallerden biri olan Kadmiyum (Cd), çevre kirliliğindeki önemli bir unsur olarak gündeme gelmiş bir metaldir. (Okçu vd., 2009). Kadmiyum (Cd) gümüş beyazı renğinde bir metaldir ve havada hızla kadmiyum oksite dönüşür. Kadmiyum sülfat,

kadmiyum nitrat, kadmiyum klorür gibi inorganik tuzları suda çözünür (Sonsuz vd., 2011). Kadmiyum normalde topraklarda düşük konsantrasyonlarda bulunan toksik bir elementtir. Kadmiyumun tarım topraklarında bulunması ana metal kaynaklı olabileceği gibi endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler, lağım atıkları ve atmosferik depozitler gibi insan faaliyetleri sonucunda da olabilir (Öktüren Asri vd., 2007). İnsan faaliyetleri sonucu toprağa ulaşan Cd' nin % 54-58' i fosforlu gübrelerden, % 2-5' i atık çamur ve çiftlik gübresi uygulamalarından, % 39-41' i ise atmosferik depolanmadan kaynaklanmaktadır (Yost ve Miles, 1979). Kadmiyum, bitkilerde strese sebep olan en yıkıcı ağır metallere birisidir (Hegedüs vd., 2001). Aslında kadmiyum biyolojik fonksiyonlar açısından bitkiler için gerekli bir element değildir (Laspina vd., 2005). İnsan, hayvan ve bitkiler için toksiktir. Diğer ağır metallere göre çok daha fazla (2-20 kat) toksik etkiye sahiptir. Kadmiyum toprakta hareketli bir elementtir ve bitkiler tarafından kolaylıkla alınabilir (Öktüren Asri vd., 2007).



Şekil 2. Kadmiyum ağır metalinin fizikokimyasal yapısı

Bitkiler tarafından topraktan alınması sonucunda besin zincirine girmesi veya topraktan yıkanarak içme sularına karışması sebebiyle önemli bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Öte yandan kadmiyum topraktaki şelatlayıcı ajanlarla hızla toprağın derinlerine taşınıp, yer altı sularına karışarak içme ve sulama sularında kirliliğe sebep olmaktadır (Köleli ve Kantar, 2005). Bunun yanı sıra kadmiyumun yarılanma ömrünün 15-1100 yıl gibi uzun olması (Kabata-Pendias, 1992) da hangi ortamda olursa olsun Cd kirliliğinin önlenmesini ya da zararlarının minimuma indirilmesini gerekli hale getirmiştir (Öktüren Asri vd., 2007). Topraktaki Cd düzeyi doğal şartlarda çok düşük seviyededir. Ancak çeşitli antropojenik kaynaklar yoluyla toprağa Cd girişi fazla olmaktadır.

Endüstriyel emisyonlar, kanalizasyon sularının tarım arazilerine uygulanması; toprakların Cd içeriğinde artışa neden olmaktadır (Yost ve Miles, 1979). Toprakta 3 mg/kg, bitki kuru maddesinde de 1 mg/kg' den fazla Kadmiyum toksik etkilidir (Öktüren Asri ve Sönmez, 2006). Özellikle son 20-30 yıllık süre içerisinde Dünya topraklarının Cd içeriğinin arttığı bildirilmektedir. Son yıllarda Cd içeriğinde görülen bu artışın en önemli nedeni olarak da fosforlu gübre ve arıtma çamurlarının çok yoğun olarak kullanılması gösterilmektedir (Özbek vd., 1995). Yapılan çalışmalarla, dünya tarım topraklarının ortalama Cd konsantrasyonunun 0.053 mg/kg olduğu rapor edilmiştir. Söz konusu Cd konsantrasyonunun da 0.01-2.7 mg/kg arasında değiştiği ortaya konulmuştur (Kabata-Pendias ve Pendias, 1992).

Bitkilerdeki Cd' nin % 10' u atmosferden, % 90' ı ise topraktan alınmaktadır. Bitkilerin Cd içeriği genel olarak kuru ağırlık esasına göre $\leq$ 0.5 mg/kg' dir. Bitkinin türü ve yaşına bağlı olarak bu değer, büyük farklılık göstermektedir. Bitkilerde Cd birikimiyle ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar özellikle çeltik, buğday ve mısır üzerine yoğunlaşırken (Yu vd., 2006; Amar vd., 2007; Wang vd., 2007); sebzelerde de Cd birikimiyle ilgili daha az çalışma yapıldığı bildirilmiştir. Türler arasında Cd alımı yönünden genetik çeşitlilik olduğu soya fasulyesinde (Uysal, 2012), mısırdaki (Hinesly vd., 1982) ve marulda (Thomas ve Harrison, 1991) tespit edilmişken; aynı türün varyeteleri arasında da farklılık olduğu makarnalık buğdayda (Tahvonen ve Kumpulainen, 1993) ve arpada (Wu ve Zhang, 2002) ortaya konulmuştur. Kadmiyum fasulye, bezelye, patates, lahana ve diğer sebzelerde genellikle düşük miktarlarda bulunmaktadır. Kereviz, yeşil lahana, ıspanak ve kıvırcık salatada ise yüksek miktarlarda Cd bulunmaktadır (Özbek vd., 1995). Kadmiyum bitki bünyesinde azot ve karbonhidrat metabolizmasını değiştirerek birçok fizyolojik değişikliğe neden olmaktadır. Proteinlerin -SH gruplarındaki enzimleri inaktive ederek, fotosentezi engellemekte ve stomaların kapanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca transpirasyon ile su kaybının azalmasına ve klorofil biyosentezinin gerilemesine neden olmaktadır (Sheoran vd., 1990). Bunun yanı sıra ağır metallerin serbest radikal oluşumuna neden olduğu ve bu yolla tilakoid membran lipidlerinin oksidatif yıkımına yol açtığı, ayrıca bu gibi durumlarda da klorofil yıkımını arttırdığı ve/veya sentezini de engellediği bilinmektedir (Zengin ve Munzuroğlu, 2005). Kadmiyum stresi altındaki bitkilerde azot metabolizmasının enzimleri olan nitrat redüktaz ve nitrit redüktazın aktiviteleri azalmakta (Öktüren Asri ve Sönmez, 2006); bunun yanı sıra dolayısıyla stoma kapanması sebebiyle transpirasyonla su kaybı azalmaktadır ve Cd taşınması

engellenmektedir. Bu bitkilerde kök büyüme ve gelişmesindeki gecikme su ve iyon alınımının azalmasından kaynaklandığı ileri sürülmüştür (Salt vd., 1995). Cd' nin fotosentez oranı üzerine olan olumsuz etkisi CO₂ asimilasyonunu azaltmasından kaynaklanmaktadır (Öktüren Asri vd., 2007).

1.7. Kadmiyum'la Yapılan Çalışmalar

Yapılan pek çok araştırmada Cd toksisitesinin bitkilerde; tohum çimlenmesinde inhibisyona, kök-gövde uzamalarında ve ağırlıklarında azalmaya (Lagriffoul vd., 1998; Mishra ve Choudhari, 1998; Obroucheva vd., 1998; Çatak vd., 2000; Munzuroğlu ve Geçkil, 2002; Verma ve Dubey, 2003; Dunbar vd., 2003; Kıran ve Munzuroğlu, 2004; Kıran ve Şahin, 2005; Peng vd., 2005), pigment miktarında azalmaya (Stobart vd., 1985; Burzynski, 1987; Sinha vd., 1993; Sengar ve Pandey, 1996; Lagriffoul vd., 1998; Chugh ve Sawhney, 1999; Öncel vd., 2000; Macfarlane ve Burchett, 2001) sebep olmuştur. Ayrıca fotosentetik aygıtlarda zarara ve fotokimyasal aktivitelerde azalmaya (Ahmed ve Tajmir-Riahi, 1993; De Flillppis ve Ziegler, 1993; Rashid vd., 1994; Poskuta vd., 1996; Nathalie ve Carpentier, 1999; Sanità di Toppi ve Gabbrielli, 1999; Chugh ve Sawhney, 1999; Sarvari vd., 2002), enzim aktivitelerinde değişikliklere (Stiborova vd., 1986; Vojtechova ve Leblova, 1991; De Flillppis ve Ziegler, 1993; Verma ve Dubey, 2003; Zacchini vd., 2003), membran yapısında ve geçirgenliğinde değişikliklere (Przymusinski vd., 1991; Stefanov vd., 1993; Fodor vd., 1995; Stefanov vd., 1995; Halliwell ve Gutteridge, 1999; Kocheva vd., 2004), hücre bölünmesinde inhibisyona (Wierzbicka, 1994; Eun vd., 2000; Yang vd., 2000; Kıran ve Şahin, 2005), mineral madde alınımı ve kullanımında değişimlere (Walker vd., 1977; Burzynski, 1987; Haussling vd., 1988; Alcantara, 1994; Hernández vd., 1996; Das vd., 1997; Lagriffoul vd., 1998; Paivoke, 2002), serbest radikallerin artmasına (Chaitanya ve Naithani, 1994; Stohs ve Bagchi, 1995; Verma ve Dubey, 2003; Cho ve Seo, 2004) neden olduğu bildirilmiştir.

Choudhury ve arkadaşları tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada pirinç (*Oryza sativa*) köklerinde kadmiyum toksisitesine bağlı olarak Cd miktarı arttıkça bitki ağırlığının, SOD, CAT ve peroksidaz enzimlerinin aktivitelerinin azaldığı, MDA içeriğinin ise arttığı tespit edilmiştir (Choudhury ve Panda, 2004). Ayçiçeğinde (*Helianthus annuus* L.) yapılan bir çalışmada artan Cd konsantrasyonlarına bağlı olarak yapraklarda redükte glutatyon miktarının arttığı tespit edilmiştir (Freeman, vd., 2005; Yoshida, vd., 2009).

Uzun süre kadmiyum stresine maruz kalan arpa (*Hordeum vulgare* L.) fidelerinde fotosentetik pigmentlerin şekillenmesi engellenmiş ve çözülebilir proteinlerin içeriğinde azalma gözlenmiştir (Vassilev ve Yordanov, 1997; Klimentina, vd., 2006). Bezelye (*Pisum sativum* L.) fidelerinde yapılan başka bir çalışmada ise, 50 µM Cd' nin yapraklardaki transpirasyon hızını yavaşlattığı, fotosentez oranı ve klorofil sentezini azalttığı tespit edilmiştir (Sandalio vd., 2001).

Domates (*Lycopersicon esculentum* L.) ve fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) fidelerinde yapılan bir çalışmada 50 µM CdCl₂ içeren besin çözeltilerinin uygulanması sonucu kadmiyumun bitki köklerindeki nitrat redüktaz aktivitesini azalttığı rapor edilmiştir (Quariti vd., 1997).

Hasan ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılan bir çalışmada kum kültüründe yetişen nohut (*Cicer arietinum* L.) fidelerinde 50, 100 ve 150 µM Cd uygulaması yapılmıştır. Büyüme devresinde olan fidelere 5, 15 ve 25 günlük iken yapılan Cd uygulaması neticesinde, kök ve sürgün taze ve kuru kütlesinin azaldığı, kök ve yaprak prolin içeriğinin de arttığı rapor edilmiştir. Kadmiyum muamelesinin meydana getirdiği zarar 5 günlük fidelerde belirgin olmakla birlikte, fidelerin daha sonraki büyüme devrelerinde (15 ve 25 günlük), Cd dozlarının artışına paralel olarak daha da arttığı rapor edilmiştir (Hasan vd., 2008).

Biber (*Capsicum annuum* L.) fidelerinde yapılan bir çalışmada Cd uygulamasına bağlı olarak mineral madde birikiminin değiştiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda yaprak ve gövdede Cd birikimini karşılaştırdıklarında gövdede, bu birikimin fazla gerçekleştiği rapor edilmiştir. Ayrıca, biber fidelerinin yapraklarında özellikle 100 µM Cd uygulamasında potasyum miktarında azalma olduğu rapor edilmiştir (Koç vd., 2013).

Gomes ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptıkları bir çalışmada *Pfaffia glomerata*' ya uygulanan yüksek konsantrasyonda kadmiyumun esansiyel makro (Mg ve S) ve mikro (Zn, Fe, Mn ve Cu) elementlerin gövdedeki konsantrasyonunu azalttığını belirtmişlerdir. Xin ve arkadaşlarının (2013) yaptığı başka bir çalışmada *Caspicum annuum* L. kültürlerine Cd uygulayarak meyve, kök, gövde ve yapraklarda da Cd birikimini incelenmiştir. Araştırmacılar özellikle köklerde Cd birikimin daha fazla gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Obamate ve Umebayashi (2008), fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) ve bezelyede (*Pisum sativum* L.) yaptıkları çalışmada Cd konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak potasyum konsantrasyonunda bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Sun ve Shen' in 2007 yılında yaptığı diğer bir çalışmada ise, Cd stresi altındaki kabak (*Cucurbita pepo* L.) bitkisinin

yapraklarında Mg miktarında azalma olduğunu, buna bağlı olarak da yapraklarının büyümesinde bir azalma meydana geldiği rapor edilmiştir (Koç vd., 2013).

Hassan ve arkadaşlarının (2005) yaptığı kadmiyum toksisitesinin çeltik (*Oryza sativa* L.) bitkisinin büyüme oranı ve antioksidan enzim aktivitesini araştırdığı bir çalışmada Cd miktarı arttıkça bitki ağırlığının, süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidaz enzimlerinin aktivitesinin azaldığı tespit edilmiştir (Hassan vd., 2005).

Chaffei ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, 50 µM Cd uygulanan domates (*Lycopersicon esculentum* L.) fidelerinin yaprak ve köklerinin nitrat içeriğinin kontrol bitkilerine göre % 24 ve % 62 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Chaffei vd., 2004). Bir başka çalışmada ise, buğday (*Triticum aestivum* L.) fidelerinin yetiştirildiği ortama Cd ilave edilmesinin bitkilerin potasyum ve nitrat alımını azalttığını ve sürgün gelişimini engellediği tespit edilmiştir (Öktüren Asri ve Sönmez, 2006).

Farklı mısır (*Zea mays* L.) varyetelerinde yapılan bir çalışmada fizyolojik ve biyokimyasal parametrelere bakılmıştır. 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 miktarlarının artmış olduğu bulunmuştur (Ayhan, 2006). Zhao' nun 2011 yılında yaptığı çalışmada, hidrofonik sistemde yetiştirilmiş olan mısır fidelerine, farklı kadmiyum (Cd) konsantrasyonları (0.01, 0.1 ve 1 mg/l) uygulanmış ve antioksidan enzim sistemindeki değişiklikler tespit edilmiştir. Bitkilerin büyüme parametrelerine, kök ve sürgünlerinde prolin ve Cd içeriğine, yapraklarında ise klorofil miktarına bakılmıştır. Bu çalışmada, Cd konsantrasyonu arttıkça dokularda klorofil miktarı ve süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi azalmıştır. Ancak sürgün ve köklerde biriken Cd miktarı artmış, buna bağlı olarak da MDA miktarı, prolin miktarı, peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) aktivitesinin arttığı rapor edilmiştir. Sonuç itibarıyla yüksek Cd seviyeleri mısırdaki büyümeyi olumsuz etkilemiştir (Zhao, 2011). Yapılan diğer bir çalışmada, mısırdaki (*Zea mays* L. cv. KJ9451) kadmiyum toksisitesinin, tohum çimlenmesi, fide büyümesi, pigment geliştirme ve enzim aktivitesi araştırılmıştır. Kadmiyumun yüksek konsantrasyonları, tohumun çimlenme yüzdesini, taze ağırlığı ve kuru ağırlığını azaltmıştır. Kadmiyumun dozlarının artışına bağlı olarak katalaz aktivitesi artmış ve peroksidaz aktivitesi ise azalmıştır (Chaudhary ve Sharma, 2009). Mısır fidelerinde (*Zea mays* L. cv. Dekalb DK604) yapılan bir başka

çalışmada ise, Cd kaynaklı oksidatif stres sonucunda, MDA miktarı ve karbonil birikimi, ayrıca protein yıkımı artmıştır. Askorbat peroksidaz (APX) ve SOD aktivitesi metal muamelesine bağlı olarak ölçülmüş, köklerde APX artmış ve SOD aktivitesinde önemsiz değişimler rapor edilmiştir. Redükte glutatyon (GSH) içeriğinde ise azalma olmuştur. Kök ve sürgünlerde taze ağırlık, Cd konsantrasyonu artışına bağlı olarak azalmıştır (Ivarez vd., 2006). Selvam ve Wong (2009) tarafından mısır bitkilerinde yapılan başka bir çalışmada, kadmiyum alımı potansiyeli incelemiştir. Bitkiler, Cd muameleli (3, 6, 12, 25, 50 mg/kg) topraklarda büyütülmüş ve daha sonra yapılan analizler biyokütlenin etkilendiğini ortaya koymuştur (Selvam ve Wong, 2009). Fasulye fidelerinde Cd stresine bağlı olarak, kök ve sürgün uzunluklarının, çimlenme yüzdesinin azaldığı gösterilmiştir (Bahmani vd., 2012). Diğer 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 tespit edilmiştir (Auda ve Emad, 2010).

Buğday (*Triticum aestivum* L.) fidelerinde yapılan bir çalışmada; toprağa uygulanan Cd konsantrasyonları arttıkça kuru ağırlık azalmış, ayrıca Cd konsantrasyonun dokudaki birikiminin de arttığı tespit edilmiştir (Kalınbacak vd., 2012). Narenciye' nin anaç köklerinde yapılan bir çalışmada; Cd' nin yol açtığı oksidatif stresin etkilerini değerlendirmek amacıyla, fidanlar hidrofonic yöntemle 7 gün süresince Cd konsantrasyonlarına maruz bırakılmıştır. 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) artış göstermiştir. 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 ağırlığının arttığı rapor edilmiştir (Jouili ve El Ferjani, 2004). Guo ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada kadmiyum stresi altındaki köklerde hücre ölümünün arttığı tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada nikel, kadmiyum ve molibdenin 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). *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* bitkisinde yapılan bir çalışmada $CdCl_2$ ' nin bitki büyümesi ve klorofil sentezi üzerine etkileri araştırılmıştır. Artan $CdCl_2$ konsantrasyonlarında (50, 100, 200 ve 400 μM $CdCl_2$) prolin içeriğinin arttığı tespit edilmiştir (Nedjimi ve Daoud, 2009).

Baszyński ve arkadaşlarının (1980) yaptığı çalışmada, Cd uygulanmış bitkilerin kloroplastlarında yapısal bozukluklar saptanmıştır (Baszyński vd., 1980).

Arabidopsis thaliana fidelerinde yapılan bir çalışmada, Cd uygulamasına bağlı olarak redükte ve okside glutatyon miktarlarının kökte ve yaprakta arttığı tespit edilmiştir (Ann vd., 2011). *Arabidopsis thaliana* fidelerinde yapılan başka bir çalışmada ise, Cd uygulanan fidelerde GSH ve GSSG içeriğinin kontrole göre, arttığı bildirilmiştir (Zawoznik vd., 2007). Romero-Puertas ve arkadaşlarının yaptığı çalışma, kadmiyum toksisitesinin bezelye bitkisinde GSH ve GSSG miktarını kontrole oranla azalttığını ortaya koymuştur (Romero-Puertas vd., 2007). Lin ve arkadaşlarının yaptığı bir diğer çalışmada ise, Cd konsantrasyonları arttıkça kontrole kıyasla fidelerde GSH miktarının azaldığı, GSSG miktarının ise arttığı tespit edilmiştir (Lin vd., 2007). *Bechmeria nivea* (rami) fidelerinde yapılan bir çalışmada, kontrole oranla Cd konsantrasyonları arttıkça GSH ve GSSG içeriklerinin arttığı bildirilmiştir (Liu vd., 2007).

Yağ asitlerinde 50 µM Cd' nin palmitik asit (16:0) ve stearik asit (18:0) miktarını arttırdığı görülmüştür. Linoleik asit ve linolenik asit değerleri Cd' nin tüm dozlarında artış gösterirken, oleik asit (18:1) miktarı azalmıştır (Belkhadi vd., 2010). 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 ise azaldığı rapor edilmiştir (Popova vd., 2009). Kadmiyum uygulanan domates fidelerinin yaprak ve köklerinin hücre membranında linoleik (18:2) ve linolenik asit (18:3) miktarının azaldığı rapor edilmiştir (Ouariti vd., 1997).

1.8. Nitrik Oksit'in Kimyasal Özellikleri

Nitrik oksit (NO), bir azot atomu ve oksijen atomunun birleşmesiyle oluşan, hem suda hem de yağda erime özelliğine sahip, renksiz, gaz yapıda bir moleküldür. Dış yörüngesinde paylaşılmamış bir elektron içermesi nedeniyle NO hem radikal özelliği kazanmakta hem de membranlardan kolaylıkla difüzyon edebilmektedir (Lancaster, 1997; Stöhr ve Ullrich, 2002).

Nitrik oksit, oldukça önemli biyolojik fonksiyonları yerine getirmek üzere üretilen nitrojen merkezli bir radikaldır. Paylaşılmamış elektron aslında nitrojen atomuna ait ise de, bu elektronun hem nitrojen hem de oksijen atomu üzerinde delokalize olması nedeniyle tam radikal özelliği taşımamaktadır. Bunun sonucu olarak, bilinen diğer radikallere göre

reaktivitesi baskılandığından, oldukça uzun ömürlü bir radikaldir (Selçukcan, 2005). Nitrik oksit uzun zamandır bilim dünyasında varlığı bilinen gaz yapıda bir moleküldür. Ancak yakın zamana kadar araştırmacıların, bitkilerde NO' nun etkileri ile ilgili çalışmaları yalnızca atmosferik kirlenme üzerine olmuştur. Bitkilerde NO' nun salınımı ve bitki büyümesi üzerine olan etkileri ilk olarak 1970'li yıllarda tanımlanmıştır (Anderson ve Mansfield, 1979). Daha sonraki yıllarda da bitkilerin yalnızca atmosferik NO' ya cevap vermediği, bunun yanı sıra önemli miktarlarda endojen olarak NO' yu ürettikleri de kesinlik kazanmıştır (Wildt vd., 1997). İlk defa memeli hücrelerinde, daha sonra da bitkilerde NO' nun büyüme ve gelişme süreçlerinde, biyotik ve abiyotik stres cevaplarının oluşmasında haberci molekül olduğu ispat edilmiştir (Graziano ve Lamattina, 2005). Bununla beraber, 1998 yılında NO' nun bitki savunma sinyali olarak tanımlanmasına kadar olan zaman içerisinde, bitki büyüme ve gelişmesi üzerine olan etkileri Leshem (Leshem ve Haramaty, 1996) ve Lamattina (Laxalt vd., 1997) gibi birkaç araştırmacı ile sınırlı kalmıştır. Bundan sonra NO ve bitki fizyolojisi ile ilgili çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmıştır (Del Rio vd., 2004; Graziano ve Lamattina, 2005). Günümüzde NO' nun biyolojik fonksiyonları hakkında yapılan çalışmalar oldukça dikkat çekicidir ve biyosentez yolunun hala tartışma konusu olması bitki fizyologlarını NO' nun sentezi, biyokimyası ve moleküler mekanizması ile ilgili araştırmalar yapmaya yönlendirmektedir (Selçukcan, 2005). NO ile ilgili tüm bu gelişmelere rağmen bitki metabolizması, büyüme ve gelişmesi üzerine olan rollerinin, özellikle de bitki hormonları ile etkileşimlerinin, çeşitli stres koşullarına karşı oluşturulan savunma cevaplarındaki ve senesens sürecindeki görevlerinin ortaya çıkarılmasında çok daha fazla araştırmaya gereksinim duyulmaktadır (Selçukcan, 2005).

NO düşük molekül ağırlığına sahip olup, lipofilik özellikte olduğundan dolayı hücre membranlarından kolayca difüzyona uğrayabilmektedir. Ayrıca çiftlenmemiş elektron taşıması nedeniyle serbest radikal olarak kabul edilir. NO diğer moleküllerle kuvvetli reaksiyonlara girebilen, birkaç saniye yarı ömrü olan fizyolojik haberci molekül olarak da tanımlanmaktadır (Durner ve Klessig, 1999; Neill vd., 2002a). Hücrelerde kontrolsüz üretim ile artan NO, süproksit anyonları ile reaksiyona girerek peroksinitriti meydana getirmesi sonucunda toksik etki göstermektedir. NO' nun reseptör molekülleri aktive etmediği, bunun yerine birkaç farklı mekanizma yolu ile hedef moleküllere kovalent olarak bağlanarak hücrelerin yaşaması için temel biyokimyasal süreçlerden biri olan mitokondrilerdeki solunumu baskıladığı, demir sülfür içeren enzimlerle ilişkiye girerek

bunların etkinliğini engellediği ve DNA' da yıkımlara yol açtığı da bilinmektedir (Van der Vliet vd., 1996; Stöhr ve Ullrich, 2002).

NO sentezi bitkinin türüne, dokusuna ve içinde bulunduğu yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bitki hücrelerinde NO' nun üretim yeri sitosol, nükleus, peroksizom matriksi ve kloroplastlardır (Aytamka, 2005).

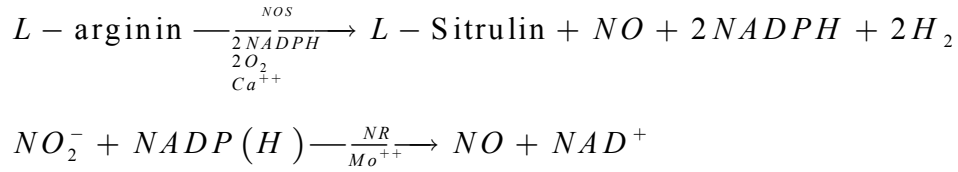
NO kolaylıkla diffüze olmasına karşın, uzun veya kısa mesafede bu molekülün öncü maddeleri ve vericileri olarak taşınmaktadır (Jackson, 2002). Örneğin; bitki hücrelerinde NO' nun öncü maddesi olan nitritin ksilem yoluyla taşındığı düşünülmektedir (Desikan vd., 2002). Bitkilerde NO ile ilgili bulgular gün geçtikçe artmaktadır, buna rağmen sinyal mekanizmasının süreçleri hakkında yine de çok az şey bilinmektedir. Mevcut bilgilerimize göre, NO için bugüne kadar spesifik bir reseptörün varlığı kanıtlanamamıştır (Neill vd., 2003). Bu molekülün varlığında çeşitli hücrel aktiviterler gerçekleşmektedir. NO' nun, sinyal iletişim yolunda iyon kanal proteinlerini ve onların gen anlatımlarını düzenleyen proteinleri doğrudan aktive ettiği bilinmektedir. Ya da protein kinazlar, iyon kanalları ve ikincil habercileri üreten enzimler ile dolaylı yoldan ilişkiye girer (Crawford ve Guo, 2005).

1.9. Nitrik Oksit'in Metabolizması

Son yıllarda bitkilerin yalnızca atmosferik NO' ya karşı cevaplar oluşturmadığı aynı zamanda endojen olarak NO' yu ürettikleri de bilinmektedir (Barroso vd., 1999; Pedroso vd., 2000).

Bitkilerde NO enzimatik olan ve enzimatik olmayan 2 farklı metabolik yol ile sentezlenmektedir. Enzimatik yollardan biri olan ve memelilerdeki nitrik oksit sentaza (NOS) benzeyen, ancak henüz tanımlanmamış olan bir enzim ile bitki hücrelerinde L-argininin katalizlenmesi sonucu NO oluşmaktadır. Bitkilerde NOS' un kloroplast ve peroksizomlarda bulunduğu rapor edilmiştir (Barroso vd., 1999; Pedroso vd., 2000). Bu metod kullanılarak bezelye, buğday ve mısır bitkilerinde NOS varlığı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Sen ve Cheema, 1995; Ribeiro vd., 1999). Diğer enzimatik yolda ise, yüksek bitkilerde nitrat asimilasyonunda anahtar enzim olan ve nitratın nitrite dönüşümünü katalizleyen nitrat redüktaz (NR), nitritten NO'yu meydana getirmektedir (Harper, 1981). Öteki enzimatik yolda ise, NO üretiminin esas kaynağı NADP(H)'a bağımlı nitrat redüktaz enzimidir. Bu enzim kofaktör olarak molibden içerir ve elektron vericisi olarak NADP(H)'

yi kullanarak NO₂' den NO üretimini katalizler (Lamattina vd., 2003). *Phytophthora infestans* mantarı ile enfekte edilmiş patates tüberlerinde NR aktivitesinin teşvik edildiği bildirilmiştir. Böylece bitki stres koşulları altında iken, ayçiçeği ve mısır bitkisinde ve ıspanak yapraklarında NR' ye bağlı NO üretiminin artabileceği rapor edilmiştir (Yamamoto vd., 2003).



Şekil 3. Enzimatik yollarla NO üretimi (Selçukcan, 2005).

Enzimatik olmayan yolda ise, NO₂, NO ve dihidroaskorbik asidi üretmek üzere (pH 3-6' da) askorbik asitle kimyasal olarak reaksiyona girer. Bu reaksiyonun apoplastik alanlarda ve kloroplastlarda olduğu ve arpa alevron hücrelerinde NO' nun bu yolla sentezlendiği rapor edilmiştir (Stöhr ve Ullrich, 2002). Bununla birlikte NO karotenoidler tarafından NO₂' nin ışığa bağımlı yolla indirgenmesi ile de meydana gelebilmektedir (Cooney vd., 1994). Bunun yanı sıra diğer bir alternatif kaynak olarak nitrifikasyon ve denitrifikasyon da en önemli NO süreçleridir (Bollmann vd., 1999). Ayrıca NO eksojen olarak uygulanan sodyum nitropurissid (SNP) ve Sodyum-nitroso-N-asetil-penisilamin (SNAP) gibi NO vericilerinden enzimatik olmayan şekilde de ortaya çıkmaktadır (Leshem, 1996).



Şekil 4. SNP'nin kimyasal yapısı

NO aerobik ortamda kararlı bir molekül değildir. Konsantrasyonunun artması ile oksidasyonu hızlanmaktadır. Bundan dolayı ortamdaki derişimi ile kendi ömrü arasında zıt bir ilişki vardır. Biyolojik sistemlerde NO, O₂ ile kuvvetli reaksiyona girerek nitrozonyum iyonu (NO⁺), nitroksil anyonu (NO⁻), nitrit (NO₂⁻), nitrat (NO₃⁻), peroksinitrit (ONOO⁻) gibi aktif azot oksit türlerini meydana getirmektedir. Lipid ve proteinlerde yıkıma neden olan, güçlü oksidan özellik gösteren peroksinitrit (ONOO•) gibi radikal özellik taşıyan azot oksit türleri aktif ve kısa ömürlüdür; nitrit (NO₂⁻) ve nitrat (NO₃⁻) ise NO oksidasyonunun kararlı son ürünleridir (Yamasaki vd. , 1999; Garcés vd., 2001). Hücrede NO, aktif oksijen türleriyle (H₂O₂, OH•, O₂•, ONOO• vb.) kimyasal reaksiyona girdiğinde ise, ya toksik etki ya da koruyucu etki göstermektedir. Ayrıca NO ve hücre içi antioksidan sistemleri (glutatyon, askorbat, karotenoidler ile antioksidan enzimler) arasında dolaylı bir koruyucu sinyal iletim yolu da bulunmaktadır (Beligni ve Lamattina, 1999a, b).

1.10. Nitrik Oksitin Bitkilerdeki Fizyolojik Etkileri

NO bitki büyüme, gelişme ve savunma cevaplarında yaygın bir hücre içi ve hücreler arası haberci molekül olarak görev yapmaktadır (Leshem, 1996). Bitkinin tümüne veya hücre kültürüne eksojen olarak uygulanması, bu molekülün bazı fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri nasıl etkilediği hakkında kayda değer bilgiler elde edilmesine olanak sağlamıştır (Leshem, 1996).

Bitkiye eksojen olarak uygulanan NO' nun bitki büyüme ve gelişmesini etkilediği (Ribeiro vd., 1999), çeşitli patojenlere (Durner vd., 1998), ışığa (Beligni ve Lamattina, 2000), yerçekimine (Pedroso ve Durzan, 2000) karşı cevapları etkilediği, oksidatif hasara (Beligni ve Lamattina, 1999a) karşı direnç sağladığı bilinmektedir. Ayrıca bitkilerde katalaz, askorbat, peroksidaz ve akonitaz enzimlerinin inhibisyonunda, hücre çeperi lignifikasyonunda, bekçi hücrelerinde iyon kanallarının düzenlenmesinde, kloroplast ve mitokondri fonksiyonlarında, hücre ölümünde ve senesense NO' nun muhtemel rolleri tespit edilmiştir (Aytamka, 2005; Beligni ve Lamattina, 2001b).

Tablo 1. Bitkilerde nitrik oksitin fizyolojik etkileri (Beligni ve Lamattina, 2001b).

ORGAN	FİZYOLOJİK ETKİ	TÜRLER	OPTİMUM KONSANTRASYON
Tohum	-Çimlenme teşviki	<i>Paulownia tomentosa</i>	10^{-6}
	-İmbibisyondan sonra solunum inhibisyonu	Marul	10^{-6}
	-Alevron hücrelerinin ölümünün inhibisyonu	Soya fasülyesi Arpa	10^{-6}
Kök	-Uzama	Mısır	10^{-10}
	-Lateral ve adventif kök oluşumunu teşvik	Salatalık, <i>Lavandula spp.</i>	10^{-9} , 10^{-5} , 10^{-10}
Tuber	-Tuberizasyon	Patates	10^{-6}
Hipokotil	-Düşük ışık koşullarında uzamanın inhibisyonu	Marul, <i>Arabidopsis thaliana</i>	10^{-6}
Gövde	-Düşük ışık koşullarında internod uzamasının inhibisyonu	Patates	10^{-6}
Yaprak	-Deetiyolasyon teşviki	Arpa, Buğday	10^{-6}
	-Senesens ertelenmesi	Bezelye	5×10^{-6}
	-Stoma kapanması	Buğday, <i>Vicia faba</i>	10^{-6}
	-Yaprak genişlemesi	Bezelye	5×10^{-6}
	-Savunma cevabı oluşumunu teşvik	<i>Arabidopsis</i> , Tütün	2×10^{-6}
	-Hücre ölümü inhibisyonu	Patates	10^{-6}

1.11. Nitrik Oksit'in Bitki Büyüme Ve Gelişmesine Etkileri

Endojen NO' nun bitki büyüme ve gelişmesini, strese karşı oluşturulan bitki cevaplarını düzenleyici olarak etki ettiğini gösteren az sayıda da olsa kanıtlar mevcuttur (Beligni vd., 2002).

Bazı bitkilerde NO yapraklarda ve köklerde düşük konsantrasyonlarda doku genişlemesini teşvik ederken, yüksek konsantrasyonlarda inhibe edici etki göstermektedir. NO' nun 0-20 ppm' de ise büyümeyi teşvik ettiği, 40-80 ppm' de domates, marul ve bezelye bitkisinde büyümeyi inhibe ettiği ileri sürülmüştür (Hufton vd., 1996; Leshem ve Haramaty, 1996). Takahashi ve Yamasaki' nin 2002' de yaptığı çalışmaya göre, NO' nun geri dönüşümlü olarak kloroplastlarda ATP sentezini ve elektron transportunu baskıladığını; ayrıca NR tarafından üretilen NO' nun fotosentezi inhibe ettiğini göstermişlerdir. Bunun yanı sıra patates, marul ve *Arabidopsis* gibi bazı bitkilere NO vericilerinin uygulanması klorofil içeriğini arttırmıştır (Beligni ve Lamattina, 2000). Ayrıca NO' nun bezelye yapraklarında özellikle bekçi hücrelerinde klorofil içeriğini arttırdığı (Leshem vd., 1997) ve NO ile işlem görmüş yabancı tip mısır bitkisinde klorozis olayını inhibe ettiği rapor edilmiştir (Graziano vd., 2002).

Yüksek bitkilerde NO' nun endojen bir olgunlaşma faktörü olduğu; ayrıca antisenesens özellik gösterdiği rapor edilmiştir (Leshem vd., 1998). Bezelye yapraklarına NO vericisi uygulandığında etilen biyosentezini inhibe ederek, senesensi geciktirdiği tespit edilmiştir (Leshem ve Haramaty, 1996; Leshem, 2001). Sebze ve meyvelerde de NO' nun senesensi geciktirdiği ve buna ek olarak hasat sonrası ömrü uzattığı tespit edilmiştir (Leshem, 2001). Bunun yanı sıra NO' nun sitokinin ile teşvik edilmiş programlanmış hücre ölümünde rol aldığı ileri sürülmektedir (Kakimoto, 1996).

NO' nun, ABA ile teşvik edilmiş stoma kapanmasında da görev aldığı düşünülmektedir. Son zamanlarda ABA' nın bezelye bekçi hücrelerinde NO sentezini teşvik ettiği (Neill vd., 2002a), *Arabidopsis* süspansiyon kültürlerinde ise bu konuda çok etkili olmadığı belirtilmiştir (Tun vd., 2001). Salatalık bitkisinde, SNP ve SNAP' ın adventif kök gelişimini teşvik ettiği ve oksinle teşvik edilmiş kök büyümesinin inhibe edildiği tespit edilmiştir (Pagnussat vd., 2002).

1.12. Biyotik Ve Abiyotik Stres Koşullarında Nitrik Oksit'in Rolü

Bitkilerde NO' nun bitki büyümesi üzerine olan etkileri ilk defa 1970' li yıllarda tespit edilmiştir (Anderson ve Mansfield, 1979). Bununla beraber, NO' nun 1998'de bitkide savunma sinyali olarak tanımlanmasına kadar, bitki büyüme ve gelişmesi üzerine olan etkilerini araştıran bilim adamı sayısı oldukça sınırlıdır (Laxalt vd., 1997). Bugün NO' nun bitkilerde büyüme ve gelişme süreçlerinde, biyotik ve abiyotik stres cevaplarının oluşmasında görev alan haberci bir molekül olduğu bilinmektedir (Crawford ve Guo, 2005).

NO' nun bitkilerde yaralanma, enfeksiyon, kuraklık, düşük ve yüksek sıcaklık, ultraviyole (UV), ozon gibi çeşitli biyotik ve abiyotik streslere karşı bitki cevaplarında hem antioksidan, hem de antistres ajanı olarak görev yaptığı bilinmektedir (Neill vd., 2003). Biyotik streste patojen saldırısını takiben aşırı duyarlılık cevabının oluşması sırasında NO' nun haberci rolü tespit edilmiştir (Romero-Puertas ve Dellodonne, 2003). Patates yapraklarının *Phytophthora infestans* mantarı tarafından enfekte edilmesi ile NO' nun klorofil kaybını önlediği rapor edilmiştir (Laxalt vd., 1997). Bunun yanı sıra SNP ve SNAP gibi iki NO vericisinin herbisit ile işlem görmüş patates yaprakları ve izole kloroplastlarda lipid peroksidasyonu, protein ve RNA yıkımını indirdiği rapor edilmiştir (Beligni vd., 2000). Soya fasulyesi hücre süspansiyon kültürleri, *Pseudomonas syringae* gibi bakteriyel bir patojenle enfekte edildiği zaman aşırı duyarlılık cevabında NO oksidatif hücre ölümüne neden olan serbest radikaller ile sinergistik olarak etkileşime girmektedir. Ayrıca bu etki NO' nun doğrudan ya da dolaylı olarak bitkilerde hücre ölümüne neden olan mekanizmada rol oynadığını da ortaya koymuştur (Dellodone vd., 1998; Pedroso vd., 2000 a, b). Son zamanlarda NO' nun buğday fidelerinde kuraklıktan kaynaklanan oksidatif strese karşı koruyucu olduğu rapor edilmiştir (Garcia Mata ve Lamattina, 2001). Ayrıca NO kuraklık stresine toleransta ve stoma hareketlerinde rol oynayan yeni bir molekül olarak kabul edilmektedir. Bununla beraber NO' nun, *Tradescantia* sp. ve *Vicia faba* 'da stoma kapanmasını teşvik ettiği rapor edilmiştir (Selçukcan, 2005).

Laspina ve arkadaşlarının (2005) ayçiçeği bitkisinde yaptığı çalışmada, bitkilerde abiyotik stres etmeni olan kadmiyumun oluşturduğu oksidatif strese karşı NO' nun koruyucu rol oynadığı rapor edilmiştir. Bitkiler üzerinde toksik etkileri bilinen kurşun ve kadmiyum gibi ağır metallerin tohum çimlenmesini inhibe ettiği bilinmektedir. Bu

inhibisyonun SNP ile ön işlem görmüş *Lupinus luteus* tohumlarında yüksek oranda geri döndürülebildiği de tespit edilmiştir (Kopyra ve Gwozdz, 2003).

Yapılan bir çalışmada, NO ile iki gün ön işlem görmüş pirinç fidelerinde tuza karşı toleransın arttığı rapor edilmiştir (Uchida vd., 2002). Bu araştırmanın bulgularında SNP ile ön işlem sonucu tuzlu ortamdaki fidelerin yapraklarında yeşil alan yüzdesi artmıştır, SNP ile ön işleminden hemen sonra da özellikle askorbat peroksidaz, guaiacol peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi enzimlerin aktivitelerinde kontrole oranla çok önemli bir artış olduğu bulunmuştur (Selçukcan, 2005).

1.13. Senesens Kavramı

Bitkiler genetik yapılarının düzenlediği bir hayat peryoduna sahiptirler. Buna göre, bitki vejetatif evreye ardışık olarak reproduktif döneme geçer ve çiçek açar, meyve ve tohum verdikten sonra bu peryodu tamamlar. Ancak bitkinin hayat peryodu devam ederken bazı organ ve dokularının genetik program dâhilinde, öldükleri de bilinmektedir (Önder ve Yentür, 1999). Normal gelişme süreci içinde hücre, doku, organ ya da tüm bitkide meydana gelen bu ölüm, aslında senesens olayıdır (Taiz ve Zeiger, 2002). Bunun yanında çok genç organ ve bitkilerde de çeşitli iç ve dış faktörlerin etkisiyle fonksiyonel hayatın normal gelişimi sırasında da senesensin ortaya çıkabildiği sık olarak görülmektedir. (Leopold, 1975; Noodén vd., 1997; Ok-Lim vd., 2003; Işık, 2004).

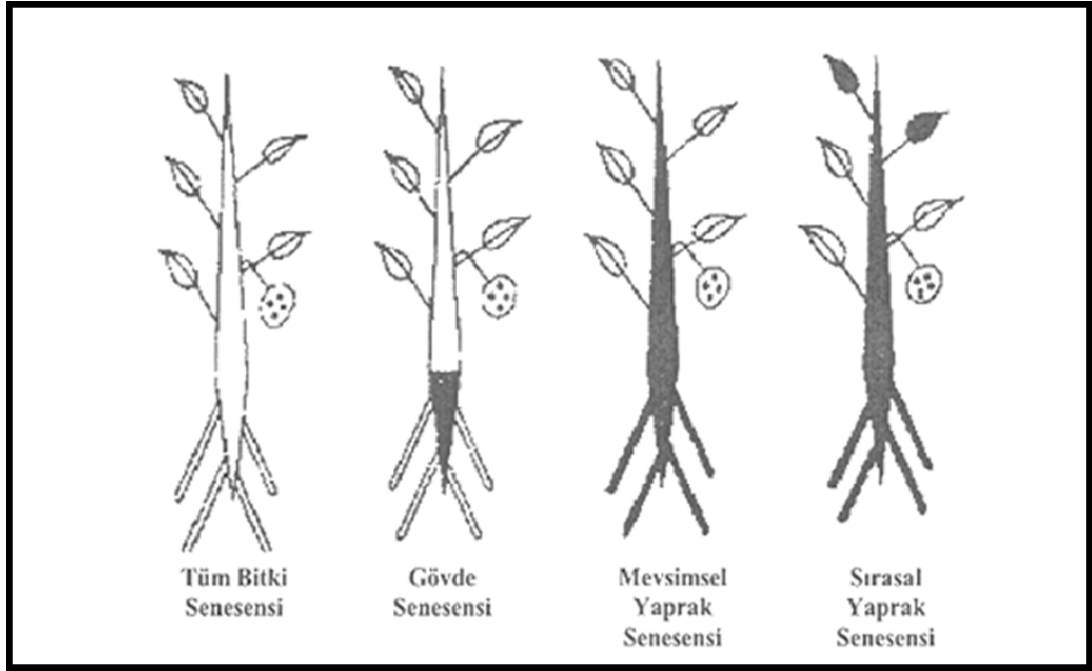
Yaprak gelişiminin en son evresi olarak da bilinen senesensin, 4 çeşit olduğu Leopold (1961) tarafından belirtilmiştir:

1. Tüm bitki senesensi, tohum haricinde bütün bitkinin ölmesiyle sonuçlanan senesens çeşididir. Bütün tek yıllık ve iki yıllık bitkiler ile bazı çok yıllık (*Agave*) bitkileri de içerisine alan monokarpik bitkilerde görüldüğünden dolayı “**monokarpik senesens**” olarak da adlandırılmaktadır.

2. Gövde senesensi, çoğunlukla rizomlu ve bulblu bitkilerde görülmektedir. Sadece toprak üstü kısımların ölümüyle sonuçlanır.

3. Mevsimsel yaprak senesensi, periyodik olarak yapraklarını döken otlar, çalılar ve ağaçların da dâhil olduğu bitki gruplarında görülmektedir ve “**polikarpik senesens**” olarak da adlandırılmaktadır.

4. Sırasal yaprak senesensi, kotiledondan başlayarak apikal uca doğru yaprakların sıralı bir şekilde ölmesi ile meydana gelen senesens çeşididir.



Şekil 5. Bitkilerde meydana gelen senesens  e itleri (Leopold, 1961). Beyaz renkli yerler senesense u ramı , siyah renkli yerler ise senesense u gramamı  bölgeleri göstermektedir.

Bitkilerde senesens sürecinin düzenlenmesinde hem içsel faktörlerin, hem de çevresel faktörlerin kompleks bir şekilde etkileşimi söz konusudur (Nam, 1997; Nood n vd., 1997). İçsel faktörler bitki büyüme maddelerinin (fitohormon) düzeyleri ve bitkinin ya ı ile ilgili iken, çevresel faktörler ise aşırı sıcaklık değişimi, ışık yetersizliği, mineral eksikliği ve patojen enfeksiyonu gibi stres etmenleridir (Hensel vd., 1993). Senesensin kontrol edilmesinde sahip olunan genetik miras en önemli içsel etmenlerden biridir. Son zamanlarda senesensin düzenlenmesinde görev alan çok sayıda özel gen tanımlanmıştır (Selçukcan, 2005).

Oldukça karmaşık bir süreç olan senesens olayının mekanizmasının aydınlatılması için bazı hipotezler ileri sürülmüştür. Bu hipotezler arasında; vejetatif ve reprodüktif organlar arasında besinleri kullanma rekabeti (rekabet hipotezi), vejetatif organlardan tohumlara madde taşınması (besin bo alımlı), genetik faktörler ile meyveler, tohumlar ve apikal meristem tarafından üretilen bazı içsel maddelerin (fitohormonlar ve kumarin, kuersitin, rutin, vanilin gibi fenolik bileşikler) hedef hücre, doku veya organa taşınarak senesensi başlatması (sinyal hipotezi) yer almaktadır (Lindoo ve Nood n, 1997; Derman-Semiz, 1985; Nood n vd., 1990; Park ve Thimann, 1990; Sağlam ve Okatan, 1990; Chen vd., 2002).

1.14. Senesens Sırasında Meydana Gelen Yapısal, Biyokimyasal Ve Moleküler Değişiklikler

Senesens daha önce de belirtildiği gibi oldukça iyi düzenlenmiş çok sayıda olayın gerçekleştiği programlanmış bir ölümdür. Bu süreçte bitkinin kotiledonları dâhil senesense uğrayan bütün organlarında yapısal, biyokimyasal ve moleküler düzeyde çeşitli değişiklikler gerçekleşmektedir. Butler (1967), senesens sırasındaki yapısal değişiklikleri incelemiş ve ilk olarak kloroplastın bozulduğunu, daha sonra serbest ribozom sayısının azaldığını, tonoplastın tamamen permeabl olduğunu, plazma membranının ve nükleus zarının kalıcı zararlara uğradığını, endoplazmik retikulumun işlevini kaybettiğini ortaya koymuştur. Ayrıca senesense uğrayan salatalık kotiledonlarının kloroplastlarında tilakoid sistemin çok zayıfladığı, stroma yoğunluğunun azaldığı ve ozmiyofilik globüllerin arttığı da tespit edilmiştir (Selçukcan, 2005).

Senesens sırasında hücrelerde meydana gelen değişikliklerden lipidlerin, proteinlerin ve klorofilin yıkımı ayrıntılı olarak Hilditch ve arkadaşları tarafından (1989) araştırılmıştır (Hilditch vd., 1989). Senesensin ilk belirtisi fotosentez oranının düşmesi ve solunum oranının da artmasıdır. Fotosentez hızı oldukça yavaşlayıp sonunda durduğu halde mitokondri ve nükleus, senesensin bitimine kadar fonksiyoneldir, ayrıca solunum senesensin en son aşamasına kadar devam etmektedir (Wareing ve Phillips, 1973; Mondall vd., 1978; Srivastava, 2002). Senesens sırasında membran lipidleri, rubisco ve klorofil a ve/veya b'ye bağlı proteinler bakımından zengin olan kloroplastlar ilk yıkılan organeldir. Mitokondri ve peroksizomlar ise, hala fonksiyoneldir. Ribozomal bozulmalara rağmen nükleus fonksiyonelliğini senesens tamamlayıncaya kadar sürdürür (Srivastava, 2002). Senesensin başka bir ayırt edici özelliği bazı hücrel proteinlerin, karbonhidratların ve nükleik asitlerin hidrolitik enzimler tarafından parçalanmasıdır. Daha sonra şeker, nükleosid ve aminoasit yıkım ürünlerinin yanında birçok mineral de floem aracılığıyla sentez süreçlerinin gerçekleşeceği yerlere taşınmaktadır (Taiz ve Zeiger, 2002).

Senesensin önemli özelliklerinden birisi de hücrenin zar sisteminde meydana gelen çeşitli değişimlerdir. Bununla ilgili olarak, tonoplastın parçalanması ile hidrolitik enzimlerin serbest kalıp senesensi meydana getirdiği ve plazma membranlarının bozulması ile dış ortama sızan metabolitlerin miktarının arttığı tespit edilmiştir (Butler, 1967). Senesens bitkilerde çoğunlukla fosfolipid ve galaktolipid düzeylerindeki azalma ile ilişkilidir (Harwood vd., 1982). Senesens sırasında membran polar lipidlerinin bozulma

sürecinde, serbest radikal reaksiyonlarının önemli rol oynadıkları tespit edilmiştir (Grossman ve Leshem, 1978; Thompson vd., 1987; Lin ve Kao, 1998). Süperoksit anyonu, hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil ($OH^\cdot$) radikali gibi aktif oksijen türleri lipid peroksidasyonuna ve membran zararına sebep olmaktadır. Sonuç olarak yaprak senesensi gerçekleşmektedir (Dhindsa vd., 1981; Thompson vd., 1987).

Senesens aslında tümüyle yıkıcı bir süreç değildir. Senesens sırasında sekonder ürünlerin yanında birçok protein de sentezlenmektedir. Örneğin; sonbaharda klorofil kaybıyla birlikte yaprakların sarı, turuncu ve kırmızı renge dönüşmesi karotenoidlerin, flavonoidlerin ve vakuollerde depolanan antosiyaninlerin sentezinin artmasının bir sonucudur (Srivastava, 2002).

1.15. Nitrik Oksit İle Senesens Arasındaki İlişki

Yüksek bitkilerde NO, olgunlaşma ve senesens sürecini düzenleyen endojen bir faktör olarak bilinmektedir (Leshem vd., 1998). NO' nun bezelye yapraklarında senesensi geciktirdiği rapor edilmiştir (Beligni ve Lamattina, 2000). NO konsantrasyonunun olgun meyvelerde ham meyvelerden ve senesense girmiş çiçeklerde ise genç olanlarından daha az olduğu rapor edilmiştir. Çiçeklere, meyve ve sebzelere eksojen olarak uygulandığında ise hasat sonrası yaşamı uzattığı ve senesensi geciktirdiği rapor edilmiştir (Leshem vd., 1998). Bazı bitki türlerinde senesensin meydana gelmesi veya gecikmesi muhtemelen etilenin açığa çıkmasına ve etilen ile NO arasındaki zıt ilişkiye bağlıdır (Leshem vd., 1998; Magalhães vd., 2000). Antezisten senesense kadar olan bitki organlarının gelişim sürecinde NO' nun etilenden daha çok miktarlarda oluştuğu görülmüştür (Magalhães vd., 2000). Yalnızca stres şartlarda değil normal şartlarda da genç bitkiler ve dokular etilene oranla çok daha fazla NO üretmektedir (Leshem vd., 1998). Bütün bu bilgilerin ışığında NO' nun bitkiler için senesensi geciktirici bir ajan olduğu ileri sürülmektedir. Ancak verilerin çokluğuna rağmen, NO' nun senesens sürecindeki rolleri halen daha tam anlamıyla aydınlatılamamıştır. Bu alanda NO' nun senesensi hangi aşamalarda, nasıl etkilediği ile ilgili olarak daha pek çok araştırmaya gereksinim duyulmaktadır (Selçukcan, 2005).

1.16. Senesens İle Bitki Büyüme Düzenleyicileri Arasındaki İlişki

Bitki yaşam döngüsünde senesens, aktif fizyolojik bir süreç olup, bitki hormonlarının içsel kontrolü altındadır. Senesensin gecikmesinde, teşvik edilmesinde veya düzenlenmesinde fitohormonlar merkezi rol oynamaktadır. Senesensi geciktiren hormonların gibberellinler, sitokininler ve brassinosteroidlerin; etilen, absisik asit, salisilik asit, oksinler ve jasmonatların ise senesensle ilişkili değişikliklerde rol oynadığı rapor edilmiştir (Selçukcan, 2005). Etilen ve sitokinler birbirine zıt etki göstermelerine rağmen senesens olayında başrol oyuncularındır (Srivastava, 2002). Diğer bitki hormonlarının yaprak senesensi sırasındaki rolleri ve fonksiyonları araştırmacılar tarafından oldukça az çalışılmıştır.

Senesensin başlangıcında bitkilere sitokinin uygulanması senesensi geciktirmektedir. Ancak bitkilerde kökten gövdeye sitokinin taşınmasının yavaşlaması ile senesens hızlanmaktadır (Skene, 1975).

Yaprak ve çiçek senesensinin karakteristik özelliklerinden biri olan klorofil kaybı ve renk solması etilen üretiminin artmasıyla ilişkilendirilmektedir. Etilen sentezi inhibitörleri yaprak senesensini geciktirmektedir (Taiz ve Zeiger, 2002). Eksojen etilen veya etilen öncü maddeleri uygulamaları yaprak senesensini hızlandırmaktadır. Fakat bu etki yaprağın yaşına bağlıdır (Grbic ve Bleecker, 1995). Yaprak gelişiminin en son evresi olan senesensin düzenlenmesinde etilenin rol oynadığı bilinmesine rağmen domates ya da *Arabidopsis*' de senesens süreci için mutlaka etilenin var olması gerekmemektedir (John vd., 1995).

Bazı bitki dokularında oksinler de senesensi geciktirebilmektedir (Arteca, 1996). Bitkilerde klorofil kaybı, RNA ve proteinlerin yıkım ve sentezi, membran bozulmasının yanında pek çok enzim aktivitesinin artması veya azalması gibi senesens sırasında meydana gelen olaylar oksinlerden oldukça etkilenir. Bu durum senesensi ertelemektedir (Osborne, 1959). Buna zıt olarak Galston ve Davies (1969), oksinlerin senesensi teşvik ettiğini tespit etmişlerdir. Oksin aynı zamanda ksilem farklılaşmasını, çiçek petalleri ve bazı yapraklarda senesensi hızlandırmaktadır (Singh vd., 1992). Ayçiçeği ve kırmızı lahana bitkilerinde senesens ile ilgili yapılan çalışmalarda; IAA' nın senesens sürecini hızlandırıcı etkiye sahip olduğu, bunun yanı sıra senesens sinyalini veren molekülün de oksin tabiatında olabileceği ileri sürülmüştür (Sağlam, 1989; Çağ vd., 2004; Gören, 2004).

Tropaeolum majus ve *Alstromeria hybrida*’ da eksojen olarak, giberellik asit (GA) uygulandığında yaprak senesensini geciktirdiği rapor edilmiştir (Kappers vd., 1998). Giberellinler çiçek sapı, meyve ve yapraklarda klorofil kaybını baskılama özelliğine sahiptirler (Arteca, 1996). Klorofil sentezinin inhibisyonu ve klorofil yıkımında rol oynayan ABA senesensi teşvik etmektedir. Senesens sırasında veya öncesinde absisik asit (ABA) miktarı artmaktadır, buna karşın senesensin son aşamasında azalmaktadır (Nooden, 1988).

1.17. Nitrik Oksit İle Tuz Stresi Arasındaki İlişki

Toprak tuzluluğu bitki büyüme ve gelişmesi, ürün nitelik ve niceliğini olumsuz şekilde etkilemektedir. Burada tuz stresi ister osmotik, isterse spesifik iyon etkisi ile olsun sonuçta hücrelere zarar veren veya hücreleri öldüren aktif oksijen türlerinin oluşmasına sebep olmaktadır (Mittova vd., 2002). Aktif oksijen türlerinin zararlarına, bitkiler sahip oldukları antioksidan koruma sistemleri ile karşı koymaktadırlar. Bitkilerde savunma sistemi çalışmadığı ya da yetersiz olduğu zaman bitki hücrelerinde ölüm gerçekleşmektedir. Tuz stresinin etkisi ile bitkiler antioksidan metabolitlerin (antosiyanın, karotinoid, flavonoidler vb.) sentezlerini hızlandırmalarının yanı sıra antioksidan enzimlerin aktivitelerini de arttırırlar (Parida vd., 2005). Bu yöntem ile bitkiler aktif oksijen türlerinin zararlarına karşı dayanıklılık kazanırlar.

Bitkilerde bir sinyal molekülü olan NO’ nun tuz stresine karşı toleransta etkili bir rol oynadığı sınırlı sayıdaki araştırmacı tarafından araştırılmaya çalışılmıştır (Uchida vd., 2002; Zhao vd., 2004). Yapılan bu çalışmalarda, NO’ nun tuz stresi ile ilişkisi çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik parametrelere bakılarak tespit edilmiştir. Gould vd. (2003)’ nin yaptığı çalışmada yüksek sıcaklık, osmotik stres ve tuzluluğa maruz kalan tütün bitkisinin hücrelerinde hızlı bir şekilde içsel NO oluşumu tespit edilmiştir.

1.18. Nitrik Oksit İle Oksidatif Stres Arasındaki İlişki

Oksidatif stres, hücrelere zarar veren veya hücreleri öldüren reaktif oksijen türlerinin bitki hücrelerinde oluşması ve birikmesi ile ortaya çıkmaktadır. Ozon ise bu stresin en önemli etmenlerinden biridir. Atmosferin üst katmanlarında bulunan ozon aslında dünyamızı UV ışınlarının etkisinden koruduğu için yararlıdır, fakat yeryüzünün

hemen üst katmanlarındaki ozon (sadece reaktif olduğundan) canlılar için oldukça zararlıdır (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). UV-B radyasyonu (280-320 nm), ozon tabakasındaki tahribin bir sonucu olarak artmaktadır. Bu radyasyon şüphesiz ki; bitki büyümesini etkilemekte ve genellikle oksidatif stresin (oksidatif stres, DNA’ daki hasarın artmasında, fotosentezin azalmasında etkilidir) oluşumuna neden olmaktadır. UV-B ışınlarına maruz kalan fasulye fidelerinde NO, UV-B’ nin etkisini, klorofil içeriğini ve membrandaki oksidatif hasarı kısmen azaltabilir. Mısır fidelerinde UV-B radyasyonu hem yaprak biyokütlesini hemde ekzo ve endo glukanaz aktivitesini düşürürken, NOS aktivitesini güçlü bir şekilde stimüle etmiştir. Ayrıca UV-B, hücre hasarlarına sebep olan kloroplast ve mezofil hücrelerinde yaygın bir şekilde dağılan ROS’ un artışını da tetiklemektedir (Corpas vd., 2011).

Çevresel streslerden biri olan UV-B ışığa maruz kalan patates tuberlerinde, NO vericileri uygulananlarda kontrole oranla %50 daha sağlıklı yapraklar oluştuğu tespit edilmiştir (Lamattina vd., 2001). Ayrıca An ve arkadaşlarının 2005 yılında yaptıkları çalışmada UV-B stresi altında mısır yapraklarına hem eksojen, hem de endojen uygulanan NO’ nun, büyüme ve gelişme süresince antistres molekül olarak görev yaptığı ileri sürülmüştür.

Kanola (*Brassica napus*) bitkisinde yapılan bir çalışmada, 0.2 mM SNP ve 0.5 mM nikel uygulamasının fide ağırlığı, klorofil miktarı, prolin ve MDA miktarı üzerine etkileri araştırılmıştır. Kontrole göre SNP uygulanan fideelerde, bitki ağırlığının, klorofil miktarının, prolin ve MDA miktarının çok az bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Nikel uygulaması ile bu parametrelerdeki azalışlar daha belirginleşmiştir. SNP uygulaması nikelin yıkıcı etkisini hafifletmiştir (Kazemi vd., 2010). *Arabidopsis thaliana* bitkisinde yapılan çalışmada, SNP’ nin kurşun toksisitesine karşı koruyucu rol oynadığını tespit edilmiştir. Sadece Pb uygulanan fidelere kıyasla, Pb+SNP uygulanan fideelerde MDA miktarı azalmıştır. SNP uygulaması, Pb’ nin toksik etkisini hafifletmiştir (Phang vd., 2011).

1.19. SNP İle Yapılan Çalışmalar

Ayçiçeği fidelerinde yapılan bir çalışmada farklı SNP (0.1, 1, 10, 100 ve 400 μ M SNP) konsantrasyonları kullanılmıştır. 0.1 μ M SNP' de senesensin geciktiği tespit edilmiştir. Ayrıca SNP konsantrasyonları arttıkça, klorofil miktarının azaldığı bildirilmiştir (Selçukcan, 2005). Kerkütlüoğlu' nun (2007) yaptığı çalışmada mercimek bitkisine uygulanan farklı konsantrasyonlarda (0.01, 100, 600 ve 700 μ M) SNP' nin kök uzunluğu, total protein ve fide büyümesi üzerine etkileri araştırılmıştır. 700 μ M SNP uygulaması sonucunda primer kök uzunluğunda dikkate değer bir gerileme görülmüştür. Total protein miktarı, SNP konsantrasyonu arttıkça azalmıştır, fakat 700 μ M SNP' de artış saptanmıştır. 600 ve 700 μ M SNP' nin hem kök, hemde gövde büyümesini inhibe ettiği rapor edilmiştir (Kerkütlüoğlu, 2007).

Mısır yapraklarında yapılan bir çalışmada demirin sebep olduğu oksidatif hasarın, dışardan NO uygulaması ile azalttığı rapor edilmiştir (Sun vd., 2006). Yapılan bir çalışmada, farklı (0.01, 1 ve 100 μ M) SNP konsantrasyonları soya fidelerine muamele edilmiştir. Konsantrasyon artışına zıt olarak klorofil içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir. Klorofil içeriğindeki azalışa paralel olarak karotenoid miktarının da azaldığı tespit edilmiştir. Total protein miktarının kontrol gruplarına oranla konsantrasyon artışına paralel olarak artış gösterdiği bildirilmiştir. Kontrol gruplarına oranla prolin içeriğinin artan SNP konsantrasyonlarına paralel olarak arttığı rapor edilmiştir (Aytamka, 2005).

1.20. SNP ve Kadmiyum'la Yapılan Çalışmalar

Nitrik oksit, SNP formunda bitkiye takviye edildiğinde, Cd' ye karşı bitki köklerinde oksidatif hasarı azalttığı ve kadmiyum toksisitesine karşı koruyucu bir rol oynadığı ileri sürülmüştür. Buğday köklerinde SNP takviyesi ile Cd uygulaması, önemli ölçüde lipid peroksidasyonunu, H₂O₂ içeriğini ve elektrolit sızıntısını azaltmıştır (Singh vd., 2007). Nohut (*Cicer arietinum* L.) bitkisinde yapılan bir çalışmada, eksojen SNP muamelesinin, Cd toksisitesine karşı bitkiyi koruduğunu ortaya koymuştur. Aynı çalışmada SNP muamelesinin, Cd toksisitesine dayalı iyon kaçışını ve lipid peroksidasyon seviyesini önemli ölçüde azalttığı ve antioksidan enzimlerin aktivitesini arttırmak suretiyle bu pozitif etkiyi sağladığı ileri sürülmüştür (Kumari vd., 2010). Yapılan başka bir çalışmada pirinç (*Oryza sativa* L.) fidelerinde 100 μ M SNP uygulamasının Cd (50, 100, 200 μ M)

toksitesine dayalı stres metabolizmasını regüle edici özellikte olduğu belirlenmiştir (Panda vd., 2011).

Soya fasulyesinin hücre süspansiyon kültüründe NO, Cd uygulanmasına karşı koruyucu etki göstermiştir. Ayrıca SNP' nin, *Lupinus luteus* L. (acı bakla) köklerinde hücre bölünmesi üzerine ağır metallerin (PbCl₂ ve CdCl₂) inhibitör etkisini azalttığı görülmüştür (Kopyra vd., 2005). Yapılan diğer bir çalışmada SNP (300 µmol/ L), kadmiyum (100, 300 ve 500 µmol/L) stresi altındaki salatalık (*Cucumis sativus* L.) fidelerinde oluşan zararı önemli seviyede azaltmıştır. Özellikle 300 µmol/L Cd uygulanan fideelerde nitrik oksit büyümeyi, SOD, POD aktivitesini, fotosentetik pigment ve prolin miktarını arttırırken, MDA miktarında azalmaya sebep olmuştur (Zhao-Duan vd., 2009). Benzer sonuçlar SNP (50 µmol/L)' ye bağlı olarak, kadmiyum (10, 30, 50, 100, 200 ve 500 µmol/L) stresi altındaki pirinç fidelerinde de tespit edilmiştir. Ayrıca tohum çimlenmesi üzerinde de Cd'nin yol açtığı inhibitör etkiyi, SNP' nin azalttığı tespit edilmiştir (Xiu-Lan vd., 2012).

Buğday bitkisinde yapılan bir çalışmada SNP uygulamasının Cd' nin, lipid peroksidasyonunu arttırıcı etkisini önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir. Buğday köklerinde kadmiyumun yol açtığı oksidatif hasarı SNP' nin azalttığı ayrıca MDA içeriğinin de azaldığı rapor edilmiştir (Singh vd., 2008). 0.2 mmol/L CdCl₂' ye maruz bırakılan pirinç fidelerine farklı (0.05, 0.1, 0.2 ve 0.4 mmol/L) SNP konsantrasyonları uygulanmıştır. Kadmiyum stresine bağlı olarak 0.1 mmol/L SNP uygulanan pirinç fidelerinde kuru ağırlık ve klorofil miktarlarında önemli ölçüde azalma olduğu tespit edilmiş. Ayrıca SNP muamelesi ile bitkideki MDA oranı azalmış ve konsantrasyon artışına paralel olarak GSH miktarındaki artışın inhibe edildiği rapor edilmiştir (Zhao vd., 2013). Chen ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, 100 µM kadmiyum stresi altındaki pirinç fidelerine farklı (30, 50, 100, 200 ve 500 µM) SNP konsantrasyonları uygulanmıştır. 100 µM CdCl₂ stresi altındaki pirinç fidelerinde 30, 50 ve 100 µM için tohum çimlenmesini ve fide büyümesini inhibe etmiştir. Aynı zamanda MDA miktarının kontrole oranla azaldığı tespit edilmiştir. 500 µM SNP pirinç fideleri üzerinde Cd stresinin toksitesini arttırmıştır (Chen vd., 2012). Pirinç fidelerine önce 100 µM Cd, sonra farklı SNP konsantrasyonları (10, 30, 50, 100, 200, 300 ve 500 µM) uygulanmıştır. 100 µM Cd stresi altında, SNP muamelesiyle, yalnız Cd uygulanan fidelere oranla kök ve sürgünde sırasıyla % 32.65 ve % 33.85 oranında MDA birikiminin azaldığı bildirilmiştir. Fakat kontrol grubuna göre hem sürgün hem de kökte artış tespit edilmiştir. Prolin miktarında yalnız Cd uygulanan gruplara

oranla; Cd+SNP uygulanan gruplarda kök ve sürgünde sırasıyla % 32.97 ve % 59.69 oranında artış tespit edilmiştir. Kontrole göre prolin miktarı hem kök hem de sürgünde artış göstermiştir. SOD miktarında sadece Cd uygulanan gruplara göre; Cd+SNP' de kök ve sürgünde artmış, kontrole göre ise azalmıştır. CAT miktarı ise sadece Cd uygulanan gruplara ve kontrol gruplarına göre, Cd+SNP gruplarında artış tespit edilmiştir (He vd., 2014). Pirinç fidelerinde yapılan diğer bir çalışmada; SNP' nin Cd toksisitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. 50 µM SNP gruplarına oranla; 50 µM Cd+50 µM SNP gruplarında kök ve yaprakta klorofil içeriğinin azaldığı, MDA içeriğinin yaprakta azaldığı ve kökte arttığı rapor edilmiştir (Singh ve Shah, 2014).

Ayçiçeği yapraklarında yapılan bir çalışmada NO' nun kadmiyum stresine karşı koruyucu rol oynadığı tespit edilmiştir. 100 µM SNP uygulanan ayçiçeği fidelerinde GSH içeriği kontrole çok yakın olarak bulunmuştur. Aynı şekilde farklı konsantrasyonlarda SNP ve Cd uygulanan ayçiçeği fidelerinde GSH içeriğinde kontrole oranla çok az bir düşüş meydana geldiği görülmüştür (Laspina vd., 2005). *Cynodon dactylon* (köpek dişi ayrığı) fidelerinde yapılan bir çalışmada; SNP' nin (250 µM), Cd (750 µM) toksisitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Fidelerde taze ağırlık, GSH ve MDA miktarı analiz edilmiştir. Yalnız SNP uygulanan fidelere kıyasla, SNP+ Cd uygulanan fidelerde taze ağırlık ve GSH miktarı azalmış; MDA miktarı ise artmıştır (Shi vd., 2014). Yabani kimyon (*Zygophyllum fabago*) fidelerinde yapılan bir çalışmada, SA ve Pb uygulamasına bağlı olarak kontrole kıyasla; yalnız SA uygulanan fidelerde GSH azalmış, GSSG artmış, SA+Pb uygulanan fidelerde ise GSH azalmış, GSSG' de ise fark bulunamamıştır (López-Orenes, vd., 2014). Salatalık (*Cucumis sativus* L.) fidelerinde yapılan bir çalışmada, SA ve Mn uygulamasına bağlı olarak kontrole kıyasla; yalnız SA uygulanan fidelerde hem GSH hem de GSSG miktarının arttığı, SA+Mn uygulanan fidelerde ise GSH' ın azaldığı, GSSG' nin ise arttığı rapor edilmiştir (Shi ve Zhu, 2008). *Arabidopsis thaliana* fidelerinde yapılan başka bir çalışmada ise, Cd uygulanan fidelerde GSH ve GSSG içeriğinin kontrole göre, arttığı bildirilmiştir (Zawoznik vd., 2007). Romero-Puertas ve arkadaşlarının yaptığı çalışma, kadmiyum toksisitesinin bezelye bitkisinde GSH ve GSSG miktarını kontrole oranla azalttığını ortaya koymuştur (Romero-Puertas vd., 2007). Lin ve arkadaşlarının yaptığı bir diğer çalışmada ise, Cd konsantrasyonları arttıkça kontrole kıyasla fidelerde GSH miktarının azaldığı, GSSG miktarının ise arttığı tespit edilmiştir (Lin vd., 2007).

2. MATERYAL ve METOD

2.1. Materyal

Son zamanlarda modern dünyanın gıda bitkisi olan mısır önemli dane ürünü haline gelmiştir. İnsan beslenmesinde buğday ve çeltikten sonra en fazla kullanılan bitkilerin başında mısır gelmektedir. Mısır, dört ay gibi kısa bir süre içerisinde 2.5–4.5 metre boya ulaşabilmekte ve tek bir bitkiden 600–1000 tohum elde edilebilmektedir (Kırtok, 1998). Mısır (*Zea mays* L.) bitkisi hem Dünya’da hem Türkiye’de bitkisel kökenli proteinlerin yeterli ve ekonomik üretimi için büyük önem taşımaktadır (Suzersami@yahoo.com). Mısır bitkisinin ana vatanı hakkında çeşitli görüşler ileri sürülmüştür. Ancak pek çok kaynakta mısır bitkisinin ana yurdunun Amerika kıtası olduğunu belirtilmektedir (Kün, 1997). Mısırın Dünya’ya yayılması ise Amerika kıtasının keşfinden sonra (1493) olmuştur (Şahin, 2001). Amerika kıtasının keşfinden sonra mısır önce İspanya’ya getirilmiş, daha sonra ise Afrika ve Asya’ya yayılmıştır. Mısır’ ın ülkemize Mısır ve Suriye yoluyla girdiği görüşü hâkim (Özcan, 2009) olup, 1600 yılında getirildiği rapor edilmiştir (Elçi vd., 1987).

Tablo 2. Dünya’daki Başlıca Mısır Üreten Ülkeler (1998). (Şahin, 2001)

ÜLKELER	ÜRETİM (Bin Ton)
ABD	247943
Çin	125395
Brezilya	29297
Arjantin	19100
Meksika	18411
Fransa	14426
Hindistan	10000
Endonezya	10000

Mısır’ da gövde, genel olarak sayıları 8-9 olan boğum ve boğum aralarından oluşur. Sapa adı verilen ve içi öz denilen sıvı ile dolu olan mısır gövdesinin boyu 1.5- 3 m. arasında değişir. Mısır koçanı, sapa bağlandığı boğumun, hemen üzerinde bulunan oluk biçiminde bir çukur bölgede gelişir (Kün, 1997). Mısır, tahıllar arasında en büyük yapraklara sahip bitkidir. Sapa her boğumundan bir yaprak çıkar ve bir mısır bitkisinde ortalama yaprak sayısı 12-18 arasında değişir. Yapraklar, uzunluğuna paralel olarak damarlı yaprak kını ve

uzun bir yaprak ayasından meydana gelir. Stomalar ise, yaprak ayasının alt epidermisinde daha fazladır (Elçi vd., 1987; K n, 1997).

Mısır bitkisi genel olarak, sıcak ve nemli bölgelerde yetiştirilmektedir. Çok çeşitli türleri olmasından dolayı yetişme sahası geniştir (şahin, 2001). Mısır, yetişeceği toprak tipi yönünden çok seçici olmamasına karşın, organik maddece zengin, derin ve su tutma kapasitesi iyi topraklarda daha yüksek verim potansiyeline sahiptir. Özellikle mısır toprak havasızlığından oldukça zarar görmektedir (<http://hayrabolutb.org.tr/media/ziraat/Misir-Tarimi.pdf>). Mısır bitkisinin yetişme süresi 70-150 gün arasında değişmektedir. Türüne ve yetiştirilen alana göre değişmekle beraber, çimlenme devresinde 10-13 C, yetişme devresinde ise, 10-20 C sıcaklık istemektedir. Sıcaklığın bu değerlerin dışında seyretmesi bitkilerin gelişimini olumsuz yönde etkilemekte dolayısıyla verimin düşük olmasına neden olmaktadır (Türkoğlu, 1971). Bununla birlikte, mısır bitkisinin yetişme dönemleri boyunca istediği nem miktarı diğer tahıllardan çok daha farklıdır. Bu nedenle diğer tahılların aksine yağışların aralıklı olması ve önemli bir kısmının olgunlaşma devresinde olması gerekmektedir. Bu nedenle, yaz yağışları mısır için büyük önem taşımaktadır (şahin, 2001).



şekil 6. Mısır bitkisi

Tablo 3. Mısır tanesinin mineral element içeriği (% 85 kuru madde üzerinden) (Kırtok,1998).

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

Tablo 4. 100 kg mısırdan elde edilebilen maddeler (Kanburoğlu ve Öğretir, 1980).

❖ 100 kg mısırdan;
-77 kg nişasta
-2 kg şeker
-9 kg protein
-5 kg yağ
-7 kg diğer maddeler

Bu 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 bitkisidir. Biz bu çalışmada, önceden yapılmış araştırmaların ışığında farklı Cd konsantrasyonlarının mısır (*Zea Mays* L. cv) fidelerinde yarattığı toksik etkiye karşı, SNP ön uygulamasının fizyolojik ve biyokimyasal bazı parametreler üzerinde hafifletici ya da teşvik edici etkilerini araştırmayı amaçladık.



Şekil 7. Çimlendirilmiş 3 günlük mısır (*Zea mays* L.) tohumlarının genel görünümü



Şekil 8. 15 günlük mısır fidelerinin uygulamalar öncesi genel görünümü

2.1.1. Test Çözeltilerinin Hazırlanması

Fidelere öncelikle hidrofonik molekül ağırlığı 297.95 olan SNP molekülünden 1000 μM ' lık sulu stok çözelti hazırlandı ve bu çözeltden seyreltme yöntemi kullanılarak test çözeltileri olan 25 ve 50 μM ' lık konsantrasyonlar oluşturuldu.

CdCl_2 sulu çözeltisi hazırlamak için, molekül ağırlığı 183.31 olan CdCl_2 bileşiğinden 1000 μM ' lık stok çözelti hazırlandı ve bu çözeltden seyreltme yöntemi kullanılarak test çözeltileri olan 25, 50 ve 75 μM ' lık konsantrasyonlar oluşturuldu.

2.1.2. Bitki Materyaline Yapılan Uygulamalar

Deney materyalimiz olan mısır fidelerini yetiştirmek için, tamamen homojen olan tohumlar seçilerek 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 (homojen) 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 eşit sayıda fide içeren 3 gruba ayrıldı ve hidrofonik yöntem kullanılarak fidelerin köklerinden farklı konsantrasyonlarda (25 ve 50 μM) SNP, 2 gün boyunca uygulandı. Daha sonra ayrı ayrı her bir grup, hazırlanan farklı CdCl_2 konsantrasyonlarına (25, 50 ve 75 μM), 2 gün boyunca hidrofonik olarak maruz bırakıldı. Farklı uygulamalar görmüş gruplara ait fidelerde çeşitli büyüme parametreleri (fide boyu, fidelerin yaprak ve köklerinde $\text{mg KA. g}^{-1} \text{TA}$) tespit edildi, pigment, prolin, MDA, redükte glutatyon ve yağ asidi analizleri yapıldı.

2.1.3. Kimyasal Maddeler ve Organik Çözücüler

Kadmiyum klorür, Sodyum nitroprussit (SNP), aseton, sülfosalisilik asit, perklorik asit, ninhidrin, etil alkol, Na_2HPO_4 , 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 dolayı sadece nihai boy ölçümleri esas alındı. Cd 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).

2.2.1.2. 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 ezilerek 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 spektrofotometrede 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 vd., 1971) .

2.2.1.3. 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 dokusu steril bir makasla parçalara bölünerek materyal olarak kullanıldı. Daha iyi parçalama yapabilmek için örnekler porselen havanda 3-4 dakika ezildi. Örnekler falkon tüplerine konuldu. Bundan sonra üzerine % 3' lük sülfosalisilik asit eklenerek 4 dakika süreyle homojenize edildi. Falkon tüplerinde olan karışımlar 7000 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. Spektrofotometrede 520 nm' de absorbansları okundu. Spektrofotometrede okunan absorbans değerleri prolin standart eğrisinde yerine konularak buna karşılık gelen prolin konsantrasyonu $\mu\text{mol.g}^{-1}$ taze ağırlık cinsinden tespit edildi (Bates vd., 1973).

2.2.1.4. 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 dokusu steril bir makasla parçalara bölünerek materyal olarak kullanıldı. Örnekler falkon tüplerine konuldu ve üzerine 10 ml TRİS (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. Ayırdığımız üst fazlardan her bir örnekten 5 ml cam deney tüplerine alındı. Üzerine 1 ml %10'luk perklorik asit (10 ml perklorik asit, 90 ml saf suda çözünür) eklenerek 5000 rpm' de 10 dk. santrifüj edildi. Daha sonra 1' er ml alınarak viallere konuldu. HPLC' de ölçüldü (Karataş vd., 2002).

2.2.1.5. Redükte 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 dokusu steril bir makasla parçalara bölünerek materyal olarak kullanıldı. Örnekler falkon tüplerine konuldu ve üzerine 10 ml TRİS (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. Ayırdığımız üst fazlardan her bir örnekten 5 ml cam deney tüplerine alındı. Ayırdığımız bu üst fazlardan her bir örnekten 5 ml cam deney tüplerine alındı. Üzerine 1 ml % 10' luk perklorik asit (10 ml perklorik asit, 90 ml saf suda çözünür) eklenerek 5000 rpm' de 10 dk. santrifüj edildi. Daha sonra 1' er ml alınarak viallere konuldu. HPLC' de ölçüldü (Yılmaz vd., 2009).

2.2.1.6. Okside Glutasyon (GSSG) 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 steril bir makasla parçalara bölünerek materyal olarak kullanıldı. Örnekler falkon tüplerine konuldu ve üzerine 10 ml TRİS (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. Ayırdığımız üst fazlardan her bir örnekten 5 ml cam deney tüplerine alındı. Ayırdığımız bu üst fazlardan her bir örnekten 5 ml cam deney tüplerine alındı. Üzerine 1 ml % 10' luk perklorik asit (10 ml perklorik asit, 90 ml saf suda çözünür) eklenerek 5000 rpm' de 10 dk. santrifüj edildi. Daha sonra 1' er ml alınarak viallere konuldu. HPLC' de ölçüldü (Yılmaz vd., 2009).

2.2.1.7. 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 steril bir makasla parçalara bölünerek materyal olarak kullanıldı. Tüm örnekler ayrı

ayrı porselen havanda 3 dakika ezildi. 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 12-15 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 (Christie, 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.

2.3. 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 tez çalışmasında, mısır fidelerine farklı SNP (25 ve 50 μM) konsantrasyonlarının ön uygulanmasından sonra, farklı kadmiyum (25, 50 ve 75 μM) konsantrasyonlarına karşı verdiği fizyolojik ve biyokimyasal cevaplar araştırılmıştır. Gerek SNP ve gerekse Cd konsantrasyonlarının uygulanması kökler aracılığı ile hidrofonik olarak gerçekleştirilmiştir. 48 saat SNP ve 48 saat Cd konsantrasyonlarının uygulamasından sonra mısır fidelerinde büyüme parametreleri (fidelerde kök ve sürgün boyu, fidelerde mg. KA. g^{-1} TA), yapraklarda pigment, ayrıca kök ve yapraklarda prolin, malondialdehit (MDA), redükte glutatyon (GSH), okside glutatyon (GSSG) ve yağ asitleri analizleri yapılmıştır.

3.1. Büyüme Parametrelerindeki Değişiklikler

Mısır fidelerine yapılan uygulamaların kök ve sürgündeki büyüme parametreleri üzerine etkileri incelendiğinde genel olarak, kontrol grubu fidelerine kıyasla, SNP uygulanan ve uygulanmayan tüm gruplarda anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

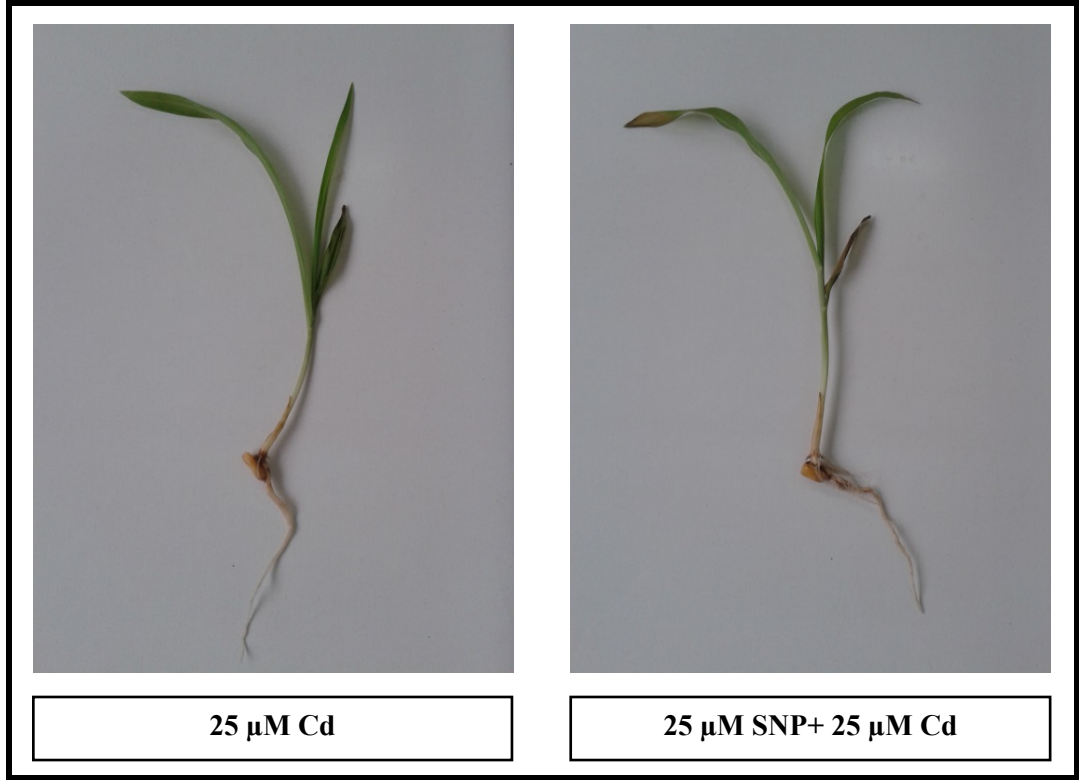
Uygulama yapılan fidelerin kök uzunluklarında kontrole kıyasla; 25 μM Cd, 50 μM Cd, 75 μM Cd, 25 μM SNP, 50 μM SNP, 25 μM SNP+25 μM Cd, 25 μM SNP+50 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd, 50 μM SNP+25 μM Cd, 50 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarında sırasıyla; % 39.10, % 56.39, % 57.89, % 30.37, % 45.56, % 34.07, % 46.30, % 51.85, % 35.71, % 53.33 ve % 55.92 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μM Cd' ye göre 50 μM SNP+25 μM Cd grubunda % 5.56 oranında artış; 50 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+50 μM Cd gruplarında sırasıyla % 29.46 ve % 12.50 oranında artış; 75 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarında sırasıyla % 12.93 ve % 0.27 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 25 μM SNP+25 μM Cd grubunda artış tespit edilse de istatistiki açıdan anlamlı bulunmamıştır ($P > 0.05$).



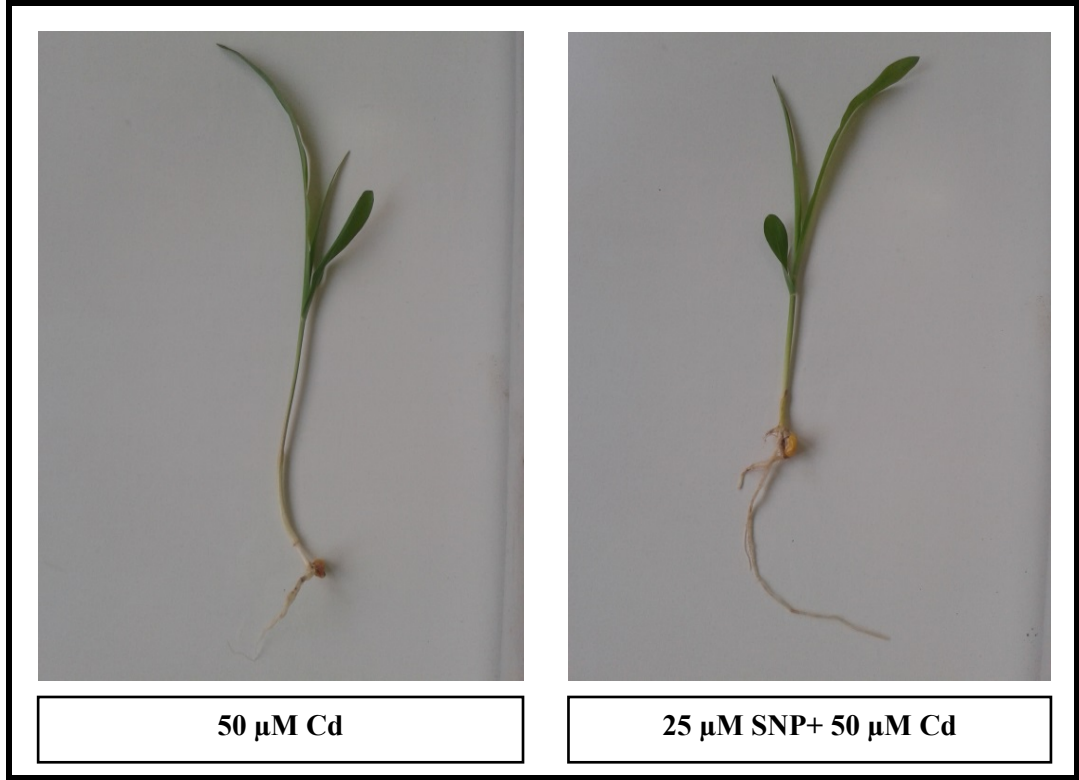
Şekil 9. Kontrol (saf su, 25 µM SNP ve 50 µM SNP) fidelerinin genel görünümü

Uygulama yapılan fidelerin sürgün uzunluklarında kontrole kıyasla; 25 µM Cd, 50 µM Cd, 75 µM Cd, 25 µM SNP, 50 µM SNP, 25 µM SNP+25 µM Cd, 25 µM SNP+50 µM Cd, 25 µM SNP+75 µM Cd, 50 µM SNP+25 µM Cd, 50 µM SNP+50 µM Cd ve 50 µM SNP+75 µM Cd gruplarında sırasıyla; % 47.22, % 70.22, % 73.37, % 63.41, % 67.07, % 36.83, % 67.32, % 77.48, % 39.68, % 68.78 ve % 78.53 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 µM Cd' ye göre 25 µM SNP+25 µM Cd ve 50 µM SNP+25 µM Cd gruplarında sırasıyla % 18.81 ve % 13.44 oranında artış; 50 µM Cd' ye göre 25 µM SNP+50 µM Cd ve 50 µM SNP+50 µM Cd gruplarında sırasıyla % 8.94 ve % 4.06 oranında artış; 75 µM Cd' ye göre 25 µM SNP+75 µM Cd ve 50 µM SNP+75 µM Cd gruplarında sırasıyla % 15.45 ve % 20 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerde, taze ağırlık başına düşen kuru ağırlık miktarları (mg/gr) kontrole kıyasla; 25 µM Cd, 50 µM Cd, 75 µM Cd, 25 µM SNP, 50 µM SNP, 25 µM SNP+25 µM Cd, 25 µM SNP+50 µM Cd, 25 µM SNP+75 µM Cd, 50 µM SNP+25 µM Cd, 50 µM SNP+50 µM Cd ve 50 µM SNP+75 µM Cd sırasıyla; % 31.94, % 34.09, % 43.61, % 30.60, % 44.16, % 28.91, % 38.45, % 47.73, % 30.25, % 54.54 ve % 57.80 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 µM Cd' ye göre 25 µM SNP+25 µM Cd ve 50 µM SNP+25 µM Cd gruplarında sırasıyla % 4.44 ve % 2.47 oranında artış; 50 µM Cd' ye göre 25 µM SNP+50 µM Cd ve 50 µM SNP+50 µM Cd gruplarında sırasıyla % 6.60 ve % 31.02 oranında azalma; 75 µM Cd' ye göre 25 µM SNP+75 µM Cd grubunda % 7.16 oranında azalma ve 50 µM SNP+75 µM Cd grubunda ise % 25.17 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).



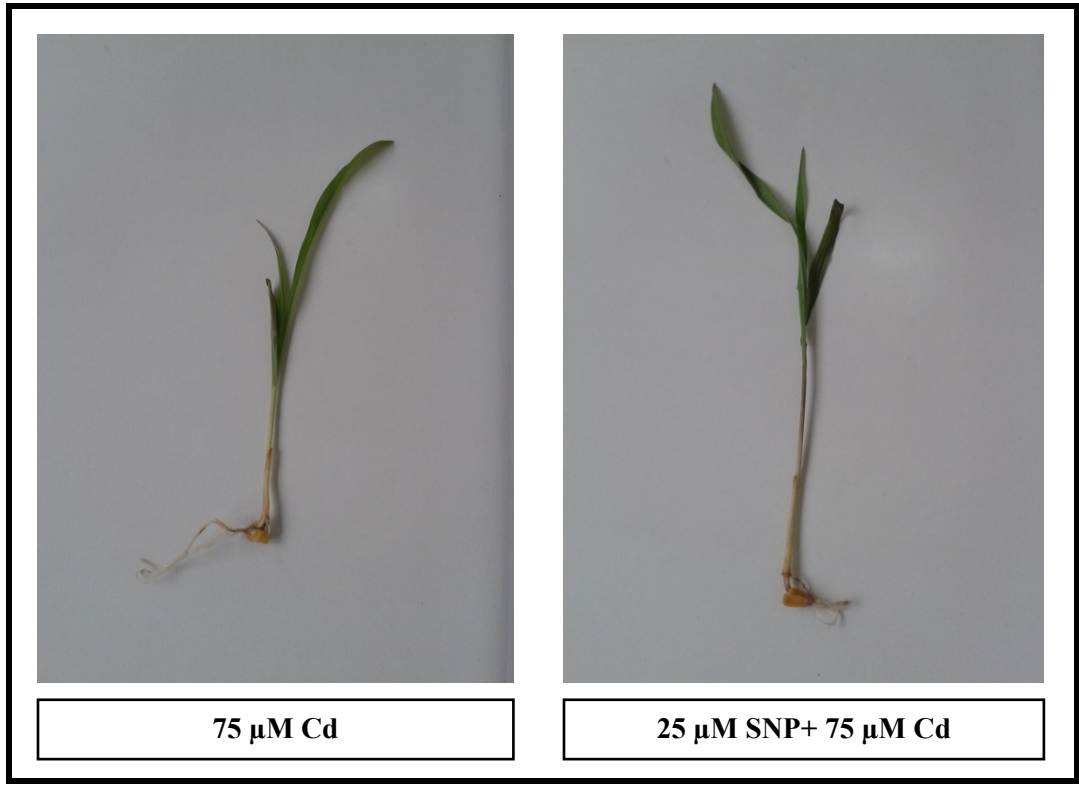
Şekil 10. SNP ile ön uygulamasız ve ön uygulamalı 25 µM Cd konsantrasyonlu fideler



Şekil 11. SNP ile ön uygulamasız ve ön uygulamalı 50 μ M Cd konsantrasyonlu fideler

Tablo 5. SNP ön uygulamalı mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyumun kök ve sürgün boyu artışı üzerine etkileri

GRUPLAR	FİDE BOYU DEĞİŞİMİ (mm/cm)	
	KÖK	SÜRGÜN
KONTROL	27 ± 1.1	41 ± 3.4
25 µM SNP	18.8 ± 0.4*□	15 ± 0.3*□
50 µM SNP	14.7 ± 0.6*□	13.5 ± 0.4*□
25 µM Cd	16.2 ± 0.9*	21.8 ± 0.4*
50 µM Cd	11.6 ± 0.4*	12.3 ± 0.2*
75 µM Cd	11 ± 1.3*	11 ± 0.1*
25 µM SNP+ 25 µM Cd	17.8 ± 0.7*	25.9 ± 0.6*□
25 µM SNP+50 µM Cd	14.5 ± 0.6*□	13.4± 0.4*□
25 µM SNP+ 75 µM Cd	13 ± 0.4*□	9.3 ± 0.1*□
50 µM SNP+25 µM Cd	16 ± 0.6*□	24.73± 0.9*□
50 µM SNP+50 µM Cd	12.6 ± 0.8*□	12.8± 0.4*□
50 µM SNP+75 µM Cd	11.9 ± 0.4*□	8.80 ± 0.1*□
*:Kontrolle kıyasla □: Gruplar arası; p≤0.05 olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 10)		



Şekil 12. SNP ile ön uygulamasız ve ön uygulamalı 75 μ M Cd konsantrasyonlu fideler

Tablo 6. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız fidelerde kadmiyumun mısır (*Zea mays* L.) fidelerinin ağırlık değişimi üzerine etkileri

GRUPLAR	
KONTROL	5.95 ± 0.14
25 µM SNP	4.13± 0.21*
50 µM SNP	3.32± 0.05*□
25 µM Cd	4.05± 0.19 *
50 µM Cd	3.92± 0.10*
75 µM Cd	3.35 ± 0.07 *
25 µM SNP+ 25 µM Cd	4.23± 0.01*□
25 µM SNP+50 µM Cd	3.66± 0.08*□
25 µM SNP+75 µM Cd	3.11± 0.12*□
50 µM SNP+25 µM Cd	4.15± 0.02*□
50 µM SNP+50 µM Cd	2.70± 0.08 *□
50 µM SNP+75 µM Cd	2.51± 0.07*□
*: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, SNP uygulanan ve uygulanmayan bazı gruplarda anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla; 75 µM Cd, 50 µM SNP, 25 µM SNP+25 µM Cd, 25 µM SNP+50 µM Cd ve 50 µM SNP+25 µM Cd gruplarında sırasıyla; % 69.75, % 0.84, % 10.92, % 16.81 ve % 45.38 oranlarında azalma tespit edilmiştir (P≤0,05). Ayrıca 25 µM SNP grubunda % 9.24 oranında artış tespit edilmiştir (P≤0,05). Gruplar arasında; 25 µM Cd' ye göre 25 µM SNP+25 µM Cd µM Cd grubunda % 85.36 oranında artış; 50 µM Cd' ye göre 25 µM SNP+50 µM Cd grubunda % 73.81 oranında artış; 75 µM Cd' ye göre 25 µM SNP+75 µM Cd ve 50 µM SNP+75 µM Cd gruplarında sırasıyla % 36.11 ve % 11.11 oranında artış tespit edilmiştir (P≤0,05).

Karotenoid miktarları için; uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla; 75 µM Cd, 25 µM SNP, 50 µM SNP, 25 µM SNP+25 µM Cd, 25 µM SNP+50 µM Cd, 50 µM SNP+25 µM Cd için sırasıyla; % 49.32, % 64.91, % 34.50, % 55.17, % 43.47 ve % 63.74 oranlarında azalma tespit edilmiştir (P≤0,05). Gruplar arasında; 25 µM

Cd' ye göre 25 μ M SNP+25 μ M Cd ve 50 μ M SNP+25 μ M Cd gruplarında sırasıyla % 62.30 ve % 69.51 azalma; 50 μ M Cd' ye göre 25 μ M SNP+50 μ M Cd grubunda % 34.09 oranında azalma; 75 μ M Cd' ye göre 25 μ M SNP+75 μ M Cd ve 50 μ M SNP+75 μ M Cd gruplarında sırasıyla % 42.31 ve % 57.69 oranında artış gözlenmiştir ($P \leq 0.05$).

Uygulama yapılan mısır fidelerinde klorofil ve karotenoid miktarlarında kontrole göre; 25 μ M Cd, 50 μ M Cd, 25 μ M SNP+75 μ M Cd, 50 μ M SNP+50 μ M Cd ve 50 μ M SNP+75 μ M Cd gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0.05$).

Tablo 7. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyumun fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri

GRUPLAR	KL (a+b)	Karotenoidler
KONTROL	1.19 $\pm$ 0.07	0.51 $\pm$ 0.04
25 μ M SNP	1.30 $\pm$ 0.09*	0.18 $\pm$ 0.00*
50 μ M SNP	1.18 $\pm$ 0.21*	0.34 $\pm$ 0.01*
25 μ M Cd	0.41 $\pm$ 0.03	0.61 $\pm$ 0.01
50 μ M Cd	0.42 $\pm$ 0.04	0.44 $\pm$ 0.01
75 μ M Cd	0.36 $\pm$ 0.20*	0.26 $\pm$ 0.03*
25 μ M SNP+ 25 μ M Cd	0.76 $\pm$ 0.02* [□]	0.23 $\pm$ 0.02* [□]
25 μ M SNP+50 μ M Cd	0.73 $\pm$ 0.06* [□]	0.29 $\pm$ 0.01* [□]
25 μ M SNP+75 μ M Cd	0.49 $\pm$ 0.02	0.37 $\pm$ 0.03
50 μ M SNP+25 μ M Cd	0.65 $\pm$ 0.02*	0.19 $\pm$ 0.01* [□]
50 μ M SNP+50 μ M Cd	0.58 $\pm$ 0.08	0.47 $\pm$ 0.08
50 μ M SNP+75 μ M Cd	0.40 $\pm$ 0.05 [□]	0.41 $\pm$ 0.08 [□]
*:Kontrole kıyasla □: Gruplar arası; ; $p \leq 0.05$ olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması $\pm$ SE (n: 3)		

3.3. Prolin Miktarındaki Değişiklikler

Fidelere yapılan uygulamaların kökte ve yaprakta prolin miktarı üzerine etkileri incelendiğinde, kontrol grubu fidelerine kıyasla, SNP uygulanan ve uygulanmayan bazı gruplarda anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrole kıyasla; 25 μ M Cd, 25 μ M SNP, 50 μ M SNP, 25 μ M SNP+25 μ M Cd ve 50 μ M SNP+25 μ M Cd gruplarında sırasıyla % 15.43, % 21.15, % 22.55, % 19.75 ve % 16.84 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$). Ayrıca 50 μ M Cd, 25 μ M SNP+50 μ M Cd, 50 μ M SNP+50 μ M Cd ve 50 μ M SNP+75

μM Cd gruplarında sırasıyla % 22.47, % 14.20, % 24.95 ve % 22.85 oranında artış tespit edilmiştir. Gruplar arasında; 50 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+50 μM Cd gruplarında % 6.75 oranında azalma, 75 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+75 μM Cd gruplarında % 7.60 oranında azalma ve 50 μM SNP+75 μM Cd grubunda ise % 17.63 artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrole kıyasla; 75 μM Cd ve 25 μM SNP+75 μM Cd gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında prolin miktarı kontrol grubuna kıyasla; 50 μM SNP+25 μM Cd, 50 μM SNP+50 μM Cd, 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarında sırasıyla; % 9.02, % 6.49 ve % 8.87 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). 25 μM Cd, 50 μM Cd, 75 μM Cd, 25 μM SNP, 25 μM SNP+25 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd gruplarındaki artışlar istatistiki açıdan anlamlı bulunmamıştır ($P > 0,05$). Gruplar arasında ise; 25 μM Cd' ye göre 50 μM SNP+25 μM Cd gruplarında % 2.75 oranında artış; 75 μM Cd' ye göre 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarında ise % 10.26 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Tablo 8. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyumun kök ve yaprakta malondialdehit ve prolin miktarları üzerine etkileri

	GRUPLAR		MDA (nmol.g ⁻¹ TA)	PROL İN (μmol . g ⁻¹ TA)
	KÖK	YAPRAK	KÖK	YAPRAK
KONTROL	9.56 $\pm$ 0.06	31.85 $\pm$ 0.37	30.87 $\pm$ 1.27	37.11 $\pm$ 0.71
25 μM SNP	8.76 $\pm$ 0.04*	29.02 $\pm$ 0.21	24.34 $\pm$ 0.18*	36.46 $\pm$ 0.10
50 μM SNP	7.83 $\pm$ 0.02*	26.20 $\pm$ 0.24*	23.91 $\pm$ 0.68*	38.22 $\pm$ 1.39
25 μM Cd	17.98 $\pm$ 1.06*	43.45 $\pm$ 1.88*	26.11 $\pm$ 0.61*	36.58 $\pm$ 0.44
50 μM Cd	18.09 $\pm$ 1.07*	46.30 $\pm$ 4.98*	37.81 $\pm$ 1.29*	38.52 $\pm$ 0.54
75 μM Cd	18.02 $\pm$ 0.47*	42.01 $\pm$ 1.65	32.24 $\pm$ 1.21	36.69 $\pm$ 0.10
25 μM SNP+25 μM Cd	14.20 $\pm$ 0.59*	37.05 $\pm$ 1.43* [□]	24.77 $\pm$ 0.34*	37.75 $\pm$ 0.10

25 µM SNP+50 µM Cd	12.02±1.09*	37.67±0.77*□	35.25±0.93*□	37.74 ±0.13
25 µM SNP+75µM Cd	11.81±1.02*	35.28±1.37*□	29.79±0.25□	36.98 ±0.41
50 µM SNP+25µM Cd	12.42±1.22*□	33.93±0.57*□	25.67±0.26*	40.51 ±0.81 *□
50 µM SNP+50µM Cd	9.78±1.22*□	34.83±1.82*□	38.57±0.10*	39.57 ±1.15 *
50 µM SNP+75µM Cd	9.68±0.53*	34.5±1.27*□	37.93±0.54*□	40.46 ±1.18 *□
*:Kontrole kıyasla □: Gruplar arası; ; p≤0.05 olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 3)				

3.4. Malondialdehit Miktarındaki Değişiklikler

Fidelere yapılan uygulamaların kökte ve yaprakta malondialdehit miktarı üzerine etkileri incelendiğinde, kontrol grubu fidelerine kıyasla SNP uygulanan ve uygulanmayan bazı gruplarda anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 25 μ M Cd, 50 μ M Cd, 75 μ M Cd, 25 μ M SNP+25 μ M Cd, 25 μ M SNP+50 μ M Cd, 25 μ M SNP+75 μ M Cd, 50 μ M SNP+25 μ M Cd, 50 μ M SNP+50 μ M Cd ve 50 μ M SNP+75 μ M Cd gruplarında sırasıyla % 88.07, % 89.22, % 88.49, % 48.53, % 25.73, % 23.53, % 29.91, % 2.30 ve % 1.25 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 25 μ M SNP ve 50 μ M SNP gruplarında sırasıyla % 8.36 ve % 18.09 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μ M Cd' ye göre 50 μ M SNP+25 μ M Cd gruplarında % 30.92 oranında azalma; 50 μ M Cd' ye göre 50 μ M SNP+50 μ M Cd gruplarında % 45.94 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 25 μ M Cd, 50 μ M Cd, 75 μ M Cd, 25 μ M SNP+25 μ M Cd, 25 μ M SNP+50 μ M Cd, 25 μ M SNP+75 μ M Cd, 50 μ M SNP+25 μ M Cd, 50 μ M SNP+50 μ M Cd ve 50 μ M SNP+75 μ M Cd gruplarında sırasıyla; % 36.42, % 45.37, % 16.32, % 18.27, % 10.77, % 6.53, % 9.35 ve % 8.32 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 50 μ M SNP grubunda % 17.74 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μ M Cd' ye göre 25 μ M SNP+25 μ M Cd ve 50 μ M SNP+25 μ M Cd gruplarında sırasıyla % 14.73 ve % 21.91 oranında azalma; 50 μ M Cd' ye göre 25 μ M SNP+50 μ M Cd ve 50 μ M SNP+50 μ M Cd gruplarında sırasıyla % 18.64 ve % 24.77 oranında azalma; 75 μ M Cd' ye göre 25 μ M SNP+75 μ M Cd ve 50 μ M SNP+75 μ M Cd gruplarında sırasıyla % 16.02 ve % 17.87 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Uygulama yapılan fidelede, 75 μ M Cd ve 25 μ M SNP gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

3.5. Redükte Glutasyon (GSH) Miktarındaki Değişiklikler

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 25 μ M SNP, 50 μ M SNP, 75 μ M SNP, 25 μ M SNP+25 μ M Cd, 25 μ M SNP+50 μ M Cd, 25 μ M SNP+75 μ M Cd, 50 μ M SNP+25 μ M Cd, 50 μ M SNP+50 μ M Cd ve 50 μ M SNP+75 μ M Cd gruplarında sırasıyla; % 35.14, % 50.70, % 10.42, % 4.84, % 13.18, % 9.83, % 10.72 ve % 17.57

oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 50 μM Cd ve 75 μM Cd gruplarında sırasıyla % 11.09 ve % 1.49 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+25 μM Cd ve 50 μM SNP+25 μM Cd gruplarında sırasıyla % 5.53 ve % 6.22 oranında artış; 50 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+50 μM Cd gruplarında sırasıyla % 7.21 ve % 0.58 oranında artış; 75 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd grubunda sırasıyla % 7.07 ve % 1.65 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca uygulama yapılan köklerde, 25 μM Cd grubundaki fark istatistiki açıdan anlamlı bulunmamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 25 μM SNP+25 μM Cd, 25 μM SNP+50 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd, 50 μM SNP+25 μM Cd, 50 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarında sırasıyla % 21.44, % 17.12, % 21.29, % 22.38, % 19.64 ve % 21.76 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 50 μM Cd ve 75 μM Cd gruplarında sırasıyla %11.53 ve % 10.53 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+25 μM Cd ve 50 μM SNP+25 μM Cd gruplarında sırasıyla % 5.60 ve % 4.33 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca uygulama yapılan fidelerde, 25 μM Cd, 25 μM SNP ve 50 μM SNP gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunmamıştır ($P > 0,05$).

3.6. Okside Glutasyon (GSSG) Miktarındaki Değişiklikler

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrole kıyasla; 75 μM Cd, 25 μM SNP, 50 μM SNP, 25 μM SNP+ 25 μM Cd, 25 μM SNP+50 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd, 50 μM SNP+25 μM Cd, 50 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarında sırasıyla; % 16.80, % 9.61, % 47.09, % 33.97, % 43.32, % 51.29, % 49.07, % 55.32 ve % 57.31 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+ 25 μM Cd ve 50 μM SNP+25 μM Cd grubunda sırasıyla % 34.65 ve % 49.60 oranında azalma; 50 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+50 μM Cd gruplarında sırasıyla % 47.96 ve % 58.98 oranında azalma; 75 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarında sırasıyla % 41.46 ve % 48.69 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 25 μM Cd ve 50 μM Cd gruplarında artış tespit edilse de istatistiki açıdan anlamlı bulunmamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla; 25 μM SNP, 50 μM SNP, 25 μM SNP+25 μM Cd, 25 μM SNP+50 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM

SNP+75 μM Cd gruplarında sırasıyla; % 37.66, % 33.17, % 38.32, % 38.49, % 46.34 ve % 28.46 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 50 μM Cd ve 50 μM SNP+50 μM Cd gruplarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+25 μM Cd ve 50 μM SNP+25 μM Cd grubunda sırasıyla % 46.79 ve % 25.88 oranında azalma; 50 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+50 μM Cd grubunda % 52.89 oranında azalma; 75 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarında sırasıyla % 40.26 ve % 20.37 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). 25 μM Cd, 75 μM Cd ve 50 μM SNP+25 μM Cd gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunmamıştır ($P > 0,05$).

Tablo 9. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyumun kök ve yaprakta GSH ve GSSG miktarları üzerine etkileri

GRUPLAR	GSH ($\mu\text{g.g}^{-1}\text{TA}$)		GSSG ($\mu\text{g.g}^{-1}\text{TA}$)	
	KÖK	YAPRAK	KÖK	YAPRAK
KONTROL	13.43 $\pm$ 0.43	12.73 $\pm$ 0.62	115.85 $\pm$ 7.48	112.35 $\pm$ 2.32
25 μM SNP	6.96 $\pm$ 0.06* $\square$	7.90 $\pm$ 0.84	104.71 $\pm$ 1.95*	70.04 $\pm$ 9.37*
50 μM SNP	5.29 $\pm$ 0.04* $\square$	8.01 $\pm$ 0.94	61.31 $\pm$ 0.90*	75.08 $\pm$ 6.51*
25 μM Cd	11.40 $\pm$ 0.60	9.47 $\pm$ 0.61	117.07 $\pm$ 7.86	130.22 $\pm$ 8.36
50 μM Cd	11.92 $\pm$ 0.59*	10.06 $\pm$ 0.14*	126.20 $\pm$ 6.47	146.65 $\pm$ 10.20*
75 μM Cd	10.89 $\pm$ 0.12*	9.97 $\pm$ 0.08*	96.39 $\pm$ 2.05*	100.93 $\pm$ 3.44
25 μM SNP+25 μM Cd	12.03 $\pm$ 0.1* $\square$	9.97 $\pm$ 0.08*	76.51 $\pm$ 1.88* $\square$	69.30 $\pm$ 6.75* $\square$
25 μM SNP+50 μM Cd	12.78 $\pm$ 0.72* $\square$	10.55 $\pm$ 0.18*	65.67 $\pm$ 1.21* $\square$	69.12 $\pm$ 0.77* $\square$
25 μM SNP+75 μM Cd	11.66 $\pm$ 0.02* $\square$	10.02 $\pm$ 0.19*	56.43 $\pm$ 0.20* $\square$	60.29 $\pm$ 1.97* $\square$
50 μM SNP+25 μM Cd	12.11 $\pm$ 0.08* $\square$	9.88 $\pm$ 0.41* $\square$	59 $\pm$ 0.21 $\square$	96.52 $\pm$ 3.44* $\square$
50 μM SNP+50 μM Cd	11.99 $\pm$ 0.07* $\square$	10.23 $\pm$ 0.42*	51.76 $\pm$ 0.48*	131.68 $\pm$ 9.63*
50 μM SNP+75 μM Cd	11.07 $\pm$ 0.03* $\square$	9.96 $\pm$ 0.11*	49.47 $\pm$ 0.28* $\square$	80.38 $\pm$ 2.50* $\square$
*:Kontrole kıyasla $\square$: Gruplar arası; $p \leq 0.05$ olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması $\pm$ SE (n: 3)				

3.7. Yağ asidi Miktarlarındaki (%) Değişiklikler

Yapılan SNP ve Cd uygulamalarının fidelerin yağ asidi bileşimi etkileri;

3.7.1. Palmitik asit (16:0)

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 75 μM Cd, 25 μM SNP, 25 μM SNP+50 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM SNP+50 μM Cd gruplarında sırasıyla % 25.91, % 30.08, % 28.64, % 24.78 ve % 61.55 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 50 μM Cd' ye göre 50 μM SNP+50 μM Cd grubunda % 36.38 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 25 μM Cd, 50 μM Cd, 50 μM SNP, 25 μM SNP+25 μM Cd, 50 μM SNP+25 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 25 μM Cd, 50 μM Cd, 75 μM Cd, 25 μM SNP, 25 μM SNP+25 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM SNP+50 μM Cd gruplarında sırasıyla % 21.77, % 24.32, % 31.04, % 15.13, % 25.64, % 24.86 ve % 13.90 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μM Cd'ye göre 50 μM SNP+25 μM Cd grubunda % 14.20 azalma; 50 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+50 μM Cd gruplarında sırasıyla % 12.92 ve % 8.38 oranında azalma; 75 μM Cd' ye göre 50 μM SNP+75 μM Cd grubunda % 17.44 azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 50 μM SNP, 25 μM SNP+50 μM Cd, 50 μM SNP+25 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

3.7.2. Palmiöleik asit (16:1)

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 75 μM Cd, 25 μM SNP ve 50 μM SNP+50 μM Cd gruplarında sırasıyla % 14.76, % 18.33 ve % 11.55 oranında artış; 50 μM SNP+75 μM Cd grubunda ise % 15.30 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 50 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+50 μM Cd grubunda % 9.87 oranında azalma; 75 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarında sırasıyla % 18.21 ve % 26.20 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 25 μM Cd, 50 μM Cd, 50 μM SNP, 25 μM SNP+25 μM Cd, 25 μM SNP+50 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM SNP+25 μM Cd gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

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

3.7.3. Stearik asit (18:0)

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 25 μM Cd, 50 μM Cd, 75 μM Cd ve 50 μM SNP gruplarında sırasıyla % 32.99, % 80.98 ve % 81.84 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 25 μM SNP+75 μM Cd grubunda % 45.70 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μM Cd'ye göre 50 μM SNP+25 μM Cd grubunda % 28.55 oranında azalma; 50 μM Cd'ye göre 25 μM SNP+50 μM Cd grubunda % 39.61 oranında azalma; 75 μM Cd'ye göre 25 μM SNP+75 μM Cd grubunda % 70.14 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). 25 μM SNP, 25 μM SNP+25 μM Cd, 25 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+25 μM Cd gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında, yapılan analizlerde 18:0 yağ asidine rastlanmamıştır.

3.7.4. Linoleik asit (18:2)

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde kontrol grubuna kıyasla; 50 μM Cd, 75 μM Cd, 25 μM SNP+25 μM Cd, 25 μM SNP+50 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM SNP+50 μM Cd gruplarında sırasıyla % 56.36, % 60.85, % 99.62, % 73.49, % 85.15 ve % 99.92 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μM Cd'ye göre 25 μM SNP+25 μM Cd grubunda % 61.89 oranında artış; 50 μM Cd'ye göre 50 μM SNP+50 μM Cd grubunda % 27.86 oranında artış; 75 μM Cd'ye göre 25 μM SNP+75 μM Cd grubunda % 15.10 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 50 μM SNP, 25 μM Cd ve 50 μM SNP+25 μM Cd gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 25 μM Cd, 50 μM Cd, 75 μM Cd, 25 μM SNP, 25 μM SNP+25 μM Cd, 25 μM SNP+50 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd, 50 μM SNP+25 μM Cd, 50 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarında sırasıyla % 24.66, % 34.07, % 44.61, % 14.25, % 10.90, % 17.22, % 40.02, % 14.12, % 10.04 ve % 54.64 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 50 μM SNP grubunda % 7.31 oranında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μM Cd'ye göre 25 μM SNP+25 μM Cd ve 50 μM SNP+25 μM Cd grubunda sırasıyla % 11.03 ve % 8.45 oranında azalma; 50 μM Cd'ye göre 25 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM

SNP+50 μM Cd grubunda sırasıyla % 12.57 ve % 17.93 oranında azalma; 75 μM Cd' ye göre 50 μM SNP+75 μM Cd grubunda % 6.95 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$).

3.7.5. Linolenik asit (18:3)

Uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla; 50 μM Cd, 75 μM Cd ve 25 μM SNP gruplarında sırasıyla % 13.13, % 16.83 ve % 12.80 oranında azalma ve 50 μM SNP+25 μM Cd grubunda % 9.13 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Gruplar arasında; 25 μM Cd'ye göre 50 μM SNP+25 μM Cd grubunda % 15.68 oranında artış; 50 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+50 μM Cd grubunda sırasıyla % 21.29 ve % 16.73 oranında artış; 75 μM Cd' ye göre 25 μM SNP+75 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd grubunda sırasıyla % 23.83 ve % 23.93 oranında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca 25 μM Cd, 50 μM SNP, 25 μM SNP+25 μM Cd, 25 μM SNP+50 μM Cd, 25 μM SNP+75 μM Cd, 50 μM SNP+50 μM Cd ve 50 μM SNP+75 μM Cd gruplarındaki farklar istatistiki açıdan anlamlı bulunamamıştır ($P > 0,05$).

Uygulama yapılan fidelerin köklerinde, yapılan analizlerde 18:3 yağ asidine rastlanmamıştır.

Tablo 10. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyumun kökte yağ asidi bileşiminin (%) değişimi üzerine etkileri

	GRUPLAR	KÖK		
		16:0	18:0	18:2
Kontrol		36.20 $\pm$ 3.76	30.13 $\pm$ 3.08	13.13 $\pm$ 2.80
25 μM SNP		47.09 $\pm$ 2.30*	-	-
50 μM SNP		39.67 $\pm$ 1.54	39.79 $\pm$ 3.86*	17.18 $\pm$ 1.74
25 μM Cd		39.92 $\pm$ 1.92	40.07 $\pm$ 2.23*	16.19 $\pm$ 1.26
50 μM Cd		42.88 $\pm$ 1.76	54.53 $\pm$ 0.48*	20.53 $\pm$ 1.49*
75 μM Cd		45.57 $\pm$ 1.55*	54.79 $\pm$ 1.32*	21.12 $\pm$ 2.55*
25 μM SNP+25 μM Cd		40.67 $\pm$ 2.07	33.85 $\pm$ 0.35	26.21 $\pm$ 2.49* [□]
25 μM SNP+50 μM Cd		46.57 $\pm$ 2.35*	32.93 $\pm$ 5.42 [□]	22.78 $\pm$ 2.76*
25 μM SNP+75 μM Cd		45.17 $\pm$ 5.69*	16.36 $\pm$ 1.62* [□]	24.31 $\pm$ 0.63* [□]
50 μM SNP+25 μM Cd		32.84 $\pm$ 2.76	28.63 $\pm$ 3.47 [□]	14.45 $\pm$ 2.28
50 μM SNP+50 μM Cd		58.48 $\pm$ 5.00* [□]	-	26.25 $\pm$ 0.40* [□]
50 μM SNP+75 μM Cd		44.67 $\pm$ 2.71	-	-

*:Kontrole kıyasla [□]: Gruplararası; $p \leq 0.05$ olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması $\pm$ SE (n: 3)

Tablo 11. SNP ön uygulamalı ve ön uygulamasız mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde, kadmiyumun yaprakta yağ asidi bileşiminin (%) değişimi üzerine etkileri

GRUPLAR	YAPRAK			
	16:0	16:1	18:2	18:3
Kontrol	12.95 ± 0.40	10.92 ± 0.45	8.08 ± 0.10*	60.56 ± 1.35
25 µM SNP	14.92 ± 0.09*	12.91 ± 0.33*	9.22 ± 0.01*	52.81 ± 1.53*
50 µM SNP	12.52 ± 0.00	11.84 ± 0.00	7.48 ± 0.00*	60.98 ± 0.00
25 µM Cd	15.77 ± 0.46*	10.88 ± 0.06	10.06 ± 0.11*	57.13 ± 1.82
50 µM Cd	16.10 ± 0.06*	11.75 ± 0.31	10.83 ± 0.11*	52.61 ± 1.61*
75 µM Cd	16.98 ± 0.54*	12.52 ± 0.18*	11.67 ± 0.26*	50.36 ± 0.35*
25 µM SNP+25 µM Cd	16.28 ± 0.42*	11.41 ± 0.58	8.96 ± 0.23*□	58.68 ± 2.81
25 µM SNP+50 µM Cd	14.02 ± 0.20□	10.59 ± 0.63□	9.46 ± 0.24*□	63.80 ± 1.80□
25 µM SNP+75 µM Cd	16.17 ± 0.13*	10.24 ± 0.14□	11.30 ± 0.09*	62.26 ± 0.10□
50 µM SNP+25 µM Cd	13.53 ± 0.13□	11.03 ± 0.07	9.21 ± 0.18*□	66.08 ± 0.39*□
50 µM SNP+50 µM Cd	14.75 ± 0.04*□	12.18 ± 0.38*	8.88 ± 0.12*□	61.41 ± 0.49□
50 µM SNP+75 µM Cd	14.01 ± 0.94□	9.24 ± 0.36*□	12.49± 0.47*□	62.41 ± 0.11□
*:Kontrolle kıyasla □: Gruplararası; p≤0.05olasılık seviyelerinde önemli. Verilerin ortalaması ±SE (n: 3)				

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Mısır (*Zea mays* L.) fideleri üzerinde yapılan bu çalışmada, SNP ön uygulaması yapılan fidelerin farklı kadmiyum konsantrasyonlarına verdiği cevaplar araştırılmıştır. Literatür taramalarımızda mısır bitkisinde, SNP ve Cd'yi birlikte çalışan bir makaleye rastlamadığımız için parametreleri çoğunlukla dolaylı makaleler üzerinden tartışmaya çalıştık. Genel olarak fidelere uygulanan kadmiyum konsantrasyonları arttıkça, gerek SNP ön uygulamasız (Hassan vd., 2005; Laspina vd., 2005; Ayhan, 2006; Ivarez vd., 2006; Krantev vd., 2008; Chaudhary ve Sharma, 2009; Guo vd., 2009; Auda ve Emad, 2010; Mohsenzadeh vd., 2011; Zhao, 2011; Kalınbacak vd., 2012; Moradkhani vd., 2012; He vd., 2014; Singh ve Shah, 2014), gerekse SNP ön uygulamalı (Kopyra ve Gwozdz, 2003; Laspina vd., 2005; Chen vd., 2012; Zhao vd., 2013; He vd., 2014) fidelerde kontrol grubu fidelerine kıyasla, fide boyu büyümesi, taze ağırlık başına düşen kuru ağırlık miktarları çoğu kez anlamlı bir şekilde azalmıştır. Bu konuda SNP ön uygulamasının (50 μ M SNP), Cd' nin büyüme parametreleri üzerindeki inhibitif etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Laspina vd., 2005; Chen vd., 2012; Zhao vd., 2013; He vd., 2014). Tek başına SNP uygulamalarında, büyüme parametreleri üzerinde kontrole kıyasla, 50 μ M SNP daha inhibitif bulunmuştur (Zhao vd., 2013).

Ayrıca gerek SNP ön uygulamasız (Costa ve Spitz, 1997; Skórzyńska-Polit vd., 1998; Laspina vd., 2005; Ayhan, 2006; Krantev vd., 2006; Chaudhary ve Sharma, 2009; Lopez-Millan vd., 2009; Mohsenzadeh vd., 2011; Zhao, 2011; Saidi vd., 2013; Singh ve Shah, 2014), gerekse SNP ön uygulamalı (Aytamka, 2005; Laspina vd., 2005; Selçukcan, 2005; Zhao-Duan vd., 2009; Xiu-Lan vd., 2012; Zhao vd., 2013; Singh ve Shah, 2014) fidelerin yapraklarında kontrol grubuna kıyasla, pigment miktarı çoğu kez anlamlı bir şekilde azalmıştır. Bu konuda SNP ön uygulamasının, Cd' nin kl (a+b) üzerindeki yıkıcı etkisini 25 μ M SNP konsantrasyonu için ve karotenoid üzerindeki yıkıcı etkisini ise 50 μ M SNP konsantrasyonu için hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Laspina vd., 2005; Zhao-Duan vd., 2009; Zhao vd., 2013). Tek başına SNP uygulamalarında, kl (a+b) miktarında 50 μ M SNP ve karotenoid miktarında ise 25 μ M SNP daha yıkıcı bulunmuştur (Zhao vd., 2013). Makroskobik anlamda söz konusu ağır metalin uygulandığı fidelerin yapraklarında nekrozis, klorozis ve özellikle köklerde doku yıkımlarına bağlı yumuşamalar gözlenmiştir. SNP uygulanan gruplarda ise, bu yıkımlar daha hafif gözlenmiştir. Sonuçlarımıza göre;

uygulanan Cd konsantrasyonları karşısında gerek büyüme parametreleri için, gerekse pigment yıkımı için SNP' nin hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur.

Özellikle ağır metal stresinde tipik bir parametre olan ve sıklıkla yapraklarda sorgulanan prolin miktarı konusunda kontrole kıyasla, uygulama yapılan diğer gruplarda genellikle anlamlı farklar tespit edilmiştir. Gerek SNP ön uygulamasız (Zhao, 2011; Thounaojam vd., 2012; He vd., 2014), gerekse SNP ön uygulamalı (Aytamka, 2005; Zhao vd., 2013; He vd., 2014) fidelerde kontrol grubu fidelerine kıyasla, köklerde çoğunlukla prolin miktarı azalmış yapraklarda ise sürekli olarak artmıştır. Bu konuda SNP ön uygulamasının kökte 50 μ M SNP için ve yaprakta ise 25 μ M SNP için, Cd' nin prolin miktarı artışı üzerindeki hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Laspina vd., 2005; Zhao-Duan vd., 2009). Tek başına SNP uygulamalarında, prolin miktarı artışı üzerinde kontrole kıyasla, 25 μ M SNP daha geride kalmıştır (Kazemi vd., 2010).

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. SNP ön uygulamasız (Metwally vd., 2003; Jouili ve El Ferjani, 2004; Ayhan, 2006; Ivarez vd., 2006; Krantev vd., 2006; Guo vd., 2007; Krantev vd., 2008; Singh vd., 2008; Guo vd., 2009; Popova vd., 2009; Belkhadi vd., 2010; Ahmad vd., 2011; Mohsenzadeh vd., 2011; Yılmaz ve Parlak, 2011; Zhao, 2011; Saidi, 2013; He vd., 2014; Singh ve Shah, 2014) ve SNP ön uygulamalı (Laspina vd., 2005, Singh vd., 2007; Singh vd., 2008; Kumari vd., 2010; Zhao vd., 2013; He vd., 2014; Shi vd., 2014) fidelerde, kontrol grubu fidelerine kıyasla, MDA miktarı çoğu kez anlamlı bir şekilde artmıştır. Bu konuda SNP ön uygulamasının (50 μ M SNP), Cd' nin MDA miktarını arttırıcı etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Laspina vd., 2005, Singh vd., 2007; Singh vd., 2008; Zhao-Duan vd., 2009; Kumari vd., 2010; Chen vd., 2012; Zhao vd., 2013; He vd., 2014; Shi vd., 2014). Tek başına SNP uygulamalarında, MDA miktarı kontrole kıyasla, 50 μ M SNP daha az bulunmuştur (Kazemi vd., 2010). Sonuç olarak SNP uygulamasının Cd' nin lipid peroksidasyonunu arttırıcı etkisini önemli ölçüde azalttığı bulunmuştur.

Genel anlamda Cd uygulanan mısır fidelerinin köklerinde ve yapraklarında SNP ön uygulamasız (Hatata ve Abdel- Aal, 2008; Guo vd., 2009; Yılmaz ve Parlak, 2011) fidelerde, kontrole kıyasla glutatyon değerlerinde artma; SNP ön uygulamalı (Laspina vd., 2005; Zhao vd., 2013; Shi vd., 2014) fidelerde ise azalma tespit edildi. Bu konuda 50 μ M SNP ön uygulamasının hem kökte hemde yaprakta Cd' nin GSH üzerindeki arttırıcı

etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Laspina vd., 2005, Singh vd., 2008; Zhao vd., 2013; He vd., 2014; Shi vd., 2014). Tek başına SNP uygulamalarında, glutatyon miktarı üzerinde kontrole kıyasla, 50 μ M SNP daha azaltıcı bulunmuştur.

Genel anlamda, Cd uygulanan mısır fidelerinin köklerinde ve yapraklarında SNP ön uygulamasız (Srivastava vd., 2006; Lin vd., 2007; Liu vd., 2007) fidelerde, kontrole kıyasla okside glutatyon değerlerinde artma ve SNP ön uygulamalı (Shi ve Zhu, 2008; López-Orenes vd., 2014) fidelerde ise azalma tespit edildi. Bu konuda SNP ön uygulamasının hem kökte (50 μ M SNP) hem de yaprakta (25 μ M SNP), Cd' nin GSSG miktarı üzerindeki arttırıcı etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur. Tek başına SNP uygulamalarında, GSSG miktarı üzerinde kontrole kıyasla, 25 μ M SNP daha azaltıcı bulunmuştur.

Yağ asitlerini mısır üzerinde veya başka bir bitki üzerinde SNP ile Cd' ye bağlı olarak çalışan bir makaleye rastlamadık. Bu nedenle tartışmamızı çok derinleştirmeden stresi hafifleten bir haberci molekül olan salisilik asit üzerinden ele alacağız. Farklı bitkilerde Cd' nin yol açtığı toksik stres veya oksidatif stresin fidelerin yapraklarındaki membranlarda yağ asidi profilini etkilediği bildirilmiştir (Benmously-Mlika vd., 2005; Nouairi vd., 2005). Genel olarak fidelere uygulanan kadmiyum konsantrasyonları arttıkça, gerek SNP ön uygulamasız (Quariti vd., 1997; Ivanova vd., 2008; Belkhadi vd., 2010), gerekse SNP ön uygulamalı (Ivanova vd., 2008) fidelerde kontrol grubu fidelerine kıyasla 16:0 yaprak ve köklerde artmıştır. Bu konuda SNP ön uygulamasının (50 μ M SNP), Cd' nin palmitik asit miktarı üzerindeki arttırıcı etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Ivanova vd., 2008). Tek başına SNP uygulamalarında, palmitik asit üzerinde kontrole kıyasla, 50 μ M SNP daha az bulunmuştur. Cd uygulamaları ile SNP ön uygulamasız (Quariti vd., 1997) ve SNP ön uygulamalı fidelerde 16:1 yapraklarda genel olarak artarken, bazı gruplarda SNP ön uygulamasıyla bu artış hafifletilmiştir. Bu konuda SNP ön uygulamasının (50 μ M SNP), Cd' nin 16:1 üzerindeki arttırıcı etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Quariti vd., 1997). Cd uygulamaları ile SNP ön uygulamasız (Quariti vd., 1997; Ivanova vd., 2008; Belkhadi vd., 2010) ve SNP ön uygulamalı (Ivanova vd., 2008) fidelerde 18:0 köklerde artmıştır. Bu konuda SNP ön uygulamasının (50 μ M SNP), Cd' nin 18:0 üzerindeki arttırıcı etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Ivanova vd., 2008). Cd uygulamaları ile SNP ön uygulamasız (Quariti vd., 1997; Popova vd., 2009; Belkhadi vd., 2010) ve SNP ön uygulamalı fidelerde 18:2 kök ve yapraklarda artmıştır. Bu konuda SNP ön uygulamasının (50 μ M SNP), Cd' nin 18:2 miktarı üzerindeki arttırıcı

etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Ivanova vd., 2008). Cd uygulamaları ile SNP ön uygulamasız (Quariti vd., 1997; Ivanova vd., 2008; Popova vd., 2009) fidelerde 18:3 yaprakta azalırken; SNP ön uygulamalı (Ivanova vd., 2008) bazı fidelerde ise 18:3 miktarı yapraklarda artmıştır. Bu konuda SNP ön uygulamasının (25 µM SNP), Cd' nin 18:3 miktarı üzerindeki arttırıcı etkisini hafifletme çabası anlamlı bulunmuştur (Ivanova vd., 2008). Kontrole kıyasla, yaprakta 16:0, 18:2, 18:3 yağ asitleri artarken; 16:1' de azalma meydana gelmiştir. Kökte, 16:1 ve 18:3'e rastlanmamıştır. Yapraklarda ise 18:0' a rastlanmamıştır. Diğer yağ asitleri için de benzer sonuçlar tespit edilmiştir.

Doğal olarak bitkiler için gerekli bir element olmayan Cd'nin çok düşük konsantrasyonlarda dahi mısır bitkisi için toksik olduğu tespit edildi. SNP' nin doza bağlı olarak Cd' ye karşı hafifletici etki yarattığı bulundu. Sonuç olarak elde edilen bulgular; seçilen konsantrasyonlara, planlanan uygulama şekline ve süresine bağlı olarak mısır fidelerinde SNP' nin, Cd' nin 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.
- Ahmed, A. and Tajmir-Riahi, H.A.,** 1993. Interaction of toxic metal ions Cd^{+2} , Hg^{+2} and Pb^{+2} with light-harvesting proteins of chloroplast thylakoid membranes, An FTIR spectroscopic study, *J. Inorg. Biochem.*, **40**, 235- 243.
- Aksu, E. and Yildiz, N.,** 2004. Heavy Metal Stress and Tolerance of Plants, *International Soil Congress on Natural Resource Management for Sustainable Development*, Erzurum.
- Alcantara, E., Romera, F.J., Canete, M. and De La Guardia, M.D.,** 1994. Effects of heavy metals on both induction and function of root Fe (III) reductase in Fe-deficient cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants, *J. Exp. Bot.*, **45**, 1893- 1898.
- Amar, C., Steve, M., Paul, G., Brian, C., Colin, C.S., Andrew, G., Jeffrey, B., Colin, C. and Mark, A.,** 2007. Cadmium availability to wheat grain in soils treated with sewage sludge or metal salts, *Chemosphere*, 66 1415 142.
- An, L., Liu, Y., Zhang, M., Chen, T. and Wang, X.,** 2005. Effects of nitric oxide on growth of maize seedling leaves in the presence or absence of ultraviolet-B radiation, *Journal of Plant Physiology* , **162**, 317-326.
- Anderson, L.S. and Mansfield, T.A.,** 1979. The effects of nitric oxide pullotion on the growth of tomato, *Environmental Pollution*, **20** (2): 113-121.
- Ann, C., Karen, S., Jos, R., Kelly, O., Els, K., Tony, R., Nele, H., Nathalie, V., Suzy, V.S., Frank, V.B., Yves, G., Jan, C. and Jaco, V.,** 2011. The cellular redox state as a modulator in cadmium and copper responses in *Arabidopsis thaliana* seedlings, *Journal of Plant Physiology*, **168**, 309-316.
- Arteca, R.,** 1996. *Plant growth substances* Principles and applications, Chapman and Hall, New York, USA.
- 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.

- Aytamka, E.,** 2005. *Glycine max.* L. Bitkisinde tuz stresi ile nitrik oksit arasındaki ilişki, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bahmani, R., Bihamta, M.R., Habibi, D., Forozesh, P. and Ahmadvand, S.,** 2012. Effect Of Cadmium Chloride On Growth Parameters Of Different Bean Genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.), *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 1.7.
- Baker, A.J.M. and Walker, P.L.,** 1990. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants, heavy metal tolerance in Plants. In: Shaw A.J. Evolutionary Aspects. CRC Pres, *Boca Raton.*, 155-177.
- Barceló, J. and Poschenrieder, C.,** 1990. Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review, *J. Plant Nutr.*, **13**, 1-37.
- Barroso, J.B., Corpas, F.J., Carreras, A., Sandalio, L.M., Valderrama, R., Palma, J.M., Lupianez, J.A. and Del Rio, L.A.,** 1999. Localization of Nitric Oxide Synthase in Plant Peroxisomes, *Journal of Biological Chemistry*, **274**: 36729-36733.
- Baszyński, T., Wajda, L., Król, M., Wolińska, D., Krupa, Z. and Tukendorf, A.,** 1980. Photosynthetic activities of cadmium treated tomato plants, *Physiol. Plant*, **48**: 365-370.
- 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.
- Beligni, M.V. and Lamattina, L.,** 1999a. Nitric oxide counteracts cytotoxic processes mediated by reactive oxygen species in plant tissues, *Planta*, 208: 337-344.
- Beligni, M.V. and Lamattina, L.,** 1999b. Is nitric oxide toxic or protective, *Trends Plant Sci.*, 4: 299-300.
- Beligni, M.V. and Lamattina, L.,** 2000. Nitric Oxide Stimulates Seed Germination and De-etiolation and Inhibits Hypocotyl Elongation, Three Light-Inducible Responses in Plants, *Planta*, **210**: 215-221.
- Beligni, M.V., Fath, A., Bethke, P.C., Lamattina, L. and Jones, R.L.,** 2002. Nitric oxide acts as an antioxidant and delays programmed cell death in barley aleurone layers, *Plant Physiol.*, **129** (4): 1642-1650.
- Beligni, M.V., Garcia Mata, C., Graziano, M. and Lamattina, L.,** 2000. Nitric oxide functions as both antioxidant and antistress agent in plants, *American Society*

Of Plant Biologists meetings, July 15-19, San Diego, California, Usa, Poster, 0649.

- 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.
- Benavides, M.P., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L.**, 2005. Cadmium toxicity in plants, *Braz. J. Plant Physiol.*, **17** (1), 21-34.
- Benmously-Mlika, R., Fenniche, S., Marrak, H., Jannet, S.B., Ammar, F.B. and Mokhtar, I.**, 2005. F5-Nodules pseudoxanthomateux révélant une goutte, *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, **132** (3), 282.
- Bollmann, A., Koschorreck, M., Meuser, K. and Conrad, R.**, 1999. Comparison of two different methods to measure nitric oxide turnover in soils, *Biol. Fertil. Soils*, **29**: 104-110.
- Bray, E.A., Bailey-Serres, J. and Weretilnyk, E.**, 2000. Responses to abiotic stresses. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Buchanan, B.B. Gruissem, W.Y. and Jones, R.L. (eds.), *American Society of Plant Physiologists*, Rockville, Maryland., pp. 1158-1203.
- Burzynski, M.**, 1987. The influence of lead and cadmium on the absorption and distribution of potassium, calcium, magnesium and iron in cucumber seedlings, *Acta Physiol. Plant*, **9**: 229-238.
- Butler, R.D.**, 1967. The Fine structure of senescing cotyledons of cucumber, *J. Exp. Bot.*, **18**: 535-543.
- Chaffei, C., Pageau, K., Suzuki, A., Gouia, H., Ghorbel, M.H. and Masclaux-Daubresse, C.**, 2004. Cadmium Toxicity Induced Changes in Nitrogen Management in *Lycopersicon esculentum* Leading to a Metabolic Safeguard Through an Amino Acid Storage Strategy, *Plant and Cell Physiology*, **45** (11): 1681-1693.
- Chaitanya, K.S.K. and Naithani, S.C.**, 1994. Role of superoxide, lipid peroxidation and superoxide dismutase in membrane perturbation during loss in viability of seeds of *Shorea robusta* Gaertn, *New Phytol.*, **126**: 623-627.

- Chaoui, A. and Ferjani, E.,** 2005. Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and auxin degradation in leaves of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings, *CR. Biol.*, **328**: 23-31.
- 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, G., Huang, L., Yap, M., Lee, L., Huang, Y., Cheng, M. and Chen, S.G.,** 2002. Molecular characterization of a senescence-associated gene encoding cysteine proteinase and its gene expression during leaf senescence in sweet potato, *Plant and Cell Physiology*, **43** (9): 984-991.
- Chen, X., He, J., Ren, Y., Chen, B. and Chen, H.,** 2012. Effect of nitroprusside on seed germination and seedling physiological characteristics of rice under cadmium stress, *Journal of Human Agricultural University (Naturel Sciences)*, 01.
- Cho, U. and Seo, N.,** 2004. Oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation, *Plant Sci.*, **168**: 113- 120.
- 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** (3-4), 95-110.
- Christie, W.W.,** 1990. Gas Chromatography and Lipids. The Oily Pres: Glasgow, 302.
- Chugh, L.K. and Sawhney, S.K.,** 1999. Photosynthetic activities of *Pisum sativum* seedlings grown in presence of cadmium, *Plant Physiol. Bioch.*, **37** (4), 297-303.
- Cooney, R.V., Harwood, P.J., Custer, L.J. and Franke, A.A.,** 1994. Light-mediated conversion of nitrogen dioxide to nitric oxide by carotenoids, *Environmental Health Perspectives*, **102**: 460-462.
- Corpas, F.J., Leterrier, M., Valderrama, R., Airaki, M., Chaki, M., Palma, J.M. and Barroso, J.B.,** 2011. Nitric oxide imbalance provokes a nitrosative response in plants under abiotic stress, *Plant Science*, **181**: 604– 611.
- Costa, G. and Spitz, E.,** 1997. Influence of cadmium on soluble carbohydrates, free amino acids, protein content of in vitro cultured *Lupinus albus*, *Plant Scince* (Shannon) **128**:131-40.
- Crawford, N.M. and Guo, F.Q.,** 2005. New Insight into Nitric Oxide Metabolism and Regulatory Functions, *Trends in Plant Science*, **10**: 195-200.

- Çağ, S., Cevahir, G., Ünal, M., Kaplan, E., Çingil, Ç. and Kösesakal, T., 2004.** The effect of Zn, Cu and Mn on senescence in excised cotyledons of *Eruca sativa* L., *Fresenius Environmental Bulletin*, **13** (8): 733-739.
- Çatak, E., Çolak, G., Tokur, S. ve Bilgiç, O., 2000.** Bazı domates ve tütün genotiplerinde kadmiyum etkilerini inceleyen istatistiksel bir çalışma, *B.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **2** (1).
- Das, P., Samantaray, S. and Rout, G. R., 1997.** Studies on cadmium toxicity in plants: a review, *Environ. Pollut.*, **98**: 29-36.
- Davies, B.E., 1995.** Lead and other heavy metals in urban areas and consequences for the health of their inhabitants. Environmental Contaminants, Ecosystems and Human Health. Majumdar, S.K., Miller, E.W. and Brenner, F.J., (eds), *The Pennsylvania Academy of Science*, Easton P.A., USA. pp. 287-307.
- De Filippis, L.F. and Ziegler, H., 1993.** Effect of sublethal concentrations of zinc, cadmium and mercury on the photosynthetic carbon reduction cycle of *Euglena*, *J. Plant Physiol.*, **142**: 167-172.
- Del Rio, L.A., Corpas, F.J. and Barroso, J.B., 2004.** Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants, *Phytochemistry*, **65** (7): 783-792.
- Dellodone, N., Xia, Y., Dixon, R.A. and Lamb, C., 1988.** Nitric oxide functions as a signal in plant disease resistance, *Nature*, **394**: 585-588.
- Derman-Semiz, B., 1985.** Some mineral distribution in relation to foliar senescence in rice, *Indian J. Plant Physiol.*, **27**: 393-397.
- Desikan, R., Griffiths, R., Hancock, J. and Neill, S., 2002.** A New Role for and Old Enzymes: Nitrate Reductase–Mediated Nitric Oxide Generation is Required for Absisic Acid-Induced Stomatal Closure in *Arabidopsis thaliana*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA, **99**: 16314-16318.
- Dhindsa, R.A., Plumb-Dhindsa, P. and Thorpe, T.A., 1981.** Leaf senescence: correlated with increased permeability and lipid Peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase, *J. Exp. Bot.*, **126**: 93-101.
- Dunbar, K.R., McLaughlin, M.J. and Reid, R.J., 2003.** The uptake and partitioning of cadmium in two cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.), *J. Exp. Bot.*, **54**: 349-354.
- Durner, J. and Klessig, D.F., 1999.** Nitric Oxide as a Signal in Plants, *Current Opinion in Plant Biology*, **2**: 369-374.

- Durner, J., Wendehenne, D. and Klessig, D.F.,** 1998. Defense gene induction in tobacco by nitric oxide, cyclic GMP, and cyclic ADP-ribose, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **95**: 10328-10333.
- Elçi, S., Kolsarıcı, Ö. ve Geçit, H.H.,**1987. Tarla Bitkileri, *A.Ü. Ziraat Fak. Yay.*, 1008, Ofset Basım, **30**: 238.
- Eun, S. O., Youn, H.S. and Lee, Y.,** 2000. Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of *Zea mays*, *Physiol. Plant*, **110**: 357-365.
- Fodor, A., Szabó-Nagy, A. and Erdei, L.,** 1995. The effects of cadmium on the fluidity and H^+ -ATPase activity of plasma membrane from sunflower and wheat roots, *J. Plant Physiol.*, **14**: 787-792.
- Freeman, J.L., Garcia, D., Kim, D., Hopf, A. and Salt, D.E.,** 2005. Constitutively elevated salicylic acid signals glutathione-mediated nickel tolerance in *Thlaspi* nickel hyperaccumulators, *Plant Physiol.*, **137**: 1082-91.
- Galston, A.W. and Davies, P.J.,** 1969. Hormonal regulation in higher plants, *Science*, **163**, 1288-1297.
- Garcés, H., Durzan, D. and Pedroso, M.C.,** 2001. Mechanical stress elicits nitric oxide formation and DNA fragmentation in *Arabidopsis thaliana*, *Annals of Botany*, **87**: 567-574.
- Garcia Mata, C. and Lamattina, L.,** 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress, *Plant Physiol.*, **126**: 1196-1204.
- Godbold, D.L. and Hutterman, A.,** 1985. Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation on *Picea abies* (Karst.) seedlings and the significance of these metals to forest die-back, *Environ. Pollut.*, **38**: 365-381.
- Godzik, B.,** 1993. Heavy metal contents in plants from zinc dumps and reference area, *Pol. Bot. Stud.*, **5**: 113-132.
- Gomes, M.P., Marques, T. and Soares, A.M.,** 2013. Cadmium effects on mineral nutrition of the Cd hyperaccumulator *Pfaffia glomerata*. *Biologia Section Botany* **68** (2): 223-230.
- Gould, K.S., Lamotte, O., Klinguer, A., Pugin, A. and Wendehenne, D.,** 2003. Nitric oxide production in tobacco leaf cell: a generalized stress response, *Plant Cell Environ.*, **26**: 1851-1862.

- Gören, N.**, 2004. *Helianthus annuus* L. fidelerinde sırasal yaprak senesensine oksin ve sitokininlerin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Graziano, M. and Lamattina, L.**, 2005. Nitric oxide and iron in plants: on emerging and converging story, *Trends in Plant Science*, **10** (1): 4-8.
- Graziano, M., Beligni, M.V. and Lamattina, L.**, 2002. Nitric oxide improves iron availability in Plants, *Plant Physiology*, **130**: 1852-1859.
- Grbic, V. and Bleeker, A.B.**, 1995. Ethylene regulates the timing of leaf senescence in *Arabidopsis*, *Plant J.*, **8**: 595-602.
- Greger, M. and Lindberg, S.**, 1986. Effects of Cd^{+2} and EDTA on young sugar beets (*Beta vulgaris*), I. Cd^{+2} uptake and sugar accumulation, *Physiol. Plant*, **66**: 69-74.
- Greger, M.**, 1999. Metal availability and bioconcentration in plants. Heavy Metal Stress in Plants: from molecules to ecosystem. Prasad, M.N.V. and Hagemeyer, J., (eds.), Springer-Verlag, Berlin., pp. 1-27.
- Greger, M., Johansson, M., Stihl, A. and Hazma, K.**, 1993. Foliar uptake of Cd by pea (*Pisum sativum*) and sugar beet (*Beta vulgaris*), *Physiol. Plantarum*, **88**: 563-570.
- Grossman, S. and Leshem, Y.**, 1978. Lowering of endogenous lipooxygenase activity on *Pisum sativum* foliage by cytokinins as related to senescence, *Physiol. Plant*, **43**: 359-362.
- 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.
- Hagemeyer, J. and Breckle, S.W.**, 1996. Growth under trace element stress. Plant Roots; the hidden half. 2nd edition. Waisel, Y., Eshel, A. and Kafkafi, U., (eds.), Dekker, New York, pp. 415-433.
- Haghir, F.**, 1973. Plant uptake of cadmium as influenced by cation exchange capacity, organic matter, zinc and soil temperature, *J. Environ. Qual.*, **2**: 93-96.

- Hale, M.G. and Orcutt, D.M.**, 1987. The physiology of plants under stress. *Wiley and Sons*, New York, **206** p.
- Hall, J. L.**, 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance, *J. Exp. Bot.*, **53**: 1-11.
- Halliwell, B. and Gutteridge, J.M.C.**, 1999. Free Radicals in Biology and Medicine, 3rd. Ed., *Oxford University Press*, New York.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D. ve Aras, S.**, 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları, *Türk Hijyen ve Deneyisel Biyoloji Dergisi*, **69** (4): 235- 253.
- Hara, A. ve Radin, N.S.**, 1978. Lipid extraction of tissues with low-toxicity solvent. *Anal. Biochem.*, **90** (1): 420-426.
- Harper, J.E.**, 1981. Evolution of Nitrogen Oxide(s) during in vivo Nitrate Reductase Assay of Soybean Leaves, *Plant Physiology*, **68**: 1488-1493.
- Harrison, R.M. and Chirgawi, M.B.**, 1989. The assessment of air and soil as contributors of some trace metals to vegetable plants I. Use of a filtered air growth cabinet, *Sci. Total Environ.*, **83**: 13-34.
- Harwood, J.L., Jones, A.V.H.M. and Thomas, H.**, 1982. Leaf senescence in a non-yellowing mutant of *Festuca pratensis*. III. Total acyllipids of leaf tissue during senescence, *Planta*, **156**:152-157.
- Hasan, S.A., Hayat, S., Ali, B. and Ahmad, A.**, 2008. 28-Homobrassinolide protects chickpea (*Cicer arietinum*) from cadmium toxicity by stimulating antioxidants, *Environmental Pollution*, **151**: 60-66.
- Hassan, M.J., Shao, G. and Zhang, G.**, 2005. Influence of Cadmium Toxicity on Growth and Antioxidant Enzyme Activity in Rice Cultivars with Different Grain Cadmium Accumulation, *Journal of Plant Nutrition*, **28** (7):1259-1270.
- Hatata, M.M. and Abdel-Aal, E.A.**, 2008. Oxidative stres and Antioxidant Defense Mechanismis in Response to Cadmium Treatments. *American-Eurasion J.Agric.&Environ. Sci*, **416**: 655-669.
- Haussling, M., Jorns, C.A., Lehmbecker, G., Hecht-Buchholz, C. and Marschner, H.**, 1988. Ion and water uptake in relation to root development of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst), *J. Plant Physiol.*, **133**: 486-491.

- He, J., Ren, Y., Chen, X. and Chen, H.,** 2014. Protective roles of nitric oxide on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) under cadmium stress, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **108**, 114-119.
- Hegedüs, A., Erdei, S. and Horváth, G.,** 2001. Comparative Studies of H₂O₂ Detoxifying Enzymes in Green and Greening Barley Seedlings under Cadmium Stress, *Plant Science*, **160**: 1085 -1093.
- Hensel, L.L., Grbic, V., Baumgarten, D.A. and Bleecker, A.B.,** 1993. Developmental and age-related processes that influence the longevity and senescence of photosynthetic tissues in *Arabidopsis*, *Plant Cell*, **5**: 553-564.
- Hernández, L.E., Cárpene-Ruiz, R. and Garate, A.,** 1996. Alterations in the mineral nutrition of pea seedlings exposed to cadmium, *J. Plant Nutr.*, **19**: 1581-1598.
- Hilditch, P.I., Thomas, H. and Rogers, L.J.,** 1989. Leaf senescence in a non-yellowing mutant of *Festuca pratensis*. Proteins of photosystem II., *Planta*, **177**: 265-272.
- Hinesly, T.D., Alexander, D.E., Redborg, K.E. and Ziegler, E.L.,** 1982. Differential accumulations of cadmium and zinc by corn hybrids grown on soil amended with sewage sludge, *Agronomy Journal*, **74**: 469-474.
- Huften, C.A., Besford, R.T. and Wellburn, A.R.,** 1996. Effects of NO (+NO₂) pollution on growth, nitrate reductase activities and associated protein contents in glasshouse lettuce grown hydroponically in winter CO₂ enrichment, *New Phytologist*, **133**: 495-501.
- Işık, K.,** 2004. *Bitki Biyolojisi*, PalmeYayıncılık, Ankara, 975-8624-90-3.
- Ivanova, A., Krantev, A., Stoyanova, Z.H. and Popova, L.,** 2008. Cadmium-induced changes in maize leaves and the protective role of salicylic acid, *Gen. Appl. Plant Physiology*, 34 (3-4), Special issue: 149-158.
- 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.
- Jackson, M.B.,** 2002. Long Distance Signalling from Roots to Shoots Assessed: the Flooding Story, *Journal of Experimental Botany*, **53**: 175-181.
- Jackson, P.J., Unkefer, P.J., Delhaize, E. and Robinson, N.J.,** 1990. Mechanisms of trace metal tolerance in plants. Environmental Injury to Plants. Katterman, F., (ed.), *Academic Press*, San Diego, pp. 231- 258.

- John, I., Drake, R., Farrel, A., Cooper, W., Lee, P., Horton, P. and Grierson, D., 1995.** Delayed leaf Senescence in ethylene-deficient ACC- oxidase antisense tomato plants: molecular and physiological analysis, *Plant J.*, **7**: 483-490.
- 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. and Pendias, H., 1992.** Trace Elements in Soils and Plants. 2nd Edition, *CRC Press*, Baton Rouge, Florida.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., 2009.** *Metallerin Çevresel Etkileri-I, Metalurji*, 136.Sayı, http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf
- Kakimoto, T., 1996.** CKII, A histidine kinase homolog implicated in cytokinin signal transduction, *Science*, **274**, 982-985.
- Kalefetoğlu, T. ve Ekmekçi, Y., 2005.** *Bitkilerde Kuraklık stresinin Etkileri ve Dayanıklılık Mekanizmaları*, Hacettepe Üniversitesi, Biyoloji Bölümü.
- Kalınbacak, K., Yurdakul İ. ve Gedikoğlu İ., 2012.** Buğdayda Kadmiyumun Toksiklik Sınırının Belirlenmesi ve Bazı Ekstraksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Toprak Su Dergisi*, **1**: 28-37.
- Kanburoğlu, S. ve Öğretir, K., 1980.** Mısır, Topraksu Genel Müdürlüğü, Eskişehir Bölge Topraksu Araştırma Enstitüsü Müd. Yay. Genel Yay. No:146, Çiftçi Bülteni Seri no: 26, Eskişehir.
- Kappers, I.F., Jordi, W., Maas, F.M., Stoopen, G.M. and Van Der Plas, L.H.W., 1998.** Giberellin and phytochrome control senescence in *Alstroemeria* leaves independently, *Physiol Plant*, **103**: 91-98.
- Karataş, F., Karatepe, M. and Baysar, A., 2002.** Determination of free malondialdehyde in human serum by high performance liquid chromatography, *Anal Biochemistry*, **311**, 76-79.
- Kazemi, N., Khavari-Nejad, R.A., Fahimi, H., Saadatmand, S. and Nejad-Sattari, T., 2010.** Effects of exogenous salicylic acid and nitric oxide on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in leaves of *Brassica napus* L. under nickel stress, *Scientia Horticulturae*, **126**, 402-407.

- Kerkütklüoğlu, E.**, 2007. Mercimek (*Lens culinaris* medik.) Tohumlarının Çimlenmesi ve Erken Fide Büyümesi Üzerine Nitrik Oksitin (NO) Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- 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** (2), 235-240.
- Kıran, Y. ve Munzuroğlu, Ö.**, 2004. Mercimek (*Lens culinaris* Medik.) Tohumlarının Çimlenmesi ve Fide Büyümesi Üzerine Kurşunun Etkileri, *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16**: 1-9.
- Kıran, Y. ve Şahin, A.**, 2005. The effects of the lead on the seed germination, root growth, and root tip cell mitotic divisions of *Lens culinaris* medik, *G.Ü. Journal of Science*, **18**: 17-25.
- Kırtok, Y.**, 1998. Mısır Üretimi ve Kullanımı, Kocaoluk Basım ve Yayınevi, İstanbul.
- Klimentina, D.K., Lyudmila, S.S., Zlatimira, P.S. and Urs, F.**, 2006. Cadmium Stres in Barley: Growth, Leaf Pigment and Protein Composition and Detoxification of Reactive Oxygen Species, *Journal of Plant Nutrition*, **29**: 451-468.
- Kocaçaliskan, İ.**, 2001. Bitki Fizyolojisi. Kütahya.
- Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V. and Karabaliev, M.**, 2004. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress, *Bioelectrochemistry*, **63**: 121-124.
- Koç, E., Ergün, N., Üstün, A.S. ve Öncel, I.**, 2013. Kahramanmaraş Acı Biber (*Capsicum annuum* L.) Fidelerinde Mineral İçerik Üzerine Kadmiyumun Etkisi, *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi*, **4** (2): 14-18.
- Kopyra, M. and Gwozdz, E.A.**, 2003. Nitric oxide stimulates seed germination and Eounteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus* *Plant Physiology and Bichemistry*, **41**: 11011-1017.
- Kopyra, M., Chudzinska, E., Pawlacyzle, E.M. and Gwozdz, E.A.**, 2005. Nitric oxide diminishees the inhibitory effect of heavy metals an cell divisions in roots of *Lupinus luteus*. *Biological lett.* **42** (2): 18.
- Köleli, N. ve Kantar, Ç.**, 2005. Fosfat Kayası, Fosforik Asit ve Fosforlu Gübrelerdeki Toksik Ağır Metal (Cd, Pb, Ni, As) Konsantrasyonu, *Ekoloji Dergisi*, **14** (55).

- Köleli, N., Eker, S. and Çakmak, I.,** 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil, *Environ. Pollut.*, **131**: 453-459.
- Krämer, U., Cotter-Howells, J.M., Charnock, J.M., Baker, A.J.M. and Smith, A.C.,** 1996. Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel, *Nature*, **379**: 635-638.
- Krantev, A., Yordanova, R. and Popova, L.,** 2006. Salicylic acid decreases Cd toxicity in maize plants. *Gen. Appl. Plant Physiol*, 45-52.
- Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G. and Popova, L.,** 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants, *Journal of Plant Physiology*, **165** (9), 920-931.
- Krupa, Z. and Moniak, M.,** 1998. The stage of leaf maturity implicates the response of the photosynthetic apparatus to cadmium toxicity, *Plant Sci.*, **138**: 149-156.
- Kumari, A., Sheokand, S. and Swaraj, K.,** 2010. Nitric oxide induced alleviation of toxic effects of short term and long term Cd stress on growth, oxidative metabolism and Cd accumulation in Chickpea, *Braz. J. Plant Physiol.*, Vol. **22**: 4. Londrina.
- Kün, E.,** 1997. Sıcak İklim Tahılları, IV. Basım, *A.Ü. Ziraat Fak. Yayın No*: 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 Soil*, **200**: 241-250.
- Lamattina, L., Beligni, M.V., Garcia Mata, C. and Laxalt, A.M.,** 2001 . Method of Enhancing the Metabolic Function and the Growing Conditions of Plants and Seeds, *Us Patent.*, Us 6242384 B1.
- Lamattina, L., Garcia Mata, C., Graziano, M. and Pagnussat, G.,** 2003. Nitric oxide: the versatility of an extensive signal molecule, *Annu. Rev. Plant Biol.*, **54**: 109-136.
- Lancaster, J.R.,** 1997. A tutorial on the diffusibility and reactivity of free nitric oxide, *Nitric oxide: Biology and Chemistry*, **1**: 18-30.

- Laspina, N.V., Groppa, M.D., Tomaro, M.L. and Benavides, M.P., 2005.** Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd- induced oxidative stress, *Plant Science*, **168** (7), 252-260.
- Laxalt, A.M., Beligni, M.Y. and Lamattina, L., 1997.** Nitric Oxide Preserves the Level of Chlorophyll in Potato Leaves Infected by *Phytophthora infestans*, *European Journal of Plant Pathology*, **103**: 643-651.
- Leopold, A.C., 1961.** Senescence in plant development, *Science*, **134**: 1727-1732.
- Leopold, A.C., 1975.** Aging, senescence, and turnover in plants, *Bio Science*, **25**: 659-662.
- Leshem, Y.Y., 1996.** Nitric oxide in biological systems, *Plant Growth Regulation*, **18**: 155-169.
- Leshem, Y. Y., 2001.** Nitric oxide in plants, London, UK: Kluwer Academic Publishers.
- Leshem, Y.Y. and Haramaty, E., 1996.** The Characterisation and Contrasting Effects of the Nitric Oxide Free Radical in Vegetative Stress and Senescence of *Pisum sativum* L. Foliage, *Journal of Plant Physiology*, **148**: 258-263.
- Leshem, Y.Y., Haramaty, E., Iluz, D., Malik, Z., Sofer, Y., Roitman, L. and Leshem, Y., 1997.** Effect of stress Nitric oxide (NO): Interaction between chlorophyll fluorescence, Galactolipid fluidity and lipoxygenase activity, *Plant Physiology and Biochemistry*, **35**: 573-579.
- Leshem, Y.Y., Wills, R.B.H. and Ku, V.V., 1998.** Evidence for the function of the free radical gas nitric oxide (NO·) as an endogenous maturation and senescence regulating factor in higher plants, *Plant Physiol. Biochem*, **36**: 825-833.
- Lewitt, J., 1980.** Responses of plants to environmental stresses, Vol. II, 2nd ed., *Academic Press*, New York, 607p.
- Lin, J.N. and Kao, C.H., 1998.** Effect of oxidative stress caused by hydrogen peroxide on senescence of rice leaves, *Bot. Bull. Acad. Sin.*, **39**: 161-165.
- Lin, R., Wang, X., Luo, Y., Du, W., Guo, H. and Yin, D., 2007.** Effects of soil cadmium on growth, oxidative stress and antioxidant system in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.), *Chemosphere*, **69**, 89-98.
- Lindberg, S., Meyers, T.P., Taylor, G.E.J., Turner, R.R. and Schroeder, W.H., 1992.** Atmosphere-surface exchange of mercury in a forest: results of modeling and gradient approaches, *J. Geophys. Res.*, **97**: 2519-2528.
- Lindoo, S.I. and Noodén, L.D., 1977.** Studies on the behaviour of the senescence signal in *Anoka* soybeans, *Plant Physiol.*, **59**: 1136-1140.

- Liu, Y., Wang, X., Zeng, G., Qu, D., Gu, J., Zhou, M. and Chai, L., 2007.** Cadmium-induced oxidative stress and response of the ascorbate-glutathione cycle in *Beckmannia nivea* (L.) Gaud., *Chemosphere*, **69**, 99-107.
- Lombardi, L. and Sebastiani L., 2005.** Copper toxicity in *Prunus cerasifera*: growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants, *Plant Sci.*, **168**: 797-802.
- Lopez-Millan, A.F., Sagardoy, R., Solanas, M., Abadia, A. and Abadia, J., 2009.** Cadmium Toxicity in tomato plants grown in hidroponics, *Environmental and experimental Botany*, **65** (2-3): 376-385.
- López-Orenes, A., Martínez-Pérez, A., Calderón, A.A. and Ferrer, A., 2014.** Pb-induced responses in *Zygophyllum fabago* plants are organ-dependent and modulated by salicylic acid, *Plant Physiology and Biochemistry*, **84**, 57-66.
- Macfarlane, G.R. and Burchett, M.D., 2001.** Photosynthetic Pigments and Peroxidase Activity as Indicators of Heavy Metal Stress in the Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh., *Mar. Pollut. Bull.*, **42**: 233- 240.
- Magalhães, J.R., Monte, D.C. and Durzan, D., 2000.** Nitric oxide and ethylene emission in *Arabidopsis thaliana*, *Physiology and Molecular Biology of Plants*, **6**: 117-127.
- Marschner, H., 1995.** Mineral Nutrition of Higher Plants, *Academic Press*, London, pp. 299-312.
- Mench, M., Morel, J.L., Cuckert, A. and Guillet, B., 1988.** Metal binding with root exudates of low molecular weight, *J. Soil Sci.*, **33**: 521-527.
- Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz K.J., 2003.** Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings, *Plant Physiol.*, **132**, 272-81.
- Mishra, A. and Choudhari, M.A., 1998.** Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants, *Biol. Plant.*, **41**: 469-473.
- Mittova, V., Guy, M., Tal, M. and Volokita, M., 2002.** Response of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt-dependent oxidative stress: Increased activities of antioxidant enzymes in root plastids, *Free Radic. Res.*, **36**: 195-202.

- 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.
- Mondall, M.H., Brun, W.A. and Brenner, M.L.,** 1978. Effects of sink removal on photosynthesis and senescence in leaves of soybean (*Glycine max* L.) plants, *Plant Physiol.*, **61**, 394-397.
- 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.
- Munzuroğlu, Ö. and Geçkil, H.,** 2002. Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*, *Arch. Environ. Con. Tox.*, **43**: 203-213.
- Nam, H.G.,** 1997. The molecular genetic analysis of leaf senescence, *Curr. Opin. Biotech.*, **8**: 200-207.
- Nathalie, B. and Carpentier, R.,** 1999. Hg^{2+} , Cu^{2+} , and Pb^{2+} -Induced changes in Photosystem II photochemical yield and energy storage in isolated thylakoid membranes: A study using simultaneous Fluorescence and photoacoustic measurements, *Photosynth. Res.*, **59**: 167-174.
- Nedjimi, B. and Daoud, Y.,** 2009. Cadmium accumulation in *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* and its influence on growth, proline, root hydraulic conductivity and nutrient uptake, *Flora*, **204**: 316-324.
- Neill, S.J., Desikan, R. and Hancock, J.T.,** 2003. Nitric Oxide Signalling in Plants, *New Phytologist*, **159**: 1469-1481.
- Neill, S.J., Desikan, R., Clarke, A. and Hancock, J.T.,** 2002a. Nitric Oxide is a Novel Component of Absisic Acid Signalling in Stomatal Guard Cell, *Plant Physiology*, **128**: 13-16.
- Noodén, L.D., Guaiamet, J.J. and John, I.,** 1997. Senescence Mechanism, *Physiol. Plant*, **101**: 746-753
- Noodén, L.D., Singh, S.H. and Letham, D.S.,** 1990. Correlation of xylem sap cytokinin levels with monocarpic senescence in soybean, *Plant Physiol.*, **93**: 33-39.
- Nouairi, I., Ghnaya, T., Youssef, N.B., Zarrouk, M. and Ghaorbel, H.M.,** 2005. Changes in content and fatty acid profiles of total lipids of two halophytes:

- Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum* under cadmium stress, *Journal of Plant Physiology*, **163** (11), 1198-1202.
- Obamate, H. and Umebayashi, M.**, 2008. Effects of cadmium on mineral nutrient concentrations in plants differing in tolerance for cadmium, *Journal of Plant Nutrition*, **20** (1):97-105.
- Obroucheva, N.V., Bystrova, E.I., Ivanov, V.B., Anupova, O.V. and Seregin, I.V.**, 1998. Root growth responses to lead in young maize seedlings, *Plant Soil*, **200**: 55-61.
- Okçu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M. ve Pehlivan, M.**, 2009. *Alinteri Dergisi*, **17** (B), 14-26, ISSN: 1307-3311.
- Ok-Lim, P., Woo, H.R. and Nam, G.H.**, 2003. Molecular genetics of leaf senescence in *Arabidopsis*, *Trends in Plant Science*, **27**: 393-397.
- Osborne, D.J.**, 1959. Control of Leaf Senescence by Auxins, *Nature*, **183**: 1459-1462.
- Öktüren Asri, F. ve Sönmez, S.**, 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Antalya. <http://www.batem.gov.tr/yayinlar/derim/2006/36-45.pdf>.
- Öktüren Asri, F., Sönmez, S. ve Çıtak, S.**, 2007. Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü/ANTALYA, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü/ ANTALYA. <http://batem.gov.tr/yayinlar/derim/2007/32-39.pdf>.
- Öncel, I., Keleş, Y. and Üstün, A.S.**, 2000. Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings, *Environ. Pollut.*, **107**: 315-320.
- Önder, N. ve Yentür, S.**, 1999. Bitkilerin büyüme gelişme farklılaşma ve hareket fizyolojisi, *İstanbul üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları*, İstanbul, 975-404-516-x.
- 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.
- Özcan, S.**, 2009. Modern Dünyanın Vazgeçilmez Bitkisi Mısır: Genetiği Değiştirilmiş (Transgenik) Mısırın Üretime Katkısı, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Ankara, **2** (2): 01-34.

- Pagnussat, G., Simontachi, M., Puntarulo, S. and Lamattina, L., 2002.** Nitric oxide is required for root organogenesis, *Plant Physiology*, **129**: 954-956.
- Paivoke, A.E.A., 2002.** Soil lead alters phytase activity and mineral nutrient balance of *Pisum sativum*, *Environ. Exp. Bot.*, **48**: 61-73.
- Panda P., Shwetosmita, N., Chanu, Th. T., Sharma, G.D. and Panda, S.K., 2011.** Cadmium stress-induced oxidative stress and role of nitric oxide in rice (*Oryza sativa* L.), *Acta Physiol. Plant*, **33**: 1737-1747.
- Parida, A.K. and Das, A.B., 2005.** Salt Tolerance and Salinity Effects on Plants: A Review, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **60**: 324-349.
- Park, J. and Thimann, K.V., 1990.** Senescence and stomatal aperture as affected by antibiotics in darkness and light, *Plant Physiol.*, **92**: 696-702.
- Pedroso, M.C. and Durzan, D.J., 2000.** Effect of different gravity environments on DNA fragmentation and cell death in *Kalanchoë* leaves, *Ann. Bot.*, **86**: 983-994.
- Pedroso, M.C., Magalhães, J. R. and Durzan, D.J., 2000.** A Nitric Oxide Burst Precedes Apoptosis in Angiosperm and Gymnosperm Callus Cells and Foliar Tissues, *Botany Journal of Experimental*, **51**: 1027-1036.
- Pedroso, M.C., Magalhães, J.R. and Durzan, D.J., 2000 b.** Nitric oxide induces cell death in *Taxus* cells, *Plant Sci.*, **157**:173-180.
- Peng, H. , Tian, S. and Yang, X., 2005.** Changes of root morphology and Pb uptake by two species of *Elsholtzia* under Pb toxicity, *Journal of Zhejiang University Science*, **6B** (6), 546-552.
- Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.L., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E. and Parsons, J.G., 2001.** Uptake and Effects of Five Heavy Metals on Seed Germination and Plant Growth in Alfalfa (*Medicago sativa* L.), *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **66** (6), 727- 734.
- Phang, I.C., Leung, D.V.M., Taylor, H.H. and Burritt, D.J., 2011.** The protective effect of sodium nitroprusside (SNP) treatment on *Arabidopsis thaliana* seedlings exposed to toxic level of Pb is not linked to avoidance of Pb uptake, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **74**, 1310-1315.
- 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.

- Poskuta, J.W., Parys, E. and Romanowaska, E.,** 1996. Toxicity of lead to photosynthesis, accumulation of chlorophyll, respiration and growth of *Chlorella pyrenoidosa*, protective role of dark respiration, *Acta Physiol. Plant*, **18**: 165-171.
- Prasad, M.N.V., Malec, P., Waloszek, A., Bojko, M. and Strzaka, K.,** 2001. Physiological responses of *Lemna trisulca* L. (duckweed) to cadmium and copper bioaccumulation, *Plant Sci.*, **161**: 881-889.
- Prymusinski, R., Sychala, M. and Gwozdz, E.A.,** 1991. Inorganic lead changes growth polypeptide pattern of lupin roots, *Biochem. Physiol. Pflanz.*, **187**: 51-57.
- Punz, W.F. and Sieghardt, H.,** 1993. The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals, *Environ. Exp. Bot.*, **33**: 85-93.
- Quariti, O., Boussama, N., Cherif, A. and Ghorbal, M.H.,** 1997. Cadmium and Copper Induced Changes In Tomato Membrane Lipids Phytochemistry, Vol. 45, No: 7, pp. 1343-1350.
- 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** (5): 347-354.
- Rashid, A., Camm, E.L. and Ekramoddoullah, K.M.,** 1994. Molecular mechanism of action of Pb and Zn^{2+} on water oxidizing complex of photosystem II, *FEBS Lett.*, **350**: 296-298.
- Rether, A.,** 2002. M $\ddot{u}$ nih Technik $\ddot{U}$ niveristesi, Entwicklung und Charakterisierung wasserl $\ddot{o}$ slicher Benzoylthioharnstoffunktionalisierter Polymere zur selektiven Abtrennung von Schwermetallionen aus Abw $\ddot{a}$ ssern und Prozessl $\ddot{o}$ sungen; John H. Duffus, Howard G.J. Worth, "Fundamental toxicology for chemists", Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry Information Services, *Doktora Tezi*, c1996.
- Ribeiro, E.A., Cunha, F.Q., Tamashiro, W.M.S.C. and Martins, I.S.,** 1999. Growth Phase-Dependent Subcellular Localization of Nitric Oxide Synthase in Maize Cells, *FEBS Letters*, **445**: 283-286.
- Romero-Puertas, M.C. and Delledonne, M.,** 2003. Nitric oxide signalling in plant-pathogen interactions, *IUBMB Life*, **55**: 579-583.

- Romero-Puertas, M.C., Corpas, F.J., Rodríguez-Serrano, Gómez, M., del Rio, L.A. and Sandalio, L.M.,** 2007. Differential expression and regulation of antioxidative enzymes by cadmium in pea plants, *Journal of Plant Physiology*, **164**, 1346-1357.
- Ruis-Jiménez, J., Luque-Garcia, 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.
- Sağlam, S. ve Okatan, Y.,** 1990. Bazı epigeik fidelerde sirasal yaprak senesensi üzerine incelemeler, *Botanik Bildirileri*, X. Ulusal Biyoloji Kongresi, cilt1: 249-257.
- Sağlam, S.,** 1989. *Helianthus annuus* L. fidelerinde sekuensiyel senesensin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi.
- Saidi, I., Ayouni, M., Dhied, A., Chtovrou, Y., Chaibi, W. and Djebaliw, 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.
- Salt, D., Price, R., Pickering, I. and Raskin, I.,** 1995. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard, *Plant Physiol.*, **109**: 1427-1433.
- Sandalio, L.M., Dalurzo, H.C., Gomez, M., Puortas-Romero M.C. and Del Rio, L.A.,** 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea, *Plants Journal of Experimental Botany*, **52** (362), 2115-2126.
- Sanità di Toppi, L. and Gabbrielli, R.,** 1999. Response to cadmium in higher plants, *Environ. Exp. Bot.*, **41**: 105-131.
- Sarvari, E., Gaspar, L., Fodor, F., Cseh, E., Kropfl, K., Varga, A. and Baron, M.,** 2002. Comparison of the effects of Pb treatment on thylakoid development in poplar and cucumber plants, *Acta Biol. Szeged*, **46**: 163-165.
- Selçukcan, Ç.,** 2005. Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinde senesens ile nitrik oksit arasındaki ilişkinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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, S. and Cheema, I. R.,** 1995. Nitric Oxide Synthase and Calmodulin Immunoreactivity in Plant Embryonic Tissue, *Biochemical Archives*, **11**: 221-227.

- Sengar, R.S. and Pandey, M.,** 1996. Inhibition of chlorophyll biosynthesis by lead in greening *Pisum sativum* leaf segments, *Biol. Plant*, **38**: 459-462.
- Seregin, I.V. and Ivaniov, V.B.,** 1997. Histochemical investigation of cadmium and lead distribution in plants, *Fiziol. Rast.*, **44**: 915-921.
- Sharma, S.S., Kaul, S., Metwally, A., Goyal, K.C., Finkemeier, I. and Dietz, K.J.,** 2004. Cadmium toxicity to barley (*Hordeum vulgare*) as affected by varying Fe nutritional status, *Plant Sci.*, **166**: 1287-1295.
- Sheoran, I.S., Singal, H.R. and Singh, R.,** 1990. Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.), *Photosynthesis Research*, **23**: 345-351.
- Shi, H., Ye, T. and Chan, Z.,** 2014. Nitric oxide-activated hydrogen sulfide is essential for cadmium stress response in bermudagrass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), *Plant Physiology and Biochemistry*, **74**: 99-107.
- Shi, Q. and Zhu, Z.,** 2008. Effects of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber, *Environmental and Experimental Botany*, **63**, 317-326.
- Singh, H.P., Batish, D.R., Kaur, G., Arora, K. and Kohli, K.R.,** 2007. Centre for Environment and Vocational Studies, Panjab University Chandigarh 160 014, India, Botany Department, Panjab University, Chandigarh 160 014.
- Singh, H.P., Batish, D.R., Kaur, G., Arora, K. and Kohli, K.R.,** 2008. Nitric oxide (as Sodium Nitroprusside) supplementation ameliorates Cd toxicity in hydroponically grown wheat roots, *Environmental and Experimental Botany*, **63**: 158-167.
- Singh, P. and Shah, K.,** 2014. Evidences for reduced metal-uptake and membrane injury upon application of nitric oxide donor in cadmium stressed rice seedlings, *Plant Physiology and Biochemistry*, **83**, 180-184.
- Singh, S., Letham, D.S. and Palni, L.M.S.,** 1992. Cytokinin biochemistry in relation to leaf senescence VIII. Translocation, metabolism and biosynthesis of cytokinins in relation to sequential leaf senescence of tobacco, *Physiol. Plant*, **86**: 398-406.
- Sinha, S.K., Srivastava, H.S. and Tripathi, R.D.,** 1993. Influence of some growth regulators and cations on the inhibition of chlorophyll biosynthesis by lead in maize, *B. Environ. Contam. Tox.*, **51**: 241-246.

- Skene, K.G.M.**, 1975. Cytokinin production by roots as a factor in the control of plant growth, 365-396. In :J.G. Torrey and D. T. Clarkson (eds.). The Development and Function of Roots, *Academic Press.*, New York.
- 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.
- Sonsuz, B., Kargioğlu, A.F., Şipka, M., Oruç, M.M., Hepşen, Ö., Selvi, E., Mustak, H., Kargı, H. ve Karafazhoğlu, M.**, 2011. Adapazarı ilçesindeki endüstriyel kaynaklı emisyonların envanterlenmesi, *Bitirme Tezi*, Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Çevre Müh.
- Srivastava, L.M.**, 2002. Plant growth and developent hormones and environment, *Academic press*, California, 0-12-660570-X.
- Srivastava, S., Mishra, S., Tripathi, R.D., Dwivedi, S. and Gupta, D.K.**, 2006. Copper-induced oxidative stress and responses of antioxidants and phytochelatins in *Hydrilla verticillata* (L.f.) royle, *Aquatic Toxicology*, **80**, 405-415.
- Stefanov, K., Popova, I., Kamburova, E., Pancheva, T., Kimenov, G., Kuleva, L. and Popov, S.**, 1993. Lipid and sterol changes in *Zea mays* caused by lead ions, *Phytochemistry*, **33**: 47-41.
- Stefanov, K., Seizova, K., Popova, I., Petkov, V.L., Kimenov, G. and Popov, S.**, 1995. Effects of lead ions on the phospholipid composition in leaves *Zea mays* and *Phaseolus vulgaris*, *J. Plant Physiol.*, **147**: 243-246.
- Stiborova, M., Doubravova, M. and Leblova, S.**, 1986. A comprative study of the effect of heavy metal ions on ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and phosphoenol pyruvate carboxylase, *Biochem. Physiol. Pflanz.*, **181**: 373-379.
- Stobart, A.K., Griffiths, W., Bukhari, I.A. and Sherwood, R.P.**, 1985. The effect of Cd²⁺ on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley, *Physiol. Plant*, **63**: 293-298.
- Stohs, S.J. and Bagchi, D.**, 1995. Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions, *Free Radikal Bio. Med.*, **18**: 321-336.
- Stolt, J.P., Sneller, F.E.C., Bryngelsson, T., Lundborg, T. and Schat, H.**, 2003. Phytochelatin and cadmium accumulation in wheat, *Environ. Exp. Bot.*, **49**: 21-28.

- Stöhr, C. and Ullrich, W.R.**, 2002. Generation and Possible Roles of NO in Plant Roots and Their Apoplastic Space, *Journal of Experimental Botany*, VOL. **53**: 379, 2293-2303.
- Sun, B., Jing, Y., Chen, K., Song, L., Chen, F. and Zhang, L.**, 2006. Protective effect of nitric oxide on iron deficiency-induced oxidative stress in maize (*Zea mays*), *Journal of Plant Physiology*, **164** (2007) 536-543.
- Sun, J.Y. and Shen, Z.G.**, 2007. Effects of Cd Stress on Photosynthetic Characteristics and Nutrient Uptake of Cabbages with Different Cd-tolerance, *Chinese Journal of Applied Ecology*, **18** (11) : 2605-2610.
- Sümer, A., Adiloğlu, S., Çetinkaya, O., Adiloğlu, A., Sungur, A. ve Akbulak, C.**, 2013. Karamenderes Havzası Topraklarında Bazı Ağır Metallerin (Cr, Ni, Pb) Kirliliğinin Araştırılması, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, **10** (1).
- Şahin, S.**, 2001. Türkiye’de Mısır Ekim Alanlarının Dağılışı ve Mısır Üretimi, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, **1**: 73-90.
- Şahin, Y.**, 2007. Kurşun ile kirlenmiş toprakların bitkisel ekstraksiyon ile iyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*.
- Tahvonen, R. and Kumpulainen, J.**, 1993. Lead and cadmium in some cereal products of the finished market 1990-91, *Food Addit. Contam.*, **10**: 245-255.
- Taiz, L. and Zeiger, E.**, 2002. Plant Physiology, 3rd ed., Sinauer Associates, U.S.A., 0-87893-823-0.
- Takahashi, S. and Yamasaki, H.**, 2002. Reversible Inhibition of Photophosphorylation in Chloroplasts by Nitric Oxide, *FEBS Letters*, **512**, 145-148.
- Tester, M. and Leigh, R.A.**, 2001. Partitioning of nutrient transport processes in roots, *J. Exp. Bot.*, **52**, 445-457.
- Thomas, G.M. and Harrison, H.C.**, 1991. Genetic line effects on parameters influencing cadmium concentration in lettuce, *J. Plant Nut.*, **14**: 953-962.
- Thompson, J.E., Legge, R.L. and Barber, R.L.**, 1987. The Role of free radicals in senescence and wounding, *New Phytol.*, **105**: 317-334.
- 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.
- Tun, N.N., Holk, A. and Scherer, G.F.E.**, 2001. Rapid Increase of NO Release in Plant Cell Cultures Induced by Cytokinin, *FEBS Letters*, **509**: 174-176.

- Türkoğlu, A.**, 1971. Gıda Maddeleri İktisadi Coğrafya 1. Kitap, İst Matbaası, S: 55-56, İstanbul.
- Uchida, A., Jagendorf, A.T., Hibino, T. and Takabe, T.**, 2002. Effects of Hydrogen Peroxide and Nitric Oxide on both Salt and Heat Stress Tolerance in Rice, *Plant Science*, **163**: 515-523.
- URL1**, www.hayrabolutb.org.tr/media/ziraat/Misir-Tarimi.pdf, Suzersami@yahoo.com, Ziraat Yüksek Mühendisi Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü.
- URL2**, www.konyaseker.com.tr/Upload/pdf/misir.pdf, Bitkisel Üretim Çiftçi Rehberi.
- URL3**, www.tarlasera.com/col-sicaklarina-dayanikli-misir-geliyor/, Mısır Bitkisi, 26.01.2012.
- Uysal, B.**, 2012. Ispanakta kadmiyum toksisitesine bağlı oksidatif stres üzerine potasyum beslenmesinin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Adana.
- Vander Vliet, A., Eiserich, J.P., Kaur, H., Cross, C.E. and Halliwell, B.**, 1996. Nitrotyrosine as Biomarker for Reactive Nitrogen Species, In: Packer L., ed. Nitric Oxide, B. Physiological and Pathological Processes, *Methods in Enzymology*, **269**: 175-184.
- Vassilev, A. and Yordanov, I.**, 1997. Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium-treated plants: A review, *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, **23** (3-4), 114-133.
- Verkleij, J.A.C. and Schat, H.**, 1990. Mechanisms of metal tolerance in higher plants. Heavy metal tolerance in plant: evolutionary aspects. Shaw, J. (ed.), *CRC Press, Boca Raton.*, pp. 179-193.
- Verma S. and Dubey R.S.**, 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants, *Plant Sci.*, **164**: 645-655.
- Vojtechova, M. and Leblova, S.**, 1991. Uptake of lead and cadmium by maize seedlings effect of heavy metals on the activitiy of phosphoenolpyruvate carboxylase isolated from maize, *Biol. Plant*, **33**: 386-394.
- Walker, W.M., Miller, J.E. and Hassett, J.J.**, 1977. Effect of lead and cadmium upon the calcium, magnesium, potassium and phosphorus concentration in young corn plants, *Soil Sci.*, **124**: 145-151.

- Wang, M., Zou, J.H., Duan, X.C., Jiang, W.S. and Liu, D.H., 2007.** Cadmium accumulation and its effect on metal uptake in maize (*Zea mays* L.), *Biores. Technol.*, **98**: 82-88.
- Wareing, P.F. and Phillips, I.D.J., 1973.** The control of growth and differentiation in plants, *Pergamon Press*, Oxford.
- Wierzbicka, M., 1994.** Resumption of mitotic activity in *Allium cepa* root tips during treatment with lead salts, *Environ. Exp. Bot.*, **34**: 173-180.
- Wildt, J., Kley, D., Rockel, A., Rockel, P. and Segschneider, H.J., 1997.** Emission of NO from several higher plant species, *Journal of Geophysical Research*, **102**: 5919-5927.
- Witham, F.H., Blaydes, D.F. and Dewlin, R.M., 1971.** Experiments in Plant Physiology New York, *Von Nonstrand Reinhold Company*, 55–56.
- Wu, F.B. and Zhang, G.P., 2002.** Genotypic differences in effect of Cd on growth and mineral concentrations in barley seedling, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **69**: 219-227.
- Xin J., Huang B., Liu. A., W. and Liiao K., 2013.** Identification of hot pepper cultivars containing low Cd levels after growing on contaminated soil: uptake and redistribution to the edible plant parts, *Plant and Soil*, DOI.10.1007/s11104-013-1805-y.
- Xiu-Lan C., Jun-Yu, H., Yan-Fang, R., Bo, C. and Hui, C., 2012.** Effect of nitroprusside on seed germination and seedling physiological characteristics of rice under cadmium stress, *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 01.
- Yamamoto, A., Katou, S., Yashioka, H., Doke, N. and Kawakita, K., 2003.** Nitrate reductase, a nitric oxide-producing enzyme: Induction by pathogen signals, *J. Gen. Plant Pathol.*, **69**: 218-229.
- Yamasaki, H., Sakihama, Y. and Takahashi, S., 1999.** An alternative pathway for nitric oxide production in plants: new features of an old enzyme, *Trends in Plant Science*, **2**: 128-129.
- Yang, Y.Y., Jung, J.Y., Song, W.Y., Suh, H.S. and Lee, Y., 2000.** Identification of rice varieties with high tolerance or sensitivity to lead and characterization of the mechanism of tolerance, *Plant Physiol.*, **124**: 1019-1026.

- 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.
- Yılmaz, Ö., Keser, S., Tuzcu, M., Güvenç, M., Çetintaş, B., İrtegün, S., Taştan, H. and Şahin, K.**, 2009. A Practical HPLC Method to Measure Reduced (GSH) and Oxidized (GSSG) Glutathione Concentrations in Animal Tissues, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, **8** (2), 343-347.
- Yoshida, S., Tamaoki, M., Ioki, M., Ogawa, D., Sato, Y., Aono, M., Kubo, A., Saji, S., Saji, H., Satoh, S. and Nakajima, N.**, 2009. Ethylene and salicylic acid control glutathione biosynthesis in ozone-exposed *Arabidopsis thaliana*, *Physiologia Plantarum*, **136** (3), 284-298.
- Yost, K.J. and Miles, L. J.**, 1979. *Journal of Environmental Science and Health A.*, **14**: 285-311.
- Yu, H., Wang, J.L., Fang, W., Yuan, J.G. and Yang, Z.Y.**, 2006. Cadmium accumulation in different rice cultivars and screening for pollution safe cultivars of rice, *Sci. Total Environ.*, **370**: 302-309.
- Zacchini, M., Rea, E., Tullio, M. and Agazio, M.**, 2003. Increased antioxidative capacity in maize calli during and after oxidative stress induced by a long lead treatment, *Plant Physiol. Bioch.*, **41**: 49-54.
- Zawoznik, M.S., Groppa, M.D., Tomaro, M. and Benavides, M.P.**, 2007. Endogenous salicylic acid potentiates cadmium-induced oxidative stress in *Arabidopsis thaliana*, *Plant Science*, **173**, 190-197.
- Zengin, K.F. ve Munzuroğlu, Ö.**, 2005. Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L. Strike) Klorofil ve Karotenoid Miktarı Üzerine Bazı Ağır Metallerin (Ni^{+2} , Co^{+2} , Cr^{+3} , Zn^{+2}) Etkileri, *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **17** (1); 164-172.
- Zhao X., Chen, L., Rehmani, M.A., Wang, Q., Wang, S., Hou, P., Li, G. and Ding, Y.**, 2013, Effect of Nitric Oxide on Alleviating Cadmium Toxicity in Rice (*Oryza sativa* L.), *Journal of Integrative Agriculture*, **12** (9): 1540-1550.
- Zhao, L., Zhang, F., Guo, J., Yang, Y., Li, B. and Zhang, L.**, 2004. Nitric Oxide Functions as a Signal in Salt Resistance in the Calluses from Two Ecotypes of Reed, *Plant Physiology*, **134**: 849-857.

- 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.
- Zhao-Duan, Y., Wang, L.N., Chen-Xing, C. and Xiang-Yang, H.**, 2009. The Effects of Exogenous Nitric oxide on growth, active oxygen metabolism and Photosynthetic characteristics in cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings under cadmium stress, *Acta Botanica Yunanica*, **31**: 6, 486-492.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Ad / Soyad	DİDEM DEVECİ
e-Posta	didemdvc@gmail.com
Uyruk	T.C.
Doğum tarihi	30.05.1988
Ana dil	Türkçe
Diğer dil	İngilizce
Sertifikalar	Bilgisayar İşletmenlik Sertifikası, İngilizce Sertifikası, Beden dili Sertifikası, Etkili İletişim Sertifikası, Etkili ve Başarılı Sunum Teknikleri Sertifikası

EĞİTİM BİLGİLERİ	
LİSE	Elazığ Balakgazi Lisesi
ÜNİVERSİTE	FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FAKÜLTE	FEN FAKÜLTESİ-BİYOLOJİ
YÜKSEK LİSANS	FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FAKÜLTE / ANA BİLİM DALI	FEN FAKÜLTESİ / FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ/ BOTANİK