

**Cd TOKSİTESİNİN FASULYE (*Phaseolus
vulgaris*) BİTKİSİNDE MEYDANA
GETİRDİĞİ STRES PROTEİNLERİNİN
VE FİZYOLOJİK DEĞİŞİMLERİN
BELİRLENMESİ**

Esin GÖNÜLSÜZ

Doktora Tezi

Toprak Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aydın ADİLOĞLU

2010

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Cd TOKSİTESİNİN FASULYE (*Phaseolus vulgaris*) BİTKİSİNDE MEYDANA GETİRDİĞİ
STRES PROTEİNLERİNİN VE FİZYOLOJİK DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ

ESİN GÖNÜLSÜZ

TOPRAK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. AYDIN ADILOĞLU

TEKİRDAĞ-2010

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Aydın ADİLOĞLU danışmanlığında, Esin GÖNÜLSÜZ tarafından hazırlanan bu çalışma 08/02/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. Toprak Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak oyçokluğu / oybirliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. M. Turgut SAĞLAM *İmza :*

Üye : Prof. Dr. Vahap KATKAT *İmza :*

Üye : Prof. Dr. Levent ARIN *İmza :*

Üye : Doç. Dr. Aydın ADİLOĞLU *İmza :*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Korkmaz BELLİTÜRK *İmza :*

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Adnan ORAK
Enstitü Müdür V.

ÖZET

Doktora Tezi

Cd TOKSİTESİNİN FASULYE (*Phaseolus vulgaris*) BİTKİSİNDE MEYDANA GETİRDİĞİ STRES PROTEİNLERİNİN VE FİZYOLOJİK DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ

Esin GÖNÜLSÜZ

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Aydın ADILOĞLU

Yapılan bu araştırmada; tarım topraklarında oluşan kadmiyum kirliliğinin, fasulye (*Phaseolus vulgaris*) bitkisinin fizyolojisinde meydana getirdiği değişimler ve stres proteinlerindeki değişimleri incelenmiştir. Fasulye bitkisi laboratuvar ortamında ve kontrollü koşullar altında 3 kg'lık saksılar içerisinde yetiştirilmiştir. Toprakta var olan Cd'a ilave olarak, saksılara 0.05-0.1-0.5-1.0-5.0 ppm'lik Cd uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan elektroforez analizi sonucunda, 9.5-79 kDa molekül büyüklüğünde çeşitli proteinler saptanmıştır. 49.0-39.0-33.5-26.5-9.5 kDa luk proteinlerin tanınması MALDİ-MS cihazında gerçekleştirilmiş ve bu proteinlerin temelde benzer yapıda oldukları saptanmıştır. Ayrıca, MASCOT Search sonuçlarına göre; bu proteinlerin oksinler tarafından indüklenen rezistans gen proteinleri oldukları kanısına varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kadmiyum toksitesi, Stres Proteinleri, Stres Fizyolojisi, Fasulye (*Phaseolus vulgaris*), MALDİ-MS

2010 , 201 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

THE DETERMINATION OF STRES PROTEINS AND PHSIOLOGICAL CHANGES OF CADMIUM TOXICITY IN BEAN (*Phaseolus vulgaris*) PLANT

Esin GÖNÜLSÜZ

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Main Science Division of Soil Science

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Aydın ADİLOĞLU

In this research, plant stress physiology and stress proteins have determined in the bean plant (*Phaseolus vulgaris*) under the cadmium toxicity condition of soils. Bean plant have cultivated in the pots (include 3 kg soil) at the controlled condition in the laboratory conditions. 0.05-0.10-0.50-1.00-5.00 ppm Cd was added each pots. Plant and soil samples were weekly taken. Several proteins to have 9.5-79 kDa molecular weigh were determined. Proteins having 49.0-39.0-33.5-26.5-9.5 kDa molecular weight were identified with MALDİ-MS analysis. These proteins have determined as similar. These proteins have determined to auxins-induced resistance gene proteins.

Keywords : Cadmium toxicity, Stress Proteins, Stress Phsiology, Bean (*Phaseolus vulgaris*),
MALDİ-MS

2010, 201 pages

ÖNSÖZ

Doktora'da bana ders vererek ve beni bu konulara yönlendirerek önümde ışık tutan çok değerli hocalarım; Prof. Dr. Hüseyin HAKERLER'e, Prof. Dr. Müzeyyen SEÇER'e, Prof. Dr. Azmi TELEFONCU'ya, Prof. Dr. İsmail TÜRKAN'a ve Prof. Dr. Erhan DİNÇKAYA'ya çok teşekkür ederim. Ege Üniversitesinde Doktora Tez Danışmanlığımı yapan hocam; Prof. Dr. Nilgün MORDOĞAN'a da ayrıca çok teşekkür ederim.

Doktoramda Tez savunma ve doktora yeterlilik sınavıma gelerek beni kırmayan çok değerli hocam; Prof. Dr. Vahap KATKAT'a da ayrıca çok teşekkür ederim. Ayrıca; bölüm hocalarım Prof. Dr. M. Turgut SAĞLAM'a ve Prof. Dr. Cemil CANGİR'e yaptığı bütün katkı ve desteklerinden dolayı teşekkürü ederim.

Doktora tezimde bana yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Levent ARIN'a, Yrd. Doç. Dr. Serdar POLAT'a ve Zir. Yük. Müh. Nazif SEVİMAY'a da teşekkürlerimi bir borç bilirim

Marmara Üniversitesi Biyomühendislik A.B.D.'da görev yapan çok değerli hocam Prof. Dr. Dilek KAZAN'a yaptığı bütün yardımlar ve verdiği destek için çok teşekkür ederim. Ayrıca Maldi MS analizlerimi yapmamda yardımcı olan Ankara Üniversitesi Biyoteknoloji enstitüsünden Yrd. Doç. Dr. Duygu Özel DEMİRALP'e ve Selen PEKER'e ayrıca teşekkür ederim.

Trakya ve Namık Kemal Üniversiteleri'nde doktora tez danışmanlığımı yapan Prof. Dr. Hasan H. TOK'a ve Namık Kemal Üniversitesi'nde halen doktora Tez danışmanlığımı yürüten Doç. Dr. Aydın ADİLOĞLU'na da ayrıca teşekkür ederim.

Namık Kemal Üniversitesi Araştırma Fonuna yaptığı mali katkı nedeniyle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2. 1. Cd'un tarım topraklarında oluşturduğu kirlilik.....	4
2. 2. Cd'un tarım ürünlerinde oluşturduğu toksite.....	13
2. 3. Bitkilerde Cd stresi ve bitkilerin Cd stresine karşı tolerans mekanizması	20
2. 4. Cd'un bitki proteinleri üzerine etkisi	25
2. 5. Cd'un bitkilerin fizyolojik yapısında meydana getirdiği değişimler	30
2. 6. Cd toksitesi ile ilgili yapılan fitoremidasyon çalışmaları	39
2. 7. Cd'un insan metabolizması üzerine etkinliği ve atılım mekanizmaları.....	42
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
3.1 Materyal	44
3.2 Yöntem.....	45
3.2.1. Bitkilere verilen gübrenin analiz değerleri ve gübre çözeltilisinin hazırlanması:	46
3.2.2. Cd çözeltilisinin hazırlanması:	46
3.2.3. Toprak ve bitki örneklerinin alınması ve analize hazırlanmasında uygulanan yöntemler: ..	47
3.2.4. Toprak örneklerinin analizinde uygulanan yöntemler:	48
3.2.5. Bitki örneklerinin besin elementi analizinde uygulanan yöntemler:	52
3.2.6. Bitki örneklerinin protein ekstraksiyonu ve saflaştırılmasında uygulanan yöntemler:	54
3.2.7. Bitki örneklerinin fizyolojik analizinde uygulanan yöntemler:	55
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	59
4.1 Denemeye ait toprak örneğinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.....	59
4.2 Toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları.....	61

4.2.2. Toprak örneklerin bitki besin maddesi içerikleri	65
4.2.3. Toprak örneklerin ağır metal içerikleri	80
4.3 Bitki yaprak örneklerinin besin elementi analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	87
4.3.1. Bitki örneklerin bitki besin maddesi içerikleri	87
4.3.2. Bitki örneklerin ağır metal içerikleri.....	102
4.4 Bitki yaprak dokularına ait fizyolojik analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	108
4.4.1 Bitki yaprak dokularının protein analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	108
4.4.2 Bitki yaprak dokularının fotosentetik pigment analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	111
4.4.3 Bitki yaprak dokularının serbest prolin analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	118
4.4.4 Bitki yaprak dokularının askorbik asit (C vitamini) analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	120
4.4.5 Bitki yaprak dokularının lipid peroksidasyonu analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	122
4.4.6 Bitki yaprak dokularının fenolik bileşiklerinin analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	124
4.4.7 Bitki yaprak dokularının sistein analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	126
4.4.8 Bitki yaprak dokularının nitrat redüktaz enzim aktivitesi analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	127
4.5 Analiz sonuçlarının istatistiki olarak değerlendirilmesi	130
4.5.1 Toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarının istatistiki ilişkileri.....	130
4.5.2 Toprak analiz sonuçları ile yaprakların bitki besin elementleri arasındaki istatistiki ilişkileri	133
4.5.3 Yaprak örneklerinin bitki besin elementleri içerikleri arasındaki istatistiki ilişkiler.....	136
4.5.4 Yaprak örneklerinin bitki besin elementi içerikleri ile fizyolojik analiz sonuçları arasındaki istatistiki ilişkiler.....	137
4.5.5 Yaprak doku örneklerinin fizyolojik analiz sonuçları ile toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları arasındaki istatistiki ilişkiler	139
4.5.6 Yaprak doku örneklerinin fizyolojik analiz sonuçlarının istatistiki ilişkileri	141
4.6 Bitki yaprak dokularının protein bant desenlerinin değerlendirilmesi	144
4.7 Bitki yaprak dokularının protein tanı sonuçlarının değerlendirilmesi	152
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	164
6. KAYNAKLAR	166
EKLER.....	175
EK 1 Deneme süresince kaydedilen günlük meteorolojik veriler	175

EK 2 Bitki ıkış zamanları.....	176
EK 3 Vejetasyon periyodu boyunca çekilen deneme fotoafları	178
ÖZGEÇMİŞ	201

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Al	Aliminyum
As	Arsenik
B	Bor
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Cl	Klor
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
H	Hidrojen
Hg	Civa
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
Ni	Nikel
O	Oksijen
P	Fosfor
Pb	Kurşun
S	Kükürt
Se	Selenyum
Ti	Titanyum
Zn	Çinko
µg	Mikrogram
µM	Mikromol
µmhos	Mikromhos

APX	Askorbat peroksidaz
AS	Açık saha
ASC	Askorbat
BCMV	Fasulye genel mozaik virüsü
BHT	Butillenmiş hidroksitoluen
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
cal/cm ²	Kalori/cm ²
CAT	Katalaz enzimi
Cd ⁺²	Kadmiyum katyonu
Cd0	Cd 0 dozu
Cd1	1. Cd dozu
Cd2	2. Cd dozu
Cd3	3. Cd dozu
Cd4	4. Cd dozu
Cd5	5. Cd dozu
CdO	Kadmiyum oksit
Cl ⁻	Klor anyonu
CV	Alt tür
CW	Hücre duvarı
CYT	Sitoplazma
da	Dekar
DAP	Di amonyum fosfat
DNA	Deoksiribo nükleik asit
DTPA	Dietilen triamin penta asetik asit
DTT	Ditiyotreitol
EC	Elektriki kondüktometre
EDTA	Etilen daimin tetra asetik asit
FAO	Gıda Sağlık Teşkilatı
g	Gram
GR	Glutasyon redüktaz
GSH	Glutatione

GSSG	Glutathione disulfid
HSP	Sıcaklığa cevap proteinleri
kDa	Kilo dalton
kg	Kilogram
Klf	Klorofil
l	Litre
LC	Letal konsantrasyon
LeACS2	l-aminocyclopropane-1-karboksilik asit sentaz geni
M	Molar
m ³	Metreküp
MDA	Malonaldehide içeriği
Me	Ağır metal
mg	Miligram
mmHg	Milimetre Civa
mmhos	Mili mhos
mmol	Milimol
NED	N-(1-Naphthyl ethylene-diamine dihydroklorid
NO ₂	Nitrit
OH ⁻	Hidroksil anyonu
pH	Hidrojen iyonlarının negatif logaritması
POD	Peroksidaz enzimi
ppm	Milyonda bir kısım
PS-Fe	Fe şelat fompleksi
PTE	Potansiyel toksik element
RNA	Ribo nükleik asit
rpm	Rounds per minute
S	Sera
SA	Salisilik asit
SOD	Süperoksit dismutaz enzimi
TBA	Tiyobarbiturik asit
TBARS	Thiobarbituric acid reactive substances

TCA	Trikloroasetik asit
TLV	8 saatlik yük ortalaması
TSP	Triple süper fosfat
TWA	8 saatlik yük ortalaması
UV	Görünen ışık
VAC	Hücre vakuolü
vb.	ve benzeri
WHO	Dünya Dağlık Örgütü
ZnO	Çinko oksit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 2.1 Cd toksitesi dağılımı avrupa kıtası uydu verilerine göre işlenmiş toprak haritası	5
Şekil 2.2. Cd toksitesinin dağılımı Yunanistan, Arnavutluk uydu verilerine göre işlenmiş toprak haritası haritası	5
Şekil 2.3. Ağır metallerin doğadaki dönüşüm zinciri	6
Şekil 2.4. Ağır metallerin doğada katıldığı kimyasal reaksiyonlar	7
Şekil 2.5. Bitkilerde kadmiyum alınımının potansiyel kaynakları	14
Şekil 2.6. Sorgum'da Cd toksitesi	15
Şekil 2.7. Arabidopsiste Cd toksitesi	15
Şekil 2.8. Cd toksite semptomları kaynağı	15
Şekil 2.9. Çevresel stres faktörleri ve bunların çoklu ilişkileri	20
Şekil 2.10. Ağır metallere dayanıklılık kazanmak için bitkiler tarafından geliştirilen mekanizmalar	24
Şekil 2.11. Artan miktarlardaki değişik ağır metal iyonlarının nitrat redüktaz enzim aktivitesi üzerine etkileri	34
Şekil 3.1. GİNA fasulyenin meyvesine ait bir görünüm	44
Şekil 3.2 SDS-Page tekniği kullanılarak boyanmış elektroforez bant desenlerinden bir görünüm	54
Şekil 3.3. Alzaimer hastalığında, SDS-Page tekniği kullanılarak boyanmış elektroforez bant desenlerinden bir görünüm	55
Şekil 4.1. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin pH değişim diyagramı	62
Şekil 4.2. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin EC değişim diyagramı	63
Şekil 4.3. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin HCO_3^- değişim diyagramı	65
Şekil 4.4. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin % N değişim diyagramı	66

Şekil 4.5. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin P değişim diyagramı	68
Şekil 4.6. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Na değişim diyagramı	69
Şekil 4.7. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin K değişim diyagramı	71
Şekil 4.8. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Ca değişim diyagramı	72
Şekil 4.9. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Mg değişim diyagramı	74
Şekil 4.10. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Fe değişim diyagramı	75
Şekil 4.11. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Zn değişim diyagramı	77
Şekil 4.12. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Cu değişim diyagramı	78
Şekil 4.13. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Mn değişim diyagramı	80
Şekil 4.14. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Cd değişim diyagramı	81
Şekil 4.15. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Pb değişim diyagramı	83
Şekil 4.16. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Co değişim diyagramı	84
Şekil 4.17. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Cr değişim diyagramı	86
Şekil 4.18. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin N değişim diyagramı	88
Şekil 4.19. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin P değişim diyagramı	89

Şekil 4.20. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Na değişim diyagramı	91
Şekil 4.21. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin K değişim diyagramı	92
Şekil 4.22. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Fe değişim diyagramı	94
Şekil 4.23. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Zn değişim diyagramı	95
Şekil 4.24. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Cu değişim diyagramı	97
Şekil 4.25. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Mn değişim diyagramı	99
Şekil 4.26. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Ca değişim diyagramı	100
Şekil 4.27. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Mg değişim diyagramı	102
Şekil 4.28. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Cd değişim diyagramı	104
Şekil 4.29. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Pb değişim diyagramı	105
Şekil 4.30. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Co değişim diyagramı	107
Şekil 4.31. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin protein değişim diyagramı	109
Şekil 4.32. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin klorofil A değişim diyagramı.....	112
Şekil 4.33. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin klorofil B değişim diyagramı	113
Şekil 4.34. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin toplam klorofil değişim diyagramı.....	115

Şekil 4.35. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin karotenoid Pigment değişim diyagramı	116
Şekil 4.36 Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin prolin değişim diyagramı	119
Şekil 4.37. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin askorbik asit (C vitamini) değişim diyagramı	121
Şekil 4.38. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin lipid peroksidasyonu değişim diyagramı.....	123
Şekil 4.39. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin fenolik bileşiklerinin değişim diyagramı	125
Şekil 4.40. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin sistein değişim diyagramı	127
Şekil 4.41. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin NO ₂ ⁻ değişim diyagramı	128
Şekil 4.42. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 1. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd0-Cd1 ve Cd2 dozlarına ait).....	144
Şekil 4.43. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 1. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd3-Cd4 ve Cd5 dozlarına ait).....	145
Şekil 4.44. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 2. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd0-Cd1 ve Cd2 dozlarına ait).....	146
Şekil 4.45. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 2. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd3-Cd4 ve Cd5 dozlarına ait).....	146
Şekil 4.46. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 3. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd0-Cd1 ve Cd2 dozlarına ait).....	147
Şekil 4.47. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 3. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd3-Cd4 ve Cd5 dozlarına ait).....	148
Şekil 4.48. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 4. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd0-Cd1 ve Cd2 dozlarına ait).....	149
Şekil 4.49. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 4. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd3-Cd4 ve Cd5 dozlarına ait).....	149

Şekil 4.50. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 5. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd0-Cd1 ve Cd2 dozlarına ait).....	150
Şekil 4.51. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 5. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd3-Cd4 ve Cd5 dozlarına ait).....	151
Şekil 4.52. Protein örnekleme (kesim) diyagramı (protein örneklerine ait Bio-Rad's proteome works plus spot cutting system resmi).....	152
Şekil 4.53. 1 nolu örneğe ait Maldi-Ms analiz diyagramı	153
Şekil 4.54. 1 nolu örneğe ait piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı	154
Şekil 4.55. 2 nolu örneğe ait Maldi-Ms analiz diyagramı.....	154
Şekil 4.56. 2 nolu örneğe ait piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı	155
Şekil 4.57. 3 nolu örneğe ait Maldi-Ms analiz diyagramı	155
Şekil 4.58. 3 nolu örneğe ait piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı	156
Şekil 4.59. 4 nolu örneğe ait Maldi-Ms analiz diyagramı	156
Şekil 4.60. 4 nolu örneğe ait 1. bölgede piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı	157
Şekil 4.61. 4 nolu örneğe ait 2. bölgede piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı	157
Şekil 4.62. 5 nolu örneğe ait Maldi-Ms analiz diyagramı	158
Şekil 4.63. 5 nolu örneğe ait piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı	158

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No:

Çizelge 2.1. Bitkilerin topraktan ağır metal alınımının en sık rastlanan transfer katsayısı aralıkları ve çeşitli ağır metallerin mobilizasyonuna geçmeleri için pH değerleri	8
Çizelge 2.2. Hessen'deki tarım alanı ve endüstri bölgesi çevresindeki küçük bahçelerin yüzey topraklarındaki çeşitli elementlerin ortalama total değerleri	8
Çizelge 2.3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri	9
Çizelge 2.4. Toprakta kullanılabilir stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları	9
Çizelge 2.5. Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri	10
Çizelge 2.6. Maden cevherleri ve kayaların kadmiyum düzeyleri	10
Çizelge 2.7. Ürün cinsine göre maksimum ve minimum Cd, Pb, Ni ve As konsantrasyonu	11
Çizelge 2.8. Türk gıda kodeksi gıda maddelerindeki bulaşanların maksimum limitleri hakkında tebliğdeki kadmiyuma ait sınır değerler	13
Çizelge 2.9. Sebze guruplarının Cd riski	16
Çizelge 2.10. Esas elementler ve bitkideki rolleri	21
Çizelge 3.1. Gina çeşidi fasulyenin bitki özellikleri	45
Çizelge 3.2. Denemede kullanılan gübrenin kimyasal bileşimi.....	46
Çizelge 3.3. Topraklara ilave edilecek Cd için yapılan hesaplamalar tablosu.....	47
Çizelge 3.4. Bitki ve toprak örneklerinin alınıp zamanları	47
Çizelge 3.5. Toprakların kireç bakımından sınıflandırılması	48
Çizelge 3.6. Toprakların organik madde bakımından sınıflandırılması	48
Çizelge 3.7. Toprakların pH bakımından sınıflandırılması	49
Çizelge 3.8. Toprakların tuzluluk bakımından sınıflandırılması	49
Çizelge 3.9. Toprakların N bakımından sınıflandırılması	50
Çizelge 3.10. Toprakların K bakımından sınıflandırılması	50
Çizelge 3.11. Toprakların Ca bakımından sınıflandırılması	51
Çizelge 3.12. Toprakların Mg bakımından sınıflandırılması	51
Çizelge 3.13. Toprakların fosfor ve mikroelementler bakımından sınıflandırılması	52

Çizelge 3.14. Toprakların ağır metaller bakımından sınıflandırılması.....	52
Çizelge 3.15. Bitki besin maddeleri kritik düzeyleri	53
Çizelge 3.16. Askorbik asit miktarına göre bitkilerin C vitamini içeriklerinin değerlendirilmesi	56
Çizelge 4.1. Deneme toprağına ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.....	59
Çizelge 4.2. Toprak örneklerinin pH analiz sonuçları	61
Çizelge 4.3. Toprak örneklerinin EC*10 ⁶ Değerleri	63
Çizelge 4.4. Toprak örneklerinin HCO ₃ ⁻ analiz sonuçları	64
Çizelge 4.5. Toprak örneklerinin N analiz sonuçları	66
Çizelge 4.6. Toprak örneklerinin P analiz sonuçları	67
Çizelge 4.7. Toprak örneklerinin Na analiz sonuçları	69
Çizelge 4.8. Toprak örneklerinin K analiz sonuçları	70
Çizelge 4.9. Toprak örneklerine ait Ca analiz sonuçları	72
Çizelge 4.10. Toprak örneklerine ait Mg analiz sonuçları	73
Çizelge 4.11. Toprak örneklerinin Fe analiz sonuçları	75
Çizelge 4.12. Toprak örneklerinin Zn analiz sonuçları	76
Çizelge 4.13. Toprak örneklerinin Cu analiz sonuçları	78
Çizelge 4.14. Toprak örneklerinin Mn analiz sonuçları	79
Çizelge 4.15. Toprak örneklerinin Cd analiz sonuçları	81
Çizelge 4.16. Toprak örneklerine ait Pb analiz sonuçları	82
Çizelge 4.17. Toprak örneklerine ait Co analiz sonuçları	84
Çizelge 4.18. Toprak örneklerine ait Cr analiz sonuçları	85
Çizelge 4.19. Bitki örneklerinin N analiz sonuçları	87
Çizelge 4.20. Bitki örneklerinin P analiz sonuçları	89
Çizelge 4.21. Bitki örneklerinin Na analiz sonuçları	90
Çizelge 4.22. Bitki örneklerinin K analiz sonuçları	92
Çizelge 4.23. Bitki örneklerinin Fe analiz sonuçları	93
Çizelge 4.24. Bitki örneklerinin Zn analiz sonuçları	95
Çizelge 4.25. Bitki örneklerinin Cu analiz sonuçları	96
Çizelge 4.26. Bitki örneklerinin Mn analiz sonuçları	98
Çizelge 4.27. Bitki örneklerine ait Ca analiz Sonuçları	100
Çizelge 4.28. Bitki örneklerine ait Mg analiz Sonuçları	101

Çizelge 4.29. Bitki örneklerinin Cd analiz sonuçları	103
Çizelge 4.30. Bitki örneklerinin Pb analiz sonuçları	104
Çizelge 4.31. Bitki örneklerinin Co analiz sonuçları	106
Çizelge 4.32. Bitki örneklerine ait protein miktarları	109
Çizelge 4.33. Bitki örneklerine ait klorofil A analiz sonuçları	111
Çizelge 4.34. Bitki örneklerine ait klorofil B analiz sonuçları	113
Çizelge 4.35. Bitki örneklerine ait toplam klorofil miktarları	114
Çizelge 4.36. Bitki örneklerine ait karotenoid pigment analiz sonuçları.....	116
Çizelge 4.37. Bitki örneklerine ait prolin miktarları.....	118
Çizelge 4.38. Bitki doku örneklerine ait askorbik asit (C vitamini) miktarları	121
Çizelge 4.39. Bitki örneklerine lipid peroksidasyonuna ait analiz sonuçları	122
Çizelge 4.40. Bitki örneklerine ait fenolik bileşiklerin miktarları	124
Çizelge 4.41. Bitki örneklerine ait sistein miktarları	126
Çizelge 4.42. Bitki örneklerine ait NO ₂ ⁻ miktarları	128
Çizelge 4.43. Toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarının istatistiki ilişkileri	132
Çizelge 4.44. Toprak analiz sonuçları ile yaprakların bitki besin elementleri arasındaki istatistiki ilişkileri	135
Çizelge 4.45. Yaprak örneklerinin bitki besin elementleri içerikleri arasındaki istatistiki ilişkiler	136
Çizelge 4.46. Yaprak örneklerinin bitki besin elementi içerikleri ile fizyolojik analiz sonuçları arasındaki istatistiki ilişkiler	138
Çizelge 4.47. Yaprak doku örneklerinin fizyolojik analiz sonuçları ile toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları arasındaki istatistiki ilişkiler.....	140
Çizelge 4.48. Yaprak doku örneklerinin fizyolojik analiz sonuçlarının istatistiki ilişkileri	142
Çizelge 4.49. 1. Hafta elektroforez okumaları sonucu elde edilen proteinlerin kDa olarak molekül büyüklükleri.	145
Çizelge 4.50. 2. Hafta elektroforez okumaları sonucu elde edilen proteinlerin kDa olarak molekül büyüklükleri.	147
Çizelge 4.51. 3. Hafta elektroforez okumaları sonucu elde edilen proteinlerin kDa olarak molekül büyüklükleri.	148

Çizelge 4.52. 4. Hafta elektroforez okumaları sonucu elde edilen proteinlerin kDa olarak moleköl büyüklükleri.	150
Çizelge 4.53. 5. Hafta elektroforez okumaları sonucu elde edilen proteinlerin kDa olarak moleköl büyüklükleri.	151
Çizelge 4.54. MALDİ MS spektrometre 5 peptid standardının Mass Da değerleri	153
Çizelge 4.55. Maldi-MS sonuçlarına göre; araştırılan proteinlerin saptanan m/z değerleri	159

1. GİRİŞ

Günümüzde; son yıllarda yaşanan sanayileşmenin artması sonucunda ortaya çıkan atık maddeler, otoyolların ve arabaların artması sonucu otoyollardan kaynaklanan emisyon gazlarının artışı ve tarımda yapılan dengesiz gübrelemeler neticesinde tarım alanları kirletilmektedir. Gerek topraktan, gerekse hava yoluyla tarım ürünlerine geçen bu ağır metaller insan ve hayvan sağlığına zararlı seviyelerde birikebilmektedirler. Böylece; ağır metal kirliliği insanlar için bir tehdit unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tehdidin ortadan kaldırılabilmesi için öncelikle ağır metallerin bitki metabolizmasında yarattığı değişimlerin incelenmesi gerekmektedir. Daha sonra ise yapılacak araştırmalarla bu ağır metallerin bitkilere alınımı engellenebilir yada fitoremediasyon yoluyla tarım topraklarından uzaklaştırılması mümkün olabilmektedir.

Bir ağır metal olan kadmiyum, endüstride gittikçe artan miktarlarda kullanılmaktadır. Demir, çelik, bakır, çinko gibi metallerin korozyonuna karşı kaplamalarda, kurşunla alaşım şeklinde kablo kaplamalarda; boya ve cam üretiminde; nükleer reaktörlerde nötron absorplayıcısı olarak; nikel-kadmiyum pili yapımında; insektisitlerin üretiminde; plastiklerde stabilizatör olarak önemli kullanma yerleri vardır (Vural 1996).

Genel olarak besinlerdeki Cd miktarı 0,1 µg/g'dan (yaş ağırlık) azdır. Besinlerde, kadmiyum en çok kabuklu su hayvanlarında karaciğer ve böbreklerde birikmektedir. Bu besinlerdeki kadmiyum miktarı 10 µg/g üstüne çıkabilmektedir (Vural 1996).

Kadmiyumla kaplı kaplarda asitli besin ve içkilerin saklanmasıyla kadmiyum zehirlenmeleri olabilmektedir. Örneğin kadmiyumla kaplı kaplarda 1.5 saat bekleyen limonatayı içenlerde zehirlenmeler görülmüştür (Vural 1996).

Schroeder (1974)'e atfen Vural (1996)'a göre; I. Dünya savaşında kalay metallinin yokluğu nedeni ile kadmiyum kalayın yerini almış ve besin kaplarının kaplanması kullanılmıştır. Ancak asit özellikteki besinlere geçen kadmiyum insan ve hayvanlarda zehirlenmelere yol açması nedeni ile kısa zamanda kullanımı bırakılmıştır. İkinci Dünya savaşında yine kalay yokluğu, kadmiyumun konserve kaplarında kalay yerine kullanılmasına yol

açmıştır. Yeniden ortaya çıkan zehirlenme olayları ile kullanımı yasaklanmıştır. Buna rağmen halen buzdolaplarına konan buzlukların kaplamalarında kullanılmaktadır (Schroeder 1974).

Besinlerle, sigara ve hava ile günde 18-200 µg Cd⁺² alındığı hesaplanmıştır. Ancak bu miktar çeşitli coğrafi ve çevre koşullarına göre değişmektedir. Örneğin İngiltere’de 1979’da kişi başına günlük Cd⁺² alınımının 15-30 µg; Kanada’da 1969’da ise bu değer 80 µg olduğu tahmin edilmiştir. Normal havada bulunan kadmiyum 0,001 µg/m³ civarında olduğu için hava yoluyla alınımının pek önemi yoktur. Bir paket sigaranın içilmesiyle 2-4 µg kadmiyumun solunum yolu ile alındığı sanılmaktadır (Vural 1996).

1946’da Japonya’da “itai-itai” hastalığı adı verilen epidemik olayın kadmiyum zehirlenmesi ile ilgili olduğu gösterilmiştir. Çinko, kurşun ve kadmiyum filizlerinin çıkarıldığı maden ocaklarının atıkları Jintzu nehrini kirletmekteydi. Nehrin aşağı bölgesinde yaşayan halk, sulama ve içme suyu olarak nehirden yararlanmaktaydı. Böylece suyu kirleten kadmiyum ve kurşun besin zinciri ile (pirinç, bakla gibi) buradaki insanlara bulaşarak birikmiştir. Çok yıllar sonra “itai-itai”; “ouch-ouch” veya “çok ağrılı” anlamına gelen şiddetli romatizmal ağrılarla dikkati çeken olay kendini göstermiştir. Kadmiyum zehirlenmesinin neden olduğu bu olay, birçok epidemiolojik çalışmalara yol açmıştır. 1968’de Japonya Sağlık Bakanlığı itai-itai hastalığının, Cd’a kronik maruz kalmayla ilgili olduğunu, beslenme eksikliği, gebelik, loğusalık ve yaşlılıkla arttığını bildirmiştir. Bu zehirlenme olayı 40-70 yaşları arasında 31 kadın ve 13 erkekte saptanmıştır (Vural 1996).

Bu denli toksik olan ve zehirlenmelere neden olan kadmiyum metalinin; bir kültür bitkisi olan fasulye bitkisinin fizyolojisinde meydana getirdiği değişimlerin ve stres proteinlerindeki değişimlerin incelenmesi bu tezin amacını oluşturmaktadır. Yapılan literatür taramaları sonucunda; tıpta kanser ve alzaimer hastalığı vb. araştırmalarda proteinlerin tanısının yapılmasına karşın bitki dokularında böyle bir protein tanılmasına gidilmediği saptanmıştır. Ayrıca bugüne kadar yapılmış olan bitki stres araştırmaları ya su kültüründe ya da tohumların çimlendirilmesi suretiyle yapıldığından toprakla ilişkilendirilmesi saptanamamıştır. Bu nedenlerle; yapılan bu araştırmada, Cd stresi altındaki topraklarda yetişen fasulye bitkisinin stres proteinlerinin bant desenleri çıkarılmış ve tanısı MALDİ MS cihazı yardımıyla saptanmıştır. Ayrıca Bitkinin Cd

stresi koşulları altında bitki bünyesinde meydana gelen fizyolojik değişimler incelenerek bitkinin Cd stres mekanizması tam olarak açıklığa kavuşturulmaya çalışılmıştır. Böylelikle insanlar ve hayvanlar için bu denli toksik olan Cd'un bitkideki davranışı, metabolizması açıklanmaya çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2. 1. Cd'un Tarım Topraklarında Oluşturduğu Kirlilik

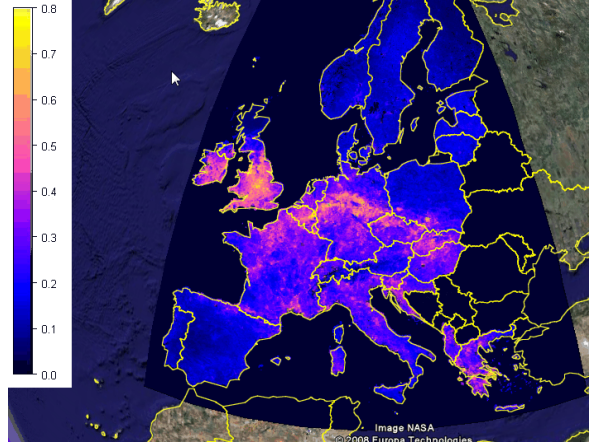
Kadmiyum, boya pigmenti olarak ve plastik endüstrisinde kullanılır, ayrıca motor yağları ve taşıt lastiklerinde de bulunur. Bunun dışında geniş ölçüde kaplama materyali olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle de kontaminasyon kaynaklarını bu endüstrilerin atıkları oluşturur. Ayrıca trafiğe yakın arazilerde motor yağlarından kaynaklanan emisyonlar sonucu Cd'un kontamine olduğu da saptanmıştır (Mengel ve Kirkby 1979). Ayrıca; fosforlu gübrelerle uzun yıllar aşırı derecede gübreleme yapılmış olan tarım topraklarında Cd toksitesi gözlenmektedir.

Ham fosfatlarda da Cd bulunmaktadır. Örneğin süper fosfatta Cd, elektrostatik adsorpsiyon oluşturur. Ortamdaki OH⁻ ve Cl⁻ anyonlarıyla kompleks oluşturur. Asit topraklarda ise Cd'un bir kısmı Zn gibi değişebilir formdadır (Mengel ve Kirkby 1979).

Kadmiyum, Cd'ca zengin sedimentlerde ve Zn madenlerine yakın topraklardaki bitkilerde yüksek konsantrasyonlarda bulunabilir. Çünkü Cd ve Zn arasında jeokimyasal bir ilişki vardır ve bu iki element birbirine bağımlıdır. Örneğin, Zn ergitmelerinde duman emisyonu ZnO ve CdO kapsar. Kadmiyum oksidin buharlaşma özelliği Zn'dan fazladır. Cd⁺² katyonu durumundadır ve adsorpsiyon yüzeylerinde 50-175 ppm Cd bulunur (Mengel ve Kirkby 1979).

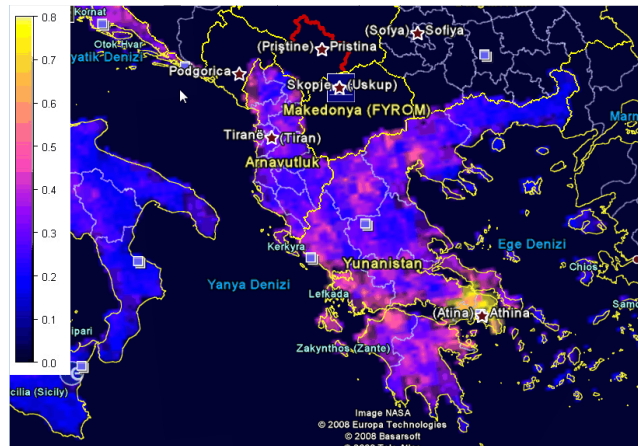
Kadmiyum kirliliğinin iki ana temelini Zn madenleri ve arıtma çamuru oluşturur. Hatta arıtma çamurunda kuru maddede 10-1500 ppm arasındaki konsantrasyonlarda Cd'un varlığı saptanmıştır (Mengel ve Kirkby 1979).

Günümüzde sanayileşme ve yoğun bir şehirleşme sonucu tarım alanları ağır metaller tarafından kirletilmektedir. Tarım alanlarının ağır metaller tarafından kirletilmesi sonucu bitkiler, hayvanlar ve insanlar ağır metal kirliliğine maruz kalmaktadırlar. Otoyollardaki trafik yoğunluğu ve tarım topraklarının otoyollara yakınlığına bağlı olarak tarım topraklarında Cd, Pb ve Ni kirliliğinin meydana geldiği tespit edilmiştir (Hakerlerler ve ark. 1995).



Şekil 2.1 Cd toksitesi dağılımı avrupa kıtası uydu verilerine göre işlenmiş toprak haritası (Lado ve ark. 2007).

Şekil 2.1’de alınan uydu verilerine göre Cd toksitesinin Avrupa kıtasındaki dağılım haritası gözlenmektedir. Türkiye’de bu şekilde işlenmiş bir toprak haritası henüz yapılmış değildir. Bu nedenle; ülkemize en yakın olan Yunanistan ve Arnavutluk’a ait uydu verilerine göre işlenmiş toprak haritası Şekil 2.2’de verilmiştir. Şekillerden de izlenebileceği gibi büyük şehirlerde ve sanayileşmenin yoğun olduğu bölgelerde Cd konsantrasyonunun artışı açıkça gözlenmektedir.

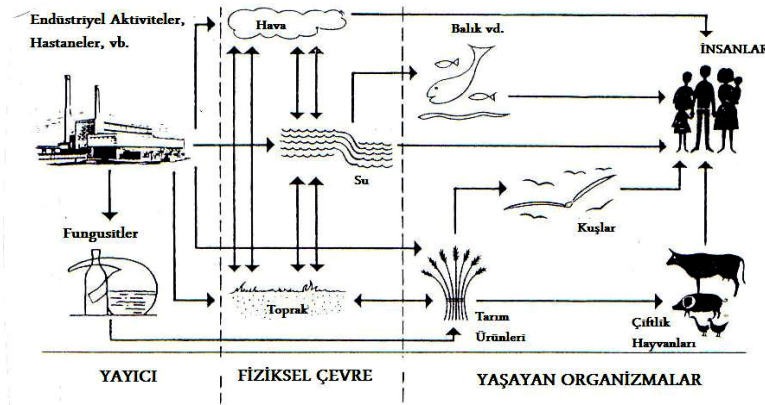


Şekil 2.2. Cd toksitesinin dağılımı Yunanistan, Arnavutluk uydu verilerine göre işlenmiş toprak haritası (Lado ve ark. 2007).

Fabrikasyon esnasında bulaşmalar neticesinde de kadmiyum fosforlu gübrelerin yapısına girebilmektedir. Trikalsiyum fosfattaki kadmiyum miktarı 1-2 ppm iken, süperfosfatın Cd miktarının 50-170 ppm kadar olduğu bildirilmektedir (Tok 1996).

Böylelikle tarım toprakları, gerek gübrelerle ve gerekse sanayileşme, şehirleşme ve fabrikalaşma sonucu Cd toksitesine maruz kalmaktadır.

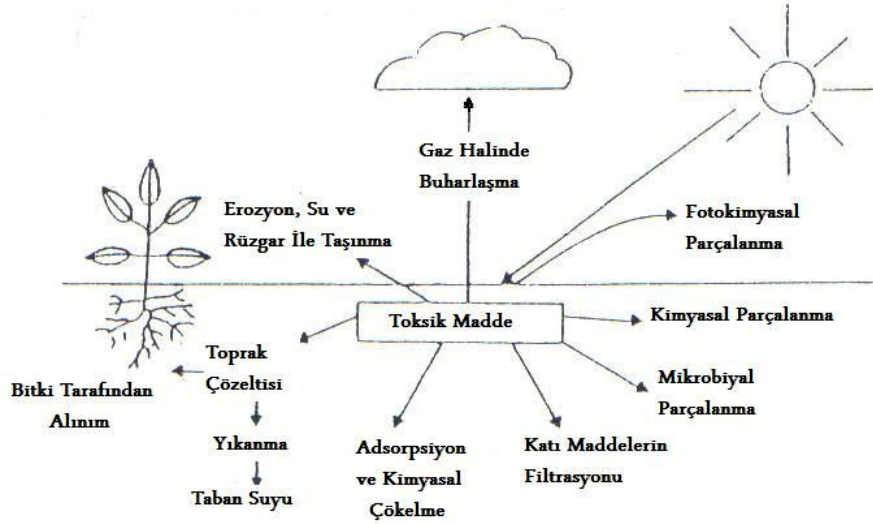
Ağır metallerin doğadaki dönüşümleri incelenecek olursa Şekil 2.3'den de izlenebileceği gibi; endüstriyel alanlardan kaynaklanan ağır metallerin ilk önce havaya, suya veya toprağa bulaştığı gözlenmektedir. Buradan da bitkilere, hayvanlara ve insanlara değin ulaştığı gözlenmektedir. Oysa ki ağır metallerin çok düşük konsantrasyonları bile canlılar tarafından alındığında toksiktir. Böyle bir kirliliğe maruz kalan bölgelerde yetişmiş olan bitkilerin insanlar ve hayvanlar tarafından tüketilmesi ciddi problemlere yol açmaktadır.



Şekil 2.3. Ağır metallerin doğadaki dönüşüm zinciri (OECD 1974).

Şekil 2.4'de ise ağır metallerin doğada katıldığı kimyasal reaksiyonlar gözlenmektedir. Şekilden de izlenebileceği gibi; toksik maddeler atmosfere erozyon, su ve rüzgarlar ile taşınarak, gaz halinde buharlaşarak veya fotokimyasal parçalanma yoluyla geçerken; toprak çözeltilisine geçerek yıkanma sonucu taban suyuna karışabilmekte veya adsorpsiyon ve kimyasal çökeltme, katı maddelerin filtrasyonu, mikrobiyal veya kimyasal parçalanma olayları ile de tarım topraklarına kontamine olmakta ve yine toprak çözeltilisinden bitkilerin bünyelerine geçerek dönüşüm zincirindeki etkileri bizlere değin ulaşabilmektedir. Ayrıca toksik maddeler; organik

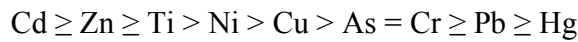
madde, kil, Fe, Al ve Mn oksit içeriği fazla olan topraklarda yüksek; kum içeriği fazla olan topraklarda düşük tamponlanma kapasitesi göstermektedirler.



Şekil 2.4. Ağır metallerin doğada katıldığı kimyasal reaksiyonlar (Özbek ve ark. 1984).

Ağır metaller, alkali ve toprak alkali iyonlara (K, Ca, Mg, Na vb.) oranla organik maddeye çok sıkı bir şekilde bağlanırlar. Ancak ağır metallerde şelat oluşturma eğilimi fazla olan bir element diğerlerini şelat kompleksinden söküp atma yeteneğine sahiptir.

Genelde topraklarda adsorbe olan miktarın aynı olması durumunda metallerde çözünürlük sırası;



şeklinde olup, kirlenmiş topraklarda bitki tarafından alınan ağır metaller, ağır metal içeriği düşük olan topraklara oranla çözünürlükle ilgili olarak yukarıda verilen sıraya göre artmaktadır (Özbek ve ark. 1984).

Çizelge 2.1’de verilmiş olan transfer katsayıları Cd, Zn, Ti için oldukça yüksek; Ni ve Cu için orta derecede; As, Cr, Pb ve Hg için ise düşük yarayırlılık (alınabilirlik değeri)

göstermektedirler. Toprak çözeltisinde ağır metallerin bitki tarafından alınma veya yıkanma nedeniyle azalması durumunda, adsorbe olmuş ağır metallerin bir kısmı çözelti fazına geçmektedir. Bu ilişki hem anorganik hem de organik zararlı maddeler için aynı ölçüde geçerlidir.

Çizelge 2.1. Bitkilerin topraktan ağır metal alınımının en sık rastlanan transfer katsayısı aralıkları ve çeşitli ağır metallerin mobilizasyonuna geçmeleri için pH değerleri (Özbek ve ark. 1984).

Element	Transfer Katsayısı	Alınabilirlik (göreceli)	Sınır pH değeri
Cd	0,03-10	Çoğunlukla	6,5
Zn	0,03-10	Göreceli	6-5,5
Ti	0,03-10	Yüksek	-
Ni	0,01-2	Çoğunlukla	5,5
Cu	0,01-2	Orta	4,5
As	<0,5		4,5-5
Cr	<0,5	Çoğunlukla	4,5-5
Pb	<0,5	Az	4
Hg	<0,5		4

Çizelge 2.2’de Hessen (Almanya)’daki tarım alanı ve endüstri bölgesi çevresindeki küçük bahçelerin yüzey topraklarındaki çeşitli elementlerin ortalama total (mg/kg) değerleri verilmektedir. Parantez içerisindeki değerler ekstrem değerlerin elimine edilmesi sonucu bulunmuştur. (Özbek ve ark. 1984).

Çizelge 2.2. Hessen’deki tarım alanı ve endüstri bölgesi çevresindeki küçük bahçelerin yüzey topraklarındaki çeşitli elementlerin ortalama total (mg/kg) değerleri (Özbek ve ark. 1984).

Element	Tarım Toprağı	Şehir Toprağı (bahçe)
Arsenik	9	12
Kurşun	25	225 (145)
Kadmiyum	0,1	0,7 (0,4)
Krom	39	51 (43)
Bakır	18	88 (60)
Nikel	38	28 (25)
Civa	0,09	0,6 (0,6)
Çinko	66	324 (281)

* Parantez içerisindeki değerler ortalama değerlerdir.

Çizelge 2.3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (Anonim 2001).

Ağır Metal (Toplam)	pH 5- 6 mg/kg Fırın Kuru Toprak	pH>6 mg/kg Fırın Kuru Toprak
Kurşun	50 **	300 **
Kadmiyum	1 **	3 **
Krom	100 **	100 **
Bakır*	50 **	140 **
Nikel*	30 **	75 **
Çinko *	150 **	300 **
Civa	1 **	1,5 **

*pH değeri 7'den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Çizelge 2.3'de ise ağır metallerin topraktaki sınır değerleri verilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi Cd, pH'nın 5-6 olduğu topraklarda sınır değeri 1 ppm ve pH değerinin 6 dan büyük olduğu topraklardaki sınır değeri ise 3 ppm olarak bildirilmektedir.

Topraklarda kullanılacak stabilize arıtma çamurundaki müsaade edilen maksimum ağır metal içerikleri Çizelge 2.4'de verildiği gibidir. Kadmiyum için arıtma çamurunda 40 ppm'e kadar yasal sınırlar çerçevesinde izin verilebilmektedir.

Çizelge 2.4. Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları (Anonim 2001).

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg/kg fırın kuru materyal)
Kurşun	1200
Kadmiyum	40
Krom	1200
Bakır	1750
Nikel	400
Çinko	4000
Civa	25

Çizelge 2.5' den de izlenebileceği gibi Kadmiyumun topraklardaki on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilebilecek yük miktarı 15 g/da/yıl, kuru madde olarak bildirilmektedir.

Çizelge 2.5. Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri (Anonim 2001).

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Yük Değeri (g/da/yıl, kuru maddede) *
Kurşun	1500
Kadmiyum	15
Krom	1500
Bakır	1200
Nikel	300
Çinko	3000
Civa	10

* Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Kadmiyum, havaya ve suya nazaran topraklarda daha az mobiliteye sahiptir. Cd'un toprağa girişi doğal ve insan kaynaklı olmaktadır. Doğal kaynaklar ana kayadan yada allivium gibi ana materyallerdir. Kadmiyum topraklarda çok düşük konsantrasyonlarda bulunur. Fakat, gübreler, fosforlu bileşikler, çinko ilavesi, biyolojik atıklar (çöp gibi), organik gübreler ve diğer atıklar gibi ürünlerle topraklara karışabilmektedir (Anonim 2009c).

Çizelge 2.6'da maden cevherleri ve kayaların kadmiyum düzeyleri görülmektedir.

Çizelge 2.6. Maden cevherleri ve kayaların kadmiyum düzeyleri (mg/kg) (Anonim 2009c).

Püskürük, Metamorfik ve Sediment Kayaları	Çinko Cevherleri	Demir Çelik Cevherleri	Çimento materyali	Fosil Yakıtlar	Fosforlu Gübreler	Bakır ve Kurşun Cevherleri
0.02-0.25	200 - 14000	0.1 – 5.0	2.0	0.5-1.5	10-200	~500

Kadmiyum'un, tarım toprakları dışında kalan topraklarda gıda çemberine girerek insan sağlığına etkisi yoktur. Ancak hava veya su taşınımıyla etki edebilmektedir. Tarım topraklarında ise kısmen inmobildir. Fakat, asidik koşullar altında mobil duruma dönüşmektedir. Topraklarda Cd'un kimyası pH kontrolü altındadır. Toprak pH'sının düşmesiyle Cd'un mobilitesi artmaktadır (Anonim 2009c).

Porsuk çayında ağır metal kirlilik düzeylerinin ve halk sağlığı ilişkisinin saptanması amacıyla yapılan bir araştırmada; Porsuk çayının çıkışı olan Oysu ile Eskişehir çıkışı arasındaki on adet örnek noktasından toprak ve bitki yaprakları (*P. australis* ve *S. erectum*) toplanmıştır. Kadmiyum toprakta, 0,344-1,880 mg/kg, *P.australiste* 0,146-0,768 mg/kg, *S.erectumda* 0,188-0,987 mg/kg seviyelerinde bulunmuştur. Sonuç olarak, Porsuk çayındaki ağır metal kirliliğinin

kabul edilemeyecek boyutlara eriştiği saptanmıştır. Bu çayın suyunun şehirlerin içme, kullanma su kaynağı olarak kullanılmaktan vazgeçilmesi ve yeni alternatiflerin bulunulması önerilmektedir (Yücel ve ark. 1995).

Çizelge 2.7. Ürün cinsine göre maksimum ve minimum Cd, Pb, Ni ve As konsantrasyonu mg/kg P) (Köleli ve Kantar 2005).

Ürün Cinsi	n	Cd	Pb	Ni	As
Fosfat kayası	5	32-358	14-335	185-386	58-531
Fosforik asit*	4	95-128	< BL**-25	55-403	21-123
DAP	3	23-171	< BL-11	59-116	43-83
		(5,4-40)***	(< BL-2,6)	(14-27)	(10-20)
TSP	1	134	13	309	82
		(35)	(3,4)	(82)	(22)
20:20:00	4	30-179	<BL-75	109-1931	60-360
		(7,5-44)	(<BL-19)	(27-180)	(15-89)
15:15:15	3	58-134	34-2052	211-1036	49-317
		(14-33)	(8,5-510)	(52-257)	(12-79)
25:05:10	1	87	124	183	92
		(22)	(31)	(46)	(23)
10:15:25	1	58	206	107	244
		(14)	(51)	(27)	(61)
Sınır Değer,**** mg/kg gübre		8	100	-	50

*mg/L, **BL: belirleme limiti, *** mg/kg gübre değeri, ****Çin ve Japonya'da yürürlükte olan gübre metal standart değerleri

n alınan örnek sayısı

Fosfat kayası, fosforik asit ve fosforlu gübrelerdeki toksik ağır metal konsantrasyonunun saptanması amacıyla yapılan bir çalışmada; fosforlu gübre üretmek için tamamen yurtdışından ithal edilen ham fosfat kayasının maksimum Cd, Pb, Ni ve As konsantrasyonu sırasıyla 358, 335, 386 ve 531 mg/kg P olarak belirlenmiştir. Diğer gübrelerle kıyasla fosfat kayası en yüksek Cd (358 mg/kg P) ve As (531 mg/kg P) konsantrasyonuna sahip bulunmuştur. Son yıllarda fosforlu gübre üretiminde ham kaya fosfatının yerini alan fosforik asidin maksimum Cd, Pb, Ni ve As konsantrasyonu ise sırasıyla 114, 11, 201 ve 81 mg/kg P'dir. Ham kaya fosfatı ve fosforik asidin metal içeriği, ithal edildikleri ülkelere göre farklılık göstermiştir. Tarım toprağına uygulanan gübrelerin (TSP, DAP ve kompoze) toksik metal içeriği Çin ve Japonya'da yürürlükte olan Gübre Metal Standart Değerleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre toplam 14 gübrenin 10'unda Cd

konsantrasyonu sınır değer olan 8 mg/kg gübre değerinin üzerinde, 2'sinde ise bu değere çok yakın (7,5 mg/kg gübre) bulunmuştur. Pb konsantrasyonu yalnızca 15:15:15 kompoze gübrede sınır değerin (100 mg/kg gübre) yaklaşık 5 katına (510 mg/kg gübre) ulaşmıştır. Çizelge 2.7'de gübrelerin ürün cinslerine göre saptanan maksimum ve minimum Cd, Pb, Ni ve As konsantrasyonları verilmektedir (Köleli ve Kantar 2005).

Ağır metallerin kil mineralleri tarafından tutulması ve bitkilerce alımının araştırılması amacıyla yapılan bir araştırmada; farklı kil minerali tiplerine sahip üç toprakta ve ağır metallerin adsorpsiyonu ve sera koşullarında ağır metallerin hıyar bitkisi (*Cucumis sativus L. cv. Beith Alpha*) tarafından alımı araştırılmıştır. İncelenen topraklar smektit, illit ve kaolinit kil mineralleri olup incelenen ağır metaller Cu, Zn, Cd, Ni ve Pb'dur. Toprak ve kil fraksiyonunun Cu ve Pb adsorpsiyonunun Freundlich Adsorpsiyon izotermine uygun olduğu görülmüş, bu uygunluk Cu ve Pb elementlerinin birden daha fazla bir molekül sıraları halinde kil minerallerinin tabakaları arasına girdiği şeklinde değerlendirilmiştir. Çinko, Cd ve Ni adsorpsiyonlarının Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu görülmüş, bu durum Zn, Cd, ve Ni ağır metallerinin tek molekül sırası halinde kil minerallerinin tabakaları arasına girdiği şeklinde yorumlanmıştır. Smektit toprakların illitik ve kaolinitik topraklardan daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu görülmüş, bu smektitin yüzey alanının yüksek olduğu ile ilişkilendirilmiştir. Kil mineralojisinin ağır metal adsorpsiyonunda pH'dan daha önemli olduğu görülmüştür. Yüzey alanının azalması ve pH'nın artması ile ağır metal adsorpsiyonunun azaldığı saptanmıştır (Güzel 2006).

Ağır metal kaynaklarının teşhisi ve Hangzhou, Çin'de tarla bazındaki sebze topraklarından alınan örneklerin analizlenmesi amacıyla yapılan bir araştırmada; Her bir tarla boyutu 6,7 ha olan tarlalardan (sebze tarlaları) 100 tane yüzey toprak örneği alınmıştır. Toplam Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, ve Zn konsantrasyonlarını saptamak için bu metallerin kaynakları tanımlanmış ve diğer değişik varyasyonları karakterize edilmiştir. Klasik istatistik ve jeostatistik teknikler uygulanmıştır. Her iki korelasyon da Co, Mn ve Ni'in pedogenik kaynaklardan toprağa giriş yaptığı bulunmuştur. Civa ve kadmiyum ise temel olarak insan aktivitesiyle toprağa giriş yaptığı saptanmıştır (Chen ve ark. 2009).

2. 2. Cd'un Tarım Ürünlerinde Oluşturduğu Toksite

Bitkiler toprağa bulaşmış olan ağır metalleri derişimlerine bağlı olarak biriktirme eğilimindedirler. Bu nedenle topraklardaki ağır metallerin tolere edilebilir miktarlarının saptanmasına gereksinim vardır. Bitkiler özellikle Cd gibi bazı ağır metallere çok geniş sınırlar içerisinde tolerans göstermektedirler. Bundan dolayı tarım ürünlerinde insan ve hayvan beslenmesinde olumsuzluk oluşturacak düzeyde ağır metal birikimi söz konusu olmaktadır. Bu düzeye ulaşmasa bile, bu tür metaller artan dozlarda solunum veya başka kaynaklardan da bünyeye alındığında gıdalardaki düşük dozlar bile risk faktörü olarak ele alınmalıdır (Haktanır 1992).

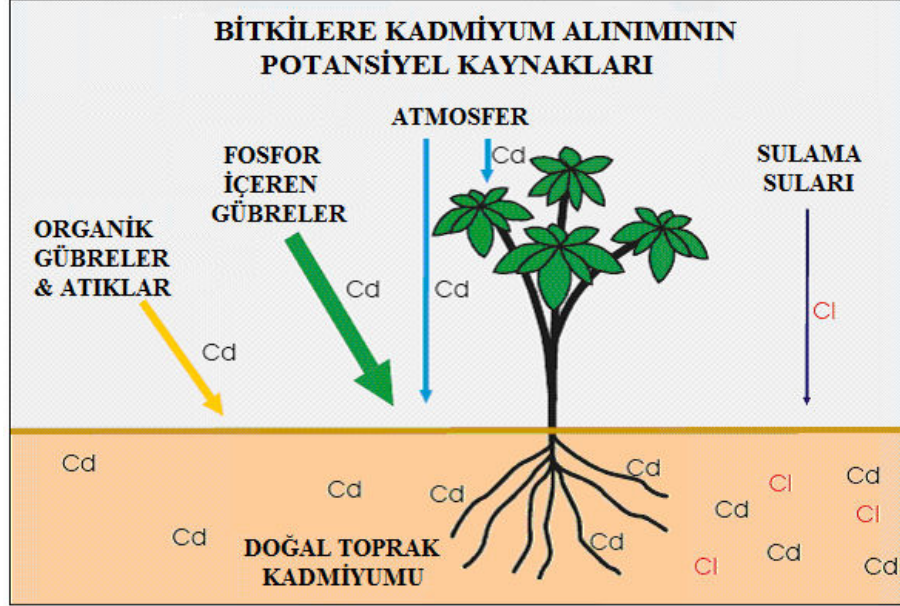
Çizelge 2.8'de Türk Gıda kodeksine göre Cd'un bitkisel besin maddelerinde maksimum bulunması gereken sınır değerler verilmiştir. Çizelgeden de izlenebileceği gibi sebzelerde Cd için sınır değer 0,05 mg/kg yaş ağırlık olarak belirtilmektedir.

Çizelge 2.8. Türk gıda kodeksi gıda maddelerindeki bulaşanların maksimum limitleri hakkında tebliğdeki kadmiyuma ait sınır değerler (Anonim 2008)

Gıda Maddesi	Maksimum limit (mg/kg yaş ağırlık)
KADMİYUM (Cd)	
Tahıllar (kepek, embriyo, buğday tanesi ve pirinç hariç)	0,10
Kepek, embriyo, buğday tanesi ve pirinç	0,20
Soya fasulyesi	0,20
Sebzeler ve meyveler (yapraklı sebzeler, taze otlar, mantar, çam fıstığı, saplı sebzeler, köklü sebzeler ve patates hariç)	0,05
Lifli sebzeler, taze otlar, kereviz ve kültür mantarı	0,20
Saplı sebzeler, kereviz hariç köklü sebzeler ve patates (patates için verilen limit soyulmuş patatese uygulanır)	0,10

WHO'nun standartlarına göre ise gıdalardaki günlük Cd dozu 0,07 mg/gün olarak verilmektedir (WHO 1992)

Ağır metaller bitki içerisine, topraklardan metal iyonları formunda alınmaktadır. Bunlar aynı zamanda şelat kompleksleri olarak da köklere girebilmektedirler. Ayrıca bitkilerin yapraktan da ağır metalleri bünyelerine aldıkları bilinmektedir. Bu durum Şekil 2.5'de açıkça gözlenmektedir.

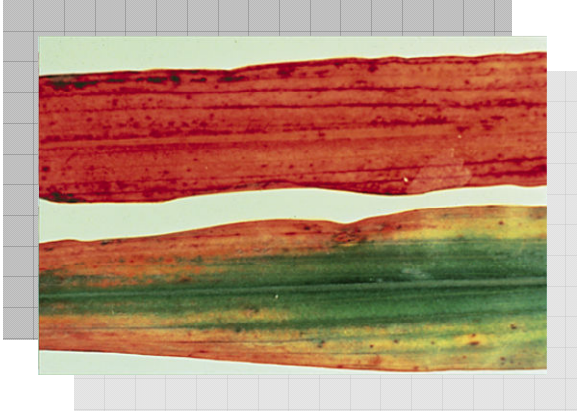


Şekil 2.5. Bitkilerde kadmiyum alınımının potansiyel kaynakları (Anonim 2009c).

Kadmiyum esas olarak bitki kökleri ile topraklardan alınmaktadır. Bitkiler büyüdükleri toprakların oldukça kumlu, asidik ve organik madde içeriği düşük olduğunda kolaylıkla Cd'ü absorbe ederler. Kumlu, kil minerali içeriği ve organik madde içeriği düşük olan topraklarda Cd alınımı artar. Toprak pH'sının düşmesiyle bitkiye Cd alınımı artar. Çinko ve Cd bitkide benzer yollarla alınır. Toprakların Cl konsantrasyonunun artması Cd'un mobilitesini ve bitkiye alınabilirliğini artırır. Yapraklar, kökler, tübüller, tohumlar veya yeşil aksam, taze meyveler gibi bitkinin değişik kısımlarında Cd birikebilir. Marul, ıspanak, patates gibi yeşil sebzeler ve danesi yenen bitkilerde yüksek konsantrasyonlarda Cd birikebilir (Anonim 2009c).

Ağır metallerin tarım alanlarına bulaşması bitki verim ve kalitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bitkilerde Cd toksitesinin gözle görülebilir semptomları büyümenin yavaşlaması ve klorozdur. Kloroz Fe noksanlığından (Haghiri 1973), veya Mn taşınımının sağlanmasından (Godbold ve Hutterman 1985) ortaya çıkmaktadır.

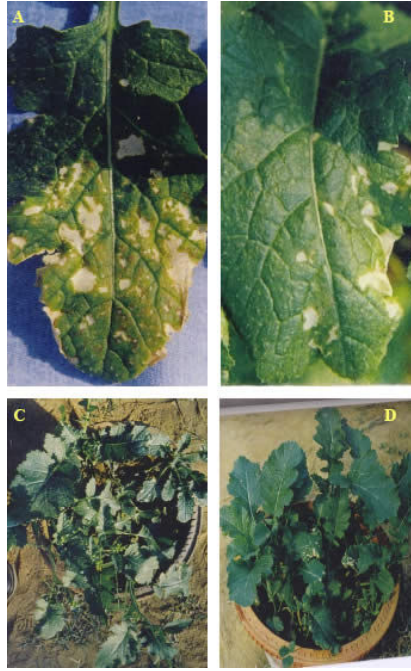
Şekil 2.6'da, Şekil 2.7'de ve Şekil 2.8'de değişik bitkilere ait Cd toksite semptomları gözlenmektedir.



Şekil 2.6. Sorgum'da Cd toksitesi (Anonim 2009b).



Şekil 2.7. Arabidopsiste Cd toksitesi (Anonim 2009b).



Şekil 2.8. Cd toksite semptomları kaynağı (Anonim 2009d).

Lokeshwari ve Chandrappa (2006)'ya göre atık madde içeren göl sularıyla sulanan bitki vejetasyonlarında 21 kat fazla oranda Cd konsantrasyonu saptanmıştır. Ayrıca, ıspanak ve turp'un 4,0 ve 2,5 µg/g Cd içerdikleri saptanmıştır (Anonim 2009c).

Çizelge 2.9. Sebze guruplarının Cd riski (Anonim 2009c)

Kökler ve yumru kökler	Risk	Diğer ürünler
Sarımsak, Patates*, Havuç, Pancar, Soğan	Yüksek	Ispanak, Pazı, Bezelye, Marul, Lahana
Patates*	Orta	Dolmalık Biber, Domates, Mantar, Karnabahar Alfa alfa
Patates*	Düşük	Balkabağı, Yeşil Fasulye, Salatalık

*Patates oldukça spesifiktir.

Çizelge 2.9’da bazı sebze guruplarına göre Cd riskleri verilmektedir. Çizelgeden de izlenebileceği gibi fasulye bitkisinin Cd riski düşüktür. Yani Fasulye bitkisi Cd’a hassas olduğu için bünyesinde daha az miktarda Cd içermektedir. Cd’un düşük dozlarından bile hemen etkilenebilmektedir.

Doğal tip ve mutajenik pirinçte kadmiyumun alınımı, moleküller arası düzensizliği ve kimyasal formlarını araştırmak amacıyla yapılan bir araştırmada; kadmiyum uygulamasının etkinliğinin araştırılmasında; doğal tip (*Zhonghua 11*) ve mutajenik pirinç (*Oryza sativa L.*) bitkileri kullanılmıştır. Tohumlar, 0,5 mmol l-14 Cd⁺² içeren besin solüsyonuyla 14 gün boyunca muamele edilmiştir. Kadmiyum toksitesine pirinç bitkisinin duyarlılığı bitkilerin toksite semptomlarının başlamasının görülmesiyle biomass üretimindeki değişiklikler araştırılarak test edilmiştir. Her iki bitki türünde de Cd toksite semptomları oluşmuştur. Dahası, özellikle mutajenik bitkide, Cd uygulaması köklerdeki, yaprak kınındaki ve yapraklardaki kuru madde üretimini önemli düzeyde düşürmüştür. Mutajenik bitkinin köklerindeki Cd içeriği, doğal tip pirinçten önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Her ne kadar doğal ve mutajenik pirinç türleri arasında köklerin, yaprak kınlarının ve yaprakların Cd içerikleri arasında önemli bir değişim olmasa da; en fazla Cd’un kök, yaprak kını ve yaprakların hücre duvarlarında biriktiği saptanmıştır. Ayrıca mutajenik bitkinin hücre organellerinde daha fazla Cd içeriği gözlenmiştir (He ve ark. 2008).

Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris L.*) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine kadmiyum(Cd⁺⁺) ve civa (Hg⁺⁺)’nın etkilerini saptamak amacıyla yapılan bir araştırmada; Fasulye fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine civa (HgCl₂) ve kadmiyum (CdCl₂.H₂O)’un etkileri araştırılmıştır. Bir haftalık fasulye fideleri 10 gün boyunca Hoagland

solüsyonuyla hazırlanmış farklı konsantrasyonlardaki ağır metal tuzu çözeltilerine maruz bırakılmış ve civa ve kadmiyum uygulaması fidelerin kök, gövde ve yaprak büyümesini önemli oranlarda engellediği saptanmıştır. Bu ağır metallerin konsantrasyonlarındaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyon oranı arasında bir paralellik saptanmıştır. Fidelerin ağır metale maruz kalma süresinin uzaması kök, gövde ve yaprak büyümesindeki azalmanın daha fazla olmasına yol açmıştır. Kadmiyum ve civa stresine kök büyümesinin daha duyarlı olduğu, bunu gövde ve yaprak büyümesinin takip ettiği görülmüştür. Bu iki ağır metalden civanın kadmiyuma göre daha toksik olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar istatistik açıdan $p < 0.05$ ve $p < 0.01$ düzeylerinde önemli bulunmuştur (Zengin ve Manzuroğlu 2003).

Ağır metal toksitesine maruz kalan topraklarda yetişen kültür bitkilerin metal toleransı, metal taşınımı, akümülyasyonu, detoksifikasyonu ve toleransı tam olarak açıklanmayışı asıl problemi oluşturmaktadır. Sadece *Arabidopsis halleri* ve *Thlaspi species.*'in bazı türlerinin moleküler analizleri ve *Saccharomyces pombe* ve *Saccharomyces cerevisiae* gibi bitkilerin model sistemleri kullanılarak; ağır metal toksitesinin metal toleransı, metal taşınımı, akümülyasyonu, detoksifikasyonu ve toleransı açıklanmaya çalışılmıştır (Benavides ve ark. 2005).

Londra'da yoğun trafiğe sahip olan 2 yoldan değişik uzaklıklardan 4 bitki türünde havadan gelen metallerin birikimi ve alınabilirliğini araştırmak amacıyla yapılan bir araştırmada; kentsel alanlarda yüksek miktarda kirleticilerin değişik karışımlarının biriktiği bildirilmektedir. Partikül içeren herhangi bir kirleticinin konsantrasyonu ve biyolojik alınabilirliği ekolojik alıcılardan riskleri araştırarak karakterize edilebilmektedir. Bu araştırmada İngiltere'nin kentsel alanlarının 4 tanesinde; metallerin birikimi ve suda çözünebilirlikleri araştırılmıştır. Yaprakların Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları kırsal kontrol alanları ile karşılaştırılarak verilmiştir. Isırgan ve huş ağacında yoldan uzaklık konsantrasyonları etkilemiştir. Değişik bitki morfolojisi ve yaprak yüzeyine sahip olan selvi ve akçaağaç'ta daha fazla metal konsantrasyonu gözlenmiştir. Çözünebilirlik, fraksiyon büyüklüğüne bağlı olarak gözlenmiştir. Bu yüzden orijinlerinde kaba fraksiyonlara sahip olan metallerin düşük çözünürlük gösterdikleri saptanmıştır (Peachey ve ark. 2009).

Kahverengi pirinç de Cd alınımının tahmini ve toprak korumanın geliştirilmesi toprak-bitki transfer modellerinin türetilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada; Tayvan'ın içlerindeki çeltik tarlalarının Cd düzeylerinin emisyonlar sebebiyle arttığı gözlenmiştir. Gıda kalite standartları, akıllı modeller veya uygun toprak analizleri uygun pirinç üretimini sağlamak için toprakların kalitesini değerlendirmede gerekli pirinç modellendirilmesi için kullanılmıştır. Topraktaki Cd seviyeleri ve pirinç taneleri Tayvan'ın batı ovaları genelinde 19 çeltik alanında ölçülmüştür. Topraktaki kadmiyum düzeyleri 0,1-30 mg kg⁻¹ aralığından az olarak saptanmıştır. Kadmiyum ve Zn birlikte 0,01 M CaCl₂ ekstresi veya toprak tabanlı bitki transfer modeli, reaktif toprak içeriği, pH, ve katyon değişim kapasitesini kullanarak kahverengi pirinç de ölçülen Cd düzeylerinin çok iyi (R² > 0.8) düzeyde olduğu saptanmıştır. Tayvan'da kullanılan mevcut toprak kalite standartlarının aksine; bu modeller topraklarda Cd açısından gıda kalite standartlarını aşan pirinçlerin nerelerde yetiştirildiğinin tespitinde etkili olacaktır (Römkens ve ark. 2009).

Yolların trafik kirliliğinin en iyi göstergesi olarak seçilen özelliklerin haritalanması amacıyla yapılan bir araştırmada; Polonya'nın Olesnica kasabasında ve kontrol bölgesinde yetişen *Robinia pseudoacacia*'nın yapraklarında, ağaç kabuğunda ve topraklarında Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn elementlerinin konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu kasabanın seçilmesinin nedeni hava kirliliğinden kaynaklanan toprak ve bitki kirliliğinin sadece motorlu taşıtların emisyonlarından kaynaklanmasıdır. Trafik yoğunluğuna bağlı olarak, *R. pseudoacacia* yaprakları, ağaç kabukları ve toprakların farklı ürün gruplarına göre haritalanması yapılmıştır. Sadece yaprak kabuğu örnekleri Wrocław'dan Warszawa'ya kadar olan otoyol boyunca yüksek düzeyde kirlenen bölgelerden alınan örnekler gruplandırılarak haritada sınıflandırmaya ilave edilmiştir. *R. Pseudoacacia*'nın ağaç kabuğu araştırılan bölgede uzun dönemde kümülatif trafik yoğunluğunun en iyi biyoindikatörü olarak görülmüştür. Yaprakların ise kısa dönemde mevsimsel olarak en iyi indikatör olduğu saptanmıştır (Samecka-Cymerman ve ark. 2009).

Gıda güvenliği açısından düşük Cd akümülyasyonlarında Çin lahanası genotiplerinin teşhisi amacıyla yapılan bir araştırmada; tarla ve saksı denemeleri, gıda güvenliği için 40 Çin lahanası genotipinde en az Cd'ü alan türü saptamak amacıyla yürütülmüştür. Saksı denemesi sonuçlarına göre toprakların 1,0, 2,5 ve 5,0 mg/kg Cd dozunda ortalama 0,7, 3,07 ve 5,83 mg/kg Cd olarak sürgünlerde ölçülmüştür. P < 0,05 düzeyinde önemli ilişkiler saptanmıştır. 12 lahana

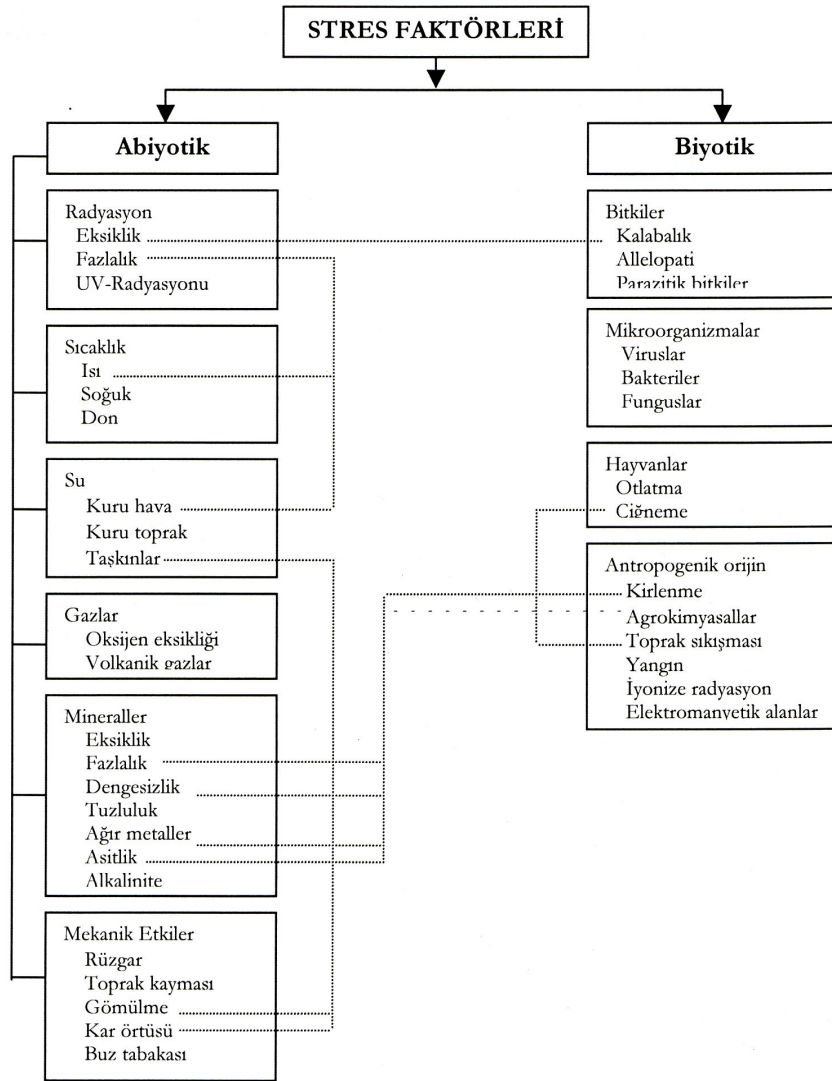
genotipinin Cd konsantrasyonu 0,5 mg/kg'dan daha düşük düzeyde saptanmıştır. Tarla denemelerinde en az Cd biriken lahana genotipi Luxing 70 olarak tanımlanmıştır. Luxing 70'in 1,25 mg/kg'dan daha düşük Cd içeren topraklarda gıda güvenliği açısından rahatlıkla yetiştirilebileceği saptanmıştır (Liu ve ark. 2009).

Ergimiş emisyonlardan etkilenen mısır (*Zea mays L.*) bitkisinde kurşun ve kadmiyumun emisyon kaynakları ve bunların ayrımı amacıyla yapılan bir araştırmada; Bitkiler kökleri veya yapraklarıyla toksik düzeylerde iz elementlerin akümülyasyonuna uğrayacak bölgelerde yetiştirilmişlerdir. Bu araştırmada; güneybatı Çin bölgesinde tipik Zn ergitmelerinden etkilenmiş alanlarda büyüyen mısır bitkisinde Pb ve Cd'un kaynakları ve yayılımı araştırılmıştır. Ergitme aktivitelerinin önemli düzeyde Pb ve Cd'un yüzey toprağında ve mısır bitkisinde birikime neden olduğu saptanmıştır. Kurşun izotop verileri atmosferik Pb'un yapraktan ve daneden alınımının ana yol olduğunu ortaya çıkarmıştır. Kurşun sap ve kök dokularında temel olarak kök alınımıyla elde edilmiştir. Bitkilerde Pb ve Cd konsantrasyonlarının oranı Pb'un değişik davranışını göstermiştir. Kadmiyum'un ise mısır bitkisinde kök alınımıyla topraklardan geldiği saptanmıştır. (Bi ve ark. 2009).

Değişik Fe beslenme düzeylerinde yetişen arpa (*Hordeum vulgare*) bitkisinde Cd toksitesinin araştırılması amacıyla yapılan bir araştırmada; Fe beslenmesi ve Cd toksitesinin birlikte etkileşimi, hidroponik kültürde arpa tohumlarının büyütülmesiyle araştırılmıştır. Arpa Fe alımı için strateji II'yi kullanmaktadır. Örneğin; fitosidreforların salgılanması ve PS-Fe komplekslerinin alınımı gibi. Fakat, aşırı Fe antagonisti olan Cd'un akümülyasyonu ve Fe fazlalığı Cd akümülyasyonunun antagonistidir ve büyümede tersi gözlenmiştir. Thiollerin oluşumunu, alınımdaki yaygın taşınım mekanizmalarını içeren çeşitli biyokimyasal parametreler ve strateji II bitkilerindeki 2 elementin dağılımı Cd ve Fe toksitesinin artmasının yolları temelde değişik yollarla alınmalarına rağmen Cd ve Fe'in her ikisini de içeren malondialdehit ekivalenlerinin ve katalaz aktivitelerinin artmasıyla oksidatif stres gözlenmiştir. Demir konsantrasyonlarının artması Cd içeren ilave aktivasyonları azaltmış veya yok etmiştir. Demir ve Cd arasındaki antagonistik etki gen anlatım düzeylerinde de değişik şekillerde gözlenmiştir (Sharma ve ark. 2004).

2. 3. Bitkilerde Cd Stresi ve Bitkilerin Cd Stresine Karşı Tolerans Mekanizması

Canlılarda hasar meydana getiren güç (potansiyel)'e stres adı verilmektedir. Bu zarar metabolizmanın bozulması sonucu meydana gelmektedir. Sonuçta bir bitkinin veya bitki organının büyümesi ve verimliliğinde azalmaya, hatta ölüme neden olmaktadır (Kocaçalışkan 2008).



Şekil 2.9. Çevresel stres faktörleri ve bunların çoklu ilişkileri (Larcher 1995, Gürel ve Avcıoğlu 2004).

Bitki besin elementlerinin eksikliğinde yetersiz beslenme sebebiyle ve fazlalığında ise toksik etki yüzünden stres oluşmaktadır. Büyüme ve verimde azalma, ölüme varan sonuçlar görülebilmektedir (Kocaçalışkan 2008).

Şekil 2.9’da çevresel stres faktörleri ve bunların çoklu ilişkileri görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi; Bitkilerde, minerallerin stresi noksanlıkları, fazlalıkları veya dengesizlikleri durumunda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bitki ortamının tuzluluğu, ağır metal konsantrasyonu, asitliği yada alkalitesi de bitkilerde stres faktörleri olarak görülmektedir.

Çizelge 2.10. Esas elementler ve bitkideki rolleri (Kocaçalışkan 2008).

Esas Elementler	Yararlı Form	Bitki için esas rolleri
C	CO ₂	Bütün hücresel elemanlar
O	O ₂ , H ₂ O	Bütün hücresel elemanlar
H	H ₂ O	Bütün hücresel elemanlar
N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	Bütün canlı madde, amino asitler, proteinler
K	K ⁺	Şekerin nişasta ve sitrikasite dönüşümünü sağlayan enzimlerin aktivasyonu, fotosentez, tamponlama, osmoregülasyon
Ca	Ca ⁺⁺	Hücre çeperi, hücre Permeabilitesi, tamponlama
S	SO ₄ ⁼	Canlı madde, proteinler, klorofil sentezi, nodül oluşumu
P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁼	Canlı madde, nükleoproteinler, lipoidler, fosforilasyon enzimleri
Mg	Mg ⁺⁺	Klorofil molekülünün porfirin kısmı, heksokinaz, karboksilaz, dehidrojenaz, peptidaz aktivatörü, fotosentez, tamponlama
Cl	Cl ⁻	iyonik rol
Fe	Fe ⁺⁺⁺ , Fe ⁺⁺	Porfirin bileşiklerinin sentezi, sitokrom enzim sistemi, klorofil sentezi
Mn	Mn ⁺⁺	Klorofil sentezi, nitratların nitrite redüksiyonu, arginaz, karboksilaz, dehidrojenazların aktivatörü
Zn	Zn ⁺⁺	Triptofan sentezi, fosforilasyon, kloroplastlardaki enzimlerin aktivatörü, karbonik anhidrazın kofaktörü
Cu	Cu ⁺ , Cu ⁺⁺	Polifenoloksidaz, lakkaz ve askorbik asit oksidaz kofaktörü
B	H ₂ BO ₃ ⁻ , B ₄ O ₇ ⁼	Fosforilasyon enzimleri, glutamin sentezi, nodül oluşumu
Mo	MoO ₄ ⁼	Nodül oluşumu, tanin sentezi, nitratların nitritlere redüksiyonu

Bitkilerde besin stresine neden olan elementler daha çok topraktan alınanlardır. Bunların strese neden olması çeşitli faktörlere bağlıdır.

1. Minerallerin topraktaki azlığı (Azlığı yada fazlalığı)
2. Topraktaki formu (Alınış formunun bulunmaması-eksiklik),
3. Minerallerin bitkilere faydalı olabilmesi için geçirecekleri kimyasal değişiklikler
4. Toprak çözeltisinin su miktarı
5. Toprağın pH'sı (Elementlerin pH'ya göre çözünmesi),
6. Minerallerin (iyonların) absorpsiyonu ve taşınımı (Kocaçalışkan 2008).

Bitki besin elementlerinin bitkideki rolleri Çizelge 2.10'da verilmiştir. Bu besin elementlerinin noksanlığında hücrede ne gibi değişimlerin olabileceği ancak bu elementlerle yapılacak çalışmalar sonucu ortaya çıkabilecektir.

Bitkilerde stres faktörlerine karşı iki farklı tepki gözlenmektedir: Bunlar; stres faktörlerinden kaçınma veya bunlara karşı toleranstır.

Kaçınma: Stres faktörlerinin bitki dokularına girişinin önlenmesi veya azaltılmasını ifade etmektedir. Bu mekanizma aşağıda belirtilen yollarla gerçekleşmektedir:

- a) Bitkinin çevre ile temas halinde olduğu yüzeylerinde morfolojik ve kimyasal kompozisyondaki değişiklikler: Yaprak ayasının alanı ve kalınlığı, stomaların büyüklüğü ve yoğunluğu, kütikulanın kalınlığı ve kimyasal kompozisyonu, yaprak ve kök salgılarında toksik ve engelleyici komponentlerin oluşumu
- b) Ontogenetik değişimler (stres faktörlerinden mevsimsel olarak kaçınma): Stres olayından önce dormant ontogenetik faza (tohum, yumru oluşumu) geçiş sağlayarak, bitki üretkenliği garantili hale gelmektedir.

Tolerans: Stres faktörlerinin etkisini elimine etme, azaltma veya tamir etme mekanizmalarını ifade etmektedir. Bu tepki tipi, doku seviyesindeki değişiklikleri (sakızların, yara periderminin oluşumu gibi), subselüler seviyedeki değişimleri (duvar ilavelerinin; membran, kloroplast ve hücre duvarı modifikasyonlarının oluşumu gibi), moleküler (sekonder metabolitlerin,

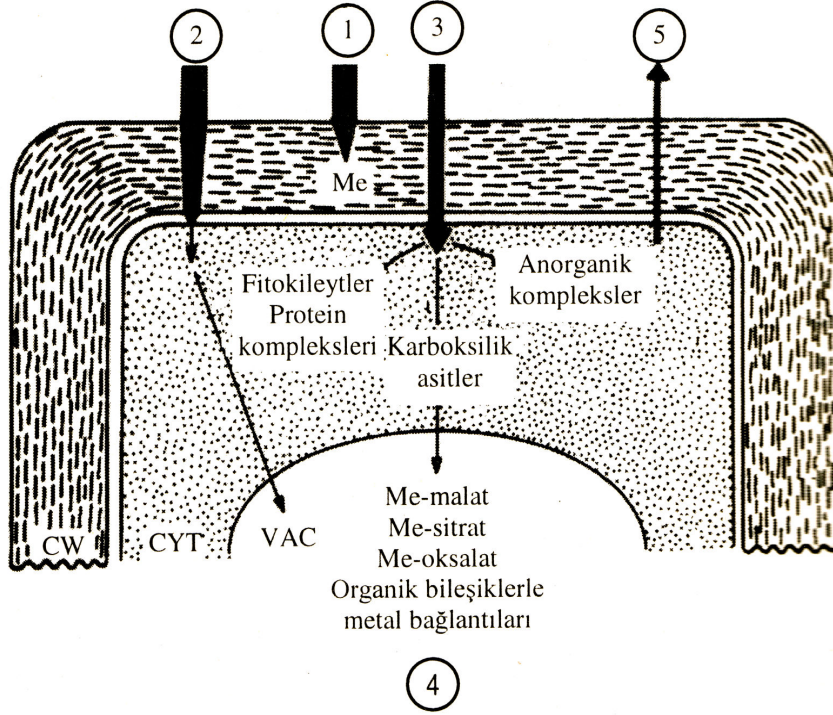
polisakkaritlerin, fenol polimerlerin ve stres proteinlerinin sentezi) ve submoleküler seviyedeki değişiklikleri kapsamaktadır (Gürel ve Avcıoğlu 2004).

Ağır metallere adaptasyon:

Birçok bitki minimal konsantrasyonların artma göstermesi ile ağır metallere duyarlı hale gelmektedir. Belirli bitki türleri, bulaşık habitatlar üzerinde büyüyebilirler; çünkü bu bitkiler, ağır metal fazlalıklarını zararsız kılacak kaçınma mekanizmalarını geliştirmişlerdir. Bu mekanizmalar;

1. Alınımın azalması; hücre duvarında toksik iyonların immobilizasyonu (protoplastla temas önlenir),
2. Protoplazmayı çevreleyen tabakaların içinden geçişin önlenmesi
3. Sitoplazmada kükürt içeren polipeptidler (glutathion ve glutamil sistein türevleri), SH içeren proteinler ve metal toksitesinden korunmayı sağlamak üzere teşvik edilen stres proteinleri ile şelat oluşumu, ve
4. Ayrıca; Kompartimentalizasyon ve vakuolde organik ve inorganik asitler, fenol türevleri ve glikozitler ile komplekslerin oluşumu (Kacar ve ark. 2002) ve tekrar yer değiştirmesidir (Gürel ve Avcıoğlu 2004).
5. Ağır metallerin hücre dışına taşınması sağlanır (Kacar ve ark. 2002).

Ağır metallere kimi bitkilerin duyarlı olmalarına karşın kimi bitkiler ise geliştirdikleri çeşitli mekanizmalarla ağır metal fazlalığına karşı dayanıklılık göstermektedirler (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Ağır metallere dayanıklılık kazanmak için bitkiler tarafından geliştirilen mekanizmalar (Cumming ve Taylor 1990) (CW= Hücre duvarı; CYT=Sitoplazma;VAC=Hücre vakuölü; Me=Ağır metaller) (Kacar ve ark. 2002).

2. 4. Cd'un Bitki Proteinleri Üzerine Etkisi

Stres Proteinleri ve Tolerans

Yapılan araştırmalar sonucunda, stres etkisiyle bitkide bazı özel proteinlerin sentezlendiği belirlenmiştir. Bunlara stres proteinleri denilmektedir. Bu konuda en çok çalışılan sıcaklık ve anaerobik stres proteinleridir. Fizyologlar, sıcaklığa cevap proteinlerinin (HSP) sentezlendiğini ilk önce *Drosophila melanogaster*'de, daha sonra diğer bitkilerde belirlemişlerdir. HSP üç grup altında toplanmaktadır:

1. 68-104 kD (kilo dalton) molekül ağırlığındaki proteinler, bunlar hayvanlarda, bakterilerde ve bitkilerde ortaya çıkmaktadır.
2. 20-33 kD molekül ağırlığındaki proteinler, bunlar yalnızca yüksek bitkilerde ortaya çıkmaktadır.
3. 15-18 kD molekül ağırlığındaki proteinler, bunlar da yüksek bitkilerde grlmektedir (Kocaçalışkan 2008).

Ağır metaller, UV ışınları, kuraklık gibi stres kaynaklarında da stres proteinleri sentezlenmektedir. Ancak bu alandaki araştırmalar yetersizdir. Soya bitkisinde kuraklık stresi proteinlerinin HSP'ye benzediği belirlenmiştir. Bu stres proteinlerinin muhtemelen prolin, betain ve polyaminler gibi azotlu bileşiklerin sentezinden sorumlu oldukları sanılmaktadır. Çünkü, bu azotlu maddeler kuraklık stresine cevap olarak oluşurlar. Hormonların stres proteinlerinin oluşumunda rol oynamaları muhtemeldir (Kocaçalışkan 2008).

Son yıllarda bu alanlardaki araştırmalar; stres proteinlerinin izolasyonu, karakterizasyonu ve bu proteinlerin şifrelendiği genlerin klonlanması ve toleranslı olmayan bitkide ekspresyonu üzerinde yoğunlaşmıştır (Kocaçalışkan 2008).

Strese direli bitkiler elde etmek mümkündür Ancak; Stresten sorumlu gen ve karakterlerinin teşhis edilmesi ve bütün bitkiler için uygun vektör mikroorganizma bulunması gerekmektedir.

Örneğin; en çok kullanılan vektör organizma *Agrobacterium tumefaciens* yalnızca dikotil bitkilere aşılabilir. Halbuki tahıllar monokotildir. Ancak, son yıllarda; DNA'nın strese toleransından sorumlu parçasının direk olarak protoplast nükleusuna aktarılması elektroporasyon tekniği ile veya mikro enjeksiyon yoluyla gerçekleştirilmiştir. Fakat henüz tam olumlu bir sonuç alınmamıştır. Çünkü bu DNA verildiği hücrede transkribe olmaktadır (Kocaçalışkan 2008).

Strese toleranslı bitkiler geliştirme çalışmaları biyoteknolojik metotlarla yapılmaya başlanmıştır. Bunun için bitki fizyologları, biyokimyacılar, moleküler biyologlar ve bitki beslemecilerin koordineli çalışmalarına ihtiyaç vardır (Kocaçalışkan 2008).

Akuatik toksikolojide stres proteinleri konusunda yapılan bir derlemede; konuyla ilgili özellikle son yıllarda yapılmış olan literatürlerin bir araya getirilmesi amaçlanmıştır. Kirleticilerin biyolojik etkisinin moleküler seviyede belirlenmesinde biyomarkır olarak genellikle stres proteinleri kullanıldığı bildirilmektedir. Stres proteinleri en önemli hücresel mekanizmalardan biri olup hücrenin korunmasında rol oynamaktadır. Özellikle sucul organizmalar (alg, tek hücreliler, rotifer, yumuşakçalar, eklembacaklılar, kabuklular, balık vb.) üzerinde yapılan toksikolojik çalışmalarda stres proteinlerinin hassas ve önemli bir indikatör olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Alak ve ark. 2007).

Akut Cd toksitesinin pirinç tohumlarında açığa çıkardığı fizyolojik ve protein nesil değişimlerinin incelendiği bir araştırmada; tohum çimlenmesi, ağır metallerce çeşitli şekillerde etkilenebilen bitkilerdeki kompleks, fizyolojik bir proses olduğu bildirilmektedir. Kadmiyum stresinden çimlenmenin etkilenmesi proteomik düzeyde araştırılmamış olduğu bildirilmektedir. Bu çalışma, kadmiyumun ortaya çıkardığı çimlenme safhasındaki protein profillerinin değişimini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Proteomik yaklaşım morfolojik ve fizyolojik parametrelerle birlikte uygulanmıştır. Tohumlar 0,2 ve 1,0 mM arasındaki geniş Cd aralığında çimlendirilmiştir. Orta seviyedeki Cd konsantrasyonunun artışı tohumlarda Cd akümüülasyonunun ve TBARS içeriğinin artmasıyla sonuçlanmıştır. Fakat; çimlenme oranı, filiz uzaması, biomass ve su içeriği önemli düzeylerde azalmıştır. Kadmiyum stresine karşı en az 1,5 katı fazla oluşmuş olan toplam proteinlerin geçici artışı 2-D elektroforezi ile araştırılmış ve 21 protein tanımlanmıştır.

Proteinlerin tanımlanması, dayanıklılığı, detoksifikasyonu, antioksidan, protein biyosentezi ve çimlenme proseslerini içeren çeşitli prosesler içermektedir. Kadmiyum stresine cevap olarak oluşan bu proteinlerin tanımlanması çimlenme düzeyinde tohumların ağır metallere karşı moleküler temelin daha iyi anlaşılmasını sağlayacağı bildirilmektedir (Ahsan ve ark. 2007).

Kadmiyumun açığa çıkardığı *Lepidium sativum* L. fideciklerinde büyüme ve protein profilindeki değişimleri incelemek amacıyla yapılan bir çalışmada; ağır metal stresine bitkinin metabolik yanıtı henüz açıklanmadığı bildirilmektedir. Yapılan bu araştırmayla, *Lepidium sativum* L. fideciklerinde değişik Cd konsantrasyonlarının etkisi incelenmiştir. Büyümenin azalması ve fideciklerin kontrolünün ve hipokotillerin 10-25 kDa aralığında proteinlerin akümüülasyonunda Cd'un sonuçlarının artan konsantrasyonları *L. sativum* tohumlarında ortaya çıkmıştır. Bu proteinlerin çoğu sadece *L. sativum* tohumlarının ekstraktında bulunmuştur. 2D elektroforezinin ardından ESI-MS ile yapılan analizler bu proteinlerin oluşan bant desenleriyle çeşitli *Cruciferae* türlerindeki depo proteinlerine benzerlik gösterdiği saptanmıştır. İlk bitki uzaması ve çimlenme süresince metalce ortaya çıkarılan yanıt; depo protein katabolizmi ve bitki protein anabolizminin her ikisinde inhibasyonu içerdiği gözlenmiştir. Ek olarak, her iki proteininde Cd şoku altında fideciklerin salgılarında yüksek miktarda varlığı saptanmıştır. Proteinlerdeki değişimlerin morfolojik değişimlerin belirgin hale gelmesiyle birlikte 2D elektroforezi kullanılarak saptanmıştır. Proteomik düzeyde böylece çevre kirliliğini değerlendirmek için *L. sativum* bitkisinin tohumlarının çok hassas olduğu saptanmıştır (Gianazza ve ark. 2007).

Kadmiyum stresi altında ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) yapraklarında proteolitik sistemin araştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada; protein sentezi ve bozunumu arasındaki denge ve büyüme parametrelerinin Cd ile artan oksidatif strese etkisi, ayçiçeği yapraklarında araştırılmıştır. Bitkiler 100, 200 ve 300 M CdCl₂ içeren hidroponik kültürlerde 10 gün boyunca çimlendirilmiştir. Cd uygulamasını takiben 0-4 gün arasında analizleri yapılmıştır. Bütün Cd konsantrasyonlarında yaprak alanı, yaş ve kuru ağırlık artmış fakat yaprak oransal su içeriği 200 ve 300 M Cd⁺² ile düşmüştür. Kontrol ve örnek bitkileri benzer çözünebilir protein içeriğine sahip bulunmuştur ve bu koşullar altında çözünebilir proteinlerin sınıflarının aynı oranda olduğu gözlenmiştir. Kadmiyum uygulamasında proteaz aktivitesi artmış fakat proteaz aktivitesi

önemli düzeyde azalmıştır. 20S protozomun görünüşü Cd uygulanan bitkilerde kontrole göre benzer bulunmuştur. Kadmiyum, Cd uygulaması gören bitkilerin karbonil gruplarının içeriklerini ve ubiquitin- bağlı proteinlerde artışa sebep olmuştur. Kadmiyum proteazın spesifik aktivitesinde artışa sebep olmuş, fakat bu artışın okside olan proteinlerin akümülyasyonundan kaçınmayla ilgili olmadığı saptanmıştır. Proteinlerin oksidasyonu Cd uygulamasının en önemli etkilerinden biridir. Bu sonuçlar, Cd stresinde ayçiçeği bitkilerinin proteolitik sistemlerdeki rolleri için önemli bilgiler sağlamıştır (Pena ve ark. 2006).

Lupinus albus'un kontrollü koşullarda çözünebilir karbonhidratlar, serbest amino asitler, protein içeriğine Cd'un etkisini araştırmak amacıyla yapılan bir araştırmada; Kontrollü koşullarda beyaz lupin'de (*Lupinus albus L. cv. Lublanc*) çözünebilir karbonhidratlar, serbest amino asitler, proteinler, CO₂ fiksasyonu stomal iletkenlik, interselüler CO₂ ve su potansiyeli Cd stresi sonucunda değerlendirilmiştir. Bitkiler 15 gün boyunca 0-0,01-0,1-1-10-100 M CdNO₂ içeren solüsyonlarda tutulmuştur. 0,1 M Cd hariç Cd uygulanan ve kontrol bitkileri arasında kuru maddede önemli bir değişim saptanmamıştır. Düşük Cd konsantrasyonlarında, toplam çözünebilir karbonhidratlar ve toplam serbest aminoasitler Cd uygulanan bitkilerde artmıştır. Fakat 0,1 M Cd dozunun üzerinde düştüğü saptanmıştır. Zıt olarak rafinoz, mannoz, hidroksiprolin düzeyleri Cd konsantrasyonları ile artmıştır (Costa ve Spitz 1997).

Leita ve ark. (1991); Marchetti ve Leita (1995) ve Urwin ve ark. (1996)'ya atfen Doğan (2005)'ye göre; Cd uygulanması birçok türde moleküler ağırlıkları 10.000 ile 70.000 Dalton arasında değişen çok sayıda stres proteinlerin sentezini indüklediği bulunmuştur. Kadmiyum etkisinde bırakılmış *Phaseolus vulgaris* köklerinde moleküler ağırlıkları 42 000 (Leita ve ark. 1991), 52.000 ve 19.000 Dalton olan proteinler indüklendiği gözlenmiştir (Marchetti ve Leita 1995). *Datura innoxia*'nın hücre süspansiyon kültürlerinde Cd'nin 70.000, 50.000-60.000, 22.000-24.000 ve 20.000 Dalton ağırlıklı proteinleri indüklediği saptanmıştır (Urwin ve ark. 1996).

Fasulye (*Phaseolus vulgaris L.*) bitkilerinde Cd toksitesinin azaltılmasında Ca⁺²'nin ilavesinin incelendiği bir araştırmada; yaygın fasulye bitkisinde Cd, dal uzunluğu, dal taze ağırlığı, dal kuru ağırlığı ve 100 ve 200 µM'lük CdCl₂'ün her iki konsantrasyonundaki her

bitkide büyümede önemli düzeylerde yavaşlamaya sebep olduğu saptanmıştır. Her bitkinin yaprakları ve çiçekleri yüksek konsantrasyonlarda CdCl₂ içermesine rağmen kök büyüme parametreleri Cd toksitesinde önemli bir cevap vermemiştir. Kadmiyum stresi (100µM CdCl₂) içeren bitkilere CaCl₂ ilavesi (100µM) dal taze ağırlığı, kök uzunluğu , çiçek sayısını ve her bitkinin tane sayısını arttırmıştır. Klorofil A, Klf B ve total Klf içeriği CdCl₂ konsantrasyonunun artmasıyla azalmasına rağmen karotenoidler artmıştır. Kalsiyum klorür ilavesi ile Klf A ve toplam Klf içeriği artmış fakat Klf B içeriği azalmıştır. SDS-PAGE'deki protein profilinin toplam protein içeriği CdCl₂ ile uygulamaya maruz kalan bitkilerde azalmıştır. Her ne kadar CaCl₂ (100mM)'ün ilavesi ile Cd stresinin sebep olduğu protein bantlarının çeşitleri üzerine doğrudan etkisi olmasa da; yüksek molekül ağırlıklı proteinlerin (116 ve 85,54 kDa) 200 µM'lük CdCl₂ ile inhibe olmuştur. Düşük moleküler ağırlıklı proteinlerin sentezi (26,11 kDa) CdCl₂ uygulaması ile tamamıyla bloke olmuştur. 100 mM'lük CaCl₂ ilavesi 28,57 kDa proteininin sentezini sağlamıştır. 101 kDa'luk moleküler ağırlığa sahip polipeptidin sentezi CdCl₂'nin yüksek konsantrasyonu ile indüklenmiştir. Kadmiyum klorür uygulamalarından sonra gelişen çöküş, bozunum ve kök dokularının kahverengileşmesini takiben hücrelölümler saptanmıştır. Kalsiyum klorür ilavesi CdCl₂ ile dokularda oluşan bozunumun ve kahverengileşmeyi kısmen düzeltmiştir (İsmail 2008).

2. 5. Cd'un Bitkilerin Fizyolojik Yapısında Meydana Getirdiği Değişimler

Bitkilere, topraktaki kadmiyum ilk olarak bitki kökleri tarafından almaktadır ve toksik etkileri ilk bu bölgede olmaktadır. Bitki köklerinde, Fe (III) redüktazın inhibasyonu; Fe (II) eksikliğini ortaya çıkmakta ve sonuç olarak bu da fotosentezi etkilenmektedir (Alcantara ve ark. 1994). Genelde, Cd alınımında, taşınımında ve kullanımında Ca, Mg, P ve K gibi diğer metallerle etkileşim göstermektedir (Das ve ark. 1997). Dokulara geçen Cd RNA sentezini değiştirebilir ve ribonükleaz aktivitesini inhibe edebilmektedir (Shah ve Dubey 1995). Kadmiyum ayrıca sürgünlerde nitrat redüktaz aktivitesinin inhibisyonuna neden olarak sürgünlere azot taşınmasının azalmasına neden olabilmektedir. (Hernandez ve ark. 1996). Ayrıca kadmiyum toksitesi, bitki su bütçesinin bozulmasına da yol açmaktadır (Costa ve Morel 1994).

Genelde Cd kükürt metabolizmasının metabolik proseslerine karşı yüksek afinite göstermektedir. İlk etkilerini ATP-sülfürilaz (De Knecht ve ark. 1995) ve adozin 5-fosfosülfat sülfotransferaz üzerinde göstermektedir (Nussbaum ve ark. 1988). Kadmiyum hücre sitoplazmasına girdiğinde kükürt metabolizmasıyla ilişkili bir mekanizma olan fitoşelatin sentezi önemli oranda artmaktadır. Ağır metaller arasında özellikle Cd fitoşelatin (γ -Glu-Cys)_n-Gly (n=2-11) sentezini aktive edebilir ve böylece sitoplazmada serbest olarak dolaşımını engelleyen kompleksler (moleküler ağırlığı 2500 ya da 3600 Dalton) oluştururlar (Grill ve ark. 1985).

Kadmiyum iyonları çalı fasulyesinin kök ve yapraklarında çoğunlukla pektik yapılar ve hücre duvarının histidil grupları tarafından bağlanmıştır (Leita ve ark. 1991). Bu mekanizma ortamdaki Cd derişimi ve bitki türüne göre değişiklik gösterebilmektedir. Domateste (Inouhe ve ark. 1991) ve *Silene cucubalus*'da hücre duvarlarında (Verkleij ve Schat, 1990) Cd biriktiği rapor edilmiştir.

Porter ve Sheridan (1981) ve Bhardwaj ve Mascarebhas (1989)'a atfen Kacar ve ark. (2002)'ye göre; Cd⁺² çoğu bitki türlerinde karotenoidlerin ve klorofillerin sentezine olumsuz şekilde etki yapmaktadır. Porter ve Sheridan (1981) konsantrasyonu 1-20 $\mu\text{g ml}^{-1}$ arasında değişen Cd⁺²'un yonca bitkisinde fotosentezini önemli derecede geriletliğini saptamışlardır.

Benzer şekilde artan Cd^{+2} konsantrasyonuna bağlı olarak buğday fidelerinde toplam klorofil konsantrasyonu gibi klorofil A/klorofil B oranı da azalmıştır (Bhardwaj ve Mascarebhas 1989).

Turp tohumlarının çimlenmesinin erken dönemlerinde Cd'un plazma zarındaki Ca kanalları boyunca huce içine girdiği rapor edilmiştir (Rivetta ve ark. 1997). *Lactuca sativa* ve *Lupinus albus*'da kök salgılarında asparajin düzeylerinde artma olduğu saptanmıştır (Costa ve ark. 1997).

Fitoşelatinler spesifik bir -glutamil sistein dipeptidil transpeptidaz olan fitoşelatin sentez yolu ile glutatyondan sentezlenmektedirler (Grill ve ark. 1989). Kadmiyum uygulamasının birkaç dakika sonrasında inaktif olan fitoşelatin sentaz aktive edilerek fitoşelatin sentezlenir ve ortamdaki serbest Cd şelatlanmaya başlamaktadır. Serbest Cd oranı azaldığında da bu enzim inaktive edilmektedir (Loeffler ve ark. 1989). Fitoşelatin üretim kapasitesi yüksek olan bitkilerde Cd'un şelatlanması detoksifikasyonu önemli bir mekanizmadır (Gekeler ve ark. 1989).

Kadmiyum etkisinde bırakılan *P. vulgaris* bitkilerinde ozulebilir ve ozulemez fenoliklerin akümüle olduğu belirlenmiştir. Aynı bitki turu ile yapılan diğer bir araştırmada Cd etkisindeki bitkinin köklerindeki etilen üretiminin sürgünlerden daha fazla olduğu bulunmuştur. Kadmiyum stresi sırasında etilen üretiminin stimülasyonu 5-10 saat metal muamelesinde maksimum seviyeye ulaşmış, daha sonra yavaş yavaş düşerek bir gün içinde kontrol seviyesine ulaşmıştır. Bu araştırmacılara göre etilen üretimindeki bu azalış, Cd'nin huce içinde bağlanması kaynaklanmıştır (Rodecap ve ark. 1981). şimdiye kadar yapılan çalışmaların azlığı nedeniyle, bugüne kadar Cd'un toksite mekanizmasının, tamamıyla açıklanmasının mümkün olmadığı belirtilmiştir (Di Toppi ve Gabbrielli 1999).

Asit topraklardaki ürün verimi belirgin şekilde azalmaktadır. Dahası Al hariç kombine ağır metal kirliliğine birçok bölgede saptanmıştır. Yürütülen bu alışma Al, Cd ve Cu toksite kombinasyonları altında gerçekleştirilmiştir.  ağır metalde asit topraklarda çok sık kombine şekilde gorlmektedir. İki çeşit arpa fidesinin Al toleransı ve interaksiyonları tanımlanabilir. Bitki büyümesi, metal akumulasyonları, total ozunebilir protein ve şeker içerikleri, MDA içerikleri ve SOD ve POD aktivitesi besin solüsyonuna yüksek miktarda ağır metal uygulaması yapılarak 5

hafta sonunda köklerde araştırılmıştır. Sonuçlar düşük pH (pH 4,5) içeriklerinde stres davranışları içerdiğini göstermiştir ve hücre metabolizmasının işlevini bozduğu ve bitki büyümesini olumsuz etkilediği bildirilmektedir. Toksik semptomların artması Al, Cd ve Cu'nun yüksek akümülyasyonunda, çözünebilir şeker içeriğinde hafif bir düşüş göstermiştir. Fakat MDA içeriğinde büyük bir azalma olmuştur. Çözünebilir protein içeriği düşmüş ve köklerde, yapraklarda SOD ve POD aktiviteleri çok fazla miktarda artmıştır. Dahası, Al+Cd ve Al+Cu ikili kombinasyonlarının her ikisinde de arpa fidelerinin büyümesinde sinergistik etkiler olmuştur. Shang 70-119 için kısmen oluşurken, Al+Cu+Cd metal kombinasyonunda her iki genotipte de değişik reaksiyonlara yol açmıştır. Böylece, önemli sinergistik etki Shang 70-119'da görülmüştür. Fakat antagonistik etki Gebeina'da saptanmıştır. İki genotipin 3'lü metal kombinasyonuna tepkisi farklı olmuştur. Ayrıca, Shang 70-119'da Cd ve Cu'nun varlığı Al akümülyasyonunu yükseltmiş fakat Gebeina'da inhibe etmiştir (Guo ve ark. 2007).

Mısır bitkisinde Cd, toksik semptomlara neden olmuş ve bitkinin tolerans mekanizması aktive olmuştur. Bitkide Cd toksitesi koşullarında, büyümenin engellenmesi, su ve iyon metabolizmasındaki değişiklikler, fotosentezin engellenmesi, enzim aktivite değişiklikleri, ve serbest radikallerin değişimleri gibi bir takım fizyolojik değişiklikler saptanmıştır. Kadmiyum stresinde fotoşelatinlerin sentezi ve taşınımının başlamasında diğer defans mekanizmalarının da önemli rolü olduğu saptanmıştır (Magda Pál ve ark. 2006).

Pisium sativum bitkisinde Cd toksitesinde metal ve tiol akümülyasyonunun köklerde ve yerüstü organlarda arttığı saptanmıştır. Ayrıca; köklerin Cd akümülyasyonunda temel organ olduğu saptanmıştır. Fakat tohumlar $2 \mu\text{g Cd g taze ağırlık}^{-1}$ düzeylerinde Cd akümülyasyonuna maruz kalmıştır. Sonuçlar daha önceki hidroponik kültürlerde yapılan çalışmalarla karşılaştırılmış ve saptanan sonuçlarla göze çarpan oranda Cd ve tiol akümülyasyonunda farklılıklar saptanmıştır. Meyvelerdeki Cd seviyeleri insan beslenmesinde izin verilen dozlardan daha yüksek bulunmuştur bu yüzden de gıda döngüsündeki zehirlerin seri riskleri ve Cd ile kontamine olmuş topraklardaki Cd akümülyasyonu ile ilgili daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç olduğu bildirilmektedir (Gusmão Lima ve ark. 2006).

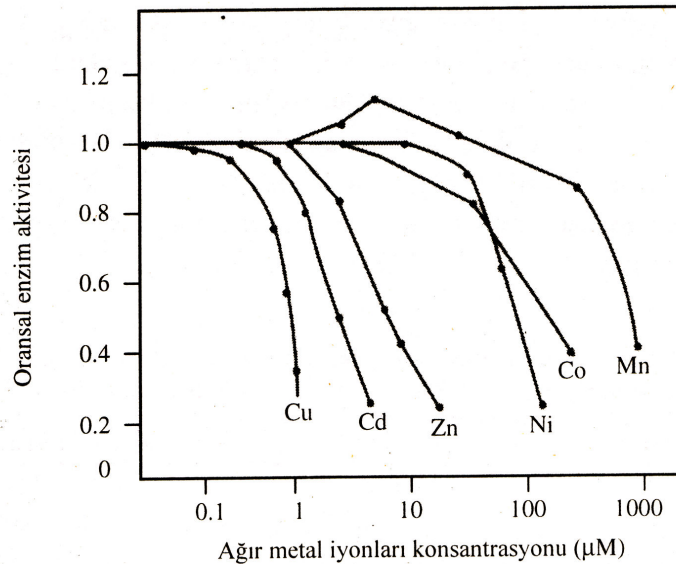
Kadmiyum yaprakların yaşlanmasına ve hücrelerin ölmesine neden olmaktadır. Her ne kadar, yaşlanma ve ölmeye etilenin görevi olsa da bu tamamı ile açıklanamamıştır. Bu araştırmada, domatesin etilen gelişimi engellenerek, Cd stresi altında %89 duyarsız LeACS2 (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase geni) iletimi açıklanmıştır. LeACS2 duyarsız bitkilerde, Cd'la indüklenme sonucu hücre ölümlerinin azaldığı saptanmıştır. Kadmiyum içeren hücrelerin ölümü için etilen gerekmiştir. Etilenin bu hücre ölümlerindeki fonksiyonu H₂O₂ gerektirmektedir. Hidrojen peroksit akümüasyonu Cd'un varlığında etilen bloklanması inhibe etmiştir. LeACS2 'ye duyarsız bitkilerde, Cd klorofilin ve yaprak proteinlerinin kaybına neden olmuştur. LeACS2 duyarsız bitkilerin yaprak performansları temelde CO₂ asimilasyonuna ve transpirasyonun sağlanmasına bağlı olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar etilenin yaprak ölümlerinin düzenlenmesinde ve yaprak performansındaki düzenleyici rolünü tanımlamıştır (Liu ve ark. 2008).

Jussiaea rapens L.'in sürgünleri 0, 7, 15, 30, 60 mg l⁻¹ kadmiyum içeren besin solüsyonları ile 2-5 günlük denemelerin sonucunda bitki fizyolojisine etkileri açığa çıkmıştır. Net fotosentez oranı, %54,8-62,7 oranında sadece en yüksek 2 Cd dozunda inhibe olmuştur. Klorofil floresans parametreleri Fv/Fm, qP ve ETR % 16,8 7, 90 oranında en yüksek kadmiyum dozunda 5 gün sonra düşmüştür. Buda Fotosistem II' nin aktivitesinde zarara yol açmıştır. Klorofil A (Klf A), Klf B ve toplam klorofil (Klf) içeriğinde azalma göstermiştir. Klorofil B' nin düşüşü 5 gün sonra ortaya çıkmıştır. Superoksit dismutaz (SOD)'ın aktivitesindeki önemli artış bütün Cd dozlarında en yüksek %149 oranlarında artış şeklinde görülmüştür. Ayrıca karatinoit içeriği kontrole göre 5 kat artmıştır. SOD aktivitesinde ve karotenoit'deki artış *J. Rapens*'de Cd'un sebep olduğu oksidatif stresi ortaya çıkmıştır. Kök canlılığı bütün Cd denemesinde negatif etkilenmiştir. Her ne kadar, [Cd²⁺] değerleri fotosentetik parametreleri inhibe etse de, diğer çeşitli türlerden daha dayanıklı olduğu saptanmıştır. Bu toksik metale *J. rapens*'in bir derece daha dayanıklı olduğu da söylenebilmektedir (Li ve ark. 2008).

Kadmiyum stresinin çeşitli düzeylerinde bitki adaptasyonunda tiol metabolizmasının gelişimi fitoşelatinlerin gerçek önemini ve stres durumunda oluşan tiollerle ilişkisini anlamak için önemlidir. Yapılan bu çalışma değişik Cd konsantrasyonlarının etkisi altındaki *Pisum sativum L.* köklerinde stres adaptasyon proseslerinin araştırmak için dizayn edilmiştir. 1, 3, 30, 60

ve 120 mM Cd dozları bitki köklerine uygulanmış ve 1, 3, 6 ve 9 gün sonra hasat edilmiştir. Büyüme parametreleri ve kök dokusu analiz edilmiştir. 30 mM Cd 'dan daha yüksek dozlardaki uygulamalarda kökün büyümesinin etkilendiği saptanmıştır (Lima ve ark. 2006).

Barbunya (*Phaseolus vulgaris*) ve mısır (*Zea mays*) fidelerinin hidroponik kültür denemesi, Cd stresi altında Lanthanum elementinin etkilerini araştırmak için yapılmıştır. 30 ve 300 $\mu\text{mol l}^{-1}$ Cd^{+2} stresi altındaki iki üründe de büyümenin devamlı olarak inhibe edildiği ve metabolizmaya uyumsuz olduğu saptanmıştır. Bitki boyu, ana kök uzunluğu, yaprak alanı ve yaş ve kuru kök ağırlığı, doku ve yaprakların tümünde doğal bir azalma varlığı saptanmıştır. Ayrıca, Cd stresi altında kontrole göre, klorofil içeriği azalmıştır; membran geçirgenliği, malonaldehide (MDA) içeriği, katalaz aktivitesi (CAT) ve peroksidaz aktivitesi (POD) artmıştır. Bu iki ürün için Cd stresinin uzaması daha fazla zarara sebep olmuştur. Barbunya ve mısır fidelerinde, Lanthanum elementi; fotosentetik kapasiteyi artırarak, Cd stresini azaltmaya, membran geçirgenliği ve MDA içeriğinin azaltılmasında yardımcı olabilmektedir. Her iki bitkide de CAT ve POD aktivitesini koruyabildiği saptanmıştır (Huang ve Zhou 2006).



Şekil 2.11. Artan miktarlardaki değişik ağır metal iyonlarının nitrat redüktaz enzim aktivitesi üzerine etkileri (Ernst ve Josse-van Damme 1983) (Ağır metal uygulandığında oransal enzim aktivitesi=1.0) (Kacar ve ark. 2002).

Ağır metal konsantrasyonunun artması bitkilerdeki nitrat redüktaz aktivitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Ernst ve Josse-van Damme (1983) tarafından yapılan bir araştırmada; ağır metal konsantrasyonlarındaki bu artışın oransal olarak nitrat redüktaz aktivitesi üzerine olan etkileri Şekil 2.11’de gözlendiği gibidir.

Tarım topraklarındaki ağır metal kirliliği probleminin bir parçası, ürün verimliliğinin sınırlandırılmasıdır. Hindistan’da, *Brassica juncea* büyük miktarda yağ ürünü olarak yetiştirilmektedir. Bu ürün daha çok, topraktan Zn, Pb, Cd gibi toksik ağır metallerin fitoekstraksiyon dahil fitoremidasyon uygulamalarıyla toprak ıslahı konusunda yararlı olabilmektedir. Her ne kadar, yüksek Cd konsantrasyonları ile yüksek verimli türler arasında topraktan en yüksek Cd kaldırma potansiyeli büyük öneme sahip olsa da; *B. juncea* türünün seçimi, Cd’un bu bitkinin metabolizması üzerinde az etkiye sahip olması ve bu nedenle verimin artması ile toprak ıslahına yardımcı olmak amacıyla *B. juncea* türlerinin (V1-V10) 10 tanesi genellikle Hindistan’da yetiştirilen ve Cd özütlenme potansiyelini ve Cd stres direnç derecesini belirlemek amacıyla bu çalışma için seçilmiştir. *B. juncea* türlerinin on günlük fideleri 72 saat kadmiyum klorürün (0.0-2.0 mM) çeşitli dozlarını içeren çözeltilerde kalmış ve yetişen bitki kültürü ve yaprak örnekleri 24, 48 ve 72 saat sonunda hasat edilerek analiz edilmiştir. lipid peroksidasyonu, bitki uzunluğu, biyokütle birikimi, kadmiyum birikimi ve katalaz faaliyetleri (CAT, 1.11.1.6), süperoksit dismutaz (SOD, 1.15.1.1), askorbat peroksidaz (APX, 1.11.1.11) ve glutatyon redüktaz oranlarındaki değişiklikler (GR, 1.6.4.2) askorbat (ASC) ve glutatyon içeriği ile birlikte analiz edilmiştir. Bitki uzunluğunda bir azalma, biyokütle birikimi, CAT aktivitesi ve askorbat içeriği tüm türlerde belirtildiği gibi olduğunu, ancak, lipid peroksidasyonu oranının, Cd birikimi ile önemli bir artış oluşturduğu, APX, GR, SOD ve glutatyon içeriklerinin etkinlikleri ile gözlenmiştir. *B. juncea* cv. *Pusa Jai Kisan* (V5) lipid peroksidasyon oranında en az artış göstermiştir, ancak biyokütle ve türler arasında Cd ve glutatyon içeriğinin yüksek düzeyde biriktiği saptanmıştır (Qadir ve ark. 2004).

Büyüyen *Arachis hypogaea* L. fidelerinde kadmiyum fitotoksitesinin araştırılması amacıyla yapılan bir araştırmada; tohumlar 25, 50 ve 100 mmol/l CdCl₂ konsantrasyonlarındaki çözeltilerde, 10, 15, 20 ve 25 dakikalık sürelerde bırakılmıştır. Klorofil hasarının kapsamı, protein, proline, nitrit ve nitrat redüktaz, yaprakların ve köklerin antioksidan enzim aktivitesi, 10

günlük kadmiyum stresinden sonra değerlendirilmiştir. Kadmiyum konsantrasyonları ve uygulama sürelerindeki artışla, kadmiyum en yüksek konsantrasyonunda (100 mmol / l) toplam klorofil % 91,01, protein % 79,51, % 83,61 nitrat redüktaz % 79,39 % 80,72 ve nitrit redüktaz aktivitesi % 77,07 % 75,88 oranında azalmasıyla (yaprak ve kökler) sonuçlanmıştır. Kadmiyum antioksidatif enzim aktivitesinde önemli değişikliklere neden olmuştur. Zıt olarak, Cd uygulanan bitki dokularında, proline % 159,87, % 239,6, glutathion redüktaz (GR) % 337,72 % 306,14, süperoksit dismutase (SOD) % 688,56 % 381,72 ascorbate peroksidaz (APX) % 226,47 %252,14, peroksidaz (POD) % 72,19, % 60,29 ve katalaz (CAT) % 228,96 % 214,74 olarak kontrole göre bir artış gözlenmiştir. Kadmiyum strese sebep olmaktadır ve bitki türlerinin kök olarak SOD faaliyet oranında önemli bir artış saptanmamıştır. Sonuçlar çok düşük kadmiyum konsantrasyon değerlerine duyarlı olan ürün *A. hypogaea* olduğunu göstermiştir (Dinakar ve ark. 2008).

Abiyotik strese açık olan ve oksidatif zarar oluşturduğu bilinen bitkilerde salisilik asidin rolünü daha iyi anlamak için; doğal *Arabidopsis thaliana* genotipinin ve SA-noksan transgenik bitkilerin (SA=Salisilik asit) Cd uygulamasına verdikleri yanıtlar araştırılmıştır. Kadmiyum uygulamasından 5 gün sonra doğal tip tohumlarda, klorofil içeriği önemli düzeylerde azalmıştır, ve TBARS önemli miktarda artmıştır. Fakat SA-noksan olan bitkilerde bu durum oluşmamıştır. Doğal tip bitkilerin yaprakları H₂O₂ akümülyasyonunun görülmesiyle metalleri açığa çıkarmıştır ve oksidatif glutation içeriği artmıştır ve GSH/GSSG oranının düşmesiyle sonuçlanmıştır. Kadmiyum uygulamasından sonra, transgenik bitkilerde H₂O₂ artışının engellenmesinin neden olmasıyla oluşabilen SOD aktivitesinde önemli bir düşüş (kontrole göre yaklaşık %50) gözlenmiştir. Çeşitli H₂O₂-detoksifik enzimlerin aktivitesi, metallerin (%27-35 düşüşü) doğal tip tohumlarda azalmıştır. SA-noksan bitkilerde askorbat peroksidaz ve glutation peroksidaz aktivitesi açıkça azalmıştır fakat guaiacol peroksidaz ve katalaz aktiviteleri önemli düzeylerde artmıştır. CAT 1 izoformu, Cd açığa çıkmasıyla doğal arabidopsis bitki türlerinde kısmen artışa sebep olmuştur. Fakat oransal olarak belirlenmiştir ve sadece transgenik düzeyde metal akümülyasyonundan etkilenmemiştir. Hatta SA'in koruyucu etkileri birçok bitki türleri için kapsamlı bir şekilde rapor edilmiştir. Bulunan sonuçlara göre SA miktarının *A.thaliana* da artmasının sonucu Cd'un neden olduğu oksidatif stresin artmasını güçlendirmiştir (Zawoznik ve ark. 2007).

Kadmiyumun *Ceratophyllum demersum* L. üzerindeki bazı fizyolojik ve morfolojik etkileri konusunda yapılan bir araştırmada; farklı derişimlerdeki Cd (0, 0.01, 0.1 ve 1 mg l⁻¹)'un etkisinde 96 saat bırakılan *Ceratophyllum demersum* L.'de meydana gelen bazı fizyolojik ve morfolojik değişiklikler araştırılmıştır. Kadmiyum uygulamasının dūřuk derişimlerinde dikkate değer morfolojik değişim olmazken, yūksek derişimde ise yapraklarda dōkūlmeler ve kısmi doku yumuşmalarının olduğu gōrūlmūřtır. Kadmiyumun 0.01, 0.1 ve 1 mg l⁻¹ derişimlerinde yetiştirilen makrofit dokularının Cd derişimlerinin kontrole gōre sırasıyla 15.4, 33.5 ve 160.0 kat arttığı belirlenmiştir. Toplam cōzūlebilir şeker ve protein miktarları Cd uygulaması tarafından azaltılmıştır. Prolin ve sistein aminoasitlerinde belirlenen artışlar bunların Cd stresinde rollerinin olduğunu gōstermiřtir. Toplam askorbat miktarındaki en yūksek artış % 91.5 ile 1 mg Cd l⁻¹'lik derişimde belirlenmiştir. Dięer yandan lipid peroksidasyonunda artışların olması, Cd stresinin membranlarda oksidatif hasara neden olduğunu gōstermiřtir (Doęan ve Saygıdeğer 2009).

Bazı domates ve tūtūn genotiplerinde kadmiyum etkilerini inceleyen istatistiksel bir cālıřmada; fotoperiyot uygulanan ve karanlık řartlarda yetiřtirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. (domates) ve *Nicotiana tabacum* L. (tūtūn) tūrlerinde artan konsantrasyonlarda uygulanan kadmiyum elementinin etkisiyle bitkilerin morfolojik ve fizyolojik bazı özelliklerinde gōzlenen deęiřimler incelenmiřtir. 13 farklı konsantrasyonda kadmiyum içeren besin cōzeltlerinde gerçekleřtirilen cālıřmada, tohumların çimlenme yūzdelerinde 1000 ve özellikle 2000 ppm kadmiyum konsantrasyonları ile birlikte dikkat çekici azalmalara tanık olunurken, kōk ve hipokotil geliřimlerinin yūksek konsantrasyonlarda uygulanan kadmiyumun etkisi ile önemli ölçūde indirgen-dięi tespit edilmiřtir. Domates fideciklerinde özellikle 200 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile birlikte kōkuk, hipokotil ve kotiledonlarda önemli ölçūde Cd⁺² birikimi saptanırken, aynı konsantrasyonda kadmiyum etkisine maruz bırakılan tūtūn fideciklerinde Cd⁺² katyonu belirlenememiřtir. Her iki bitki tūründe de çimlenme yūzdeleri, fideciklerde metal iyonlarının birikimi, kōk, hipokotil ve kotiledon geliřimleri gibi deęerlendirme kapsamına alınan tūm parametrelerde kadmiyum toksitesinin belirleyen en önemli faktōrūn genotip etkisi olduęu gōzlenmiřtir (atak ve ark. 2000).

Maydanoz (*Petroselinum hortense*) bitkisinde kadmiyum stresinin antioksidant enzim aktiviteleri üzerine etkileri konusunda yapılan bir araştırmada; sanayileşme ve kentleşme ile birlikte çevre kirliliğinde artış gözleendiği bildirilmektedir. Ekosistemde ağır metal birikiminin bitkisel ve hayvansal organizmaların yaşamını tehdit ettiği söylenmektedir. Ayrıca, kadmiyum (Cd) bitkisel organizmaların yaşamı için gerekli olmamasına rağmen daha çok toksik etkisiyle bilinmektedir. Kadmiyum, bitkilerde fotosentez, transpirasyon ve karbonhidrat metabolizması gibi çok sayıda fizyolojik ve biyokimyasal olayları inhibe etmektedir. Bu çalışmada, maydanoz fideleri 75 µM, 150 µM ve 300µM CdCl₂ ile 15 gün muamele edilerek bitki yapraklarında prolin, H₂O₂, lipid peroksidasyonu ve antioksidant enzim aktiviteleri araştırılmıştır. Cd konsantrasyonuna bağlı olarak yaprakların Cd ve prolin miktarları artmıştır. Ayrıca, Cd yaprakların H₂O₂ içeriğinde ve lipid peroksidasyonunda artışa neden olmuştur. Katalaz aktivitesi uygulama gruplarında azalırken, askorbat peroksidaz aktivitesinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. 150 µM'lık Cd konsantrasyonu peroksidaz aktivitesini önemli oranda artırırken, Cd'nin diğer konsantrasyonlarının POD aktivitesini azalttığı saptanmıştır (Uluslu ve ark. 2007).

2. 6. Cd Toksitesi ile İlgili Yapılan Fitoremediasyon Çalışmaları

Nottingham (1998)'e atfen Gürel ve Avcıoğlu (2004)'na göre; Topraklar, metal yada diğer bulaştırıcıların yüksek miktarlarını içerebilirler. Transgenik bitkiler, bu koşulları tolere etmek amacıyla da üretilmiştir. Örneğin; yüksek kadmiyum seviyelerine toleranslı olan tütün, metalothionin-bağlı proteini kodlayan bir genin fareden izole edilip aktarılması ile elde edilmiştir. Bitkiler, ayrıca, “biyoremediasyon” diye bilinen bir işlem yardımıyla bulaşık alanları temizlemek için de kullanılırlar. Transgenik bitkiler, gelecekte bu alanlarda da önemli bir rol oynayabileceklerdir (Nottingham 1998).

Ağır metaller tarafından kirlenmiş toprakların arıtımı amacıyla kullanılan; İzolasyon ve immobilizasyon teknolojileri, mekanik ayırma teknolojileri, pirometalurjik teknolojiler, elektrokinetik teknolojiler, biyokimyasal teknolojiler, toprağı su / sıvı ile yerinde temizleme teknolojileri, toprak yıkama teknolojileri ile, fitoremediasyon teknolojileri gibi birçoğ metot bulunmaktadır. Fitoremediasyonun önemli avantajlarından birisi proses maliyetinin son derece ekonomik olmasıdır. Yapılan bir araştırmada, fitoremediasyonla bitkilerin maksimum 9.4 mg/kg Cd'ü topraktan alabildiği saptanmıştır (Gürel ve Avcıoğlu 2004).

Brassica carinata ile doğal yollarla oluşan bitkisel metal ekstraksiyonunun saptanması amacıyla yapılan bir çalışmada; *Brassica caninata* bitkisinin metalik renklere sahip olan *Pinus pinaster*, *Plantago lanceolata* ve *Silene paradoxa* populasyonları ile As, Cd, Cu, Pb ve Zn gibi topraktan alınabilen metallerin akümülasyonu metal kombinasyonlarını içeren topraklardan bu metallerin uzaklaştırılması amacıyla araştırma yürütülmüştür. Toprakten ekstrakte edilebilir metal konsantrasyonunun artması *B. Carinata*nın toprakaltı kısımlarındaki metal akümülasyonunun artmasına bağlı olarak; metalik renklere sahip populasyonların artışını sağlamıştır. Metalik renge sahip türde de kök salgılarının rollerinin ve metal alınabilirliğinin artmasının açıklanması amacıyla analiz edilmiştir. Metallerin varlığında organik ve fenolik asit salgıları flavonoidler kadar artış göstermiştir. Sonuçta kök salgılarının metallerin toprakta çözünümü ve alınımı açısından önemli oldukları saptanmıştır (Quartacci ve ark. 2009).

Su kültürü koşullarında yetişen iki bitki türünde ağır metal fitoekstraksiyon kapasitesinin araştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada; sorgum ve alfa alfa önemli 2 bitki türü olarak seçilmiştir. Hidroponik araştırmada ağır metallerin akümülyasyonunun kapasitesi araştırılmıştır. Kadmiyum, Ni (divalent katyonları) ve Cr (trivalent ve hexavalent)'un 1-80 mg/l'lik konsantrasyon oranında besin solüsyonlarına tek tek ilave edilmiştir. Cr III EDTA kompleksi şeklinde biyoakümülyasyonu arttırmak için kullanılmıştır. Alfa alfada Cr(III) ve Cr(VI)'ün bitkinin üst aksamına metal taşınım konsantrasyonları artmıştır. Fakat biriken Ni(II) düzeyi sadece gereken düzeyde kalmıştır. Sorgumda Cr(VI) ve Ni (II) alfa alfada ki benzer sonuçları vermiştir. Fakat kök düzeyinde metallerin yüksek akümülyasyonlarına bağlı olarak solüsyonda Cd (VI) ve Cr (III) konsantrasyonları artmıştır. Alfa alfa bitkisinde 500 mg/kg (üst aksamda) ve 1500 mg/kg (köklerde) Cr (III) kuru maddede saptanmıştır. Sorgum biyomasında bir zarar olmadığı durumlarda; sırasıyla, 500-1100 mg/kg (üst aksamda ve 300-2000 mg/kg (köklerde) Ni (II) ve Cd (II) konsantrasyonları saptanmıştır (Bonfranceschi ve ark. 2009).

Ağır metal hiperakümülyatörleri ve hiperakümülyatör olmayan bitkilerin fitoekstraksiyon potansiyelinin model değerlendirilmesi amacıyla yapılan bir araştırmada; serada hiper ve hiper olmayan akümülyatör bitki türlerinin Zn/Cd remidasyon kapasitesinin değerlendirilmesi sınırlıdır. Fitoekstraksiyon için tarla uygulamaları ve sera denemeleri arasındaki farklılıklar arasında bir köprü kurmak için, bitkiler ve toprak arasında ağır metallerin bölümlenerek açıklanmasında literatür bilgileri kullanılmıştır (biyokonsantrasyon faktörlerinin tanımlanmasında). Zn/Cd hiperakümülyatörleri olan *Thlaspi caerulescens* ve *Arabidopsis halleri* ve hiperakümülyatör olmayan *Nicotiana tabacum* ve *Brassica juncea* bitkilerinin remidasyon yetenekleri karşılaştırılmıştır. Tayvan çevre koruma ajansının düzenlemeleri, kirlenen bölgelerin temizlenmesi için gerekli olan değerlendirmelerin yapılması için kullanılmıştır. Her iki akümülyatörün de yüksek konsantrasyonlarına rağmen, metal alınımı bitkilerin küçük biyokütleri nedeniyle sınırlı kalmıştır. Bitkilerin daha fazla araştırılması ve geliştirilmesi *N. Tabacum* ve Cd arasındaki ilişkilerin; yüksek biyomas ve çevresel kirlenmenin temizlenmesinde kullanılabilmesi için fitoekstraksiyon potansiyellerinin geliştirilmesi gerektiği bildirilmektedir (Liang ve ark. 2009).

Ağır metallerce kirlenmiş kalkerli kent topraklarının remidasyonunu arttırma potansiyelinin saptanması amacıyla yapılan bir araştırmada; kuvvetli ve kısmen kirlenmiş kalkerli topraklarda soggüt (*Salix viminalis*)'ün ağır metal alınımı ve büyüme performansı; fitoremidasyon amacıyla soggüdün büyüme çemberi denemesi ve tarla denemeleriyle araştırılmıştır. Tarla alınımı, büyüme çemberi alınımından 2-10 kez daha yüksek bulunmuştur. 18 mg/kg Cd, 1400 mg/kg Cu ve 500 mg/kg Pb içeren kuvvetli kirli topraklarda büyüyen soggüdün yapraklarındaki Cd (≥ 80 mg/kg) ve Zn (≥ 3000 mg/kg)'nun yüksek konsantrasyonlarına rağmen; zayıf büyümeye sebep olan aşırı kirli topraklarda uygun olmadığı tespit edilmiştir. Her ne kadar soggüt, en fazla mobil fraksiyondan muhtemelen her yıl toplam Zn'nun %0,29'u ve toplam Cd'un %0,13'ünü ekstrakte edebileceğini gösterse de; Cu ve Pb kalkerli topraklarda kuvvetli bir şekilde fiksasyona uğramıştır (Jensen ve ark. 2009).

Genetik olarak modifiye edilmiş tütün bitkisiyle Cd'un fitoakümülyasyonunun geliştirilmesi, Cd toksitesine dönüşümlerin fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlarının araştırıldığı bir araştırmada; besin elementi solüsyonunda Cd artışının tütün bitkisinde (modifiye edilmiş ve edilmemiş bitkide) dayanıklılığı karşılaştırılmıştır. Transgenik bitkilerde köklerde ve yapraklarda daha fazla Cd'un önemli düzeylerde akümüle olduğu saptanmıştır. Çeşitli toksite semptomları ve su dengesindeki düzensizlikleri, dokuların içerisindeki Cd ile korele edilmiştir. 300 M'lık CdCl₂ uygulaması fotosentezin inhibasyonu ve askorbat-glutation döngüsünün mobilizasyonu ile sonuçlanmıştır. 500 M'lık CdCl₂ uygulaması fotosentezde ve oksidatif streste geri dönüşümü olmayan zaralara sebep olmuştur. Yeni peroksidaz izoformunun ve yaprak polipeptid desenlerindeki değişimlerin gözlenmesi, en yüksek Cd konsantrasyonunda sağlanmıştır. Protein yapısında olmayan tiollerin düzeyleri transgenik ve transgenik olmayan bitkilerin her ikisinde de Cd uygulamalarının devam etmesiyle yavaş yavaş arttığı saptanmıştır (Gorinova ve ark. 2007).

2. 7. Cd'un İnsan Metabolizması Üzerine Etkinliği ve Atılım Mekanizmaları

Adsorpsiyon: Civa ve kurşundan farklı olarak Cd, bileşiklerinde yalnızca Cd^{+2} değerliğindedir ve toksikolojik önemi olan alkil ve diğer organik bileşikleri yoktur. Halojen, sülfat ve nitrat tuzları suda oldukça çözüldüğü halde; oksit, hidroksit ve karbonatları ise suda çözünemez formdadır. Kadmiyum metali ise oldukça yüksek buhar basıncına sahiptir. Endüstride kadmiyum buharlarına ve bileşiklerinin aerosollerine, tozlarına maruz kalınmakta ve böylece inhalasyon yolu ile organizmaya girmektedir. Suda çözünen tuzları ($CdCl_2$ gibi) kolayca akciğerlerden kana absorbe olabildiği halde, suda çözünmeyenler alveoller makrofajlarla veya silyularla uzaklaştırılmakta ve gastrointestinal yolla yutulmaktadır (Vural 1996).

Kadmiyum gastrointestinal yolla, daha az miktarda (%5-7 kadar) absorbe olur. İnce bağırsaklardan absorpsiyonu kalsiyum, demir ve protein eksikliğinde artar. Kalsiyum absorpsiyonunda rol oynayan protein sentezi, kalsiyum eksikliğinde artmakta ve Cd absorpsiyonunu hızlandırmaktadır. Metalloprotein'in (Cd, Zn ve Hg ile birleşen düşük molekül ağırlıklı protein) ise bu absorpsiyonu dengelediği tahmin edilmektedir (Vural 1996).

Kadmiyum metabolizması çinko metabolizmasına çok benzer. Esensiyel eser element olan çinkonun dokudaki düzeyinin Cd'a maruz kalma ile arttığı gözlenmiştir (Vural 1996).

Dağılım ve Metabolizması: Kümülatif bir zehir olan kadmiyum başlıca karaciğer ve böbrekte toplanır. Günde 1 μg kadar düşük miktarda kadmiyum absorpsiyonunun 40 yıl içinde vücut kadmiyum yükünü 14,6 mg'a çıkardığı hesaplanmıştır. Total kadmiyum vücut yükünün yarısı karaciğer ve böbrekte toplanır. Ayrıca kanda eritrositlerde ve kemik dokusunda da kadmiyum birikir (Vural 1996).

Çok kümülatif bir metal olan kadmiyumun böbreklerdeki konsantrasyonu yaş ilerledikçe (50 yaşa kadar) artar. Biyolojik yarı ömrünün 19-38 yıl arasında değişebileceği tahmin edilmektedir. Vücuttaki çeşitli organ ve dokulardaki birikiminde, kadmiyumu bağlayan düşük molekül ağırlıklı bir protein olan metalloproteinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu proteinin

Cd, Zn, Hg, Ag ve Sn gibi metalleri bağlayabilmesi içerdiği yüksek miktardaki sistein ile açıklanmaktadır. Metallothionein, böbrek, karaciğer, dalak, barsak, kalp, beyin, akciğer ve dokuda bulunmaktadır. Kadmiyum birikim yerlerinde metallothionein ile bağlanmıştır. Kronik zehirlenmelerde kan dolaşımındaki kadmiyumun %90'ının kan hücrelerinde bulunduğu ve kısmen metallothioneine ve kısmen de hemoglobine bağlandığı gösterilmiştir. Serumdaki kadmiyum ise metallothioneinle değil, daha yüksek molekül ağırlıklı proteinlerle birleşirler (Vural 1996).

Kadmiyum başlıca idrarla atılır. İdrarla kadmiyum atılımı normal kişilerde litrede 0-50 µg arasında olabilir. Yaşla vücut kadmiyum yükü artmakla beraber, atılım miktarı değişmez. Endüstride yüksek miktarda kadmiyuma maruz kalma sonucu idrarla atılım hem absorbe olan kadmiyum miktarına ve hem de yaşa bağlı olarak artar. Belirli bir miktarda kadmiyum inhalasyonu ve absorpsiyonu ile kandaki kadmiyum konsantrasyonu ancak bir yıl gibi uzun süre sonra dengeye ulaşır. İdrarla atılan miktar ise maruz kalınan kadmiyum konsantrasyonundan hemen etkilendiği için, biyolojik tarama araştırmaları, idrarda kadmiyumun tayinine dayanır. Kadmiyum az miktarda dışkı, ter, süt ve saçlarla da atılır (Vural 1996).

Toksisite ve etki şekli: Kadmiyum tuzlarının insanlardaki letal dozları tam bilinmemekle beraber, tuzlarının çözünürlüğüne bağlı olarak 350-8 500 mg arasında değiştiği ve minimal akut dozunun 10 mg, olduğu tahmin edilmektedir. Metal buharlarının havadaki letal konsantrasyonu (LC₅₀) 1 dakika için 2 600 mg/m³ tür. Endüstride, havada, 8 saat çalışma süresi için, TLV (TWA) değeri, metal buharı için 0.05 mg/m³; metal tozu için 0.5 mg/m³ tür (Vural 1996).

Bugün FAO/WHO (Gıda-Tarım ve Dünya Sağlık Örgütü) tarafından Cd için tolere edilebilen değer 400-500 µg/g olarak bildirilmektedir. Türkiye'de işyeri havasında izin verilen en yüksek değerler kadmiyum ve çözünebilen bileşiklerin tozları için 0.2 mg/m³, CdO için 0.1 mg/m³, kadmiyum arsenat için 1 mg/m³ olduğu bildirilmiştir (Vural 1996).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Yapılan bu denemede *Phaseolus vulgaris* (Fasulye) bitkisi kullanılmıştır. Fasulye çeşidi olarak MAY Tohumculuğun GİNA çeşidi kullanılmıştır (Şekil 3.1). GİNA Fasulye; Romano tipinden geliştirilmiş, erkenci bodur fasulye çeşididir. Baklaları yassı, yeşil renkli ve kılçıksızdır. •



Şekil 3.1. GİNA fasulyenin meyvesine ait bir görünüm (Anonim 2009).

Çok yüksek verimli olan çeşidin hasadı kolaydır. • Uzun süren hasat sezonunda bakla kalitesi bozulmaktadır. • Taze tüketim ve konservelik kalitesi mükemmeldir. • İlkbahar ve güzlük ekimler için uygundur. • Türkiye'ye çok iyi adapte olmuş, fasulye üretimi yapılan bütün bölgelerde en çok yetiştirilen ve aranılan çeşittir. • Fasulye Mozaik Virüsü'ne karşı dayanıklıdır.

Denemede kullanılan Gina Fasulyenin tohumuna ait; Analiz No: 21391, Çimlenme oranı: %85, Safiyeti: %99.9, Paketlenme Tarihi: 01-2008, Lot No'su: MTG2017-I.12/071226'dır.

GİNA Çeşidi fasulyenin bitki özellikleri Çizelge 3.1'de belirtildiği gibidir.

Çizelge 3.1. Gina çeşidi fasulyenin bitki özellikleri (Anonim 2009).

FASULYE										
Çeşit	Bitki Özellikleri			Bakla Özellikleri					Hastalık Dayanımı	
	Olgunlaşma Zamanı (Gün)	Bitki Yapısı	Ekim Alanı	Bakla Boyu (cm.)	Bakla Eni (cm.)	Bakla Dane Sayısı	Bakla Rengi	Tohum Rengi	Orta	Yüksek
Gina	48 - 50	Güçlü	AS, S	15 -17	1.8	5 - 6	Yeşil	Beyaz		BCMV

AS Açık Saha

S Sera

BCMV Fasulye Genel Mozaik Virüsü

3.2 Yöntem

Fasulye bitkisi laboratuvar ortamında ve kontrollü koşullar altında 3 kg'lık saksılar içerisinde yetiştirilmiştir. Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi arazisinden alınan toprak örneği 5 mm'lik eleklerden geçirilerek saksılara konulmuştur. Bitkilerin gelişimlerini normal olarak sürdürebilmesi amacıyla her saksı toprağına 10 kg/da N olacak şekilde 20:20:20 + mikroelement gübresi deneme başlangıcında uygulanmıştır. Toprakta var olan Cd'a ilave olarak, saksılara 0,05-0,1-0,5-1,0-5,0 ppm'lik Cd dozları uygulanmıştır. Ayrıca, bitkide Cd stresi haricinde herhangi başka bir stres koşulunun oluşmaması için gerekli ortam hazırlanmıştır.

Tohumlar 25 Haziran 2008 tarihinde saksılara ekilmiş ve gerekli çözeltiler verilmiştir. Çıkışı takiben 4 Temmuz 2008 günü seyreltmeye tabi tutulmuşlardır ve saksılardaki bitki adedi 8'den 6'ya düşürülmüştür. Bitki ve topraktaki değişimler; çıkışı takiben 5 hafta boyunca, haftalık olarak alınan toprak ve bitki örnekleri ile kontrol edilmiştir.

Deneme süresi boyunca; sıcaklık, basınç, nem, basınç, ortalama güneşlenme süresi ve ortalama güneşlenme şiddeti verileri günlük olarak kaydedilmiştir. Sıcaklık verileri günlük ortalama laboratuvar ortamında ölçülen verilerdir. Basınç, nem, ortalama güneşlenme süresi ve ortalama güneşlenme şiddeti verileri ise Devlet Meteoroloji İşlerine ait Tekirdağ ili için kaydedilen günlük verilerdir (Ek 1). Fasulye bitkilerinin çıkış zamanları da yine günlük olarak kaydedilmiştir (Ek 2). Ayrıca, deneme süresince bitki örneklerinin gelişimi ve dane oluşumları günlük olarak çekilen

fotoğraflarla belirlenmiştir. Vejetasyon periyodu boyunca, günlük olarak çekilen denemeye ait fotoğraflar Ek 3’de görüldüğü gibidir.

3.2.1. Bitkilere Verilen Gübrenin Analiz Değerleri ve Gübre Çözeltisinin Hazırlanması:

Denemede kullanılan gübrenin kimyasal bileşimi Çizelge 3.2’deki gibidir. %100 çözünür, mikro element içeren yaprak gübresidir. Gübre içerisindeki mikro elementler aminoasit şelatlı formda bulunmaktadır.

Çizelge 3.2. Denemede kullanılan gübrenin kimyasal bileşimi

Besin elementi	Gübredeki Miktarı
Total N	%20
P ₂ O ₅	%20
K ₂ O	%20
Mg-Şelatlı	600 ppm
Fe-Şelatlı	400 ppm
Cu-Şelatlı	200 ppm
Zn-Şelatlı	500 ppm
Mn-Şelatlı	300 ppm
Ni,Co,Se,Mo, B vitamini,Niasin	Eser miktarda

Denemede 64,8 g gübre 1080 ml saf suda çözülmüş ve her saksıya 10 ml verilerek uygulanmıştır. Böylelikle her saksıya 10 kg /da N, 10 kg /da P₂O₅, 10 kg /da K₂O, 0,12 ppm (mg/kg toprak) Mg, 0,08 ppm Fe, 0,04 ppm Cu, 0,1 ppm Zn, 0,06 ppm Mn verilmiştir.

3.2.2. Cd Çözeltisinin Hazırlanması:

Kadmiyum uygulanması amacıyla; Merck’in (109960 katalog nolu) 1000 mg’lık (CdCl₂ in H₂O) Cd standardı (titrisol) kullanılmıştır. Titrisol 1000 ml’ye bidestile saf suyla tamamlanmış ve böylelikle 1000 ppm’lik Cd ana stoğu elde edilmiştir. Daha sonra Çizelge 3.3’de gösterilen ara stoklar hazırlanmış ve saksılara 100’er ml’lik çözeltiler halinde tek seferde ekimle birlikte verilmiştir.

Çizelge 3.3. Topraklara ilave edilecek Cd için yapılan hesaplamalar tablosu

İlave edilmesi gereken miktar	Ana stok	100 ml'deki miktar	Saksılara verilen Miktar	1 kg toprağa ilave edilen toplam Cd miktarı
0,05 ppm	1,5 mg/l	0,15 mg/100 ml	0,15 mg/3 kg saksı	0,05 mg/ 1 kg toprak
0,1 ppm	3 mg/l	0,30 mg/100 ml	0,30 mg/3 kg saksı	0,1 mg/ 1 kg toprak
0,5 ppm	15 mg/l	1,5 mg/100 ml	1,5 mg/3 kg saksı	0,5 mg/ 1 kg toprak
1 ppm	30 mg/l	3,0 mg/100 ml	3,0 mg/3 kg saksı	1,0 mg/ 1 kg toprak
5 ppm	150 mg/l	15,0 mg/100 ml	15,0 mg/3 kg saksı	5,0 mg/ 1 kg toprak

3.2.3. Toprak ve Bitki Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanmasında Uygulanan Yöntemler:

Bitki ve topraktaki değişimlerin incelenmesi amacıyla; çıkışı takiben 5 hafta boyunca, haftalık olarak toprak ve yaprak örnekleri alınmıştır (Çizelge 3.4).

Haftalık olarak alınan toprak örnekleri laboratuarda hava kurusu hale getirilip, 2 mm'lik eleklerden elenerek analize hazır hale getirilmiştir.

Bitkilerden alınan yaprak örnekleri saf sudan geçirilmiş ve yaprak örneklerinin bir kısmı önce laboratuvar ortamında kurutulmuş ve daha sonra 70°C'luk etüvde kurularak besin elementlerinin analizine hazır hale getirilmiştir.

Bitki örneklerinin fizyolojik analizlerinin ve protein yapılarının araştırılması için gerekli olan bitki örneklerinin taze olarak kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, saf sudan geçmiş olan bitki yaprakları kurutma kağıdıyla kurutulmuş ve analiz yapıncaya kadar -20°C'de dipfrizde saklanmıştır.

Çizelge 3.4. Bitki ve toprak örneklerinin alınış zamanları

Ekim Tarihi	25. Haziran 2008
Bitki Seyreltme Tarihi	04. Temmuz 2008
I. Örnekleme Tarihi	11 Temmuz 2008
II. Örnekleme Tarihi	18 Temmuz 2008
III. Örnekleme Tarihi	25 Temmuz 2008
IV. Örnekleme Tarihi	1 Ağustos 2008
V. Örnekleme Tarihi	8 Ağustos 2008

3.2.4. Toprak Örneklerinin Analizinde Uygulanan Yöntemler:

Bünye Analizi:

Denemeye ait toprak örneğinde; % kum, kil ve silt fraksiyonları hidrometre yöntemi ile analiz edilmiştir ve bu değerler bünye analiz üçgenine uygulanarak bünyeleri saptanmıştır (Saatçi ve ark. 1983).

Kireç Analizi:

Denemeye ait toprak örneğinde; kireç içeriği Scheibler kalsimetresiyle ölçülmüştür ve analiz sonucu % CaCO₃ olarak verilmiştir (Schlichting ve Blume 1966). Toprak örneğinin % CaCO₃ analiz sonucu Evliya (1960)'a göre değerlendirilmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Toprakların kireç bakımından sınıflandırılması (Evliya 1960).

% CaCO ₃	Değerlendirme
0-2,5	Kireççe Fakir
2,5-5	Kireçli
5-10	Kireççe Zengin
10-20	Bünye+Marn

Organik Madde Analizi:

Denemeye ait toprak örneğinde; organik madde içeriği Smith-Weldon Metodu ile Organik-C tayin yöntemi kullanılarak saptanmıştır (Sağlam 2001). Toprak örneğinin % organik madde bakımından sınıflandırılması (Ülgen ve Yurtsever 1995)'e göre yapılmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Toprakların organik madde bakımından sınıflandırılması (Ülgen ve Yurtsever 1995)

Organik Madde (%)	Değerlendirme
<1	Çok Az
1-2	Az
2-3	Orta
3-4	İyi
>4	Yüksek

pH Analizi:

Denemeye ait toprak örneklerinin pH analizi Sağlam (2001)'e göre saptanmıştır. Toprak örnekleri 1/2,5 oranında sulandırılmış ve ölçümleri Hanna model pH metre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi (Alparslan ve ark. 1998)'e göre yapılmıştır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Toprakların pH bakımından sınıflandırılması (Alparslan ve ark. 1998)

pH Değerleri (1/2,5 su)	Değerlendirme
< 4,5	Kuvvetli Asit
4,5-5,5	Orta Asit
5,5-6,5	Hafif Asit
6,5-7,5	Nötr
7,5-8,0	Hafif Alkali
>8,0	Kuvvetli Alkali

Suda Eriyebilir Total Tuz Analizi:

Denemeye ait toprak örneklerinin suda eriyebilir total tuz analizi Soil Survey Staff (1951)'e göre gerçekleştirilmiştir. Toprak örneklerinden saturasyon çamuru hazırlanmış ve ölçümleri EC metre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi Tüzüner (1990)'a göre yapılmıştır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Toprakların tuzluluk bakımından sınıflandırılması (Tüzüner 1990)

Elektriki İletkenlik	ECx10 ³ ,25°C mmhos/cm (Saturasyon Çamuru)		Değerlendirme
		0-4	Tuzsuz
		4-8	Hafif Tuzlu
		8-15	Orta Tuzlu
		15+	Çok Tuzlu

Karbonat ve Bikarbonat Analizi:

Denemeye ait toprak örneklerinin HCO₃⁻ içerikleri , Sülfürik asit Titrasyonu Yoluyla CO₃⁼ ve HCO₃⁻ Tayin yöntemi kullanılarak saptanmıştır (Boxma 1972).

Total Azot Analizi

Denemeye ait toprak örneklerinin toplam N içerikleri Micro Kjeldahl yöntemine göre saptanmıştır (Bremner 1965). Toprakların azot bakımından değerlendirilmesi Loué (1968)'e göre yapılmıştır (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. Toprakların N bakımından sınıflandırılması (Loué,1968)

N (%)	Değerlendirme
<0,07	Çok Fakir
0,07-0,09	Fakir
0,09-0,11	Orta
0,11-0,13	İyi
>0,13	Çok İyi

Alınabilir Fosfor Analizi:

Denemeye ait toprak örneklerinin alınabilir P içerikleri suda çözünebilir P analiz yöntemine göre saptanmıştır. Denemede kullanılan toprağın pH içeriğinin 7.00 civarında olması nedeniyle bu yöntem tercih edilmiştir (Bingham 1949). Toprakların fosfor içeriklerinin değerlendirilmesi Olsen ve ark. (1954)'e göre gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.13).

Alınabilir Potasyum ve Sodyum Analizi:

Denemeye ait toprak örneklerinin alınabilir K, ve Na içerikleri NH₄OAC yöntemine göre saptanmıştır (Jackson 1967). Toprak örneklerinin K bakımından sınıflandırılması Pizer (1967)'e göre yapılmıştır (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10. Toprakların K bakımından sınıflandırılması (Pizer, 1967)

K(ppm)	Değerlendirme
<100	Fakir
100-200	Orta
200-250	İyi
250-320	Yüksek
>320	Çok Yüksek

Alınabilir Kalsiyum ve Magnezyum Analizi:

Denemeye ait toprak örneklerinin alınabilir Ca ve Mg içerikleri değişebilir katyonların ekstraksiyonu için kullanılan metoda göre saptanmıştır. Toprak örneklerinin CH₃COONH₄ ile ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Kalsiyum direkt atomik absorpsiyon cihazında, Mg ise EDTA ile titrasyon yapılarak saptanmıştır (Sağlam 2001). Toprakların Ca bakımından sınıflandırılması Loue` (1968)'e göre gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.11). Toprakların Mg bakımından sınıflandırılması ise (Alparslan ve ark.1998)'e göre saptanmıştır (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.11. Toprakların Ca bakımından sınıflandırılması (Loué 1968).

Ca (ppm)	Değerlendirme
<1430	Fakir
1430-2860	Orta
>2860	İyi

Çizelge 3.12. Toprakların Mg bakımından sınıflandırılması (Alparslan ve ark. 1998).

Mg (ppm)	Değerlendirme
0-50	Çok Az
50-160	Az
160-480	Yeterli
480-1500	Fazla
>1500	Çok Fazla

Mikroelement ve Ağır Metal Analizi Analizi:

Denemeye ait toprak örneklerinin alınabilir Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Cr, Co ve Pb analizleri DTPA yöntemine göre saptanmıştır (Lindsay and Norvell 1978). Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb okumaları Atomik Absorpsiyon Spektrofotometri Cihazında Co ve Cr okumaları ICP cihazında yapılmıştır. Alınabilir Mg titrimetrik metotla saptanmıştır (Sağlam 2001). Toprak örneklerinin Fe, Zn, Cu, Mn bakımından sınıflandırılması Follett ve Lindsay (1970)'e göre gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.13). Toprak örneklerinin ağır metaller bakımından sınıflandırılması, değişik kaynaklara ait literatürlerdeki kritik düzeyler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.14).

Çizelge 3.13. Toprakların fosfor ve mikroelementler bakımından sınıflandırılması

Besin Maddeleri	Yöntem	Birimi	Değerlendirme			Kaynaklar	Yıl
			Düşük	Yeterli	Yüksek		
P	Değişebilir	ppm	<6,1	6,1-12,2	>12,2	Olsen ve Ark	1954
Fe	DTPA	ppm	<2,0	2,0-4,5	>4,5	Follett ve Lindsay	1970
Zn	DTPA	ppm	<0,5	0,5-1,0	>1,0	Follett ve Lindsay	1970
Cu	DTPA	ppm	-	0,2	-	Follett ve Lindsay	1970
Mn	DTPA	ppm	-	1,0	-	Follett ve Lindsay	1970

Çizelge 3.14. Toprakların ağır metaller bakımından sınıflandırılması.

Ağır Metal	Birimi	Kritik Değer	Kaynaklar	Yıl
Cd	ppm	100	Anonim	1981
		3	Feige and Grunwaldt	1977
Pb	ppm	100	Kloke	1980
		100	Feige and Grunwaldt	1977
		100	Anonim	1981
Cr	ppm	75-100	Pendias ve Pendias	1984
		100	Kloke	1980
Co	ppm	50	Kloke	1980
		25-50	Pendias ve Pendias	1984

3.2.5. Bitki Örneklerinin Besin Elementi Analizinde Uygulanan Yöntemler:

Toplam Azot Analizi:

Yaprak örneklerinin toplam N analizi mikro kjeldahl yöntemi kullanılarak Kacar ve İnal (2008)'e göre saptanmıştır. Bitki örneklerinin toplam azot bakımından değerlendirilmesi Jones ve ark. (1991)'e göre gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.15).

Yaş Yakma:

Yaprak örneklerinin diğer analizlerinin yapılması için yaş yakma yöntemiyle ekstraksiyonları çıkarılmış ve aşağıdaki yöntemlere göre analizleri gerçekleştirilmiştir (Kacar ve İnal 2008).

Toplam Fosfor Analizi:

Yaprak örneklerinin yaş yakılması sonucu elde edilmiş olan ekstraktan, toplam P tayini Kacar ve İnal (2008)'e göre, gerçekleştirilmiştir. Bitki örneklerinin toplam fosfor bakımından sınıflandırılması Jones ve ark. (1991)'e göre yapılmıştır (Çizelge 3.15).

Sodyum ve Potasyum Analizi:

Yaprak örneklerinin yaş yakılması sonucu elde edilmiş olan ekstraktan, K, ve Na okumaları flame fotometri cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Kacar ve İnal 2008). Bitki örneklerinin Sodyum ve Potasyum bakımından değerlendirilmesi Jones ve ark. (1991)'e göre yapılmıştır (Çizelge 3.15).

Kalsiyum ve Magnezyum Analizi:

Yaprak örneklerinin yaş yakılması sonucu elde edilmiş olan ekstraktan, Ca'un okunması atomik absorpsiyon cihazında gerçekleştirilmiştir (Kacar ve İnal 2008). Magnezyum elementinin saptanması ise Johnson ve Uldrich (1959) tarafından bildirilen titrimetrik metotla Kacar ve İnal (2008)'a göre saptanmıştır. Bitki örneklerinin kalsiyum ve magnezyum bakımından sınıflandırılması ise Jones ve ark. (1991)'e göre yapılmıştır (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15. Bitki besin maddeleri kritik düzeyleri (Jones ve ark. 1991).

Bitki	Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Genç Yaprak			
Bitki Kısmı Zaman		Noksan	Yeterli	Fazla
Element				
N	%	4,24-4,99	5,0-6,0	>6,0
P		0,25-0,34	0,35-0,75	>0,75
K		2,0-2,24	0,25-4,0	>4,0
Ca		1,0-1,49	1,5-2,5	>2,5
Mg		0,25-0,29	0,30-1,0	>1,0
Cu	ppm	4-6	7-30	>30
Fe		40-49	50-300	>300
Mn		15-49	50-300	>300
Zn		18-19	20-200	>200

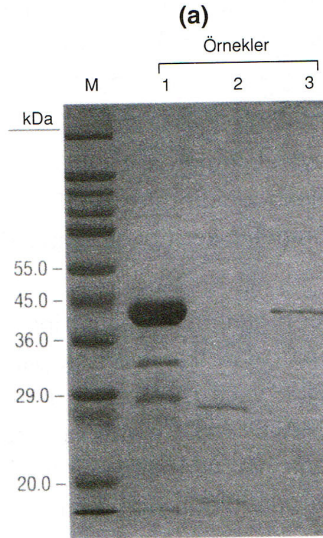
Mikroelement ve Ağır Metal Analizi:

Yaprak örneklerinin yaş yakılması sonucu elde edilmiş olan ekstraktan, Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, ve Pb elementlerinin okunması atomik adsorpsiyon spektrofotometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Kobalt ve Cr okumaları ise ICP cihazında gerçekleştirilmiştir (Kacar ve İnal 2008). Bitki örneklerinin mikroelement içerikleri bakımından değerlendirilmesi Jones ve ark. (1991)'e göre gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.15). Bitki örneklerinin ağır metaller tarafından değerlendirilmesi ise çeşitli kaynaklara ait literatürlerdeki kritik düzeyler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.6. Bitki Örneklerinin Protein Ekstraksiyonu ve Saflaştırılmasında Uygulanan Yöntemler:

Bitkilerin Ekstraksiyonu ve Elektroforez Okumaları:

Bitkinin ekstraksiyonu ve elektroforez bant desenlerinin çıkarılması Temizkan ve Arda (2004)'e göre saptanmıştır. Bitki yaprak dokularından alınan örnekler 0,1 M'lık Na fosfat tamponunda (pH: 7,0) homojenize edilerek ekstraksiyonları gerçekleştirilmiş ve Mini Dikey 2D Protein Jel Elektroforezi yardımıyla SDS-PAGE elektroforez metodu kullanılarak, bant desenlerinin çıkarılması gerçekleştirilmiştir.

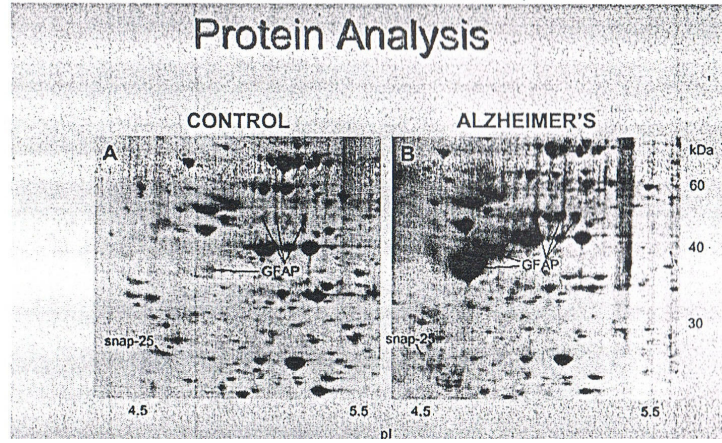


Şekil 3.2 SDS-Page tekniği kullanılarak boyanmış elektroforez bant desenlerinden bir görünüm (Temizkan ve Arda 2004).

Bitki Stres Proteinlerinin Tanılanması:

Elektroforez de saptanan stres proteinlerinin teşhis ve tanısı MALDİ MS analizi yapılarak saptanmıştır (Aitken 2004).

Elektroforez okumaları sonucu elde edilen bant desenlerinde kDa moleküler ağırlıklarına göre standart proteine oranla Cd toksitesi sonucu arttığı gözlenen proteinler saptanarak. Laboratuvar ortamında bant desenlerinden izolasyonları yapılmış ve MALDİ MS Cihazında gerekli çözeltiler hazırlanarak okumaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Alzaimer hastalığında, SDS-Page tekniği kullanılarak boyanmış elektroforez bant desenlerinden bir görünüm (Aitken 2004).

3.2.7. Bitki Örneklerinin Fizyolojik Analizinde Uygulanan Yöntemler:

Fotosentetik Pigment Analizi:

Yaprak örneklerinde Fotosentetik Pigment Analizi için bitki yaprak dokularından 0,5 g örnek alınmıştır. Porselen havanda %80'lik aseton ve CaCO₃ yardımıyla ekstrakte edilmiş ve santrifüjlenmiştir. Belirli oranlarda seyreltme gerçekleştirildikten sonra 662, 645 ve 470 nm dalga boylarında spektrofotometre cihazıyla ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar yapılan seyreltmelerde dikkate alınarak Lichtentaler ve Wellburn (1985)'e göre aşağıdaki formüller kullanılarak saptanmıştır.

$$\text{Klf A} = (11.75 \times A_{662}) - (2.35 \times A_{645})$$

$$\text{Klf B} = (18.61 \times A_{645}) - (3.96 \times A_{662})$$

$$\text{Karotenoid} = ((1000 \times A_{470}) - (2.27 \times \text{Klf A}) - (81.4 \times \text{Klf B})) / 227$$

Serbest Prolin Tayini:

Yaprak örneklerinde serbest prolin analizi Bates ve ark. (1973)'lerinin saptadıkları yöntemle göre saptanmıştır. Bitki yaprak dokularından 0.5 g'ı tartılmış ve % 3'lük 5 mL sülfosalisilik asit kullanılarak havanda homojenize edilmiştir. Homojenizat mavi bantlı filtre kağıdından süzülmüştür. Filtratın 2 ml'si alınarak test tüplerine aktarılmıştır. Üzerine 2 mL asit-ninhidrin ve 2 mL glasiyel asetik asit ilave edilmiştir. Bu karışım 100 °C'de 1 saat su banyosunda bekletilmiş ve bu süre sonunda tüpler alınarak buz içerisine sokulmuş ve reaksiyon sonlandırılmıştır. Reaksiyon karışımı 4 mL toluen ile ekstrakte edilmiş ve 15-20 saniye vorteks'de çalkalanmıştır. Toluene içeren renkli sıvı oda sıcaklığında bekletilmiş ve 520 nm dalga boyunda Shimadzu UV spektrofotometre de okumalar gerçekleştirilmiştir. Bitki dokularındaki prolin miktarları (µmol/g taze ağırlık) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Prolin} = [(\mu\text{g prolin/mL} \times \text{toluen}) / 115.5 \mu\text{g} / \mu\text{mol}] / [(g \text{ örnek}) / 5]$$

Askorbik Asit Analizi:

Yaprak örneklerinde Askorbik asit analizi dichlorophenol-Indiphenol ile titrasyon yapılarak Schaller (1988)' göre gerçekleştirilmiştir. Bitki yaprak dokularından 5 g örnek alınmıştır. 40 ml fosfor asidinde homojenize edilmiştir. 100 ml'lik balonjoje içerisine aktararak hacmi tamamlanmıştır. Bu süzükten bir miktar alınarak n/1000'lik DIP ile titrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar ve değerlendirilmesi (Çizelge 3.16) Schaller (1988) 'e göre aşağıdaki formül kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Askorbik Asit (mg/100 g. Örnek)} = T * 0,088 * V * 100 / S * M$$

Çizelge 3.16. Askorbik asit miktarına göre bitkilerin C vitamini içeriklerinin değerlendirilmesi (Schaller 1988).

Askorbik Asit (mg/100 g. Örnek)	Değerlendirme
50 – 150 mg/100g	Çok zengin
30 – 50 mg/100g	Zengin
15 – 30 mg/100g	Orta
5 – 15 mg/100g	Fakir

Lipid Peroksidasyonu Belirlenmesi:

Yaprak örneklerinde Lipid peroksidasyonunun belirlenmesi Hodges ve ark. (1999)'na göre yapılmıştır. Bitki yaprak dokularından 0.5 gram alınmış, % 80'lik etil alkolde homojenize edilmiş ve 3000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Analiz iki aşamada yapılmıştır; birinci aşamada sanrifügattan alınan 1 hacim ekstrakt üzerine 1 hacim % 20'lik TCA ve 1 hacim % 0.01'lik BHT eklenmiş ve örnekler karıştırılmıştır. Daha sonra 95°C sıcaklığındaki su banyosunda 25 dakika inkübe edilmiş ve ardından şok soğutma yapılmıştır. Bunu takiben, örnekler tekrar santrifüj edilmiş ve 532 ve 600 nm'de absorpsiyon okumaları gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşamada ise sanrifügattan alınan 1 hacim ekstrakt üzerine 1 hacim % 0.65'lik TBA içeren % 20'lik TCA ve bunun üzerine 1 hacim % 0.01'lik BHT eklenmiş ve örnekler karıştırılmıştır. Bu işlemi takiben; sıcak su banyosunda (95 °C) 25 dakika inkübe edilmiş ve ardından şok soğutma yapılmıştır. Bu örnekler tekrar santrifüj edilmiş ve 532, 600 ve 440 nm'de absorpsiyon okumaları yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır:

$$A = [(ABS_{532+TBA}) - (ABS_{600+TBA}) - (ABS_{532-TBA}) - (ABA_{600-TBA})]$$
$$B = [(ABS_{440+TBA} - ABS_{600+TBA}) \times 0.0571]$$
$$\text{mmol MDA ml}^{-1} = (A - B / 157\,000) \times 10^6$$

Protein Analizi:

Yaprak örneklerindeki % Protein miktarı % Total N'dan formülle hesaplanarak saptanmıştır. Bitkilerde mikro kjeldahl yöntemiyle % Toplam azot miktarı belirlenmiştir (Kacar ve İnal 2008). Belirlenen % Toplam N miktarları 6.25 faktörüyle çarpılarak bitki içerisindeki % Protein miktarları hesaplanmıştır (Wolwerton 1979).

Fenolik Bileşiklerin Belirlenmesi:

Yaprak örneklerinde fenolik bileşiklerin belirlenmesi Ratkevicius ve ark. (2003)'na göre gerçekleştirilmiştir. Bitki yaprak dokularından 0.5 gram bitki materyali alınmış ve 5 ml 0.1 M fosfat tamponunda homojenize edilmiştir. Homojenizat 12.800 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Sonra çözüldüden 2 ml alınarak son hacim 4 ml olacak şekilde % 3'lük sodyum karbonat ve 0.3 N Folin-Ciocalteu eklenerek oda sıcaklığında 2 saat bekletilmiştir. Hazırlanan bu örnekler 765 nm'de

spektrofotometri cihazında okunmuştur. Sonuçlar gallik asit standardındaki derişimler kullanılarak hesaplanmıştır.

Sistein Analizi:

Yaprak örneklerinde sistein analizi Gaitonde (1967)'ye göre yapılmıştır. Bitki yaprak dokularından 0.5 g tartılmış ve 5 mL 0.1 M fosfor tamponunda homojenize edilmiştir. Homojenizat 10.000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 120 µL alınarak üzerine 120 µL DTT eklenmiştir. 240 µL asetik asit ve 240 µL asit-ninhidrin eklendikten sonra örnekler 15 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. 1680 µL soğuk etanol eklendikten sonra örnekler 95 °C'de 10 dakika bekletilmiştir. İnkübasyon süresi bitiminde şok soğutma yapılmış ve örnekler 560 nm'de spektrofotometre de okunmuştur. Hesaplamalar sistein standardındaki değişimler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Nitrat Redüktaz Analizi:

Yaprak örneklerinde Nitrat redüktaz tayini Hageman (1971)'e göre yapılmıştır. Bitki yaprak dokularından 0,2 g bitki örneği alınmıştır. 5 ml tampon çözelti kullanılarak homojenize edilmiştir. 5 ml KNO₃ çözeltisi konularak 2 saat inkübe edilmiş belirli miktarlarda alınarak sülfanil amid ve NED yardımıyla renklendirilerek 530 nm'de 20 dakika sonra spektrofotometri cihazında okumaları gerçekleştirilmiştir. Standart serilerden kurve faktörü hesaplanarak bitki yaprak dokularındaki nitrat redüktaz aktivitesi saptanmıştır.

İstatistiki Analiz:

Analiz sonuçları istatistiki olarak Tarist isimli, PC tabanlı özel istatistik programına göre değerlendirilmiştir (Açıkğöz ve ark. 1993).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Denemeye Ait Toprak Örneğinin Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Deneme toprağına ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verildiğı gibidir. Deneye ait toprak örneğı 7.21 pH'ya sahip olup hafif alkalin özellik taşımaktadır. Tuzsuz bir toprak yapısına sahiptir (853µmhos).

Çizelge 4.1. Deneme toprağına ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

	Analiz Değeri	Değerlendirme
pH (1/2,5 Su)	7,21	Hafif Alkali
EC (10 ⁻⁶) (µmhos) (Saturasyon Çamuru)	853	Tuzsuz
%CaCO ₃	3,45	Kireçli
%Kum	25,6	–
% Kil	44,4	–
% Silt	30,0	–
Bünye	Kumlu-Tın	
CO ₃ ⁼ (me/l)	0	–
HCO ₃ ⁻ (me/l)	2,92	–
Org. Madde (%)	0,266	Çok Az
N (%)	0,101	Orta
P (ppm)	4,06	Düşük
Na (ppm)	15,00	–
K (ppm)	328	Çok yüksek
Ca (ppm)	2214	Orta
Mg (ppm)	1643	Yüksek
Fe (ppm)	3,33	Yeterli
Zn (ppm)	0,385	Düşük
Cu (ppm)	0,909	Yüksek
Mn (ppm)	0,155	Düşük
Cd (ppm)	0,091	İz
Pb (ppm)	İz	İz
Co (ppm)	İz	İz
Cr (ppm)	İz	İz

Deneme toprağı % CaCO₃ bakımından (% 3,458) kireçli bir özelliğe sahiptir. Bünyesinin ise Kumlu-Tın özellik gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca organik madde bakımından da (% 0,226) fakirdir.

Deneme toprağının Zn, Mn, P içerikleri düşük çıkarken Fe içeriği yeterli Ca ve N içerikleri orta seviyede ve Cu, Mg içeriklerinin ise yüksek seviyelerde çıkmasına karşılık K içeriği çok yüksek değerlerde saptanmıştır. Potasyumun Türkiye topraklarında fazla miktarda bulunması ve potasyum fiksasyonunun da olabileceği düşünöldüğünde bulunan bu değerin de kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu gözlenmektedir. Toprak örneğinin Cd içeriğinin 0,091 ppm olduğu saptanmıştır. Üç ppm kritik değer olarak kabul edildiğinde (Feige ve Grunwaldt 1977), toprakta herhangi bir Cd kirliliği olmadığı saptanmıştır. Kobalt, Pb, Cr içeriklerinin ise iz miktarlarda olduğu saptanmıştır.

4.2 Toprak Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

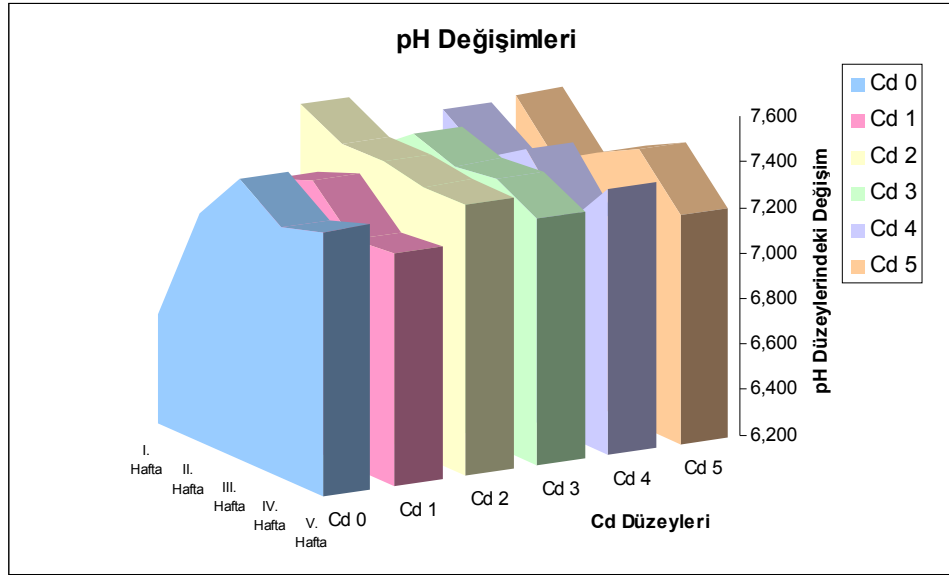
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait pH içeriklerinin değişimi Çizelge 4.2’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi pH içerikleri 6,44 ± 7,68 değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama pH değerinin 7,29 olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.2. Toprak örneklerinin pH analiz sonuçları (1/2.5 su)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	6,44	7,04	7,34	7,29	7,37	6,44	7,37	7,09	7,19
	2	6,47	7,17	7,30	7,30	7,41	6,47	7,41	7,13	
	3	7,14	7,40	7,68	7,32	7,32	7,14	7,68	7,37	
Cd 1	1	6,45	7,27	7,57	6,97	7,31	6,45	7,57	7,11	7,19
	2	6,67	7,31	7,10	7,30	7,29	6,67	7,31	7,13	
	3	7,46	7,34	7,48	7,34	7,07	7,07	7,48	7,33	
Cd 2	1	7,56	7,44	7,35	7,30	7,33	7,30	7,56	7,39	7,42
	2	7,64	7,35	7,56	7,49	7,44	7,35	7,64	7,49	
	3	7,32	7,45	7,35	7,38	7,41	7,32	7,45	7,38	
Cd 3	1	7,22	7,49	7,36	7,32	7,37	7,22	7,49	7,35	7,34
	2	7,34	7,45	7,33	7,36	7,08	7,08	7,45	7,31	
	3	7,26	7,29	7,37	7,46	7,40	7,26	7,46	7,35	
Cd 4	1	7,20	7,01	7,44	7,10	7,39	7,01	7,44	7,22	7,30
	2	7,40	7,32	7,38	6,95	7,30	6,95	7,40	7,27	
	3	7,58	7,46	7,31	7,37	7,41	7,31	7,58	7,42	
Cd 5	1	7,29	7,21	7,33	7,37	7,52	7,21	7,52	7,34	7,31
	2	7,61	7,06	7,32	7,41	7,01	7,01	7,61	7,28	
	3	7,33	7,34	7,31	7,47	7,08	7,08	7,47	7,30	
Min.		6,44	7,01	7,10	6,95	7,01	Genel Min: 6,44			
Max.		7,64	7,49	7,68	7,49	7,52	Genel Max: 7,68			
Ort.		7,18	7,30	7,38	7,30	7,30	Genel Ort: 7,29			

Toprak örneklerinin % 3,33’ü hafif asit (pH 5,5-6,5) sınıfına girmektedir. Örneklerin % 87,78 Nötr (pH 6,5-7,5) ve % 8,89 ise hafif alkali (pH 7,5-8,5) topraklar olarak sınıflandırılmıştır (Alparslan ve ark. 1998).

Toprak örneklerinin pH içeriklerinde artan Cd dozlarına bağlı olarak önemli herhangi bir değişim göstermemiştir. Bu durum Şekil 4.1’de gözlenmektedir. Yine haftalar bazında da önemli bir değişim söz konusu olmamıştır.



Şekil 4.1. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin pH değişim diyagramı

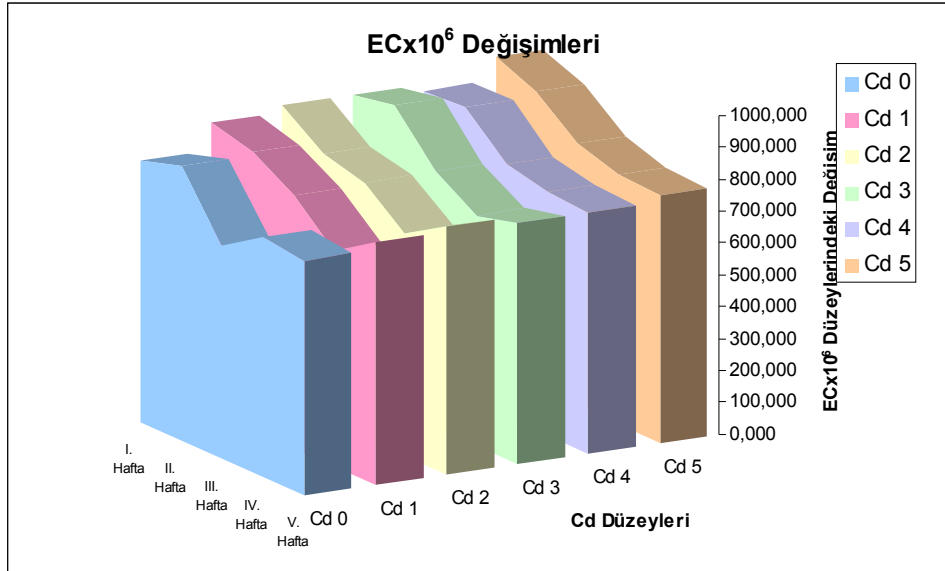
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait EC içeriklerinin değişimi Çizelge 4.3’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi EC içerikleri 492 ± 1166 değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama EC içeriğinin 818 olduğu saptanmıştır.

Bulunan bütün değerler 0-4 mmhos/cm aralığında kaldığından topraklar tuzsuz (Tüzüner 1990) sınıfına girmektedir. Topraklara ilave edilen Cd toprakta herhangi bir tuzlulaşmayı meydana getirmemiştir.

Artan Cd dozlarına bağlı olarak toprakların EC içeriklerinde de bir artış söz konusu olmuştur. Bu durum Şekil 4.2’de açıkça gözlenmektedir.

Çizelge 4.3. Toprak örneklerinin $EC \cdot 10^6$ Değerleri (Saturasyon çamuru)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	801	814	778	776	770	770	814	787	772
	2	756	793	492	769	727	492	793	707	
	3	908	991	750	730	725	725	991	820	
Cd 1	1	799	849	820	764	821	764	849	810	805
	2	930	936	741	688	760	688	936	811	
	3	1002	842	832	578	715	578	1002	793	
Cd 2	1	754	608	848	695	846	608	848	750	810
	2	999	876	745	715	766	715	999	820	
	3	1034	1022	815	699	728	699	1034	859	
Cd 3	1	779	831	811	678	861	678	861	792	834
	2	970	869	734	738	694	694	970	801	
	3	1040	1166	876	755	721	721	1166	911	
Cd 4	1	753	846	861	838	835	753	861	826	827
	2	949	904	742	747	658	658	949	800	
	3	1024	990	771	713	776	713	1024	854	
Cd 5	1	739	872	845	734	771	734	872	792	860
	2	1127	935	747	860	804	747	1127	894	
	3	1081	990	887	755	761	755	1081	894	
Min.		739	608	492	578	658	Genel Min: 492			
Max.		1127	1166	887	860	861	Genel Max: 1166			
Ort.		913	896	783	735	763	Genel Ort: 818			



Şekil 4.2. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin EC değişim diyagramı

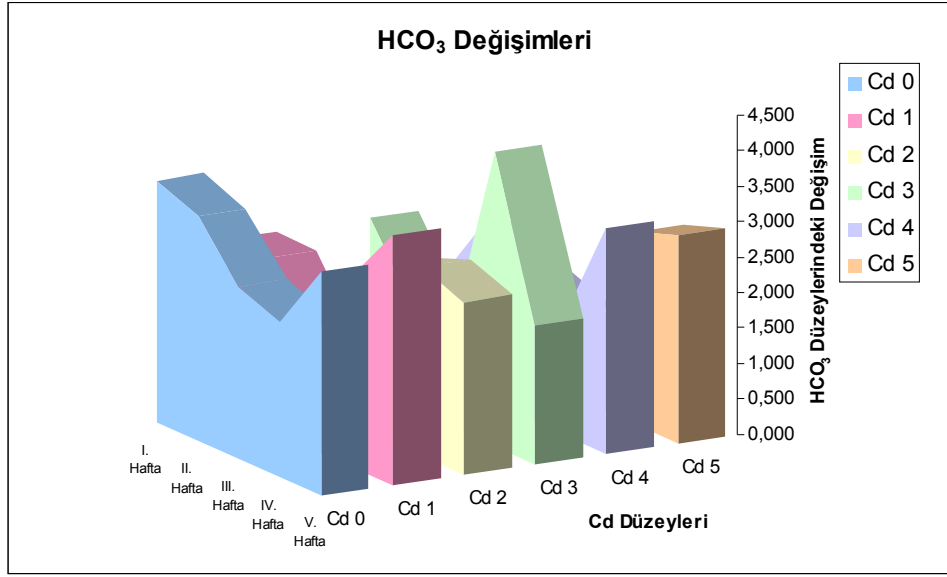
Haftalar bazında değerlendirilme yapıldığında; vejetasyon periyodu boyunca toprak örneklerinin EC değerleri arasında hafif bir düşüşün varlığı saptanmıştır.

Denemeye ait bütün topraklarda yapılan $\text{CO}_3^{=}$ analizinde herhangi bir $\text{CO}_3^{=}$ içeriğine rastlanmamıştır.

Çizelge 4.4. Toprak örneklerinin HCO_3^- analiz sonuçları (me/l)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	3,66	3,66	2,20	2,20	4,39	2,20	4,39	3,22	2,88
	2	2,93	2,93	2,20	2,20	3,66	2,20	3,66	2,78	
	3	3,66	2,93	2,93	2,20	1,46	1,46	3,66	2,63	
Cd 1	1	4,39	1,49	İz	2,93	6,59	İz	6,59	3,08	2,51
	2	2,93	1,46	2,20	2,20	2,20	1,46	2,93	2,19	
	3	İz	4,39	2,20	2,93	1,83	İz	4,39	2,27	
Cd 2	1	İz	2,93	1,46	2,93	2,20	İz	2,93	1,90	1,90
	2	İz	İz	2,20	2,93	2,93	İz	2,93	1,61	
	3	0,73	2,20	3,66	2,20	2,20	0,73	3,66	2,19	
Cd 3	1	3,66	1,46	0,73	7,32	2,20	0,73	7,32	3,07	2,29
	2	1,46	2,20	3,66	2,20	2,20	1,46	3,66	2,34	
	3	2,20	0,73	İz	2,93	1,46	İz	2,93	1,46	
Cd 4	1	3,66	1,46	2,20	2,93	2,20	1,46	3,66	2,49	2,14
	2	İz	2,20	2,20	2,20	2,20	İz	2,20	1,76	
	3	0,73	3,66	1,46	İz	5,12	İz	5,12	2,19	
Cd 5	1	4,07	2,20	0,73	3,05	2,93	0,73	4,07	2,59	1,79
	2	İz	0,73	1,46	2,93	3,66	İz	3,66	1,75	
	3	İz	İz	0,73	2,20	2,20	İz	2,20	1,02	
Min.		İz	İz	İz	İz	1,46	Genel Min: İz Genel Max: 7,32 Genel Ort: 2,25			
Max.		4,39	4,39	3,66	7,32	6,59				
Ort.		1,89	2,03	1,79	2,69	2,86				

Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait HCO_3^- içeriklerinin değişimi ise Çizelge 4.4'de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi HCO_3^- içerikleri $\text{İz} \pm 7,32$ me/l değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama HCO_3^- içeriğinin 2,25 me/l olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.3. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin HCO₃⁻ değişim diyagramı

Toprakların içerdiği HCO₃⁻ miktarlarında artan Cd dozları çok az bir düşmeye yol açsa da önemli düzeylerde seyretmemiştir (Şekil 4.3). Haftalar baz alındığında toprakların HCO₃⁻ içeriğinde hafif bir artışın olduğu gözlenmiştir.

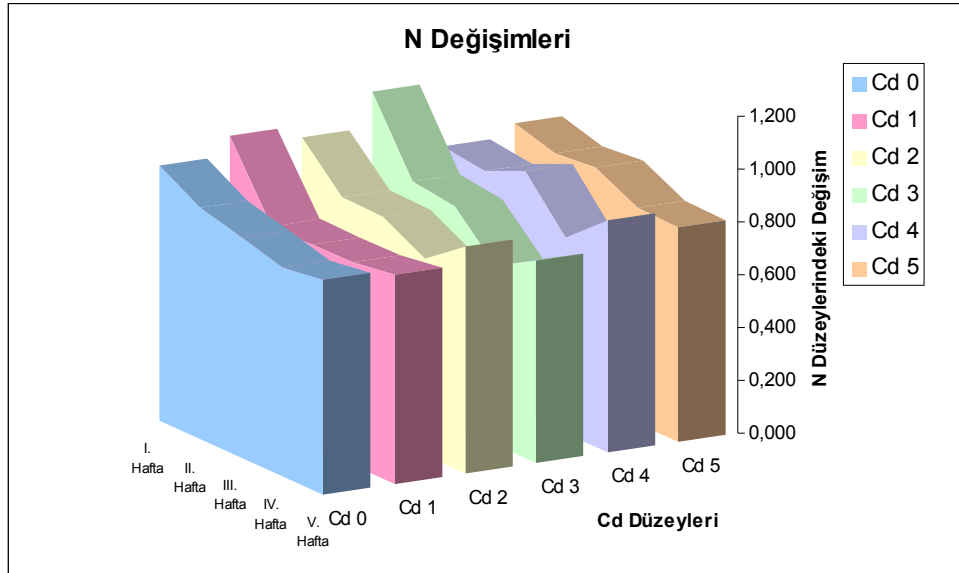
4.2.2. Toprak Örneklerin Bitki Besin Maddesi İçerikleri

Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait %N içeriklerinin değişimi Çizelge 4.5’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi % N içerikleri 0,609 ± 1,289 değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama N içeriğinin % 0,852 olduğu saptanmıştır. Bulunan bu değerlere göre; toprakların % azot bakımından çok iyi düzeye (> 0,13) sahip oldukları gözlenmektedir (Loué, 1968).

Bulunan bu azot değerlerinin ortalamaları dikkate alındığında, Cd dozlarının artmasının toprakta bulunan azot seviyesinde çok küçük bir artışa yol açtığı gözlenmiştir. Fakat bu artış önemli düzeylerde gerçekleşmemiştir (Şekil 4.4). Yine, vejetasyon periyodu boyunca topraktaki azot miktarında bir miktar düşüş olduğu gözlenmektedir. Bu da bitki gelişimine bağlı olarak normal düzeyler içerisinde yer almaktadır.

Çizelge 4.5. Toprak örneklerinin N analiz sonuçları (%)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	1,016	0,948	0,813	0,813	0,880	0,813	1,016	0,894	0,857
	2	0,948	0,813	0,948	0,813	0,745	0,745	0,948	0,853	
	3	0,948	0,880	0,745	0,745	0,813	0,745	0,948	0,826	
Cd 1	1	1,287	0,745	0,813	0,745	0,813	0,745	1,287	0,881	0,826
	2	0,948	0,880	0,677	0,745	0,677	0,677	0,948	0,785	
	3	0,880	0,677	0,813	0,813	0,880	0,677	0,880	0,813	
Cd 2	1	1,016	0,948	0,880	0,745	0,880	0,745	1,016	0,894	0,853
	2	0,880	0,813	0,813	0,745	0,880	0,745	0,880	0,826	
	3	1,083	0,745	0,813	0,745	0,813	0,745	1,083	0,840	
Cd 3	1	1,083	0,880	0,880	0,745	0,745	0,745	1,083	0,867	0,853
	2	1,219	0,880	0,813	0,609	0,813	0,609	1,219	0,867	
	3	1,083	0,813	0,813	0,677	0,745	0,677	1,083	0,826	
Cd 4	1	0,880	0,880	0,948	0,880	0,880	0,880	0,948	0,894	0,857
	2	0,948	0,880	0,880	0,609	0,880	0,609	0,948	0,839	
	3	0,813	0,813	0,948	0,745	0,880	0,745	0,948	0,840	
Cd 5	1	0,948	0,880	0,948	0,880	0,677	0,677	0,948	0,867	0,867
	2	0,813	0,880	0,880	0,745	0,880	0,745	0,880	0,840	
	3	1,016	0,880	0,880	0,813	0,880	0,813	1,016	0,894	
Min.		0,813	0,677	0,677	0,609	0,677	Genel Min:0,609			
Max.		1,287	0,948	0,948	0,880	0,880	Genel Max: 1,289			
Ort.		0,989	0,846	0,850	0,756	0,820	Genel Ort: 0,852			



Şekil 4.4. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin % N değişim diyagramı

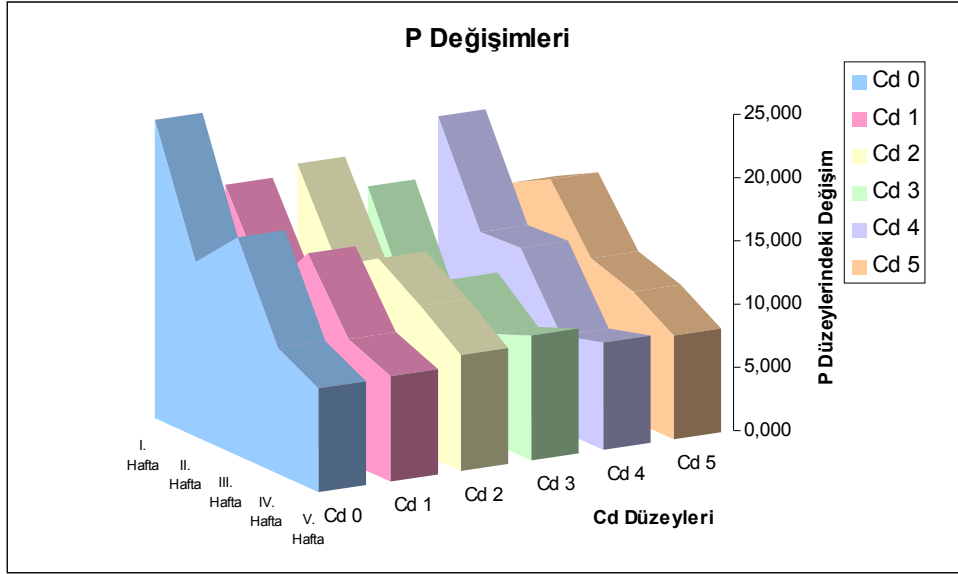
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait fosfor içeriklerinin değişimi Çizelge 4.6’da görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi P içerikleri $6,73 \pm 30,84$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama P içeriğinin 12,52 ppm olduğu saptanmıştır.

Toprak örneklerinin % 57,78 (6,1-12,2 ppm aralığında) yeterli düzeylerde saptanırken; % 42,22 (>12,2 ppm aralığında) yüksek düzeyde bulunmuştur. Bulunan bu yüksek düzeyler toprağa ilave edilen P’lu gübre nedeniyle olup, bitkinin P alınımına bağlı olarak vejetasyonun son iki haftası bitki için yeterli düzeylerde toprakta mevcuttur.

Bulunan bu fosfor (P) değerleri artan Cd miktarına bağlı olarak topraklarda hafif bir P azalması meydana getirmiştir (Şekil 4.5). Vejetasyon periyodu boyunca bitkilerin topraktan P tükettiği ve buna bağlı olarak ta toprak P içeriğinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6. Toprak örneklerinin P analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	18,66	10,88	13,47	9,58	8,81	8,81	18,66	12,28	14,56
	2	21,51	18,14	17,62	9,84	7,51	7,51	21,51	14,92	
	3	30,84	12,44	20,47	10,36	8,29	8,29	30,84	16,48	
Cd 1	1	20,47	14,51	15,03	10,10	7,51	7,51	20,47	13,52	12,35
	2	18,66	9,58	16,06	8,29	8,81	8,29	18,66	12,28	
	3	13,73	8,03	14,51	11,14	8,81	8,03	14,51	11,24	
Cd 2	1	22,02	10,36	13,73	10,62	9,07	9,07	22,02	13,16	12,99
	2	13,99	10,88	16,32	11,40	9,33	9,33	16,32	12,38	
	3	19,43	14,25	11,66	12,69	9,07	9,07	19,43	13,42	
Cd 3	1	22,54	8,03	11,14	7,51	11,66	7,51	22,54	12,18	10,72
	2	13,47	9,07	12,44	9,07	8,29	8,29	13,47	10,47	
	3	11,40	7,25	10,62	8,81	9,58	7,25	11,40	9,53	
Cd 4	1	23,06	10,62	10,62	7,25	8,81	7,25	23,06	12,07	12,49
	2	21,51	12,44	13,47	7,25	6,99	6,99	21,51	12,33	
	3	17,10	15,55	15,03	8,03	9,58	8,03	17,10	13,06	
Cd 5	1	16,58	15,29	11,66	9,33	9,84	9,33	16,58	12,54	12,04
	2	12,44	16,06	11,40	9,33	7,77	7,77	16,06	11,40	
	3	14,25	17,10	10,88	11,92	6,73	6,73	17,10	12,18	
Min.		11,40	7,25	10,62	7,25	6,73	Genel Min: 6,73			
Max.		30,84	18,14	20,47	12,69	11,66	Genel Max: 30,84			
Ort.		18,43	12,25	13,67	9,58	8,69	Genel Ort: 12,52			



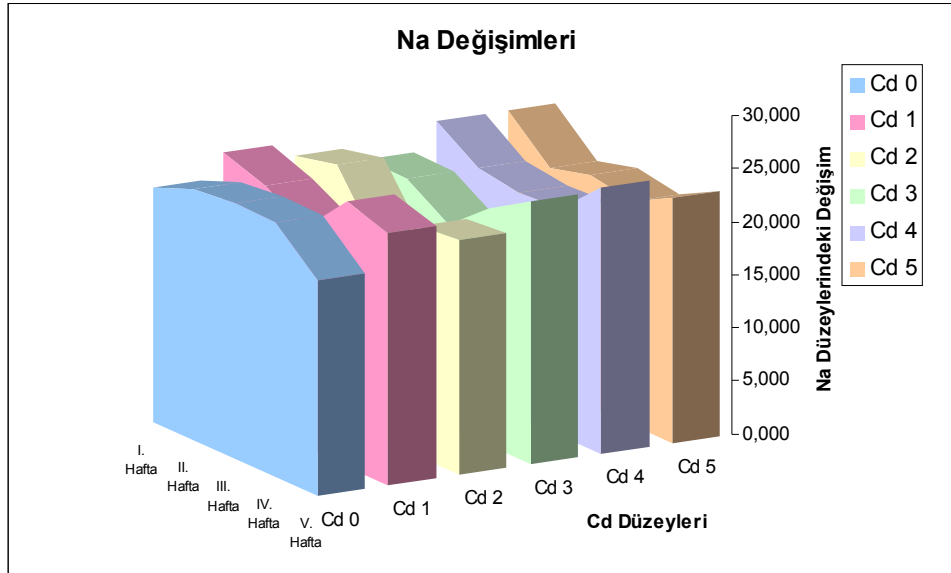
Şekil 4.5. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin P değişim diyagramı

Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Na içeriklerinin değişimi Çizelge 4.7’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Na içerikleri $17,74 \pm 29,74$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Na içeriğinin $22,49$ ppm olduğu saptanmıştır.

Topraklarda bulunan Na değerleri artan Cd miktarına bağlı olarak topraklarda kayda değer önemli bir değişim gözlemlenmemiştir (Şekil 4.6). Bitki vejetasyonu süresince üçüncü haftaya kadar toprakların Na içeriği düşmüş ve tekrar artarak yaklaşık olarak ilk haftadaki miktarına ulaşmıştır.

Çizelge 4.7. Toprak örneklerinin Na analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	22,74	25,74	24,74	21,74	19,74	19,74	25,74	22,94	22,87
	2	21,74	19,74	21,74	25,74	18,74	18,74	25,74	21,54	
	3	21,74	25,74	25,74	24,74	22,74	21,74	25,74	24,14	
Cd 1	1	21,74	22,74	23,74	26,74	22,74	21,74	26,74	23,54	23,40
	2	21,74	20,74	19,74	25,74	25,74	19,74	25,74	22,74	
	3	29,74	25,74	18,74	22,74	22,74	18,74	29,74	23,94	
Cd 2	1	24,74	23,74	17,74	20,74	23,74	17,74	24,74	22,14	21,80
	2	20,74	23,74	18,74	21,74	19,74	18,74	23,74	20,94	
	3	23,74	24,74	17,74	22,74	22,74	17,74	24,74	22,34	
Cd 3	1	21,74	21,74	18,74	19,74	26,74	18,74	26,74	21,74	21,94
	2	19,74	21,74	19,74	22,74	21,74	19,74	22,74	21,14	
	3	23,74	21,74	18,74	24,74	25,74	18,74	25,74	22,94	
Cd 4	1	25,74	21,74	19,74	22,74	24,74	19,74	25,74	22,94	22,74
	2	21,74	20,74	20,74	19,74	22,74	19,74	22,74	21,14	
	3	25,74	22,74	22,74	21,74	27,74	21,74	27,74	24,14	
Cd 5	1	24,74	19,74	21,74	21,74	19,74	19,74	24,74	21,54	22,20
	2	20,74	20,74	21,74	19,74	23,74	19,74	23,74	21,34	
	3	27,74	21,74	21,74	21,74	25,74	21,74	27,74	23,74	
Min.		19,74	19,74	17,74	19,74	18,74	Genel Min: 17,74			
Max.		29,74	25,74	25,74	26,74	27,74	Genel Max: 29,74			
Ort.		23,35	22,51	20,79	22,62	23,18	Genel Ort: 22,49			



Şekil 4.6. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Na değişim diyagramı

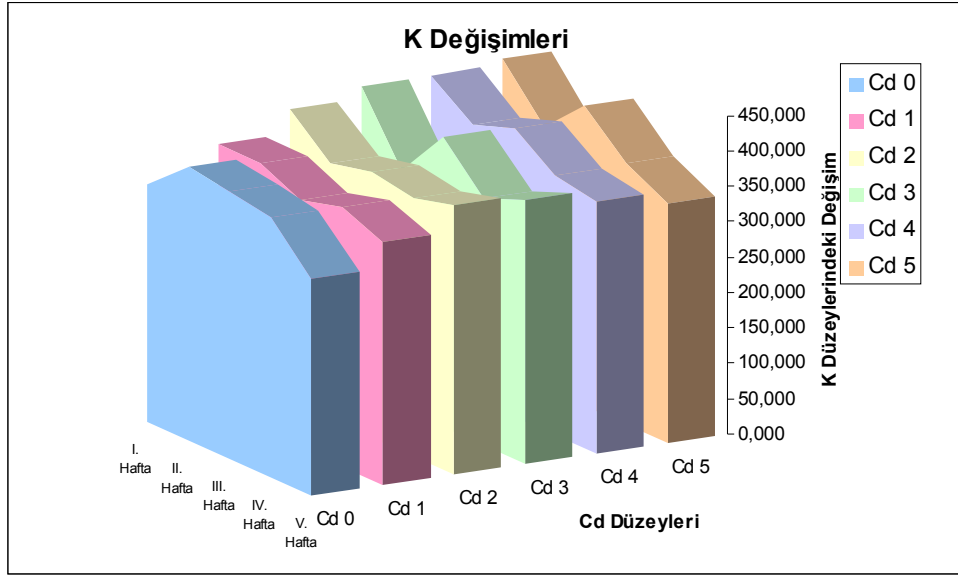
Çizelge 4.8. Toprak örneklerinin K analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	324	380	388	372	316	316	388	356	355
	2	324	404	372	364	301	301	404	353	
	3	356	380	372	364	301	301	380	355	
Cd 1	1	340	380	380	364	357	341	380	365	363
	2	380	364	332	364	317	317	380	352	
	3	412	388	340	372	357	341	412	374	
Cd 2	1	396	372	348	356	412	349	412	377	378
	2	388	364	380	364	372	365	388	374	
	3	451	348	396	372	357	349	452	385	
Cd 3	1	412	348	412	340	372	341	412	377	379
	2	427	324	404	340	349	325	428	369	
	3	451	340	412	364	396	341	452	393	
Cd 4	1	412	372	396	372	372	372	412	385	389
	2	419	388	388	380	349	349	420	385	
	3	459	396	435	348	349	349	460	398	
Cd 5	1	451	372	404	364	349	349	452	388	388
	2	412	348	412	380	365	349	412	384	
	3	451	388	459	364	301	301	460	393	
Min.		324	324	332	340	301	Genel Min: 301			
Max.		459	404	459	380	412	Genel Max: 459			
Ort.		404	370	390	364	349	Genel Ort: 375			

Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait K içeriklerinin değişimi Çizelge 4.8’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi K içerikleri 301 ± 459 ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama K içeriğinin 375 ppm olduğu saptanmıştır.

Toprak örneklerinin % 5,56’ sının 250-320 ppm aralığında yüksek düzeyde K içerdiği saptanmıştır. Toprak örneklerinin % 94,44’ ünün (>320 ppm) çok yüksek düzeylerde K içerdiği gözlenmiştir (Pizer 1967).

Vejetasyon boyunca topraklardan bitkinin K alınımına bağlı olarak haftalar bazında bir düşüşün söz konusu olduğu gözlenmiştir. Ayrıca; artan Cd miktarına bağlı olarak toprakların potasyum (K) içeriklerinde de bir artış saptanmıştır. Bu durum (Şekil 4.7)’de açıkça gözlemlenmektedir.



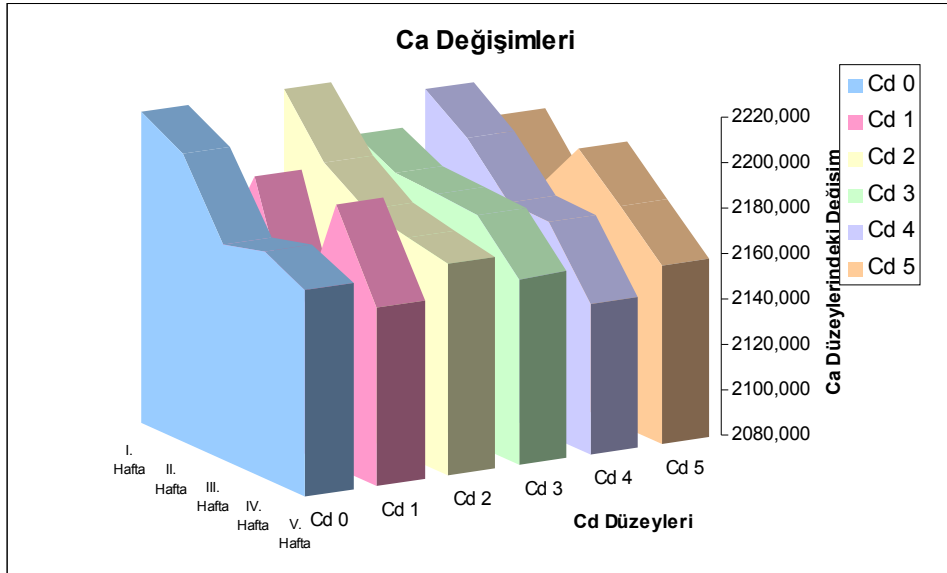
Şekil 4.7. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin K değişim diyagramı

Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Ca içeriklerinin değişimi Çizelge 4.9’da görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Ca içerikleri 1993 ± 2239 ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Ca içeriğinin 2180 ppm olduğu saptanmıştır. Tüm toprakların Loué (1968)’e göre; Ca bakımından orta derecede (1430-2860 ppm) Ca içerdikleri gözlenmektedir.

Artan Cd dozlarına bağlı olarak topraklarda önemli bir Ca değişimi saptanmamıştır. Yine topraklar haftalar bazında incelenecek olursa önemli bir değişimin söz konusu olmadığı gözlenmektedir. Şekil 4.8’de artan Cd dozlarına bağlı olarak; topraklarda meydana gelen Ca değişimleri gözlenmektedir.

Çizelge 4.9. Toprak örneklerine ait Ca analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	2211	2205	2188	2186	2166	2166	2211	2191	2189
	2	2200	2232	2166	2173	2160	2160	2232	2186	
	3	2240	2183	2170	2180	2188	2170	2240	2192	
Cd 1	1	1993	2208	2141	2189	2166	1993	2208	2139	2164
	2	2239	2188	2137	2207	2158	2137	2239	2186	
	3	2204	2181	2117	2193	2153	2117	2204	2169	
Cd 2	1	2209	2197	2171	2188	2158	2158	2209	2185	2188
	2	2228	2188	2213	2178	2192	2178	2228	2200	
	3	2217	2196	2158	2165	2170	2158	2217	2181	
Cd 3	1	2200	2192	2181	2181	2168	2168	2200	2184	2180
	2	2197	2165	2154	2182	2167	2154	2197	2173	
	3	2182	2196	2216	2184	2151	2151	2216	2186	
Cd 4	1	2185	2201	2169	2157	2141	2141	2201	2171	2179
	2	2223	2191	2174	2164	2132	2132	2223	2177	
	3	2217	2193	2181	2202	2166	2166	2217	2192	
Cd 5	1	2196	2174	2185	2181	2167	2167	2196	2181	2177
	2	2198	2171	2200	2174	2158	2158	2200	2180	
	3	2181	2161	2195	2173	2150	2150	2195	2172	
Min.		1993	2161	2117	2157	2132	Genel Min: 1993			
Max.		2240	2232	2216	2207	2192	Genel Max: 2239			
Ort.		2196	2190	2173	2181	2162	Genel Ort: 2180			



Şekil 4.8. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Ca değişim diyagramı

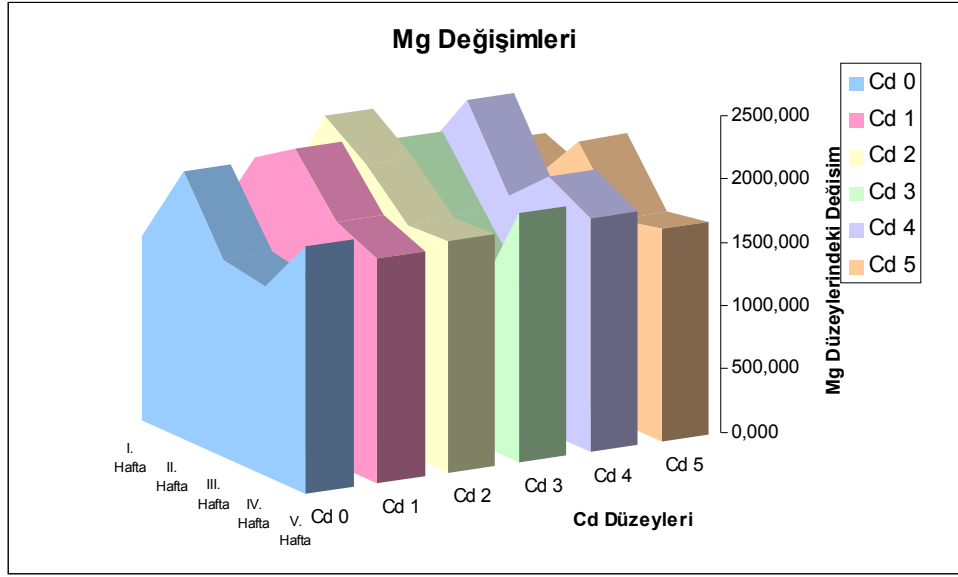
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Mg içeriklerinin değişimi Çizelge 4.10’da görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Mg içerikleri $997,7 \pm 2877,2$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Mg içeriğinin 1842,454 ppm olduğu saptanmıştır.

Toprak örneklerinin % 16,67’ sinin 480-1500 ppm aralığında fazla düzeyde Mg içerdiği saptanmıştır. Toprak örneklerinin % 83,33’ ünün (>1500 ppm) çok fazla düzeylerde Mg içerdiği gözlenmiştir (Alparslan ve ark. 1998).

Bulunan bu magnezyum değerleri dikkate alındığında , artan Cd dozlarının toprakta bulunan magnezyum seviyesinde küçük bazlı dalgalanmalara sebep olduğu gözlenmektedir. Haftalar baz alınarak toprakları değerlendirdiğimizde; toprakların Mg içeriğinde hafif bir artışın meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.9).

Çizelge 4.10. Toprak örneklerine ait Mg analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	1647	1920	1437	1506	1826	1437	1920	1667	1715
	2	1351	1927	1693	1419	1732	1351	1927	1624	
	3	1366	2476	1556	1579	2305	1366	2476	1856	
Cd 1	1	1630	2085	2151	1670	2061	1630	2151	1919	1936
	2	1385	2705	2023	2119	1668	1385	2705	1980	
	3	1491	1611	2877	1966	1606	1491	2877	1910	
Cd 2	1	1757	2662	1754	1804	1934	1754	2662	1982	1961
	2	1756	2738	1946	1414	1767	1414	2738	1924	
	3	1443	1729	2735	2194	1796	1443	2735	1979	
Cd 3	1	1838	1567	1513	978	1798	978	1838	1539	1727
	2	1535	2027	1972	1477	1384	1384	2027	1679	
	3	1856	2763	1410	1075	2717	1075	2763	1964	
Cd 4	1	1673	2491	1756	1835	2239	1673	2491	1999	1949
	2	1779	2368	1651	2162	1726	1651	2368	1937	
	3	1966	2166	1778	2090	1566	1566	2166	1913	
Cd 5	1	1734	2151	1907	1611	1871	1611	2151	1855	1763
	2	1786	1187	1825	1584	1646	1187	1825	1606	
	3	1876	1664	2497	1619	1492	1492	2497	1830	
Min.		1351	1187	1410	978	1384	Genel Min: 997 Genel Max: 2877 Genel Ort: 1842			
Max.		1966	2763	2877	2194	2717				
Ort.		1659	2124	1916	1672	1841				



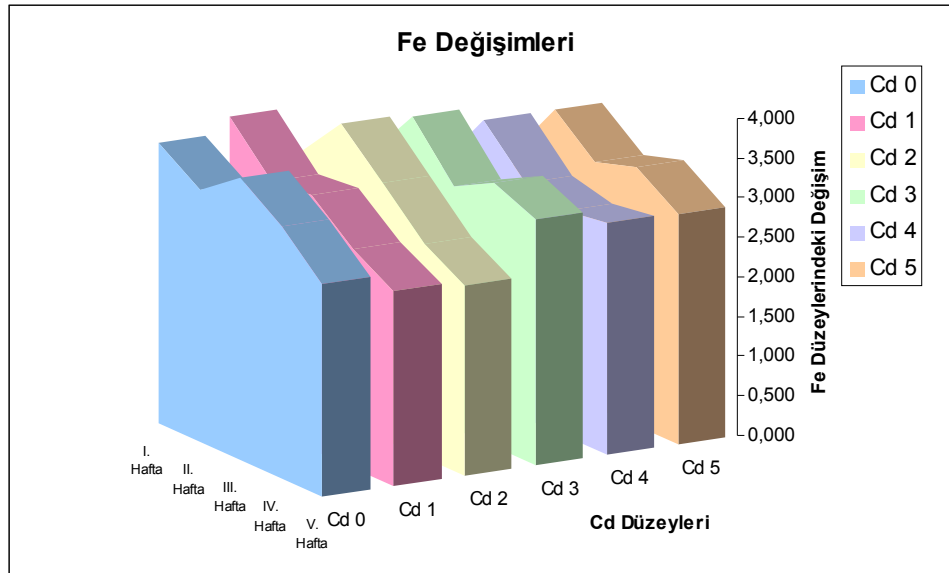
Şekil 4.9. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Mg değişim diyagramı

Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Fe içeriklerinin değişimi Çizelge 4.11’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Fe içerikleri $2,35 \pm 3,83$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Fe içeriğinin 3,11 ppm olduğu saptanmıştır. Tüm topraklarda Fe içeriğinin yeterli düzeyde (2,0-4,5 ppm) olduğu saptanmıştır (Follett ve Lindsay 1970).

Toprakların demir besin elementi açısından içerikleri ele alındığında; Cd dozlarındaki artışın önemli düzeyde bir değişime sebep olmadığı hafif dalgalanmaların söz konusu olduğu gözlemlenmiştir. Toprakların Fe içerikleri vejetasyon periyodu boyunca hafif bir düşmeye neden olmuştur (Şekil 4.10).

Çizelge 4.11. Toprak örneklerinin Fe analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	3,53	3,03	3,59	2,91	2,66	2,66	3,59	3,15	3,23
	2	3,65	3,28	3,65	3,41	2,60	2,60	3,65	3,32	
	3	3,47	3,22	3,47	3,22	2,79	2,79	3,47	3,23	
Cd 1	1	3,84	3,22	3,22	2,85	2,48	2,48	3,84	3,12	3,07
	2	3,72	3,10	3,16	2,79	2,42	2,42	3,72	3,03	
	3	3,65	3,16	3,28	2,66	2,54	2,54	3,65	3,06	
Cd 2	1	3,34	3,78	3,16	2,72	2,42	2,42	3,78	3,08	3,04
	2	3,03	3,78	3,16	2,85	2,35	2,35	3,78	3,03	
	3	3,10	3,65	3,41	2,54	2,42	2,42	3,65	3,02	
Cd 3	1	3,10	3,84	3,10	3,28	3,10	3,10	3,84	3,28	3,24
	2	3,03	3,65	2,91	3,28	3,10	2,91	3,65	3,20	
	3	2,97	3,59	3,16	3,41	3,10	2,97	3,59	3,25	
Cd 4	1	2,60	3,53	3,28	2,85	3,03	2,60	3,53	3,06	3,00
	2	2,85	3,65	2,60	2,85	2,85	2,60	3,65	2,96	
	3	2,85	3,41	3,03	2,85	2,91	2,85	3,41	3,01	
Cd 5	1	2,60	3,53	3,16	3,22	2,85	2,60	3,53	3,07	3,10
	2	2,91	3,59	2,97	3,28	2,97	2,91	3,59	3,15	
	3	2,79	3,47	3,16	3,28	2,85	2,79	3,47	3,11	
Min.		2,60	3,03	2,60	2,54	2,35	Genel Min: 2,35			
Max.		3,84	3,84	3,65	3,41	3,10	Genel Max: 3,83			
Ort.		3,17	3,47	3,19	3,01	2,75	Genel Ort: 3,11			



Şekil 4.10. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Fe değişim diyagramı

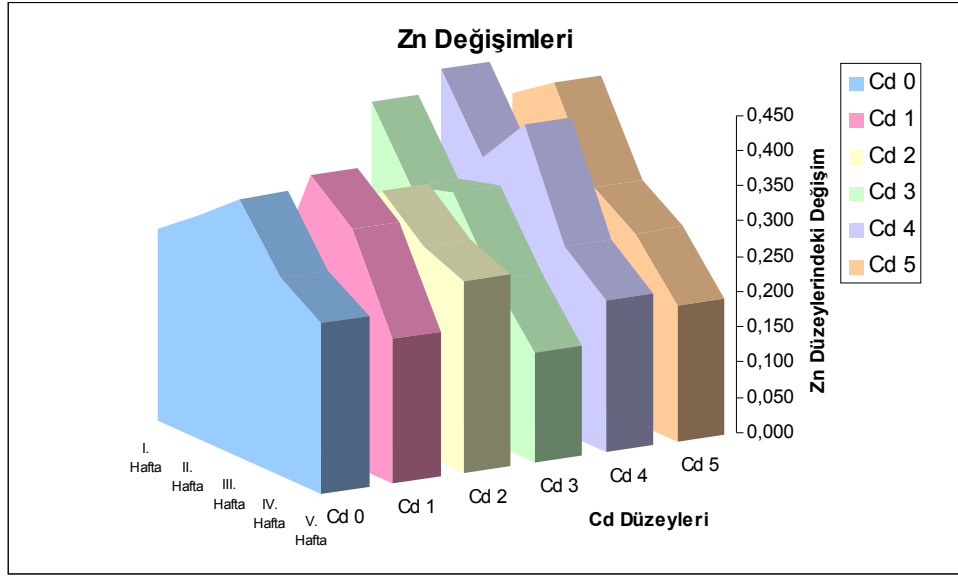
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Zn içeriklerinin değişimi Çizelge 4.12’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Zn içerikleri $0,135 \pm 0,457$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Zn içeriğinin $0,299$ ppm olduğu saptanmıştır.

Toprak örneklerinin tamamının ($<0,5$ ppm) düşük düzeylerde Zn içerdikleri saptanmıştır (Follett ve Lindsay 1970).

Topraklarda artan Cd dozlarının; toprakların Zn besin elementine bir artış meydana getirdiği görülmektedir. Vejetasyon periyodu boyunca bitkilerin topraktan Zn alımlarına bağlı olarak hafif bir düşüşün olduğu saptanmıştır (Şekil 4.11).

Çizelge 4.12. Toprak örneklerinin Zn analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	0,282	0,336	0,350	0,256	0,242	0,242	0,350	0,293	0,297
	2	0,296	0,296	0,363	0,309	0,256	0,256	0,363	0,304	
	3	0,242	0,323	0,390	0,282	0,229	0,229	0,390	0,293	
Cd 1	1	0,215	0,215	0,404	0,323	0,242	0,215	0,404	0,280	0,271
	2	0,229	0,215	0,404	0,336	0,175	0,175	0,404	0,272	
	3	0,202	0,202	0,350	0,350	0,202	0,202	0,350	0,261	
Cd 2	1	0,215	0,296	0,336	0,282	0,282	0,215	0,336	0,282	0,285
	2	0,242	0,282	0,323	0,309	0,269	0,242	0,323	0,285	
	3	0,269	0,215	0,390	0,296	0,269	0,215	0,390	0,288	
Cd 3	1	0,417	0,309	0,309	0,188	0,175	0,175	0,417	0,280	0,289
	2	0,390	0,296	0,336	0,269	0,135	0,135	0,390	0,285	
	3	0,417	0,336	0,350	0,242	0,161	0,161	0,417	0,301	
Cd 4	1	0,417	0,309	0,377	0,256	0,188	0,188	0,417	0,309	0,334
	2	0,457	0,404	0,417	0,242	0,202	0,202	0,457	0,344	
	3	0,444	0,309	0,444	0,296	0,256	0,256	0,444	0,350	
Cd 5	1	0,404	0,417	0,309	0,269	0,202	0,202	0,417	0,320	0,318
	2	0,390	0,457	0,323	0,296	0,175	0,175	0,457	0,328	
	3	0,377	0,417	0,296	0,242	0,202	0,202	0,417	0,307	
Min.		0,202	0,202	0,296	0,188	0,135	Genel Min: 0,135			
Max.		0,457	0,457	0,444	0,350	0,282	Genel Max: 0,457			
Ort.		0,328	0,313	0,360	0,280	0,215	Genel Ort: 0,299			



Şekil 4.11. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Zn değişim diyagramı

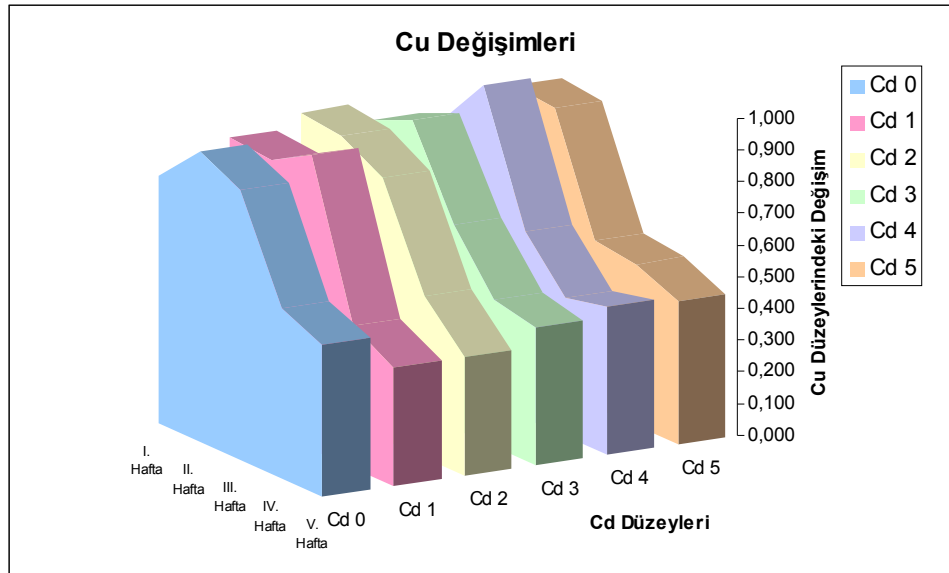
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Cu içeriklerinin değişimi Çizelge 4.13’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Cu içerikleri $0,315 \pm 1,079$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Cu içeriğinin 0,681 ppm olduğu saptanmıştır.

Follett ve Lindsay (1970)’in bildirdiği kritik değer olan 0,2 ppm sınır değer olarak kabul edilirse; toprak örneklerinin tamamının yeterli düzeylerde Cu içerdikleri saptanmıştır.

Toprakların Cu besin elementi içeriklerinin, artan Cd dozlarına bağlı olarak hafif bir düşüş gösterdiği saptanmıştır. Haftalar bazında ise toprakların Cu elementi miktarında bir azalmanın söz konusu olduğu saptanmıştır (Şekil 4.12).

Çizelge 4.13. Toprak örneklerinin Cu analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	0,764	0,944	0,854	0,540	0,450	0,450	0,944	0,710	0,713
	2	0,809	0,899	0,854	0,585	0,495	0,495	0,899	0,728	
	3	0,764	0,899	0,854	0,495	0,495	0,495	0,899	0,701	
Cd 1	1	0,854	0,944	0,989	0,495	0,405	0,405	0,989	0,737	0,695
	2	0,944	0,854	0,809	0,450	0,360	0,360	0,944	0,683	
	3	0,809	0,764	0,989	0,405	0,360	0,360	0,989	0,665	
Cd 2	1	0,899	0,854	0,809	0,540	0,315	0,315	0,899	0,683	0,704
	2	0,989	0,944	0,809	0,540	0,360	0,360	0,989	0,728	
	3	0,854	0,899	0,854	0,450	0,450	0,450	0,899	0,701	
Cd 3	1	0,899	0,854	0,719	0,405	0,405	0,405	0,899	0,656	0,662
	2	0,809	0,944	0,674	0,450	0,450	0,450	0,944	0,665	
	3	0,854	0,944	0,540	0,540	0,450	0,450	0,944	0,666	
Cd 4	1	0,899	1,079	0,540	0,450	0,540	0,450	1,079	0,702	0,660
	2	0,764	1,034	0,585	0,405	0,405	0,405	1,034	0,639	
	3	0,809	0,854	0,629	0,450	0,450	0,450	0,854	0,638	
Cd 5	1	0,899	0,854	0,495	0,540	0,495	0,495	0,899	0,657	0,654
	2	0,944	0,899	0,585	0,585	0,450	0,450	0,944	0,693	
	3	0,854	0,899	0,495	0,405	0,405	0,405	0,899	0,612	
Min.		0,764	0,764	0,495	0,405	0,315	Genel Min: 0,315			
Max.		0,989	1,079	0,989	0,585	0,540	Genel Max: 1,079			
Ort.		0,857	0,909	0,727	0,485	0,430	Genel Ort: 0,681			



Şekil 4.12. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Cu değişim diyagramı

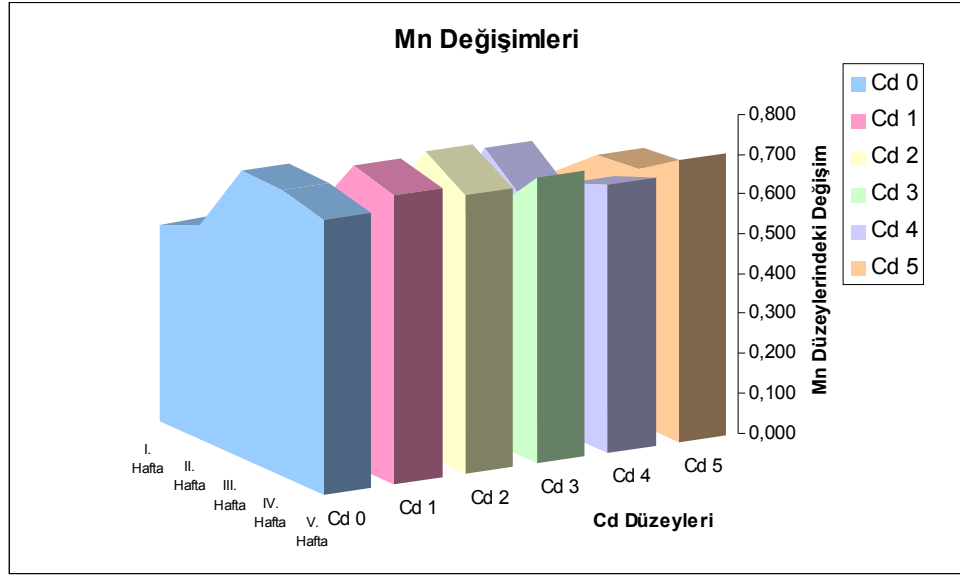
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Mn içeriklerinin değişimi Çizelge 4.14’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Mn içerikleri $0,367 \pm 0,793$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Mn içeriğinin 0,591 ppm olduğu saptanmıştır.

Follett ve Lindsay (1970)’in bildirdiği kritik derer olan 1,0 ppm sınır değer olarak kabul edilir; toprak örneklerinin tamamının düşük düzeylerde Mn içerdikleri saptanmıştır.

Artan Cd dozlarına bağlı olarak, toprakların Mn içeriklerinde de hafif bir düşüş meydana gelmiştir. Tam tersine vejetasyon periyodu boyunca toprakların Mn içeriklerinde bir artış olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.13).

Çizelge 4.14. Toprak örneklerinin Mn analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	0,497	0,536	0,773	0,725	0,679	0,497	0,773	0,642	0,634
	2	0,460	0,563	0,711	0,702	0,686	0,460	0,711	0,624	
	3	0,529	0,517	0,688	0,732	0,709	0,517	0,732	0,635	
Cd 1	1	0,451	0,497	0,579	0,723	0,727	0,451	0,727	0,595	0,604
	2	0,413	0,497	0,556	0,791	0,698	0,413	0,791	0,591	
	3	0,458	0,522	0,634	0,755	0,761	0,458	0,761	0,626	
Cd 2	1	0,401	0,543	0,579	0,793	0,693	0,401	0,793	0,602	0,597
	2	0,374	0,536	0,563	0,748	0,727	0,374	0,748	0,590	
	3	0,419	0,531	0,609	0,755	0,686	0,419	0,755	0,600	
Cd 3	1	0,367	0,568	0,502	0,595	0,723	0,367	0,723	0,551	0,558
	2	0,369	0,563	0,549	0,577	0,750	0,369	0,750	0,562	
	3	0,378	0,586	0,549	0,615	0,684	0,378	0,684	0,562	
Cd 4	1	0,401	0,634	0,527	0,659	0,675	0,401	0,675	0,579	0,573
	2	0,413	0,618	0,540	0,682	0,707	0,413	0,707	0,592	
	3	0,392	0,627	0,536	0,552	0,636	0,392	0,636	0,549	
Cd 5	1	0,374	0,533	0,625	0,629	0,707	0,374	0,707	0,574	0,578
	2	0,367	0,529	0,597	0,618	0,704	0,367	0,704	0,563	
	3	0,381	0,568	0,657	0,672	0,707	0,381	0,707	0,597	
Min.		0,367	0,497	0,502	0,552	0,636	Genel Min: 0,367			
Max.		0,529	0,634	0,773	0,793	0,761	Genel Max: 0,793			
Ort.		0,414	0,554	0,599	0,685	0,703	Genel Ort: 0,591			



Şekil 4.13. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Mn değişim diyagramı

4.2.3. Toprak Örneklerin Ağır Metal İçerikleri

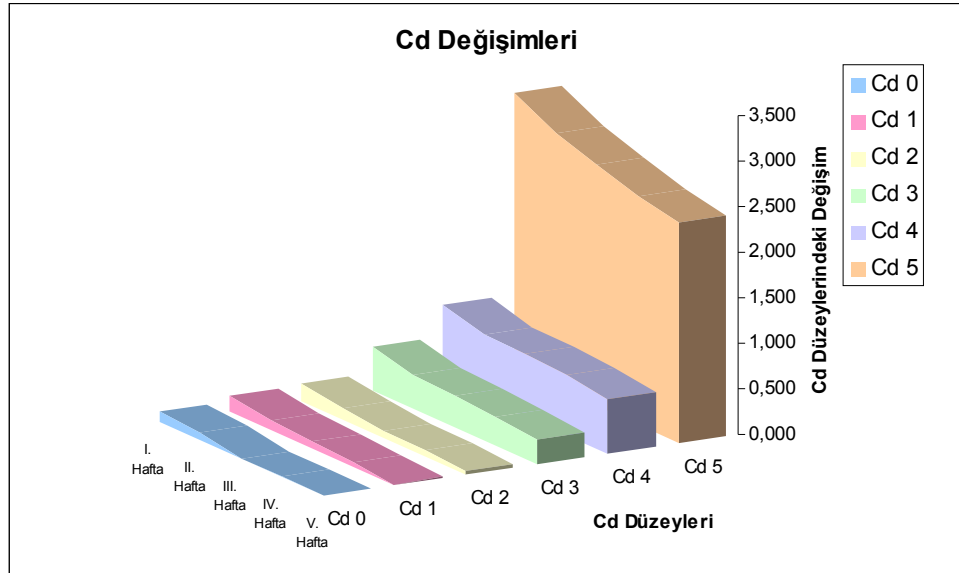
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Cd içeriklerinin değişimi Çizelge 4.15’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Cd içerikleri $\bar{I}z \pm 3,123$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Cd içeriğinin 0,657 ppm olduğu saptanmıştır.

Feige ve Grunwaldt (1977)’nin bildirdiği 3 ppm ‘lik sınır değer kabul edilirse; toprak örneklerinin % 97,78’ inin < 3 ppm aralığında herhangi bir Cd kirliliğine maruz kalmadığı saptanmıştır. Toprak örneklerinin % 2,22’ sinin (>3 ppm) toksik düzeylerde Cd içerdiği gözlenmiştir.

Artan Cd dozlarında beklenildiği üzere istenen artış söz konusu olmuş ve toksite saptanmıştır. Bitkilerin topraktan Cd’u bünyelerine almaları sonucu vejetasyon süresi boyunca toprakların Cd içeriklerinde bir azalmanın söz konusu olduğu saptanmıştır (Şekil 4.14).

Çizelge 4.15. Toprak örneklerinin Cd analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	0,114	0,068	İz	İz	İz	İz	0,114	0,036	0,039
	2	0,114	0,091	İz	İz	İz	İz	0,114	0,041	
	3	0,114	0,091	İz	İz	İz	İz	0,114	0,041	
Cd 1	1	0,182	0,114	0,046	0,023	İz	İz	0,182	0,073	0,081
	2	0,182	0,091	0,091	0,046	0,023	0,023	0,182	0,087	
	3	0,160	0,091	0,091	0,068	İz	İz	0,16	0,082	
Cd 2	1	0,205	0,114	0,068	0,068	0,046	0,046	0,205	0,100	0,097
	2	0,182	0,114	0,068	0,068	0,046	0,046	0,182	0,096	
	3	0,182	0,114	0,091	0,068	0,023	0,023	0,182	0,096	
Cd 3	1	0,502	0,365	0,365	0,319	0,296	0,296	0,502	0,369	0,353
	2	0,479	0,388	0,388	0,365	0,228	0,228	0,479	0,370	
	3	0,433	0,342	0,296	0,274	0,251	0,251	0,433	0,319	
Cd 4	1	0,843	0,661	0,638	0,638	0,593	0,593	0,843	0,675	0,691
	2	0,821	0,684	0,684	0,661	0,661	0,661	0,821	0,702	
	3	0,775	0,752	0,729	0,684	0,547	0,547	0,775	0,697	
Cd 5	1	3,123	2,872	2,713	2,644	2,371	2,371	3,123	2,745	2,682
	2	3,055	2,827	2,758	2,736	2,736	2,736	3,055	2,822	
	3	2,918	2,690	2,508	2,143	2,143	2,143	2,918	2,480	
Min.		0,114	0,068	İz	İz	İz	Genel Min: İz			
Max.		3,123	2,872	2,758	2,736	2,736	Genel Max: 3,123			
Ort.		0,799	0,693	0,641	0,600	0,554	Genel Ort: 0,657			



Şekil 4.14. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Cd değişim diyagramı

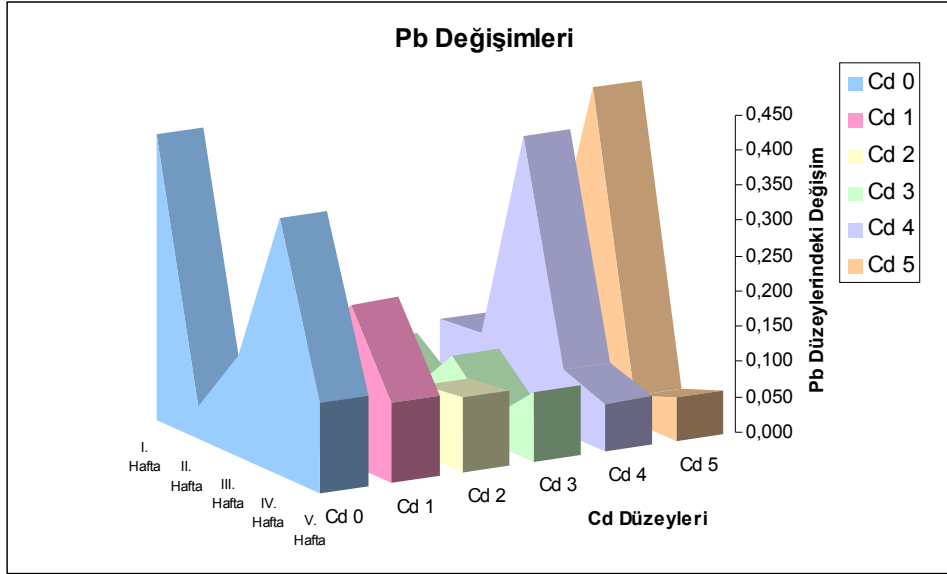
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Pb içeriklerinin değişimi Çizelge 4.16’da görüldüğü gibidir. Çizelge 4.16’dan da gözlenebileceği gibi Pb içerikleri $\bar{I}z \pm 1,032$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Pb içeriğinin 0,129 ppm olduğu saptanmıştır.

Feige ve Grunwaldt (1977), Kloke (1980), Anonim (1981)’in bildirdiği 100 ppm ‘lik sınır değer kabul edilirse; toprak örneklerinin tamamının herhangi bir Pb kirliliğine maruz kalmadığı gözlenmektedir.

Artan Cd dozlarına bağlı olarak toprakların Zn bitki besin elementi içeriklerinde hafif bir düşüşle birlikte, bir dalgalanmanın söz konusu olduğu saptanmıştır. Kadmiyum 2 ve Cd3 dozlarında en düşük seviyelere ulaşmış, Cd4 ve Cd5 dozlarında tekrar bir miktar artış göstermiştir. Haftalar bazında ise Pb miktarının topraklarda azaldığı yani bitki tarafından alındığı saptanmıştır (Şekil 4.15).

Çizelge 4.16. Toprak örneklerine ait Pb analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	1,032	0,068	0,160	0,388	0,137	0,068	1,032	0,357	0,218
	2	0,091	0,023	0,137	0,342	0,137	0,023	0,342	0,146	
	3	0,091	0,046	0,137	0,365	0,114	0,046	0,365	0,151	
Cd 1	1	0,023	0,023	0,160	0,205	0,137	0,023	0,205	0,110	0,111
	2	0,046	0,046	0,160	0,251	0,091	0,046	0,251	0,119	
	3	0,023	0,023	0,137	0,228	0,114	0,023	0,228	0,105	
Cd 2	1	0,068	İz	0,023	0,091	0,114	İz	0,114	0,059	0,056
	2	0,046	İz	0,023	0,091	0,091	İz	0,091	0,050	
	3	0,023	İz	0,046	0,114	0,114	İz	0,114	0,059	
Cd 3	1	0,091	0,068	0,068	0,023	0,114	0,023	0,114	0,073	0,065
	2	0,046	İz	0,114	0,046	0,091	İz	0,114	0,059	
	3	0,068	İz	0,114	0,046	0,091	İz	0,114	0,064	
Cd 4	1	0,091	0,068	0,365	0,091	0,068	0,068	0,365	0,137	0,145
	2	0,091	0,091	0,388	0,114	0,068	0,068	0,388	0,150	
	3	0,068	0,114	0,433	0,068	0,068	0,068	0,433	0,150	
Cd 5	1	0,137	0,205	0,433	0,046	0,068	0,046	0,433	0,178	0,175
	2	0,160	0,160	0,479	0,023	0,068	0,023	0,479	0,178	
	3	0,137	0,182	0,433	0,046	0,046	0,046	0,433	0,169	
Min.		0,023	İz	0,023	0,023	0,046	Genel Min:İz			
Max.		1,032	0,205	0,479	0,388	0,137	Genel Max:1,032			
Ort.		0,130	0,062	0,212	0,143	0,096	Genel Ort:0,129			



Şekil 4.15. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Pb değişim diyagramı

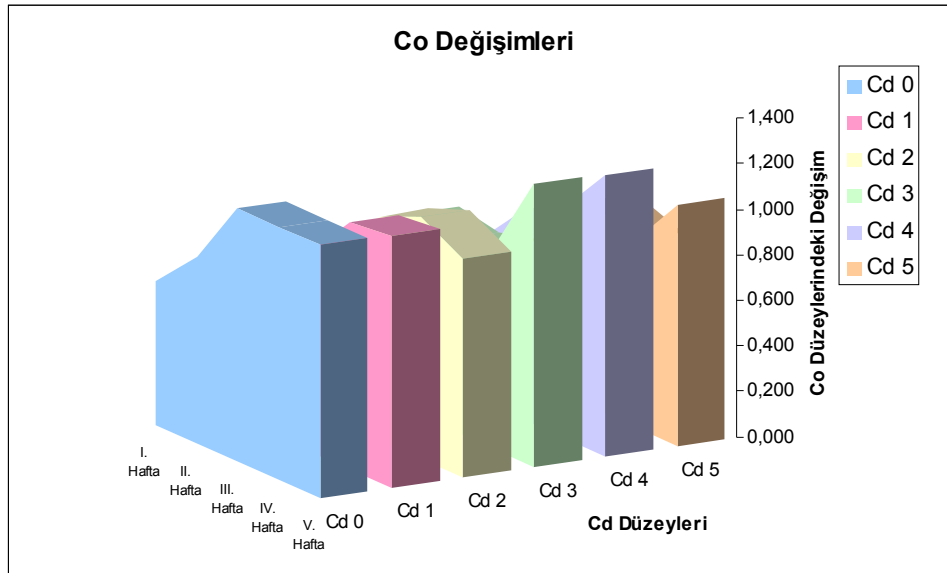
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Co içeriklerinin değişimi Çizelge 4.17’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Co içerikleri $0,34 \pm 1,74$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Co içeriğinin $0,89$ ppm olduğu saptanmıştır.

Kloke (1980), Pendias ve Pendias (1984)’ün bildirdiği 50 ppm ‘lik sınır değer kabul edilirse; toprak örneklerinin tamamının herhangi bir Co kirliliğine maruz kalmadığı gözlenmektedir.

Toprakların Co içeriklerinin artan Cd dozlarına bağlı olarak azaldıkları saptanmıştır. Fakat; vejetasyon boyunca toprakların Co içeriklerinde bir artışın söz konusu olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.16).

Çizelge 4.17. Toprak örneklerine ait Co analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	0,70	0,96	1,12	1,06	1,08	0,70	1,12	0,98	0,96
	2	0,56	0,78	1,24	1,18	1,12	0,56	1,24	0,98	
	3	0,64	0,72	0,98	1,10	1,16	0,64	1,16	0,92	
Cd 1	1	0,84	1,06	1,04	1,14	1,04	0,84	1,14	1,02	0,90
	2	0,54	0,64	0,74	1,26	1,04	0,54	1,26	0,84	
	3	0,58	0,68	0,86	0,86	1,24	0,58	1,24	0,84	
Cd 2	1	0,70	0,98	1,38	1,30	1,08	0,70	1,38	1,09	0,88
	2	0,44	0,76	0,78	1,16	1,12	0,44	1,16	0,85	
	3	0,60	0,76	0,80	0,74	0,68	0,60	0,80	0,72	
Cd 3	1	0,82	1,06	1,04	0,88	1,50	0,82	1,50	1,06	0,88
	2	0,52	0,78	0,72	0,88	1,22	0,52	1,22	0,82	
	3	0,48	0,78	0,74	0,90	1,00	0,48	1,00	0,78	
Cd 4	1	0,76	0,90	0,94	1,40	1,74	0,76	1,74	1,15	0,89
	2	0,50	0,90	0,68	1,02	1,04	0,50	1,04	0,83	
	3	0,54	0,34	1,14	0,64	0,92	0,34	1,14	0,72	
Cd 5	1	0,68	0,98	0,96	0,94	1,04	0,68	1,04	0,92	0,82
	2	0,50	0,70	0,80	0,92	1,08	0,50	1,08	0,80	
	3	0,48	0,76	0,90	0,62	1,06	0,48	1,06	0,76	
Min.		0,44	0,34	0,68	0,62	0,68	Genel Min:0,34			
Max.		0,84	1,06	1,38	1,40	1,74	Genel Max:1,74			
Ort.		0,60	0,81	0,94	1,00	1,12	Genel Ort:0,89			



Şekil 4.16. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Co değişim diyagramı

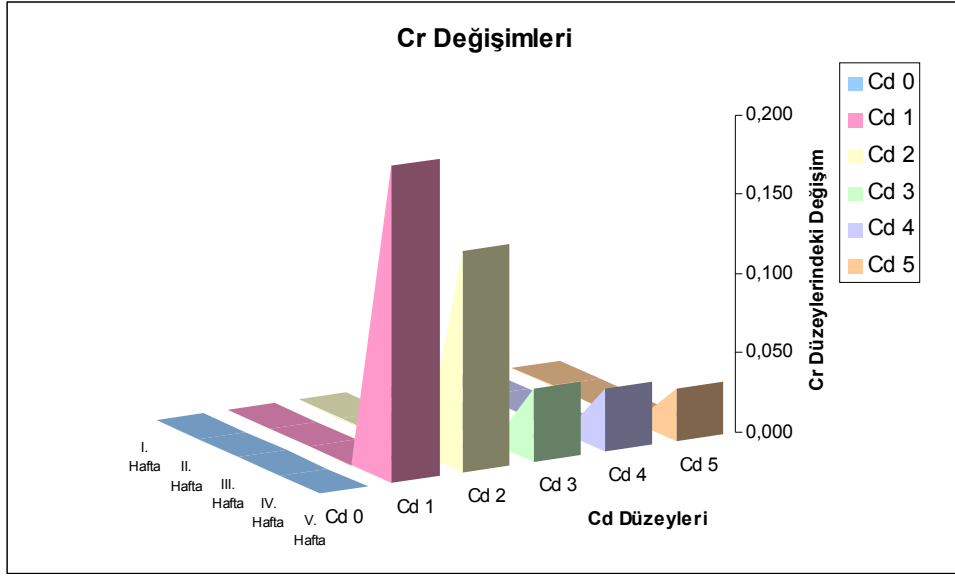
Denemede boyunca saksı içerisinde bulunan toprak örneklerine ait Cr içeriklerinin değişimi Çizelge 4.18’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Cr içerikleri $\bar{I}z \pm 0,340$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Cr içeriğinin 0,015 ppm olduğu saptanmıştır.

Kloke (1980), Pendias ve Pendias (1984)’ün bildirdiği 100 ppm ‘lik sınır değer kabul edilirse; toprak örneklerinin tamamının herhangi bir Cr kirliliğine maruz kalmadığı gözlenmektedir.

Toprakların Cr içeriklerinin iz miktarlarda saptanmasına karşın 5. hafta yani vejetasyon periyodunun sonunda bir miktar artış gösterdiği saptanmıştır. Cd dozlarına bağlı olarak ise bir dalgalanma söz konusu olmuştur. Fakat; son haftadaki değerlere bağlı olarak saptanan bu dalgalanmanın, Cd toksitesi için önemli düzeylerde olmadığı saptanmıştır (Şekil 4.17).

Çizelge 4.18. Toprak örneklerine ait Cr analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	İz	İz	İz	İz	İz	İz	İz	0,000	0,000
	2	İz	İz	İz	İz	İz	İz	İz	0,000	
	3	İz	İz	İz	İz	İz	İz	İz	0,000	
Cd 1	1	İz	İz	İz	İz	İz	İz	İz	0,000	0,040
	2	İz	İz	İz	İz	0,340	İz	0,340	0,068	
	3	İz	İz	İz	İz	0,260	İz	0,260	0,052	
Cd 2	1	İz	İz	İz	İz	0,340	İz	0,340	0,068	0,028
	2	İz	İz	İz	İz	0,080	İz	0,080	0,016	
	3	İz	İz	İz	İz	İz	İz	İz	0,000	
Cd 3	1	İz	İz	İz	İz	İz	İz	İz	0,000	0,009
	2	İz	İz	İz	İz	İz	İz	İz	0,000	
	3	İz	İz	İz	İz	0,140	İz	0,140	0,028	
Cd 4	1	İz	İz	İz	İz	İz	İz	İz	0,000	0,008
	2	İz	İz	İz	İz	0,120	İz	0,120	0,024	
	3	İz	İz	İz	İz	İz	İz	İz	0,000	
Cd 5	1	İz	İz	İz	İz	0,080	İz	0,080	0,016	0,006
	2	İz	İz	İz	İz	0,020	İz	0,020	0,004	
	3	İz	İz	İz	İz	İz	İz	İz	0,000	
Min.		İz	İz	İz	İz	İz	Genel Min:İz			
Max.		İz	İz	İz	İz	0,340	Genel Max:0,340			
Ort.		0,000	0,000	0,000	0,000	0,077	Genel Ort:0,015			



Şekil 4.17. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında toprak örneklerinin Cr değişim diyagramı

4.3 Bitki Yaprak Örneklerinin Besin Elementi Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.3.1. Bitki Örneklerin Bitki Besin Maddesi İçerikleri

Bitki örneklerine ait % N içeriklerinin değişimi Çizelge 4.19’da görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi % N içerikleri 2,45±7,58 değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama N içeriğinin % 4,54 olduğu saptanmıştır.

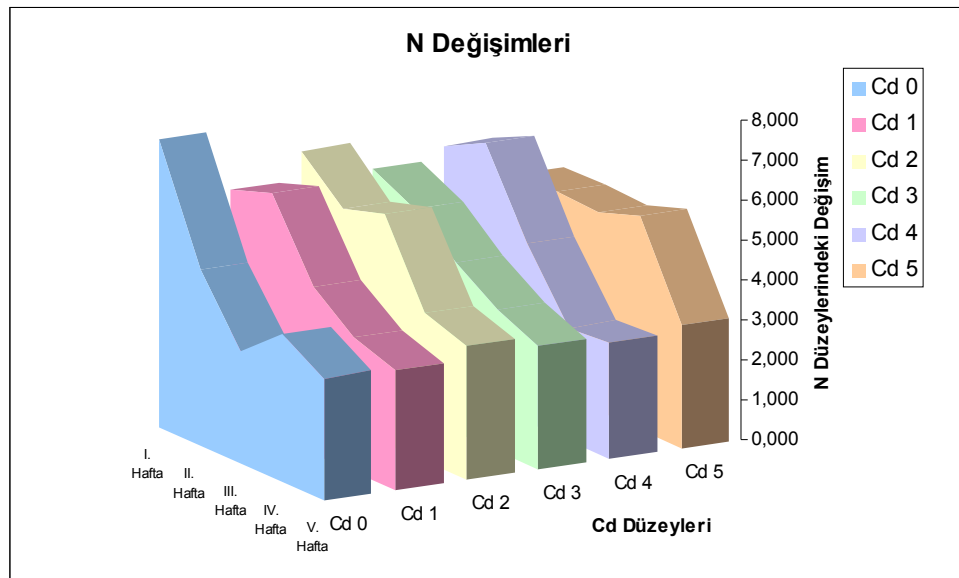
Çizelge 4.19. Bitki örneklerinin N analiz sonuçları (%)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	7,58	4,40	2,64	3,55	3,27	2,64	7,58	4,29	4,25
	2	7,04	4,33	2,64	4,09	3,55	2,64	7,04	4,33	
	3	7,04	4,54	3,18	3,55	2,46	2,46	7,04	4,15	
Cd 1	1	5,69	5,82	4,20	3,00	3,00	3,00	5,82	4,34	4,46
	2	5,28	6,57	4,47	3,55	3,27	3,27	6,57	4,63	
	3	6,10	5,82	3,93	3,55	2,73	2,73	6,10	4,43	
Cd 2	1	6,10	5,21	6,00	3,00	3,27	3,00	6,10	4,72	4,93
	2	5,96	5,49	5,73	3,55	3,00	3,00	5,96	4,74	
	3	7,18	5,55	5,46	4,64	3,82	3,82	7,18	5,33	
Cd 3	1	5,69	4,88	3,55	3,27	3,00	3,00	5,69	4,08	4,35
	2	5,55	4,88	4,37	3,00	3,00	3,00	5,55	4,16	
	3	5,82	5,69	4,91	4,37	3,27	3,27	5,82	4,81	
Cd 4	1	6,10	6,64	4,37	2,73	2,73	2,73	6,64	4,51	4,54
	2	5,82	6,77	5,18	3,00	2,73	2,73	6,77	4,70	
	3	6,10	6,23	3,82	2,73	3,27	2,73	6,23	4,43	
Cd 5	1	5,01	5,08	4,37	4,64	2,73	2,73	5,08	4,37	4,70
	2	5,15	4,81	5,18	5,46	3,27	3,27	5,46	4,77	
	3	4,88	5,28	5,46	6,00	3,27	3,27	6,00	4,98	
Min.		4,88	4,33	2,64	2,73	2,46	Genel Min: 2,45			
Max.		7,58	6,77	6,00	6,00	3,82	Genel Max: 7,58			
Ort.		6,00	5,44	4,41	3,76	3,09	Genel Ort: 4,54			

Jones ve ark. (1991)’nın fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris L.*) için belirttiği sınır değerler dikkate alındığında; bitki örneklerinin % 5,56’ sının 4,24-4,99 ppm aralığında noksan düzeyde N içerdiği saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 94,44’ ünün 5,0-6,0 ppm aralığında yeterli düzeylerde

N içerdiği gözlenmiştir. Bitki örneklerinin % 94,44' ünün >6,0 ppm aralığında Fazla düzeylerde N içerdiği gözlenmiştir.

Bitki örneklerinin N içerikleri Cd dozlarına bağlı olarak bir artış göstermektedir. Fakat vejetasyon süresince bitkilerin N içeriklerinin azaldığı saptanmıştır. Bu N içeriğindeki düşüşe bağlı olarak vejetasyon süresince bitkinin yapraklarında bir incelme olduğu saptanmıştır. Bitkilerin giderek daha cılız ve zayıf formlarda geliştikleri gözlemlenmiştir (Şekil 4.18).



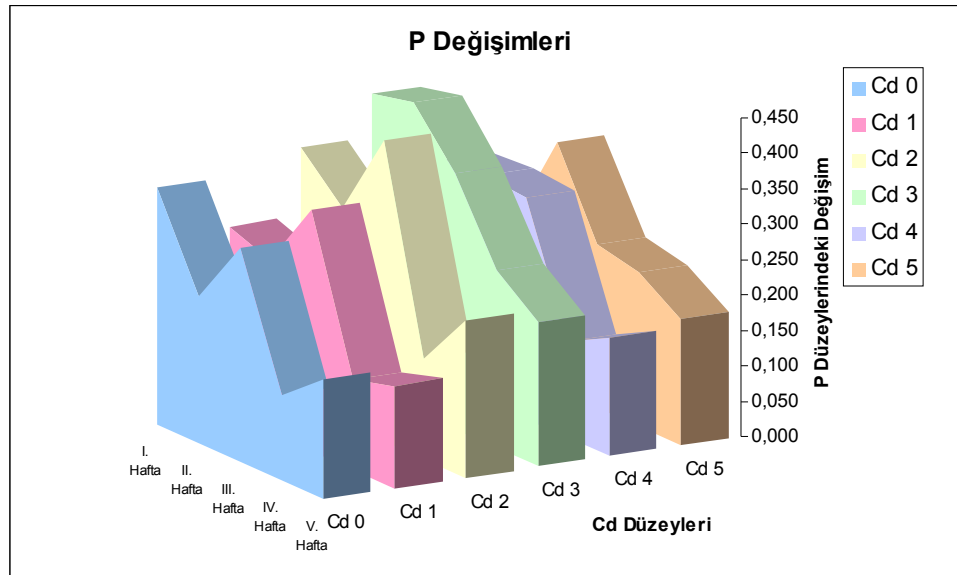
Şekil 4.18. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin N değişim diyagramı

Bitki örneklerine ait % P içeriklerinin değişimi Çizelge 4.20'de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi % P içerikleri $0,103 \pm 0,472$ değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama P içeriğinin % 0,260 olduğu saptanmıştır.

Jones ve ark. (1991)'nin fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris L.*) için belirttiği sınır değerler dikkate alındığında; bitki örneklerinin % 28,29' unun 0,25-0,34 ppm aralığında noksan düzeyde P içerdiği saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 20' sinin 0,35-0,75 ppm aralığında yeterli düzeylerde P içerdiği gözlenmiştir. Bitki örneklerinin % 51,11' inin ise sınıflamada belirtilen 0,25 ppm sınır değerinin altında aşırı noksan düzeylerde P içerdiği gözlenmiştir (Şekil 4.19).

Çizelge 4.20. Bitki örneklerinin P analiz sonuçları (%)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	0,358	0,206	0,290	0,126	0,172	0,126	0,358	0,230	0,227
	2	0,331	0,202	0,300	0,116	0,162	0,116	0,331	0,222	
	3	0,317	0,216	0,318	0,116	0,172	0,116	0,318	0,228	
Cd 1	1	0,260	0,236	0,325	0,104	0,119	0,104	0,325	0,209	0,224
	2	0,288	0,268	0,381	0,113	0,147	0,113	0,381	0,239	
	3	0,247	0,224	0,315	0,163	0,168	0,163	0,315	0,223	
Cd 2	1	0,359	0,283	0,375	0,103	0,218	0,103	0,375	0,268	0,289
	2	0,347	0,318	0,472	0,141	0,208	0,141	0,472	0,297	
	3	0,376	0,305	0,419	0,179	0,237	0,179	0,419	0,303	
Cd 3	1	0,397	0,448	0,316	0,231	0,223	0,223	0,448	0,323	0,334
	2	0,443	0,445	0,317	0,277	0,185	0,185	0,445	0,333	
	3	0,422	0,411	0,451	0,243	0,205	0,205	0,451	0,346	
Cd 4	1	0,301	0,282	0,298	0,120	0,179	0,120	0,301	0,236	0,249
	2	0,294	0,366	0,266	0,171	0,162	0,162	0,366	0,252	
	3	0,348	0,307	0,372	0,113	0,158	0,113	0,372	0,260	
Cd 5	1	0,231	0,316	0,267	0,219	0,166	0,166	0,316	0,240	0,239
	2	0,203	0,366	0,212	0,201	0,172	0,172	0,366	0,231	
	3	0,219	0,367	0,216	0,234	0,196	0,196	0,367	0,246	
Min.		0,203	0,202	0,212	0,103	0,119	Genel Min: 0,103			
Max.		0,443	0,448	0,472	0,277	0,237	Genel Max: 0,472			
Ort.		0,319	0,309	0,328	0,165	0,181	Genel Ort: 0,260			



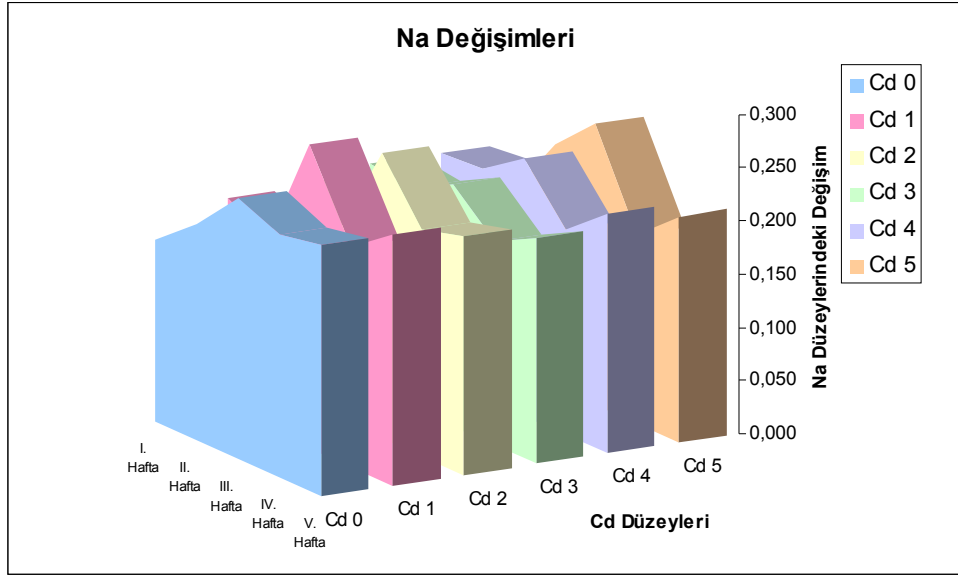
Şekil 4.19. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin P değişim diyagramı

Bitki yapraklarının P içeriklerinin 3. haftaya kadar yaklaşık aynı seviyelerde gözlenmesine rağmen; 4. haftadan itibaren yaklaşık yarı seviyelere düştüğü gözlenmektedir. Cd dozları baz alınarak incelenecek olursa Cd3 dozuna kadar bir artış söz konusu olmuş Cd4 ve Cd5 dozlarında ise tekrar Cd0 dozundaki seviyelere kadar düşüş gözlenmiştir.

Bitki örneklerine ait % Na içeriklerinin değişimi Çizelge 4.21’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi % Na içerikleri $0,131 \pm 0,297$ değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Na içeriğinin % 0,216 olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.21. Bitki örneklerinin Na analiz sonuçları (%)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	0,192	0,227	0,262	0,254	0,297	0,192	0,297	0,246	0,217
	2	0,157	0,192	0,271	0,219	0,210	0,157	0,271	0,210	
	3	0,166	0,192	0,201	0,210	0,201	0,166	0,210	0,194	
Cd 1	1	0,192	0,219	0,271	0,245	0,262	0,192	0,271	0,238	0,221
	2	0,236	0,184	0,297	0,175	0,245	0,175	0,297	0,227	
	3	0,175	0,131	0,289	0,201	0,201	0,131	0,289	0,199	
Cd 2	1	0,201	0,166	0,262	0,245	0,245	0,166	0,262	0,224	0,218
	2	0,219	0,149	0,262	0,227	0,227	0,149	0,262	0,217	
	3	0,192	0,227	0,280	0,166	0,201	0,166	0,280	0,213	
Cd 3	1	0,227	0,210	0,262	0,227	0,271	0,210	0,271	0,239	0,210
	2	0,236	0,201	0,201	0,157	0,201	0,157	0,236	0,199	
	3	0,175	0,210	0,219	0,192	0,166	0,166	0,219	0,192	
Cd 4	1	0,245	0,219	0,289	0,184	0,254	0,184	0,289	0,238	0,218
	2	0,175	0,210	0,245	0,192	0,236	0,175	0,245	0,212	
	3	0,219	0,219	0,192	0,201	0,184	0,184	0,219	0,203	
Cd 5	1	0,192	0,236	0,280	0,175	0,254	0,175	0,280	0,227	0,210
	2	0,166	0,227	0,289	0,192	0,192	0,166	0,289	0,213	
	3	0,149	0,219	0,227	0,166	0,192	0,149	0,227	0,191	
Min.		0,149	0,131	0,192	0,157	0,166	Genel Min: 0,131			
Max.		0,245	0,236	0,297	0,254	0,297	Genel Max: 0,297			
Ort.		0,195	0,202	0,256	0,202	0,224	Genel Ort: 0,216			



Şekil 4.20. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Na değişim diyagramı

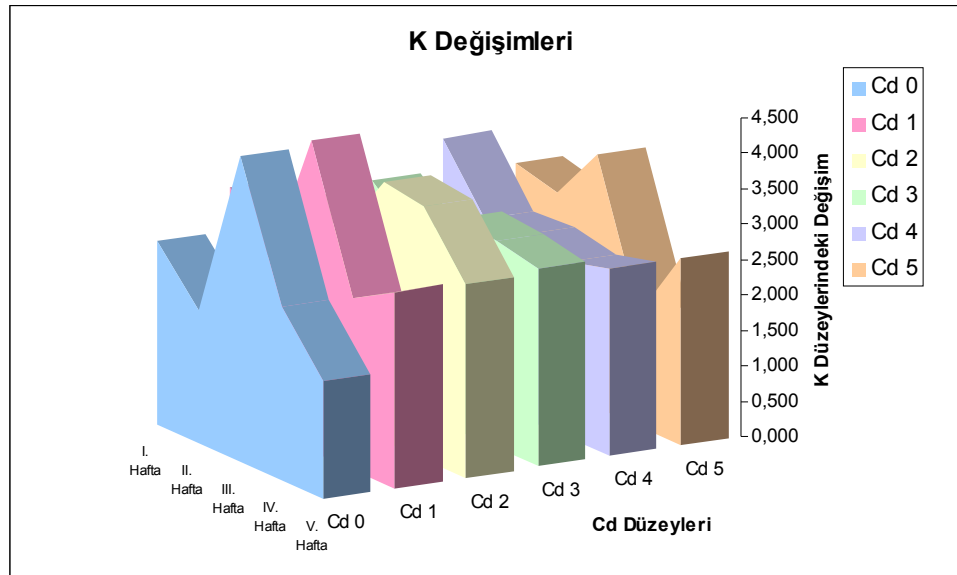
Bitki örneklerindeki Na seviyelerinde haftalar bazında hafif bir artış söz konusu olsa da önemli düzeylerde seyretmemiştir. Cd seviyeleri baz alındığında ise yine önemli bir değişimin söz konusu olmadığı saptanmıştır (Şekil 4.20).

Bitki örneklerine ait % K içeriklerinin değişimi Çizelge 4.22’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi % K içerikleri $1,34 \pm 4,52$ değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama K içeriğinin % 2,83 olduğu saptanmıştır.

Jones ve ark. (1991)’nın fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris L.*) için belirttiği sınır değerler dikkate alındığında; bitki örneklerinin % 10’ unun $>2,0$ ppm aralığında çok noksan düzeylerde K içerdiği gözlenmiştir. Bitki örneklerinin % 3,33’ ünün 2,0-2,24 ppm aralığında noksan düzeyde K içerdiği saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 80’ inin 2,25-4,0 ppm aralığında yeterli düzeylerde K içerdiği gözlenmiştir. Bitki örneklerinin % 6,67’ sinin $>4,0$ ppm aralığında Fazla düzeylerde K içerdiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.22. Bitki örneklerinin K analiz sonuçları (%)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	2,58	1,94	4,37	2,63	1,74	1,74	4,37	2,65	2,57
	2	2,73	1,84	4,32	2,43	1,74	1,74	4,32	2,61	
	3	2,43	1,89	4,22	2,29	1,49	1,49	4,22	2,46	
Cd 1	1	3,13	2,53	4,27	2,83	3,23	2,53	4,27	3,20	3,04
	2	3,38	2,34	4,52	2,34	2,73	2,34	4,52	3,06	
	3	3,08	2,43	4,37	2,09	2,34	2,09	4,37	2,86	
Cd 2	1	2,58	2,63	3,58	3,73	3,08	2,58	3,73	3,12	3,10
	2	3,33	2,73	3,63	3,53	2,78	2,73	3,63	3,20	
	3	2,78	2,73	3,73	3,43	2,34	2,34	3,73	3,00	
Cd 3	1	2,98	2,34	3,08	3,18	3,33	2,34	3,33	2,98	2,82
	2	2,98	2,43	2,88	2,93	2,83	2,43	2,98	2,81	
	3	3,03	2,58	2,98	2,63	2,24	2,24	3,03	2,69	
Cd 4	1	3,43	2,43	2,98	2,93	2,93	2,43	3,43	2,94	2,74
	2	3,38	2,58	2,63	2,19	2,93	2,19	3,38	2,74	
	3	3,53	2,68	2,24	2,34	2,04	2,04	3,53	2,56	
Cd 5	1	2,73	2,93	3,97	1,54	3,03	1,54	3,97	2,84	2,70
	2	3,08	2,58	3,78	1,94	2,48	1,94	3,78	2,77	
	3	2,98	2,83	2,98	1,34	2,43	1,34	2,98	2,51	
Min.		2,43	1,84	2,24	1,34	1,49	Genel Min: 1,34			
Max.		3,53	2,93	4,52	3,73	3,33	Genel Max: 4,52			
Ort.		3,01	2,47	3,59	2,57	2,54	Genel Ort: 2,83			



Şekil 4.21. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin K değişim diyagramı

Bitki örneklerinin K içerikleri Cd dozlarına bağlı olarak Cd2 dozuna kadar artmış daha yüksek Cd dozlarında ise bir düşüşe maruz kalmıştır. Vejetasyon süresince bitkilerin K içeriklerinin hafif bir düşüş sergiledikleri gözlemlenmiştir (Şekil 4.21).

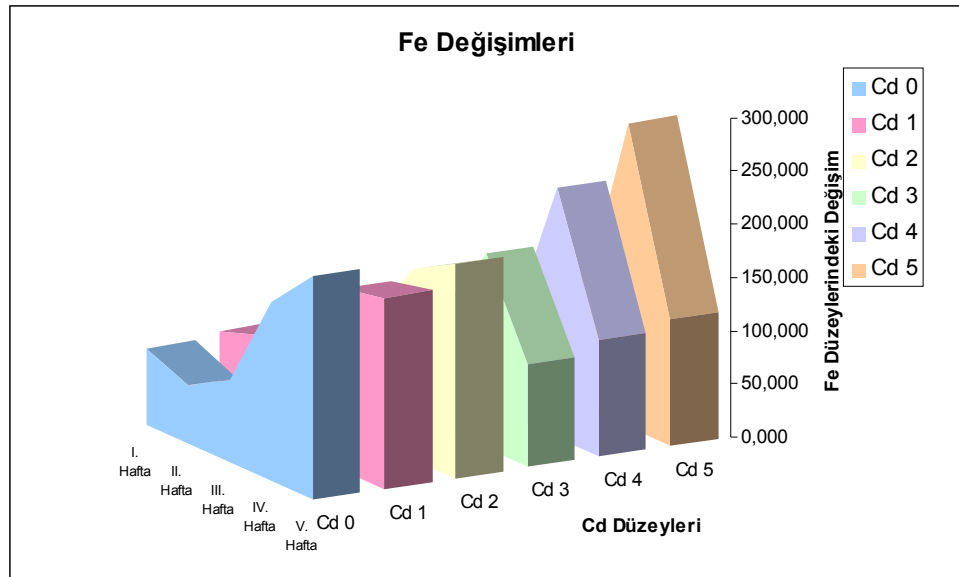
Bitki örneklerine ait Fe içeriklerinin değişimi Çizelge 4.23’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Fe içerikleri 51±295 ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Fe içeriğinin 127 ppm olduğu saptanmıştır.

Jones ve ark. (1991)’nın fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris L.*) için belirttiği sınır değerler dikkate alındığında; bitki örneklerinin tamamının 50-300 ppm aralığında yeterli düzeylerde Fe içerdiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.23. Bitki örneklerinin Fe analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	77	51	77	154	231	51	231	118	116
	2	77	51	64	167	205	51	205	113	
	3	64	64	90	186	192	64	192	119	
Cd 1	1	77	83	128	154	167	77	167	122	129
	2	77	103	115	192	192	77	192	136	
	3	83	90	141	167	179	83	179	132	
Cd 2	1	64	77	103	167	192	64	192	121	131
	2	77	90	115	192	218	77	218	138	
	3	64	103	141	179	192	64	192	136	
Cd 3	1	90	115	96	179	83	83	179	113	117
	2	90	103	115	179	90	90	179	115	
	3	77	103	128	192	115	77	192	123	
Cd 4	1	90	90	103	205	103	90	205	118	125
	2	77	115	103	269	96	77	269	132	
	3	77	103	96	231	128	77	231	127	
Cd 5	1	77	103	128	282	103	77	282	138	142
	2	103	90	115	282	115	90	282	141	
	3	90	115	103	295	141	90	295	149	
Min.		64	51	64	154	83	Genel Min: 51 Genel Max: 295 Genel Ort: 127			
Max.		103	115	141	295	231				
Ort.		79	92	109	204	152				

Bitki vejetasyonu boyunca fasulye bitkisinin yapraklarındaki Fe bitki besin elementi içeriğinde bir artış söz konusu olmuştur. Cd dozları göz önüne alınacak olursa, Cd2 dozuna kadar bitki yapraklarının Fe besin elementi içeriğinde bir artış söz konusu olmaktadır. Bu artış Cd3 dozunda Cd0 dozuna yakın değerler ulaşmış Cd4 ve Cd5 dozlarında tekrar bir artış sergilemiştir (Şekil 4.22).



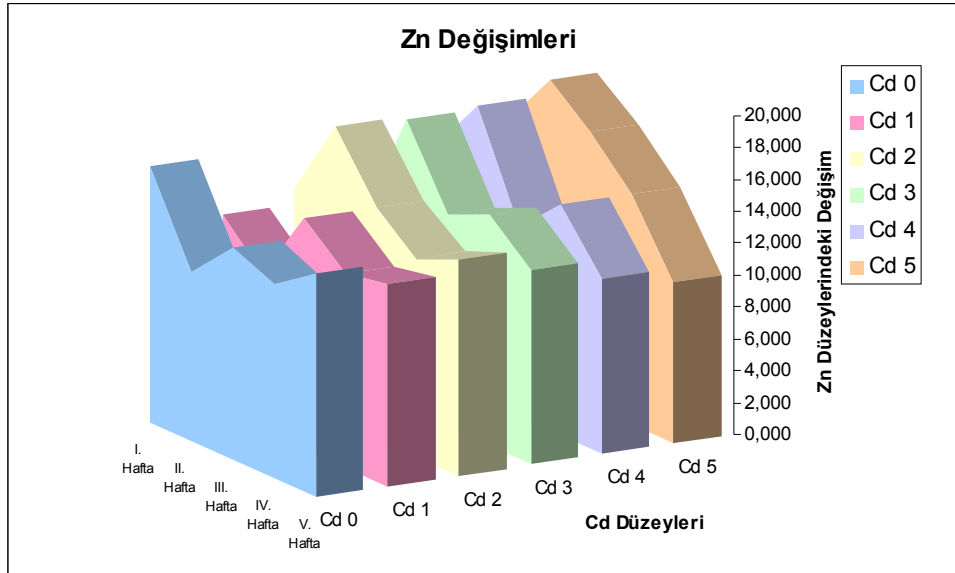
Şekil 4.22. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Fe değişim diyagramı

Bitki örneklerine ait Zn içeriklerinin değişimi Çizelge 4.24'de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Zn içerikleri $8,97 \pm 20,00$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Zn içeriğinin 13,89 ppm olduğu saptanmıştır.

Jones ve ark. (1991)'nın fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris L.*) için belirttiği sınır değerler dikkate alındığında; bitki örneklerinin % 97,78' inin 18-19 ppm aralığında noksan düzeyde Zn içerdiği saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 2,22' sinin 20-200 ppm aralığında yeterli düzeylerde Zn içerdiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.24. Bitki örneklerinin Zn analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	17,24	8,97	13,10	13,10	15,17	8,97	17,24	13,52	13,24
	2	15,86	10,35	11,73	11,04	13,79	10,35	15,86	12,55	
	3	15,17	12,42	15,17	12,42	13,10	12,42	15,17	13,66	
Cd 1	1	13,79	10,35	13,10	11,04	13,79	10,35	13,79	12,42	12,32
	2	12,42	10,35	15,86	12,42	11,73	10,35	15,86	12,55	
	3	11,04	8,97	14,48	13,10	12,42	8,97	14,48	12,00	
Cd 2	1	13,79	16,55	13,79	11,04	13,79	11,04	16,55	13,79	14,43
	2	13,79	18,62	16,55	12,42	13,10	12,42	18,62	14,90	
	3	12,42	20,00	13,10	13,79	13,79	12,42	20,00	14,62	
Cd 3	1	11,73	17,24	14,48	13,10	13,10	11,73	17,24	13,93	13,88
	2	10,35	17,93	13,10	14,48	12,42	10,35	17,93	13,66	
	3	11,73	19,31	12,42	15,86	11,04	11,04	19,31	14,07	
Cd 4	1	14,48	17,93	13,10	15,17	11,73	11,73	17,93	14,48	14,11
	2	13,79	19,31	11,04	13,79	11,73	11,04	19,31	13,93	
	3	15,86	17,93	11,73	14,48	9,66	9,66	17,93	13,93	
Cd 5	1	16,55	18,62	17,24	13,10	8,97	8,97	18,62	14,90	15,35
	2	15,86	19,31	17,93	15,86	10,35	10,35	19,31	15,86	
	3	14,48	20,00	16,55	14,48	11,04	11,04	20,00	15,31	
Min.		10,35	8,97	11,04	11,04	8,97	Genel Min: 8,97			
Max.		17,24	20,00	17,93	15,86	15,17	Genel Max: 20,00			
Ort.		13,91	15,79	14,14	13,37	12,26	Genel Ort: 13,89			



Şekil 4.23. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Zn değişim diyagramı

Bitki yaprak örneklerinin Zn içerikleri 2. haftaya kadar bir artış gösterirken bu haftadan itibaren düzenli bir şekilde azalmaya maruz kalmıştır. Buda Zn ve Cd'un alımın mekanizmalarının aynı olması ve bitkiye alınan yüksek miktardaki Cd'un Zn alımını engellemesi neticesinde ortaya çıkmıştır. Cd dozları arttıkça yani bitkiye uygulanan Cd miktarı arttıkça bitkinin yapraklarının Zn konsantrasyonlarında bir artış söz konusu olmaktadır. Minimum ürün yasası dikkate alındığında Zn konsantrasyonundaki bu artışında normal olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.23).

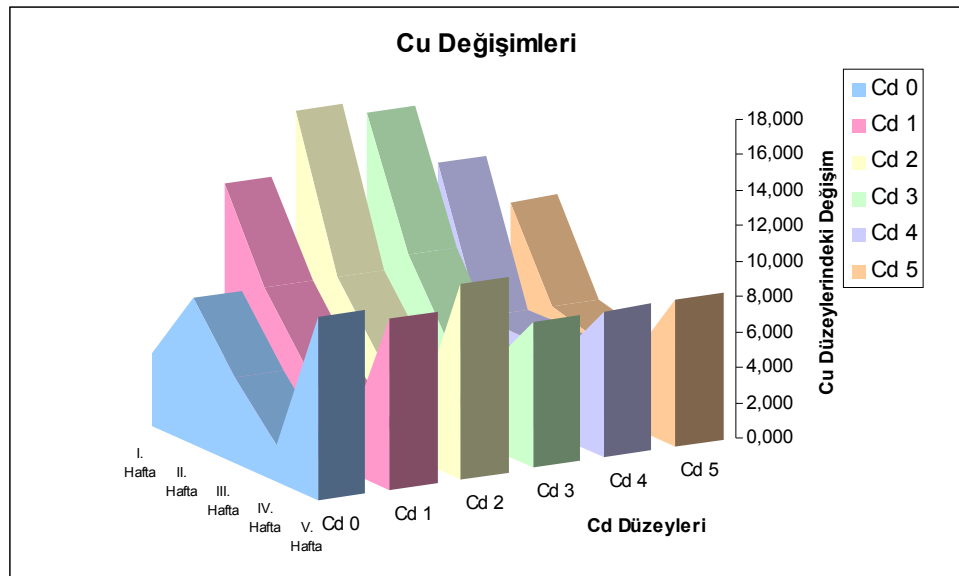
Bitki örneklerine ait Cu içeriklerinin değişimi Çizelge 4.25'de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Cu içerikleri 2,07±18,62 ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Cu içeriğinin 7,33 ppm olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.25. Bitki örneklerinin Cu analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	2,07	8,28	6,21	2,07	12,41	2,07	12,41	6,21	5,93
	2	4,14	8,28	4,14	2,07	8,28	2,07	8,28	5,38	
	3	6,21	8,28	4,14	2,07	10,35	2,07	10,35	6,21	
Cd 1	1	12,41	10,35	4,14	2,07	8,28	2,07	12,41	7,45	7,58
	2	12,41	6,21	4,14	2,07	10,35	2,07	12,41	7,04	
	3	14,48	8,28	6,21	2,07	10,35	2,07	14,48	8,28	
Cd 2	1	18,62	10,35	4,14	2,07	12,41	2,07	18,62	9,52	8,69
	2	14,48	6,21	4,14	4,14	12,41	4,14	14,48	8,28	
	3	16,55	8,28	6,21	2,07	8,28	2,07	16,55	8,28	
Cd 3	1	12,41	6,21	4,14	4,14	8,28	4,14	12,41	7,04	8,55
	2	18,62	10,35	4,14	4,14	6,21	4,14	18,62	8,69	
	3	16,55	10,35	6,21	6,21	10,35	6,21	16,55	9,93	
Cd 4	1	14,48	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	14,48	7,86	7,03
	2	12,41	4,14	4,14	4,14	10,35	4,14	12,41	7,04	
	3	10,35	4,14	4,14	4,14	8,28	4,14	10,35	6,21	
Cd 5	1	10,35	4,14	4,14	4,14	8,28	4,14	10,35	6,21	6,20
	2	10,35	4,14	4,14	4,14	8,28	4,14	10,35	6,21	
	3	8,28	6,21	4,14	4,14	8,28	4,14	8,28	6,21	
Min.		2,07	4,14	4,14	2,07	6,21	Genel Min: 2,07 Genel Mak: 18,62 Genel Ort: 7,33			
Max.		18,62	10,35	6,21	6,21	12,41				
Ort.		11,95	7,24	4,71	3,45	9,31				

Jones ve ark. (1991)'nin Fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris L.*) için belirttiği sınır değerler dikkate alındığında; bitki örneklerinin % 10' unun < 4 ppm aralığında çok noksan düzeyde Cu içerdiği saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 45,56' sının 4-6 ppm aralığında noksan düzeyde Cu içerdiği saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 44,44' ünün 7-30 ppm aralığında yeterli düzeylerde Cu içerdiği gözlenmiştir.

Bitki örneklerinin Cu içerikleri Cd2 dozuna kadar bir artış gösterirken, bu dozdan sonra hafif bir düşüş göstermiştir. Haftalar bazında ise bitki yaprak örneklerinin Cu içerikleri 4. haftaya kadar bir düşüş periyodu seyretmiş son hafta ise ciddi bir artış söz konusu olmuştur (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Cu değişim diyagramı

Bitki örneklerine ait Mn içeriklerinin değişimi Çizelge 4.26'da görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Mn içerikleri $9,66 \pm 18,24$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Mn içeriğinin 13,50 ppm olduğu saptanmıştır.

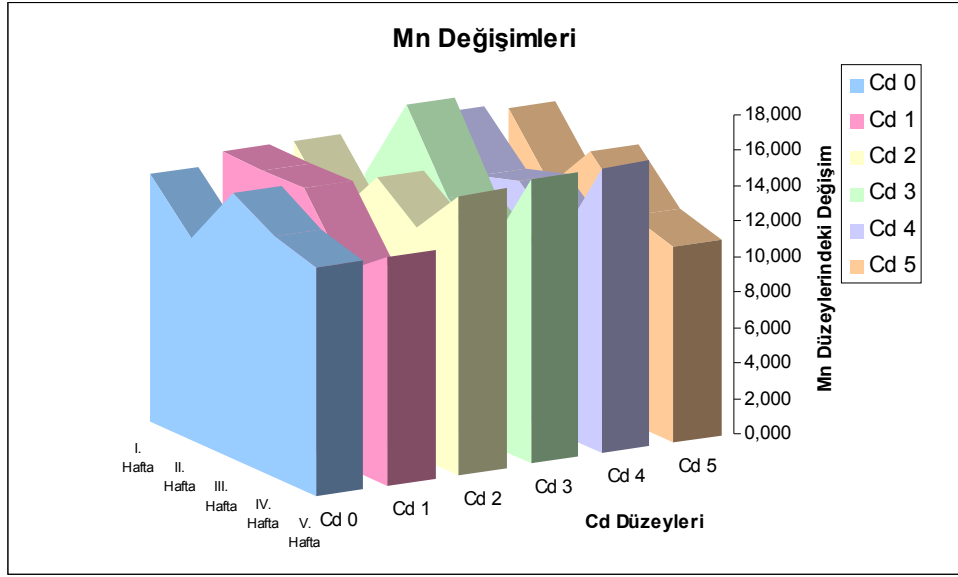
Jones ve ark. (1991)'nin Fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris L.*) için belirttiği sınır değerler dikkate alındığında; bitki örneklerinin % 68,89' unun <15 ppm aralığında çok noksan

düzye Mn içerdđi saptanmıştır.bitki örnekerinin % 31,11' inin 15-49 ppm aralığında noksan düzye Mn içerdđi saptanmıştır.

Bitki yaprak örnekerinin Mn içerieleri göz önüne alındığında; Mn içerielerinin Cd dozlarındaki artışa bağlı olarak hafif bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Haftalar dikkate alındığında hafif bir dalgalanmanın söz konusu olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.25).

Çizelge 4.26. Bitki örnekerinin Mn analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	11,80	10,73	17,17	15,02	13,95	10,73	17,17	13,73	13,37
	2	13,95	10,73	12,88	11,80	11,80	10,73	13,95	12,23	
	3	16,10	12,88	15,02	13,95	12,88	12,88	16,10	14,16	
Cd 1	1	13,95	11,80	16,10	12,88	13,95	11,80	16,10	13,73	13,59
	2	16,10	17,17	15,02	10,73	11,80	10,73	17,17	14,16	
	3	13,95	15,02	12,88	9,66	12,88	9,66	15,02	12,88	
Cd 2	1	12,88	9,66	12,88	11,80	17,17	9,66	17,17	12,88	13,87
	2	16,10	12,88	15,02	12,88	16,10	12,88	16,10	14,59	
	3	15,02	11,80	16,10	13,95	13,95	11,80	16,10	14,16	
Cd 3	1	11,80	16,10	12,88	10,73	17,17	10,73	17,17	13,73	13,87
	2	13,95	18,24	11,80	11,80	16,10	11,80	18,24	14,38	
	3	10,73	17,17	13,95	10,73	15,02	10,73	17,17	13,52	
Cd 4	1	15,02	12,88	15,02	10,73	18,24	10,73	18,24	14,38	13,59
	2	13,95	11,80	12,88	11,80	16,10	11,80	16,10	13,31	
	3	16,10	12,88	11,80	10,73	13,95	10,73	16,10	13,09	
Cd 5	1	17,17	10,73	13,95	11,80	10,73	10,73	17,17	12,88	12,66
	2	12,88	11,80	13,95	9,66	9,66	9,66	13,95	11,59	
	3	13,95	11,80	15,02	13,95	12,88	11,80	15,02	13,52	
Min.		10,73	9,66	11,80	9,66	9,66	Genel Min: 9,66 Genel Mak: 18,24 Genel Ort: 13,50			
Max.		17,17	18,24	17,17	15,02	18,24				
Ort.		14,19	13,11	14,13	11,92	14,13				



Şekil 4.25. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Mn değişim diyagramı

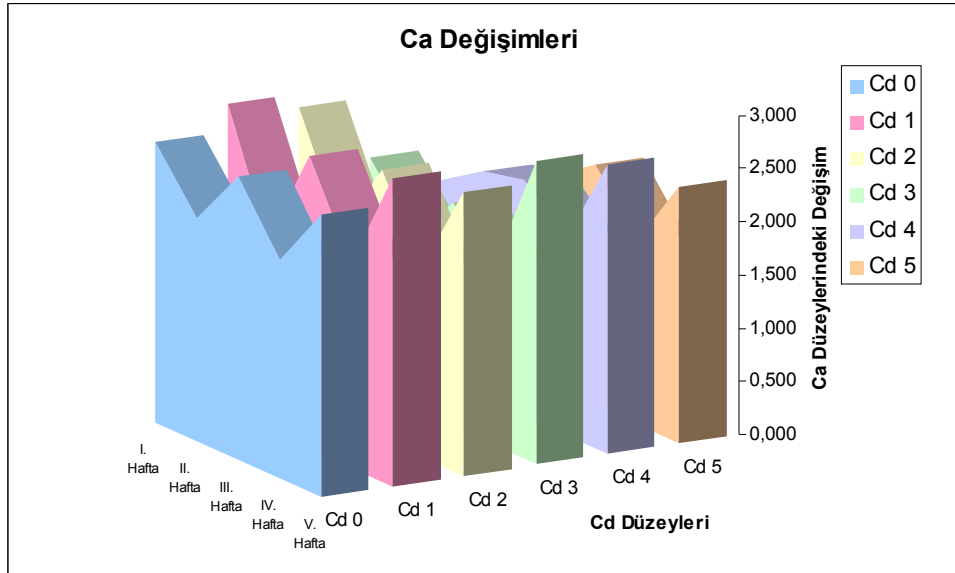
Bitki örneklerine ait % Ca içeriklerinin değişimi Çizelge 4.27’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi % Ca içerikleri $0,77 \pm 3,34$ değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Ca içeriğinin % 2,25 olduğu saptanmıştır.

Jones ve ark. (1991)’nın Fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris L.*) için belirttiği sınır değerler dikkate alındığında; bitki örneklerinin % 1,11’ inin $<1,0$ ppm aralığında noksan düzeyde Ca içerdiği saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 6,67’ sinin $1,0-1,49$ ppm aralığında noksan düzeyde Ca içerdiği saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 58,89’ unun $1,5-2,5$ ppm aralığında yeterli düzeylerde Ca içerdiği gözlenmiştir. Bitki örneklerinin % 33,33’ ünün $>2,5$ ppm aralığında Fazla düzeylerde Ca içerdiği gözlenmiştir.

Yaprak örneklerinin Ca içeriklerinin Cd dozlarındaki artışa bağlı olarak hafif bir düşüş gösterdiği saptanmıştır. Haftalar dikkate alındığında ise bitki yaprak örneklerinin Ca içeriklerinde hafif bir dalgalanmanın olduğu saptanmıştır (Şekil 4.26).

Çizelge 4.27. Bitki örneklerine ait Ca analiz Sonuçları (%)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	2,08	2,29	3,34	2,25	3,02	2,08	3,34	2,60	2,42
	2	2,68	1,75	2,32	2,01	2,57	1,75	2,68	2,27	
	3	3,17	2,28	2,31	1,91	2,36	1,91	3,17	2,40	
Cd 1	1	2,84	2,39	2,81	2,21	3,13	2,21	3,13	2,68	2,45
	2	3,26	2,27	3,03	1,77	2,82	1,77	3,26	2,63	
	3	2,60	0,77	2,45	1,78	2,74	0,77	2,74	2,07	
Cd 2	1	3,03	1,99	1,94	1,97	2,57	1,94	3,03	2,30	2,30
	2	3,08	1,57	2,62	1,89	2,94	1,57	3,08	2,42	
	3	2,18	1,83	3,01	1,48	2,47	1,48	3,01	2,20	
Cd 3	1	2,73	1,89	2,08	1,95	3,05	1,89	3,05	2,34	2,10
	2	2,62	1,90	2,03	1,46	2,94	1,46	2,94	2,19	
	3	1,25	1,18	2,24	1,76	2,57	1,18	2,57	1,80	
Cd 4	1	2,69	2,71	2,67	1,83	2,83	1,83	2,83	2,55	2,16
	2	1,62	2,07	2,40	1,82	2,90	1,62	2,90	2,16	
	3	1,35	1,62	1,60	1,88	2,43	1,35	2,43	1,78	
Cd 5	1	2,48	2,26	2,31	1,72	2,58	1,72	2,58	2,27	2,05
	2	1,73	2,06	2,44	1,93	2,20	1,73	2,44	2,07	
	3	1,28	1,67	2,08	1,56	2,46	1,28	2,46	1,81	
Min.		1,25	0,77	1,60	1,46	2,20	Genel Min: 0,77			
Max.		3,26	2,71	3,34	2,25	3,13	Genel Max: 3,34			
Ort.		2,37	1,92	2,43	1,84	2,70	Genel Ort: 2,25			



Şekil 4.26. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Ca değişim diyagramı

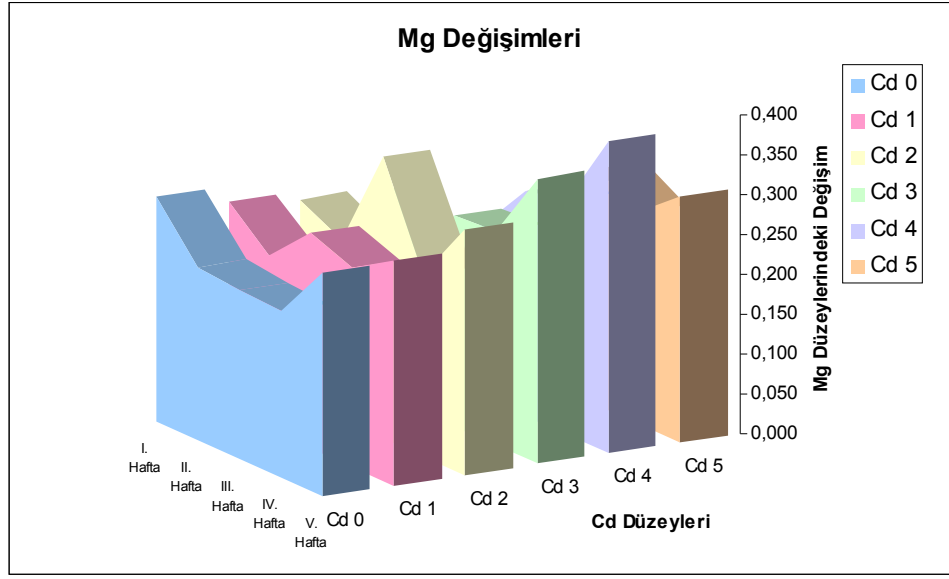
Bitki örneklerine ait Mg içeriklerinin değişimi Çizelge 4.28’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Mg içerikleri 0,155±0,409 ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Mg içeriğinin 0,259 ppm olduğu saptanmıştır.

Jones ve ark. (1991)’nin Fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris L.*) için belirttiği sınır değerler dikkate alındığında; bitki örneklerinin % 44,44’ ünün <0,25 ppm aralığında çok noksan düzeyde Mg içerdiği saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 34,44’ ünün 0,25-0,29 ppm aralığında noksan düzeyde Mg içerdiği saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 21,11’ inin 0,3-1,0 ppm aralığında yeterli düzeylerde Mg içerdiği gözlenmiştir.

Bitki yapraklarının Mg içerikleri artan Cd dozlarına bağlı olarak stabil düzeylerde seyretmiştir. Haftalar bazında ise hafif bir artış gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.27).

Çizelge 4.28. Bitki örneklerine ait Mg analiz Sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	0,333	0,225	0,214	0,199	0,297	0,199	0,333	0,254	0,241
	2	0,239	0,204	0,207	0,219	0,275	0,204	0,275	0,229	
	3	0,278	0,225	0,216	0,211	0,269	0,211	0,278	0,240	
Cd 1	1	0,255	0,233	0,264	0,279	0,270	0,233	0,279	0,260	0,256
	2	0,268	0,225	0,280	0,221	0,282	0,221	0,282	0,255	
	3	0,266	0,196	0,268	0,248	0,291	0,196	0,291	0,254	
Cd 2	1	0,253	0,201	0,326	0,237	0,293	0,201	0,326	0,262	0,273
	2	0,279	0,259	0,363	0,220	0,325	0,220	0,363	0,289	
	3	0,226	0,212	0,368	0,224	0,303	0,212	0,368	0,267	
Cd 3	1	0,274	0,194	0,254	0,317	0,368	0,194	0,368	0,281	0,264
	2	0,239	0,194	0,254	0,269	0,369	0,194	0,369	0,265	
	3	0,235	0,156	0,287	0,221	0,337	0,156	0,337	0,247	
Cd 4	1	0,177	0,238	0,310	0,274	0,397	0,177	0,397	0,279	0,272
	2	0,170	0,218	0,259	0,292	0,369	0,170	0,369	0,262	
	3	0,181	0,196	0,276	0,318	0,409	0,181	0,409	0,276	
Cd 5	1	0,161	0,234	0,269	0,231	0,319	0,161	0,319	0,243	0,250
	2	0,186	0,210	0,321	0,264	0,279	0,186	0,321	0,252	
	3	0,155	0,187	0,298	0,303	0,330	0,155	0,330	0,255	
Min.		0,155	0,156	0,207	0,199	0,269	Genel Min: 0,155			
Max.		0,333	0,259	0,368	0,318	0,409	Genel Max: 0,409			
Ort.		0,232	0,212	0,280	0,253	0,321	Genel Ort: 0,259			



Şekil 4.27. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Mg değişim diyagramı

4.3.2. Bitki Örneklerin Ağır Metal İçerikleri

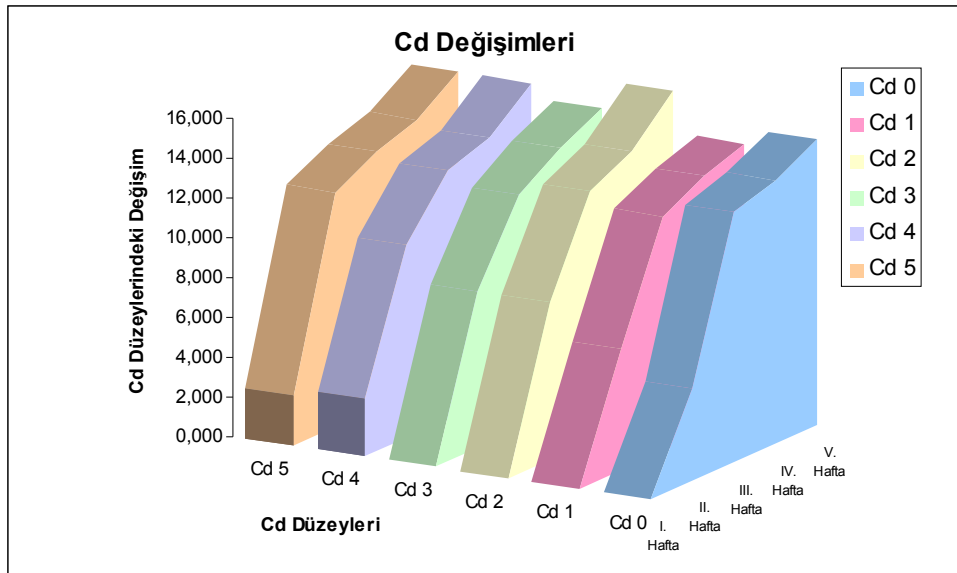
Bitki örneklerine ait Cd içeriklerinin değişimi Çizelge 4.29’da görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Cd içerikleri $\bar{I}z \pm 16,10$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Cd içeriğinin 9,84 ppm olduğu saptanmıştır.

Sauerbeck (1982) Cd için bitkilerdeki toksite sınır değerinin 5-10 ppm olarak bildirmektedir. Stoppler (1991) ise bitkilerde normal Cd seviyesinin 0,5 ppm olduğunu bildirmektedir. Scheffer ve Schachtschabel (1989) ise bitkilerdeki Cd konsantrasyonunu 0,04-0,5 ppm olarak bildirmektedir. 10 ppm kriter değeri dikkate alınırca; bitki örneklerinin % 35,56’ sının <10 ppm aralığında herhangi bir Cd toksitesi içermedikleri saptanmıştır. Bitki örneklerinin % 64,44’ ünün >10 ppm düzeylerinde toksik seviyelerde Cd içerdiği saptanmıştır.

Yapılan Cd uygulamasına bağlı olarak; bitki yaprak örneklerinin Cd içerikleri, gerek Cd dozlarındaki artışa bağlı olarak ve gerekse haftalar bazında periyodik bir artış göstermiştir (Şekil 4.28).

Çizelge 4.29. Bitki örneklerinin Cd analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	İz	4,29	12,88	12,88	15,02	İz	15,02	9,01	8,94
	2	İz	4,29	10,73	11,80	12,88	İz	12,88	7,94	
	3	İz	5,37	13,95	15,02	15,02	İz	15,02	9,87	
Cd 1	1	İz	6,44	12,88	13,95	13,95	İz	13,95	9,44	8,87
	2	İz	6,44	11,80	11,80	13,95	İz	13,95	8,80	
	3	İz	5,37	10,73	12,88	12,88	İz	12,88	8,37	
Cd 2	1	İz	6,44	12,88	13,95	16,10	İz	16,10	9,87	9,94
	2	İz	8,58	13,95	15,02	16,10	İz	16,10	10,73	
	3	İz	8,58	10,73	11,80	15,02	İz	15,02	9,23	
Cd 3	1	İz	8,58	11,80	12,88	13,95	İz	13,95	9,44	9,44
	2	İz	6,44	10,73	13,95	13,95	İz	13,95	9,01	
	3	İz	8,58	12,88	12,88	15,02	İz	15,02	9,87	
Cd 4	1	2,15	9,66	12,88	12,88	15,02	2,15	15,02	10,52	10,65
	2	3,22	8,58	11,80	13,95	13,95	3,22	13,95	10,30	
	3	3,22	10,73	12,88	12,88	16,10	3,22	16,10	11,16	
Cd 5	1	2,15	10,73	12,88	12,88	16,10	2,15	16,10	10,95	11,15
	2	2,15	12,88	13,95	15,02	15,02	2,15	15,02	11,80	
	3	3,22	11,80	11,80	12,88	13,95	3,22	13,95	10,73	
Min.		İz	4,29	10,73	11,80	12,88	Genel Min: 0 Genel Max: 16,10 Genel Ort: 9,84			
Max.		3,22	12,88	13,95	15,02	16,10				
Ort.		0,89	7,99	12,34	13,29	14,66				



Şekil 4.28. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Cd değişim diyagramı

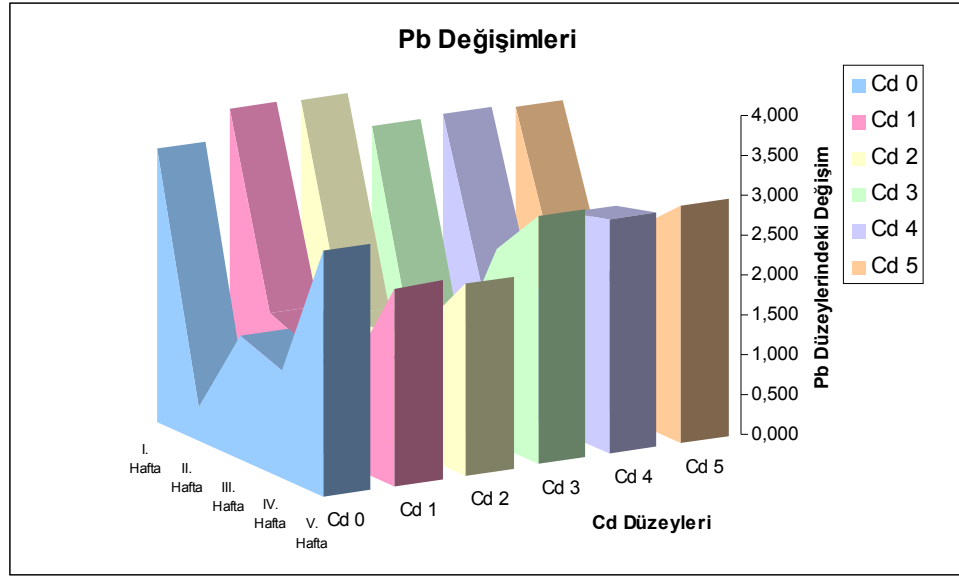
Bitki örneklerine ait Pb içeriklerinin değişimi Çizelge 4.30'da görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Pb içerikleri $0,31 \pm 3,92$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Pb içeriğinin 2,14 ppm olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.30. Bitki örneklerinin Pb analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	2,96	0,40	1,51	1,34	2,80	0,40	2,96	1,80	1,97
	2	3,86	0,41	1,41	1,57	2,93	0,41	3,86	2,03	
	3	3,47	0,47	1,75	1,16	3,54	0,47	3,54	2,08	
Cd 1	1	3,82	1,05	1,30	1,37	2,70	1,05	3,82	2,05	2,05
	2	3,69	2,23	1,01	1,12	2,25	1,01	3,69	2,06	
	3	3,92	1,13	1,45	1,35	2,49	1,13	3,92	2,07	
Cd 2	1	3,89	1,12	1,33	1,78	2,44	1,12	3,89	2,11	2,09
	2	3,55	0,68	1,30	1,59	2,50	0,68	3,55	1,92	
	3	3,92	2,12	1,38	1,61	2,28	1,38	3,92	2,26	
Cd 3	1	3,23	0,31	1,20	1,87	3,15	0,31	3,23	1,95	2,13
	2	3,87	0,73	0,69	2,81	3,29	0,69	3,87	2,28	
	3	2,86	1,20	1,16	2,73	2,90	1,16	2,90	2,17	
Cd 4	1	3,38	1,56	1,30	2,32	3,02	1,30	3,38	2,31	2,30
	2	3,20	1,34	0,99	2,81	3,01	0,99	3,20	2,27	
	3	3,44	0,85	1,31	3,22	2,79	0,85	3,44	2,32	
Cd 5	1	2,80	1,73	1,18	1,94	2,68	1,18	2,80	2,06	2,28
	2	3,32	1,19	1,05	2,81	2,95	1,05	3,32	2,26	
	3	3,72	1,35	1,61	2,73	3,31	1,35	3,72	2,54	
Min.		2,80	0,31	0,69	1,12	2,25	Genel Min: 0,31			
Max.		3,92	2,23	1,75	3,22	3,54	Genel Max: 3,92			
Ort.		3,49	1,10	1,27	2,01	2,83	Genel Ort: 2,14			

Sauerbeck (1982) Pb için bitkilerdeki toksite sınır değerinin 10-20 ppm olarak bildirmektedir. Pendias ve Pendias (1992) doğal olarak bitkilerde 0,1-10 ppm Pb bulunabileceğini bildirmiştir. Bowen (1979)'a göre ise bitkilerde 0,2-20 ppm arasında Pb bulunabilmektedir. Scheffer ve Schachtschabel (1989)'a göre bitkilerdeki Pb konsantrasyonunu 0,1-6 ppm olarak bildirmektedir. 6 ppm kriter değeri dikkate alınır; bitki örneklerinin herhangi bir Pb kirliliğine maruz kalmadıkları görülmektedir.

Bitki yapraklarının Pb içerikleri Cd 4 dozuna kadar bir artış periyodu göstermiştir. Cd 5 dozunda ise hafif bir düşüşün söz konusu olduğu saptanmıştır. Haftalar dikkate alındığında ise 1. haftaya oranla 2. haftada ciddi bir düşüş söz konusu olmuş; bunu takip eden haftalarda ise bitki yapraklarının Pb içeriklerinde bir artış gözlenmiştir(Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Pb değişim diyagramı

Bitki örneklerine ait Co içeriklerinin değişimi Çizelge 4.31’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Co içerikleri $\pm 0,600$ ppm değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Co içeriğinin 0,142 ppm olduğu saptanmıştır.

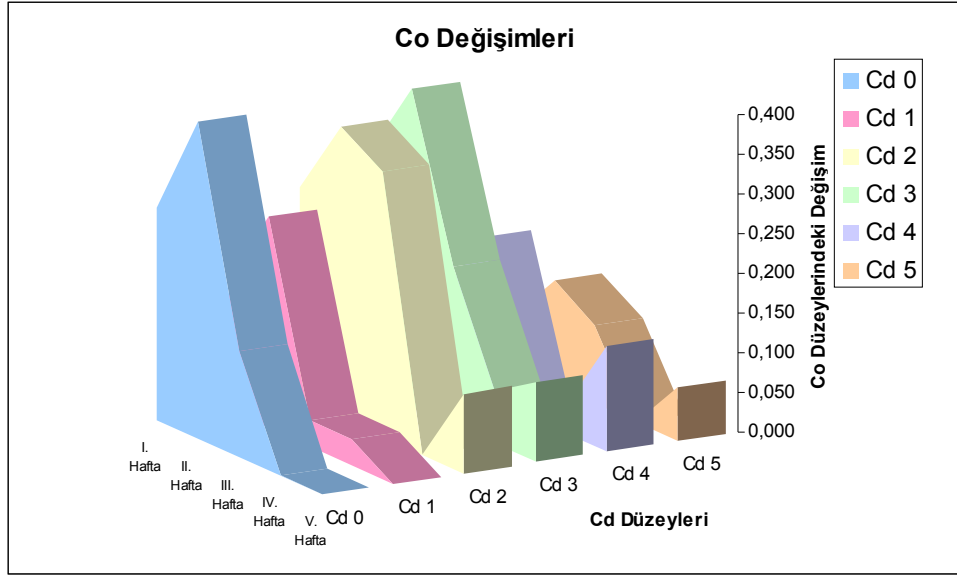
Pendias ve Pendias (1992) bitkilerdeki Co’ın sınır değerinin 10-20 ppm olarak bildirmektedir. Scheffer ve Schachtschabel (1989) ise bitkilerdeki Co konsantrasyonunu 0,02-0,5 ppm olarak bildirmektedir. 10 ppm kriter değeri dikkate alınır; bitki örneklerinin tamamının herhangi bir Co toksitesine maruz kalmadıkları gözlenmektedir.

Bitki yapraklarının Co içerikleri artan Cd dozlarına bağlı olarak Cd 3 dozuna kadar bir artış periyodu göstermiştir. Cd 4 ve Cd 5 dozlarında ise hızlı bir düşüşün olduğu saptanmıştır. Haftalar bazında ise bitki yapraklarının Co içeriklerinde bir dalgalanma gözlenmiştir. Bitki

yaprak örneklerinin Co içerikleri, ikinci hafta en yüksek seviyeye ulaşmış, bundan sonra ciddi bir düşüş göstermiştir. Son hafta ise bitki yaprak örneklerinin Co içeriklerinde kısmen bir artış olduğu saptanmıştır (Şekil 4.30).

Çizelge 4.31. Bitki örneklerinin Co analiz sonuçları (ppm)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	0,400	0,300	0,200	İz	İz	İz	0,400	0,180	0,160
	2	0,200	0,300	0,100	İz	İz	İz	0,300	0,120	
	3	0,200	0,600	0,100	İz	İz	İz	0,600	0,180	
Cd 1	1	0,100	0,400	İz	İz	İz	İz	0,400	0,100	0,100
	2	0,300	0,300	0,100	0,100	İz	İz	0,300	0,160	
	3	0,100	0,100	İz	İz	İz	İz	0,100	0,040	
Cd 2	1	0,100	0,200	İz	İz	İz	İz	0,200	0,060	0,213
	2	0,300	0,400	0,500	İz	İz	İz	0,500	0,240	
	3	0,400	0,500	0,500	İz	0,300	İz	0,500	0,340	
Cd 3	1	0,200	0,300	0,200	İz	0,100	İz	0,300	0,160	0,213
	2	0,400	0,500	0,200	0,100	İz	İz	0,500	0,240	
	3	0,300	0,400	0,200	0,100	0,200	0,100	0,400	0,240	
Cd 4	1	0,200	0,100	İz	İz	0,100	İz	0,200	0,080	0,093
	2	İz	0,300	İz	İz	0,200	İz	0,300	0,100	
	3	0,100	0,200	İz	0,100	0,100	İz	0,200	0,100	
Cd 5	1	0,200	0,200	İz	İz	0,100	İz	0,200	0,100	0,073
	2	İz	0,100	0,200	İz	İz	İz	0,200	0,060	
	3	İz	0,100	0,100	İz	0,100	İz	0,100	0,060	
Min.		İz	0,100	İz	İz	İz	Genel Min: İz			
Max.		0,400	0,600	0,500	0,100	0,300	Genel Max: 0,600			
Ort.		0,194	0,294	0,133	0,022	0,067	Genel Ort: 0,142			



Şekil 4.30. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin Co değişim diyagramı

Sauerbeck (1982) bitkiler için Cr sınır değerini 1-2 ppm olarak vermektedir. Scheffer ve Schachtschabel (1989) ise bitkilerde bulunan Cr miktarının 0,1-1 ppm arasında olduğunu bildirmektedir. Bitki örneklerine ait Cr içeriklerinin bütün örneklerde iz miktarda olduğu saptanmıştır. Bu nedenle bitkilerde Cr açısından herhangi bir toksite söz konusu değildir.

4.4 Bitki Yaprak Dokularına Ait Fizyolojik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ağır metallerin bitkilerin fizyolojisine etkileri konusunda, bugüne kadar yapılmış olan araştırmalar kısa süreli veya tohum denemesi ya da hidroponik kültürler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırmalarda ağır metal dozları düşük konsantrasyonlarda uygulanmıştır. Ayrıca hiçbir araştırıcı bitki içerisindeki Cd miktarını bildirmemektedir.

Yapılan bu araştırmada ise fasulye bitkisi hem yüksek seviyelerde Cd'a maruz bırakılmış hem de Cd'u toprak kültüründen vejetasyon periyodu süresince alması sağlanmıştır. Daha önce yapılmış araştırmalarla zıt bir durum oluşuyor gibi gözlenirse de bu hususlar dikkate alındığında bulunan sonuçların doğru oldukları saptanmıştır.

Bu nedenlerle; tez içerisinde, bitki fizyolojik analiz sonuçları bulunan literatürlerle karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

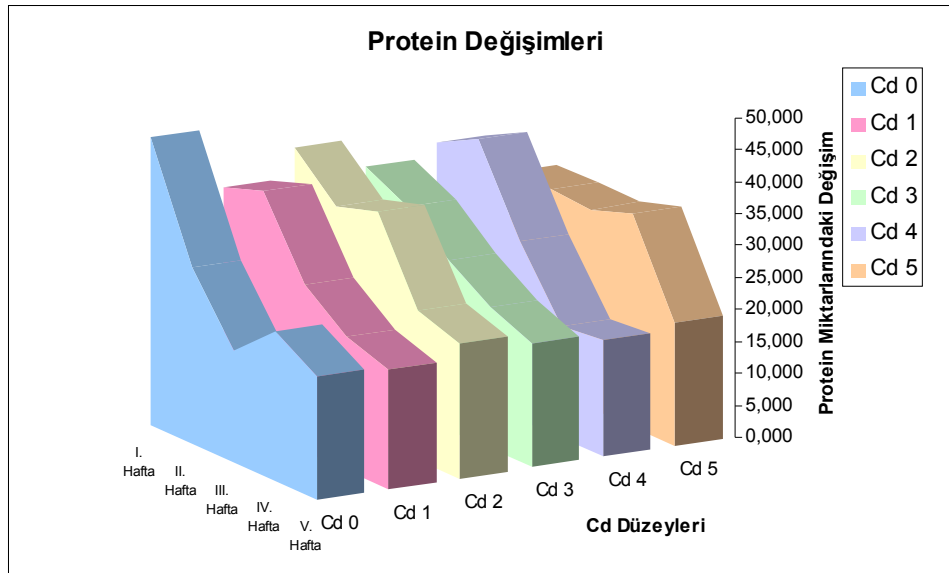
4.4.1 Bitki Yaprak Dokularının Protein Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bitki yaprak doku örneklerine ait % Protein içeriklerinin değişimi Çizelge 4.32'de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi % Protein içerikleri $15,35 \pm 47,40$ değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama Protein içeriğinin % 28,39 olduğu saptanmıştır.

Bitki örneklerinin Protein içerikleri Cd2 dozuna kadar bir artış göstermiştir. Cd3 dozunda ciddi bir düşüş olmuş ve tekrar artma eğilimi olduğu saptanmıştır. Haftalar bazında ise bir düşüş periyodu seyretmiştir (Şekil 4.31).

Çizelge 4.32. Bitki örneklerine ait protein miktarları (%)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	47,40	27,51	16,51	22,17	20,46	16,51	47,40	26,81	26,61
	2	44,02	27,09	16,51	25,58	22,17	16,51	44,02	27,07	
	3	44,02	28,36	19,89	22,17	15,35	15,35	44,02	25,96	
Cd 1	1	35,55	36,40	26,24	18,76	18,76	18,76	36,40	27,14	27,90
	2	33,01	41,06	27,93	22,17	20,46	20,46	41,06	28,93	
	3	38,09	36,40	24,55	22,17	17,06	17,06	38,09	27,65	
Cd 2	1	38,09	32,59	37,52	18,76	20,46	18,76	38,09	29,48	30,81
	2	37,24	34,28	35,81	22,17	18,76	18,76	37,24	29,65	
	3	44,86	34,71	34,11	28,99	23,88	23,88	44,86	33,31	
Cd 3	1	35,55	30,48	22,17	20,46	18,76	18,76	35,55	25,48	27,18
	2	34,71	30,48	27,29	18,76	18,76	18,76	34,71	26,00	
	3	36,40	35,55	30,69	27,29	20,46	20,46	36,40	30,08	
Cd 4	1	38,09	41,48	27,29	17,06	17,06	17,06	41,48	28,19	28,42
	2	36,40	42,33	32,40	18,76	17,06	17,06	42,33	29,39	
	3	38,09	38,94	23,88	17,06	20,46	17,06	38,94	27,68	
Cd 5	1	31,32	31,74	27,29	28,99	17,06	17,06	31,74	27,28	29,41
	2	32,17	30,05	32,40	34,11	20,46	20,46	34,11	29,84	
	3	30,48	33,01	34,11	37,52	20,46	20,46	37,52	31,12	
Min.		30,48	27,09	16,51	17,06	15,35	Genel Min: 15,35			
Max.		47,40	42,33	37,52	37,52	23,88	Genel Max: 47,40			
Ort.		37,53	34,02	27,59	23,50	19,33	Genel Ort: 28,39			



Şekil 4.31. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin protein değişim diyagramı

Guo ve ark. (2007) yaptıkları bir araştırmada; Al, Cd ve Cu toksite kombinasyonları altında gerçekleştirilmiştir. Üç ağır metalde asit topraklarda çok sık kombine şekilde görölmektedir. İki çeşit arpa fidesinin Al toleransı ve interaksiyonları tanımlanabilir. Bitki büyümesi, metal akümülyasyonları, total çözünebilir protein ve şeker içerikleri, MDA içerikleri ve SOD ve POD aktivitesi besin solüsyonuna yüksek miktarda ağır metal uygulaması yapılarak 5 hafta sonunda köklerde araştırılmıştır. Sonuçta özünebilir protein içeriği düşmüştür. Liu ve ark. (2008);LeACS2 'ye duyarsız bitkilerde, Cd klorofilin ve yaprak proteinlerinin kaybına neden olduğunu bulmuştur. LeACS2 duyarsız bitkilerin yaprak performansları temelde CO₂ asimilasyonuna ve transpirasyonun sağlanmasına bağlı olduğu saptamışlardır. Dinakar ve ark. (2008); Büyüyen *Arachis hypogaea L.* fidelerinde kadmiyum fitotoksitesinin araştırılması amacıyla yaptıkları bir araştırmada; tohumları 25, 50 ve 100 mmol/l CdCl₂ konsantrasyonlarındaki çözeltilerde, 10, 15, 20 ve 25 dakikalık sürelerde bırakılmışlardır. Protein miktarını 10 günlük kadmiyum stresinden sonra değerlendirmişlerdir. Deneme, kadmiyum konsantrasyonları ve uygulama sürelerindeki artışla, kadmiyum en yüksek konsantrasyonunda (100 mmol / l) protein % 79,51, 83,61%, oranında azalmasıyla (yaprak ve kökler) sonuçlanmıştır. Doğan ve Saygıdeğer (2009); kadmiyumun *Ceratophyllum demersum L.* üzerindeki bazı fizyolojik ve morfolojik etkileri konusunda yaptıkları bir araştırmada; farklı derişimlerdeki Cd (0, 0.01, 0.1 ve 1 mg l⁻¹)'un etkisinde 96 saat bırakılan *Ceratophyllum demersum L.*'de meydana gelen bazı fizyolojik ve morfolojik değişiklikleri araştırmışlardır. Protein miktarlarının Cd uygulaması tarafından azaltıldığını saptamışlardır.

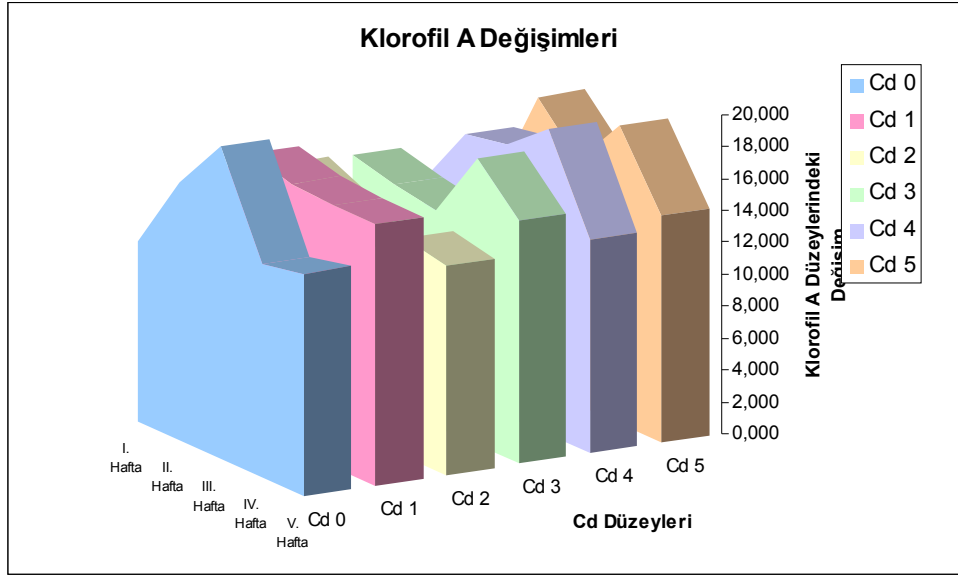
Yapılan bu araştırmalarla, bulunan sonuçlarımız birbirleriyle uyum içerisindedir. Yukarıdaki tablolardan da izlenebileceği gibi Cd uygulamasından sonra bitkilerin protein miktarları haftalar bazında azalmaktadır. Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalarda Cd uygulaması belirli bir sürede ve düşük dozlarda hidroponik költürlerde yapılmıştır. Bu nedenlerle bulunan değerlerde bir azalma olduğu saptanmıştır. Oysaki bizim denememizde; toprağa verilen Cd uygulaması sonucu bitki vejetasyon süresi içerisinde Cd almaya devam etmiştir. Sonuçta bitkide bulunan bu değerler Cd dozlarına bağlı gerçek durumu gözler önüne sermiş ve genel olarak bakıldığında, Cd uygulamasına bağlı olarak bitkideki protein miktarında bir artışın olduğu saptanmıştır.

4.4.2 Bitki Yaprak Dokularının Fotosentetik Pigment Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bitki yaprak doku örneklerine ait klorofil A içeriklerinin değişimi Çizelge 4.33'da görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi klorofil A içerikleri $10,36 \pm 20,79 \mu\text{g/g}$ taze ağırlık değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama klorofil A içeriğinin $15,17 \mu\text{g/g}$ taze ağırlık olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.33. Bitki örneklerine ait klorofil A analiz sonuçları ($\mu\text{g/g}$ taze ağırlık)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	11,31	15,92	19,43	12,81	13,99	11,31	19,43	14,69	14,88
	2	10,36	16,24	19,46	13,77	13,61	10,36	19,46	14,69	
	3	12,14	16,47	19,81	13,67	14,23	12,14	19,81	15,26	
Cd 1	1	14,44	18,29	15,96	14,44	15,28	14,44	18,29	15,68	16,28
	2	14,94	16,63	15,30	15,94	15,88	14,94	16,63	15,74	
	3	14,74	17,17	18,53	18,78	17,92	14,74	18,78	17,43	
Cd 2	1	15,15	14,10	11,40	13,10	12,13	11,40	15,15	13,18	13,38
	2	14,84	13,83	11,31	14,08	13,51	11,31	14,84	13,51	
	3	14,41	12,97	12,41	13,79	13,67	12,41	14,41	13,45	
Cd 3	1	14,76	13,09	13,35	18,77	14,48	13,09	18,77	14,89	15,11
	2	13,36	15,68	13,75	17,32	15,50	13,36	17,32	15,12	
	3	16,14	13,35	13,73	17,82	15,65	13,35	17,82	15,34	
Cd 4	1	12,05	16,71	16,38	18,76	11,49	11,49	18,76	15,08	15,71
	2	14,69	16,52	17,39	20,19	14,37	14,37	20,19	16,63	
	3	10,89	16,28	17,20	18,52	14,23	10,89	18,52	15,42	
Cd 5	1	12,62	18,01	14,57	16,98	13,80	12,62	18,01	15,20	15,66
	2	12,02	17,70	16,03	18,49	14,56	12,02	18,49	15,76	
	3	10,52	18,84	15,67	20,79	14,43	10,52	20,79	16,05	
Min.		10,36	12,97	11,31	12,81	11,49	Genel Min: 10,36 Genel Max: 20,79 Genel Ort: 15,17			
Max.		16,14	18,84	19,81	20,79	17,92				
Ort.		13,30	15,99	15,65	16,56	14,37				



Şekil 4.32. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin klorofil A değişim diyagramı

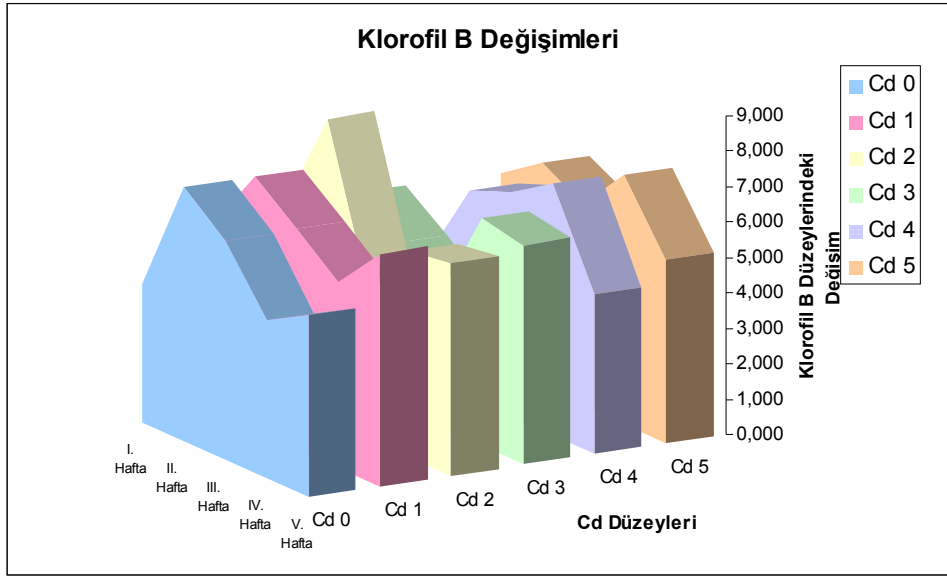
Bitki örneklerinin klorofil A içerikleri Cd1 dozuna kadar bir artış sergilemiş Cd2 dozunda Cd0 dozunun altında bir seviyeye inmiştir. Cd2 dozundan sonra hafif bir artış sergilediği gözlenmiştir Haftalar bazında incelendiğinde ise bir dalgalanmanın söz konusu olduğu saptanmıştır (Şekil 4.32).

Bitki yaprak doku örneklerine ait klorofil B içeriklerinin değişimi Çizelge 4.34’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi klorofil B içerikleri $2,88 \pm 8,83 \mu\text{g/g}$ taze ağırlık değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama klorofil B içeriğinin $5,72 \mu\text{g/g}$ taze ağırlık olduğu saptanmıştır.

Bitki örneklerinin Klf B içerikleri Cd1 dozuna kadar artmış Cd3 dozuna kadar bir azalma eğilimi göstermiş fakat bu dozdan sonra artışına devam etmiştir. Haftalar dikkate alındığında ise yine bir dalgalanmanın söz konusu olduğu saptanmıştır (Şekil 4.33).

Çizelge 4.34. Bitki örneklerine ait klorofil B analiz sonuçları ($\mu\text{g/g}$ taze ağırlık)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	3,67	5,66	3,94	3,14	5,20	3,14	5,66	4,32	5,38
	2	3,73	7,30	7,23	5,18	4,97	3,73	7,30	5,68	
	3	4,40	8,57	7,43	5,09	5,25	4,40	8,57	6,15	
Cd 1	1	5,29	7,00	5,99	6,00	6,11	5,29	7,00	6,08	6,11
	2	5,49	8,83	5,80	2,88	6,66	2,88	8,83	5,93	
	3	5,32	5,72	6,85	6,87	6,91	5,32	6,91	6,33	
Cd 2	1	5,66	8,12	4,26	5,35	6,55	4,26	8,12	5,99	6,01
	2	5,58	8,64	3,93	5,26	6,68	3,93	8,64	6,02	
	3	5,74	8,75	4,06	6,82	4,78	4,06	8,75	6,03	
Cd 3	1	5,37	4,79	3,25	7,29	5,80	3,25	7,29	5,30	5,34
	2	5,90	4,42	4,92	6,50	7,29	4,42	7,29	5,81	
	3	5,57	4,90	3,11	5,49	5,50	3,11	5,57	4,92	
Cd 4	1	4,00	5,70	6,48	7,08	4,08	4,00	7,08	5,47	5,47
	2	3,58	5,78	6,24	7,25	5,07	3,58	7,25	5,58	
	3	3,04	6,12	6,37	6,94	4,42	3,04	6,94	5,38	
Cd 5	1	6,05	6,37	5,47	6,24	5,38	5,38	6,37	5,90	5,96
	2	4,37	6,01	5,95	6,95	4,95	4,37	6,95	5,65	
	3	6,24	6,70	5,66	7,97	5,21	5,21	7,97	6,36	
Min.		3,04	4,42	3,11	2,88	4,08	Genel Min: 2,88			
Max.		6,24	8,83	7,43	7,97	7,29	Genel Max: 8,83			
Ort.		4,95	6,63	5,39	6,02	5,60	Genel Ort: 5,72			



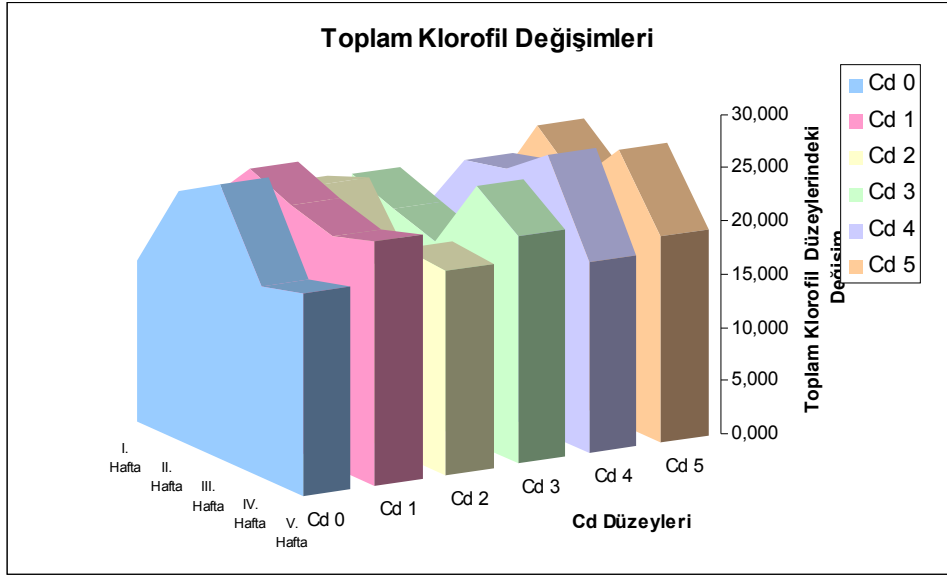
Şekil 4.33. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin klorofil B değişim diyagramı

Bitki yaprak doku örneklerine ait toplam klorofil içeriklerinin değişimi Çizelge 4.35’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi toplam klorofil içerikleri 13,94±28,76 µg/g taze ağırlık değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama toplam klorofil içeriğinin 20,89 µg/g taze ağırlık olduğu saptanmıştır.

Bitki örneklerinin toplam klorofil içerikleri Cd1 dozuna kadar bir artış sergilerken; Cd 2 dozunda Cd 0 dozunun altına düştüğü ve daha sonra bir artışın söz konusu olduğu görülmektedir. Haftalar dikkate alındığında yine bir dalgalanmanın söz konusu olduğu saptanmıştır (Şekil 4.34).

Çizelge 4.35. Bitki örneklerine ait toplam klorofil miktarları (µg/g taze ağırlık)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	14,98	21,58	23,37	15,95	19,18	14,98	23,37	19,01	20,26
	2	14,09	23,54	26,69	18,95	18,58	14,09	26,69	20,37	
	3	16,54	25,04	27,24	18,76	19,49	16,54	27,24	21,41	
Cd 1	1	19,73	25,29	21,95	20,43	21,39	19,73	25,29	21,76	22,39
	2	20,43	25,45	21,10	18,82	22,54	18,82	25,45	21,67	
	3	20,06	22,89	25,38	25,65	24,83	20,06	25,65	23,76	
Cd 2	1	20,82	22,22	15,66	18,45	18,68	15,66	22,22	19,16	19,39
	2	20,42	22,47	15,24	19,34	20,19	15,24	22,47	19,53	
	3	20,16	21,72	16,47	20,61	18,45	16,47	21,72	19,48	
Cd 3	1	20,13	17,88	16,60	26,06	20,29	16,60	26,06	20,19	20,45
	2	19,27	20,10	18,67	23,82	22,79	18,67	23,82	20,93	
	3	21,72	18,26	16,84	23,31	21,15	16,84	23,31	20,25	
Cd 4	1	16,06	22,41	22,86	25,85	15,56	15,56	25,85	20,55	21,18
	2	18,27	22,30	23,63	27,44	19,44	18,27	27,44	22,22	
	3	13,94	22,40	23,57	25,46	18,64	13,94	25,46	20,80	
Cd 5	1	18,67	24,38	20,04	23,22	19,18	18,67	24,38	21,10	21,63
	2	16,39	23,72	21,98	25,44	19,51	16,39	25,44	21,41	
	3	16,76	25,54	21,34	28,76	19,65	16,76	28,76	22,41	
Min.		13,94	17,88	15,24	15,95	15,56	Genel Min: 13,94			
Max.		21,72	25,54	27,24	28,76	24,83	Genel Max: 28,76			
Ort.		18,24	22,62	21,03	22,57	19,97	Genel Ort: 20,89			



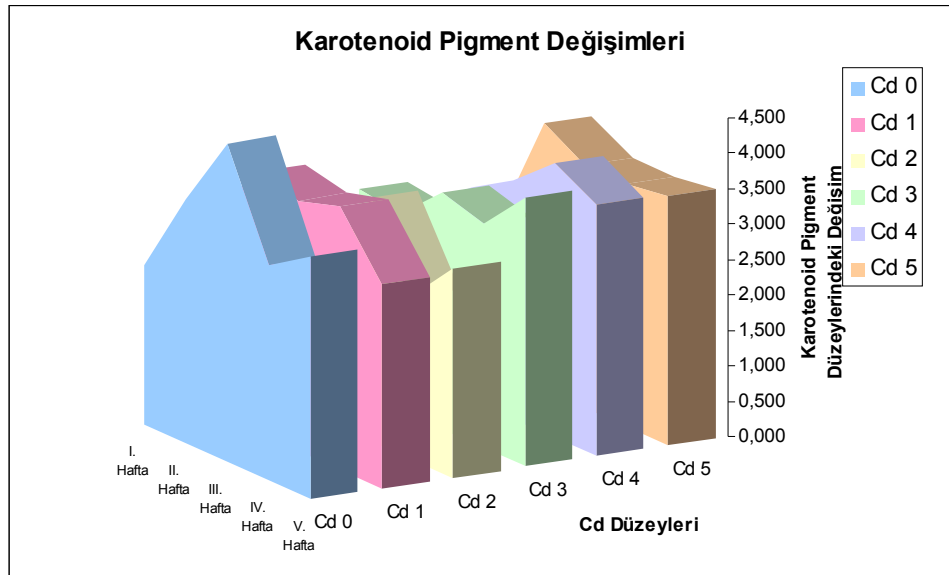
Şekil 4.34. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar hazında hitki örneklerinin toplam klorofil değişim diyagramı

Bitki yaprak doku örneklerine ait karetenoid pigment içeriklerinin değişimi Çizelge 4.36'da görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi karetenoid pigment içerikleri $1,23 \pm 5,06 \mu\text{g/g}$ taze ağırlık değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama karetenoid pigment içeriğinin $3,19 \mu\text{g/g}$ taze ağırlık olduğu saptanmıştır.

Bitki örneklerinin karotenoid pigment içerikleri Cd1 dozunda hafif bir artış gösterirken Cd2 dozunda Cd0 dozunun altında bir seviyeye düşmüş daha sonra artmaya devam ettiği gözlenmiştir. Haftalar dikkate alındığında 3. haftaya kadar bir artışın olduğu saptanırken 4. hafta bir düşüş olmuş ve 5. hafta tekrar artma eğilimine girmiştir (Şekil 4.35).

Çizelge 4.36. Bitki örneklerine ait karotenoid pigment analiz sonuçları ($\mu\text{g/g}$ taze ağırlık)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	2,34	3,32	5,06	3,52	3,35	2,34	5,06	3,52	3,32
	2	2,03	3,43	4,47	2,84	3,17	2,03	4,47	3,19	
	3	2,38	3,54	3,97	2,73	3,76	2,38	3,97	3,27	
Cd 1	1	2,85	3,69	3,65	3,01	3,52	2,85	3,69	3,34	3,33
	2	3,05	3,21	3,49	4,56	2,52	2,52	4,56	3,36	
	3	2,75	4,12	3,47	3,61	2,56	2,56	4,12	3,30	
Cd 2	1	3,00	2,87	2,91	2,27	2,34	2,27	3,00	2,68	2,71
	2	2,91	2,60	3,34	2,85	3,47	2,60	3,47	3,04	
	3	2,08	1,23	4,03	1,75	3,03	1,23	4,03	2,42	
Cd 3	1	2,87	2,38	3,08	2,49	3,51	2,38	3,51	2,87	3,19
	2	2,49	3,45	3,14	3,54	4,01	2,49	4,01	3,33	
	3	3,24	2,53	3,85	3,50	3,89	2,53	3,89	3,40	
Cd 4	1	2,35	3,39	3,02	4,12	3,56	2,35	4,12	3,29	3,26
	2	2,82	3,19	3,61	3,95	3,13	2,82	3,95	3,34	
	3	2,43	2,43	3,45	3,58	3,96	2,43	3,96	3,17	
Cd 5	1	2,70	4,03	3,44	3,40	3,15	2,70	4,03	3,34	3,28
	2	2,47	3,63	3,76	3,66	4,10	2,47	4,10	3,52	
	3	1,58	3,64	3,12	3,24	3,32	1,58	3,64	2,98	
Min.		1,58	1,23	2,91	1,75	2,34	Genel Min: 1,23			
Max.		3,24	4,12	5,06	4,56	4,10	Genel Max: 5,06			
Ort.		2,57	3,15	3,60	3,26	3,35	Genel Ort: 3,19			



Şekil 4.35. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin karotenoid Pigment değişim diyagramı

Cd^{+2} çoğu bitki türlerinde karotenoidlerin ve klorofillerin sentezine olumsuz şekilde etki yapmaktadır. Porter ve Sheridan (1981) konsantrasyonu $1-20 \mu g ml^{-1}$ arasında değişen Cd^{+2} , un yonca bitkisinde fotosentezini önemli derecede gerilettiğini saptamışlardır. Benzer şekilde artan Cd^{+2} konsantrasyonuna bağlı olarak buğday fidelerinde toplam klorofil konsantrasyonu gibi klorofil A/klorofil B oranı da azalmıştır (Bhardwaj ve Mascarebhas 1989, Kacar ve ark. 2002). Mısır bitkisinde Cd, toksik semptomlara neden olmuş ve bitkinin tolerans mekanizması aktive olmuştur. Bitkide Cd toksitesi koşullarında, fotosentezin engellendiği saptanmıştır (Magda Pál ve ark. 2006). *Jussiaea rapens* Linn'in sürgünleri 0, 7, 15, 30, 60 $mg l^{-1}$ kadmiyum içeren besin solüsyonları ile 2-5 günlük denemelerin sonucunda bitki fizyolojisine etkileri açığa çıkmıştır. Net fotosentez oranı, %54,8-62,7 oranında sadece en yüksek 2 Cd dozunda inhibe olmuştur. Klf flüoresans parametreleri Fv/Fm, qP ve ETR % 16,87, 90 oranında en yüksek kadmiyum dozunda 5 gün sonra düşmüştür. Buda Fotosistem II' nin aktivitesinde zarara yol açmıştır. Klorofil A (Klf A), Klf B ve toplam klorofil (Klf) içeriğinde azalma göstermiştir. Klf B' nin düşüşü 5 gün sonra ortaya çıkmıştır. Ayrıca karatinoit içeriği kontrole göre 5 kat artmıştır (Li ve ark. 2008). Barbunya (*Phaseolus vulgaris*) ve mısır (*Zea mays*) fidelerinin hidroponik kültür denemesi, Cd stresi altında lanthanum elementinin etkilerini araştırmak için yapılmıştır. 30 ve 300 $umol l^{-1}$ Cd^{+2} stresi altındaki iki üründe de büyümenin devamlı olarak inhibe edildiği ve metabolizmaya uyumsuz olduğu saptanmıştır. Cd stresi altında kontrole göre, klorofil içeriği azalmıştır (Huang ve Zhou 2006). Büyüyen *Arachis hypogaea* L. fidelerinde kadmiyum fitotoksitesinin araştırılması amacıyla yapılan bir araştırmada; tohumlar 25, 50 ve 100 $mmol/l$ $CdCl_2$ konsantrasyonlarındaki çözeltilerde, 10, 15, 20 ve 25 dakikalık sürelerde bırakılmıştır. Klorofil hasarının kapsamı 10 günlük kadmiyum stresinden sonra değerlendirilmiştir. Kadmiyum konsantrasyonları ve uygulama sürelerindeki artışla, kadmiyum en yüksek konsantrasyonunda (100 $mmol / l$) toplam klorofil 91,01 oranında azalmasıyla (yaprak ve kökler) sonuçlanmıştır (Dinakar ve ark. 2008). Abiyotik strese açık olan ve oksidatif zarar oluşturduğu bilinen bitkilerde salisilik asidin rolünü daha iyi anlamak için; doğal arabidopsis thaliana genotipinin ve SA-noksan Transgenik bitkilerin Cd uygulamasına verdikleri yanıtlar araştırılmıştır. Cd uygulamasından 5 gün sonra doğal tip tohumlarda, klorofil içeriği önemli düzeylerde azalmıştır, Fakat SA-noksan olan bitkilerde bu durum oluşmamıştır (Zawoznik ve ark. 2007).

Yapılan literatür çalışmaları sonucunda değişik araştırmacıların değişik sonuçlara ulaştıkları saptanmıştır. Bu da klorofil ve karotenoid içeriklerinin haftalar bazında dalgalanmalar göstermesiyle açıklanabilmektedir.

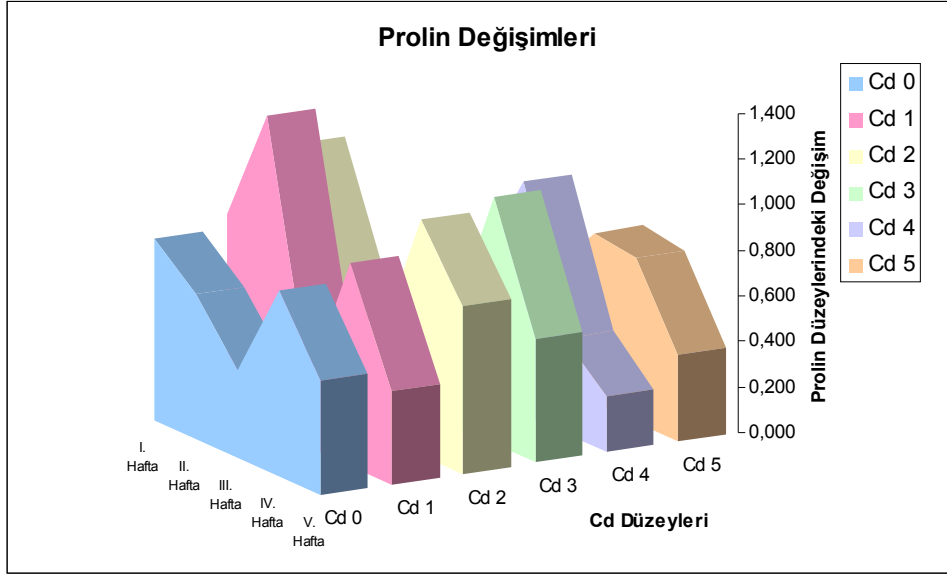
4.4.3 Bitki Yaprak Dokularının Serbest Prolin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bitki yaprak doku örneklerine ait serbest prolin içeriklerinin değişimi Çizelge 4.37’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi serbest prolin içerikleri $0,197 \pm 1,410$ $\mu\text{mol/g}$ taze ağırlık değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama serbest prolin içeriğinin $0,649$ $\mu\text{mol/g}$ taze ağırlık olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.37. Bitki örneklerine ait prolin miktarları ($\mu\text{mol/g}$ taze ağırlık)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	0,746	0,684	0,391	0,697	0,424	0,391	0,746	0,588	0,629
	2	0,818	0,618	0,215	0,776	0,611	0,215	0,818	0,608	
	3	0,834	0,609	0,544	0,979	0,458	0,458	0,979	0,685	
Cd 1	1	0,958	1,397	0,353	0,803	0,411	0,353	1,397	0,784	0,765
	2	0,940	1,329	0,330	0,805	0,437	0,330	1,329	0,768	
	3	0,682	1,399	0,197	1,065	0,382	0,197	1,399	0,745	
Cd 2	1	1,076	0,740	0,376	1,070	0,871	0,376	1,076	0,827	0,782
	2	0,879	0,500	0,600	1,061	0,734	0,500	1,061	0,755	
	3	1,410	0,471	0,374	0,967	0,605	0,374	1,410	0,765	
Cd 3	1	0,471	0,677	0,574	1,076	0,485	0,471	1,076	0,657	0,609
	2	0,376	0,418	0,424	0,870	0,650	0,376	0,870	0,548	
	3	0,349	0,535	0,426	1,317	0,497	0,349	1,317	0,625	
Cd 4	1	0,620	0,629	0,929	0,471	0,258	0,258	0,929	0,581	0,571
	2	0,556	0,502	1,164	0,471	0,200	0,200	1,164	0,579	
	3	0,530	0,687	0,973	0,312	0,270	0,270	0,973	0,554	
Cd 5	1	0,277	0,461	0,762	0,861	0,244	0,244	0,861	0,521	0,535
	2	0,276	0,524	0,746	0,591	0,465	0,276	0,746	0,520	
	3	0,343	0,591	0,753	0,714	0,424	0,343	0,753	0,565	
Min.		0,276	0,418	0,197	0,312	0,200	Genel Min: 0,197 Genel Max: 1,41 Genel Ort: 0,649			
Max.		1,410	1,399	1,164	1,317	0,871				
Ort.		0,675	0,710	0,563	0,828	0,468				

Bitki örneklerinin prolin aminoasidi miktarları Cd 2 dozuna kadar bir artış göstermiş bu dozdan sonra bir düşüş eğiliminin içerisine girmiştir. Haftalar dikkate alındığında ise bir dalgalanmanın var olduğu saptanmıştır (Şekil 4.36).



Şekil 4.36 Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin prolin değişim diyagramı

Büyüyen *Arachis hypogaea L.* fidelerinde kadmiyum fitotoksitesinin araştırılması amacıyla yapılan bir araştırmada; tohumlar 25, 50 ve 100 mmol / l CdCl₂ konsantrasyonlarındaki çözeltilerde, 10, 15, 20 ve 25 dakikalık sürelerde bırakılmıştır. Prolin içeriği 10 günlük kadmiyum stresinden sonra değerlendirilmiştir. Kadmiyum uygulanan bitki dokularında, proline %159,87 ,% 239,6, olarak kontrole göre bir artış gözlenmiştir (Dinakar ve ark. 2008). Kadmiyumun *Ceratophyllum demersum L.* üzerindeki bazı fizyolojik ve morfolojik etkileri konusunda yapılan bir araştırmada; farklı derişimlerdeki Cd (0, 0.01, 0.1 ve 1 mg l⁻¹)'un etkisinde 96 saat bırakılan *Ceratophyllum demersum L.*'de meydana gelen bazı fizyolojik ve morfolojik değişiklikler araştırılmıştır. Prolin aminoasidinde belirlenen artışlar bunların Cd stresinde rollerinin olduğunu göstermiştir (Doğan ve Saygıdeğer 2009). Maydanoz fideleri 75 µM, 150 µM ve 300µM CdCl₂ ile 15 gün muamele edilerek bitki yapraklarında prolin araştırılmıştır. Kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak yaprakların Cd ve prolin miktarları artmıştır (Ulus ve ark. 2007).

Yukarıda yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi en fazla 15 günlük deneme sonuçlarına göre verilen veriler mevcuttur. Yaptığımız araştırmada 15 günlük veriler dikkate alındığında (yani 2. haftaya kadar olan veriler) yaptığımız araştırmaların doğru olduğu ve 2. hafta 1. haftaya nazaran prolin aminoasidi miktarında bir artış olduğu gözlenmiştir. Verilen Cd dozlarının da düşük olduğu göz önüne alındığında (yaklaşık olarak Cd1 dozu civarına denk gelmektedir) bulunan literatür sonuçlarıyla yapmış olduğumuz analiz sonuçları birbiriyle bir uyum içerisindedir.

4.4.4 Bitki Yaprak Dokularının Askorbik Asit (C Vitamini) Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

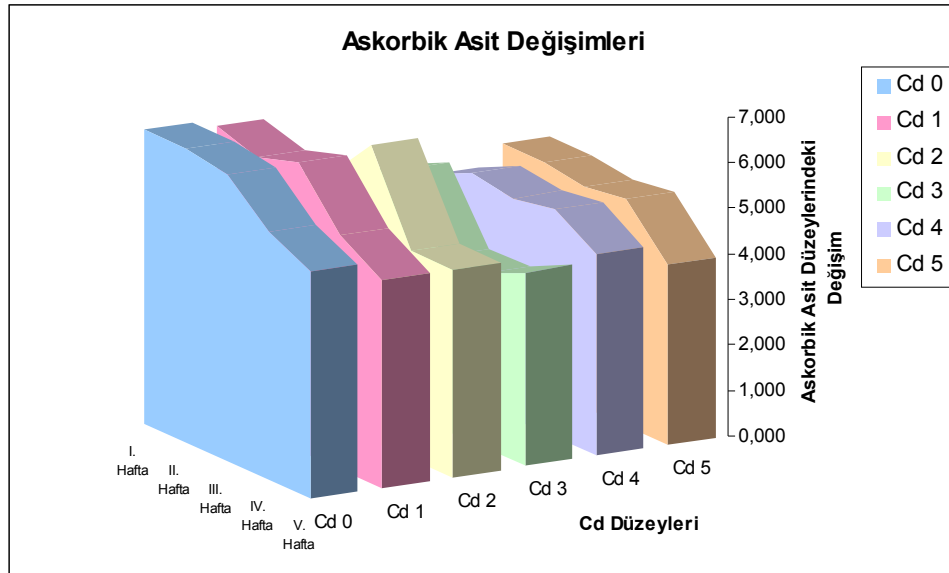
Bitki yaprak doku örneklerine ait C vitamini içeriklerinin değişimi Çizelge 4.38'de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi C vitamini $3,52 \pm 6,60$ mg/ 100 g taze ağırlık değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama C vitamini içeriğinin 5,11 mg/100 g taze ağırlık olduğu saptanmıştır. Bulunan bu değerlere göre fasulye yapraklarının doku örneklerinin C vitamini içeriklerinin örneklerin tamamında fakir düzeyde (5-15 mg/100 g taze örnek) olduğu saptanmıştır.

Bitki yapraklarının C vitamini (Askorbik asit) içerikleri Cd dozlarına bağlı olarak düzenli bir şekilde azalmıştır. Haftalar dikkate alındığında ise bir dalgalanmanın olduğu saptanmıştır (Şekil 4.37).

Bugüne değin, Cd toksitesine bağlı olarak bitkilerdeki C vitamini içerikleri arasında yapılan bir literatür bulgusuna ulaşamamıştır.

Çizelge 4.38. Bitki doku örneklerine ait askorbik asit (C vitamini) miktarları (mg/ 100 g taze ağı.)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	6,60	6,60	6,16	5,28	5,28	5,28	6,60	5,98	5,92
	2	6,16	6,16	6,60	5,72	4,84	4,84	6,60	5,89	
	3	6,60	6,60	6,16	5,28	4,84	4,84	6,60	5,89	
Cd 1	1	6,16	6,16	6,60	4,84	4,84	4,84	6,60	5,72	5,66
	2	6,60	5,72	6,16	5,28	4,40	4,40	6,60	5,63	
	3	6,16	6,16	6,16	5,28	4,40	4,40	6,16	5,63	
Cd 2	1	4,84	5,28	6,60	4,84	4,40	4,40	6,60	5,19	5,19
	2	5,28	5,72	6,60	4,40	4,84	4,40	6,60	5,36	
	3	4,84	5,28	6,16	4,40	4,40	4,40	6,16	5,01	
Cd 3	1	4,40	5,72	4,40	4,40	3,96	3,96	5,72	4,57	4,40
	2	4,84	5,28	3,52	3,52	4,40	3,52	5,28	4,31	
	3	5,28	4,84	3,52	3,52	4,40	3,52	5,28	4,31	
Cd 4	1	4,40	4,84	5,28	4,84	4,40	4,40	5,28	4,75	4,75
	2	4,84	4,84	4,40	4,84	4,40	4,40	4,84	4,66	
	3	4,40	5,28	4,84	5,28	4,40	4,40	5,28	4,84	
Cd 5	1	4,84	4,84	5,28	5,28	3,96	3,96	5,28	4,84	4,75
	2	5,28	5,28	4,40	4,84	4,40	4,40	5,28	4,84	
	3	4,84	4,84	4,84	4,84	3,52	3,52	4,84	4,57	
Min.		4,40	4,84	3,52	3,52	3,52	Genel Min: 3,52			
Max.		6,60	6,60	6,60	5,72	5,28	Genel Max: 6,60			
Ort.		5,35	5,52	5,42	4,81	4,44	Genel Ort: 5,11			



Şekil 4.37. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin askorbik asit (C vitamini) değişim diyagramı

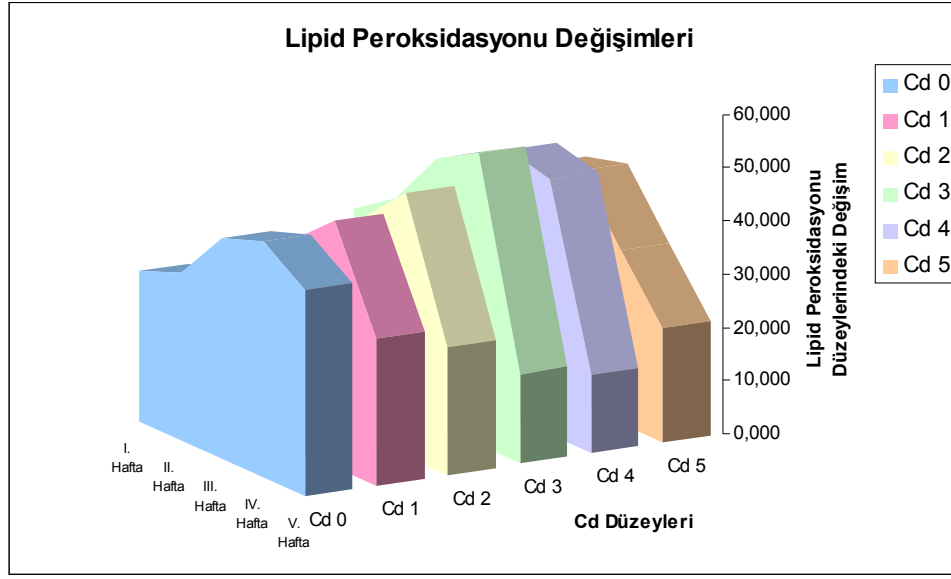
4.4.5 Bitki Yaprak Dokularının Lipid Peroksidasyonu Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bitki yaprak doku örneklerine ait lipid peroksidasyonu içeriklerinin değişimi Çizelge 4.39'da görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi lipid peroksidasyonu içerikleri $11,25 \pm 64,82$ MDA (mmol ml^{-1}) değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama lipid peroksidasyonu içeriğinin $36,24$ MDA (mmol ml^{-1}) olduğu saptanmıştır.

Bitki örneklerinin MDA (Lipid Peroksidasyonu) içeriklerinin Cd3 dozuna kadar dalgalanma gösterdiği fakat bu dozdan sonra bir düşüş eğilimine girdiği saptanmıştır. Haftalar dikkate alındığında ise 3. haftaya kadar bir artış olduğu ve bu dozdan sonra düşmeye başladığı saptanmıştır (Şekil 4.38).

Çizelge 4.39. Bitki örneklerine lipid peroksidasyonuna ait analiz sonuçları (MDA (mmol ml^{-1})).

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	16,98	34,38	40,84	44,94	32,10	16,98	44,94	33,85	36,95
	2	29,87	32,87	42,27	47,43	41,09	29,87	47,43	38,71	
	3	38,61	27,76	41,09	40,86	43,16	27,76	43,16	38,30	
Cd 1	1	27,46	28,26	43,64	42,58	26,03	26,03	43,64	33,59	33,97
	2	30,13	34,68	39,86	47,27	25,65	25,65	47,27	35,52	
	3	19,67	30,25	34,23	49,20	30,78	19,67	49,20	32,83	
Cd 2	1	31,67	25,00	39,07	46,92	20,98	20,98	46,92	32,73	35,12
	2	35,10	30,10	43,55	54,70	30,86	30,10	54,70	38,86	
	3	23,31	35,43	42,90	47,00	20,25	20,25	47,00	33,78	
Cd 3	1	28,41	37,61	44,17	47,65	18,01	18,01	47,65	35,17	39,19
	2	37,99	37,49	63,15	52,64	16,25	16,25	63,15	41,50	
	3	36,15	43,19	43,97	64,82	16,50	16,50	64,82	40,92	
Cd 4	1	31,60	44,30	44,24	42,51	16,09	16,09	44,30	35,75	38,00
	2	34,43	44,32	53,95	46,65	11,25	11,25	53,95	38,12	
	3	33,06	43,46	52,14	54,73	17,28	17,28	54,73	40,13	
Cd 5	1	32,95	44,65	48,49	34,64	28,56	28,56	48,49	37,86	34,16
	2	28,34	40,99	42,62	33,03	19,77	19,77	42,62	32,95	
	3	30,87	40,43	41,09	30,21	15,81	15,81	41,09	31,68	
Min.		16,98	25,00	34,23	30,21	11,25	Genel Min: 11,25			
Max.		38,61	44,65	63,15	64,82	43,16	Genel Max: 64,82			
Ort.		30,37	36,40	44,51	45,99	23,91	Genel Ort: 36,24			



Şekil 4.38. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin lipid peroksidasyonu değişim diyagramı

B. juncea türlerinin on günlük fideleri 72 saat kadmiyum klorürün (0.0-2.0 mM) çeşitli dozlarını içeren çözeltilerde kalmış ve yetişen bitki kültürü ve yaprak örnekleri 24, 48 ve 72 saat sonunda hasat edilerek lipid peroksidasyonu analiz edilmiştir. Lipid peroksidasyonu oranının, Cd birikimi ile önemli bir artış oluşturduğu gözlenmiştir. *B. juncea cv. Pusa Jai Kisan (V5)* lipid peroksidasyon oranında en az artış göstermiştir, ancak biyokütle ve türler arasında Cd ve glutatyon içeriğinin yüksek düzeyde biriktiği saptanmıştır (Qadir ve ark. 2004). Kadmiyumun *Ceratophyllum demersum L.* üzerindeki bazı fizyolojik ve morfolojik etkileri konusunda yapılan bir araştırmada; farklı derişimlerdeki Cd (0, 0.01, 0.1 ve 1 mg l⁻¹)'un etkisinde 96 saat bırakılan *Ceratophyllum demersum L.*'de meydana gelen bazı fizyolojik ve morfolojik değişiklikler araştırılmıştır. Lipid peroksidayonunda artışların olması, Cd stresinin membranlarda oksidatif hasara neden olduğunu göstermiştir (Doğan ve Saygıdeğer 2009). Maydanoz (*Petroselinum hortense*) bitkisinde kadmiyum stresinin antioksidant enzim aktiviteleri üzerine etkileri konusunda yapılan bir araştırmada; maydanoz fideleri 75 µM, 150 µM ve 300µM CdCl₂ ile 15 gün muamele edilerek bitki yapraklarında lipid peroksidasyonu araştırılmıştır. Cd konsantrasyonuna bağlı yaprakların lipid peroksidasyonunda artışa neden olmuştur (Uluslu ve ark. 2007).

Bulunan literatür sonuçları yaptığımız araştırmayı destekler niteliktedir. Literatürlerdeki deneme süreleri maksimum 15 gün süreli olup, 1. ve 2. haftaki sonuçlar incelendiğinde lipid peroksidasyonunda bir artışın söz konusu olduğu saptanmıştır.

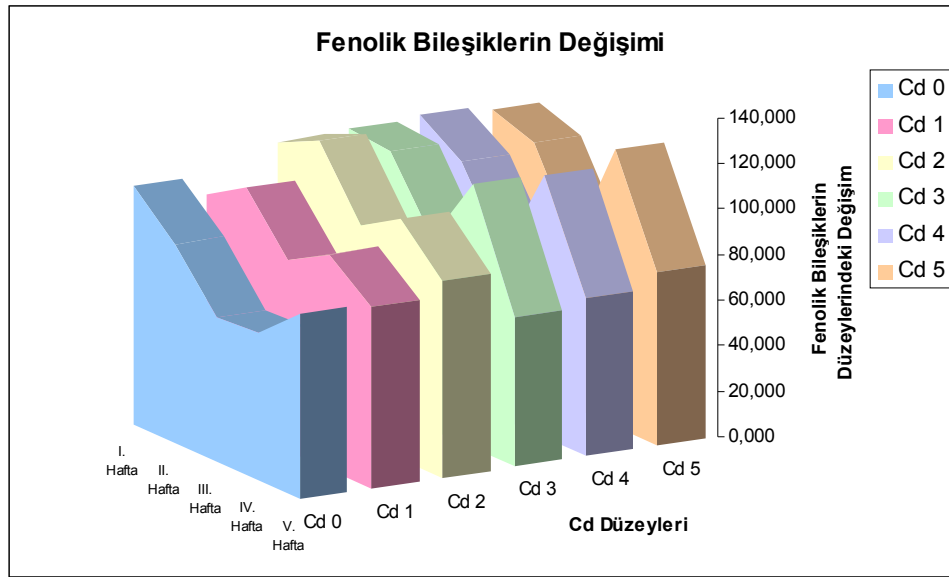
4.4.6 Bitki Yaprak Dokularının Fenolik Bileşiklerinin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bitki yaprak doku örneklerine ait fenolik bileşiklerin içeriklerinin değişimi Çizelge 67’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi fenolik bileşiklerin içerikleri 60 ± 133 $\mu\text{mol/g}$ taze ağırlık değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama fenolik bileşiklerin içeriğinin $95 \mu\text{mol/g}$ taze ağırlık olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.40. Bitki örneklerine ait fenolik bileşiklerin miktarları ($\mu\text{mol/g}$ taze ağırlık)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	99	83	61	64	82	61	99	78	80
	2	101	90	64	62	84	62	101	80	
	3	116	90	66	69	78	66	116	84	
Cd 1	1	98	97	86	98	81	81	98	92	92
	2	90	99	82	91	80	80	99	88	
	3	101	127	84	95	79	79	127	97	
Cd 2	1	101	110	82	98	84	82	110	95	104
	2	115	131	92	105	87	87	131	106	
	3	129	130	109	114	89	89	130	114	
Cd 3	1	110	91	75	108	65	65	110	90	99
	2	115	119	83	113	68	68	119	100	
	3	123	133	96	127	63	63	133	108	
Cd 4	1	114	93	73	108	70	70	114	91	95
	2	118	106	69	114	71	69	118	96	
	3	120	116	77	124	68	68	124	101	
Cd 5	1	105	97	69	117	79	69	117	93	99
	2	125	106	73	125	72	72	125	100	
	3	116	124	79	124	78	78	124	104	
Min.		90	83	61	62	63	Genel Min: 60			
Max.		129	133	109	127	89	Genel Max: 133			
Ort.		111	108	79	103	76	Genel Ort: 95			

Bitki örneklerinin fenolik bileşiklerinin içerikleri Cd2 dozuna kadar bir artış sergilemektedir. Cd3 ve Cd4 dozlarında bir azalma gözlenirken Cd5 dozunda ise tekrar bir artış olduğu saptanmıştır. Haftalar bazında incelenecek olursa 3. haftaya kadar bir düşüş gözlenmiştir. Dördüncü hafta fenolik bileşiklerde bir artış saptanmış ve son hafta tekrar bir düşüş gerçekleşmiştir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin fenolik bileşiklerinin değişim diyagramı

Cd etkisinde bırakılan *P. vulgaris* bitkilerinde çözülebilir ve çözülemez fenoliklerin akümüle olduğu belirlenmiştir (Rodecap ve ark. 1981). Şimdiye kadar yapılan çalışmaların azlığı nedeniyle, bugüne kadar Cd'un toksite mekanizmasının, tamamıyla açıklanmasının mümkün olmadığı belirtilmiştir (di Toppi ve Gabbrielli 1999).

Bulunan bu literatürün ışığında yaptığımız denemedeki sonuçlar doğrudur. Yapılan araştırma yine hidroponik kültürde belirli bir süre Cd uygulamasına maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Cd2 dozuna kadar fenolik bileşiklerin içeriklerinin arttığı göz önünde bulundurulduğunda bulunan sonuçlar literatür ile bir uyum içerisindedir.

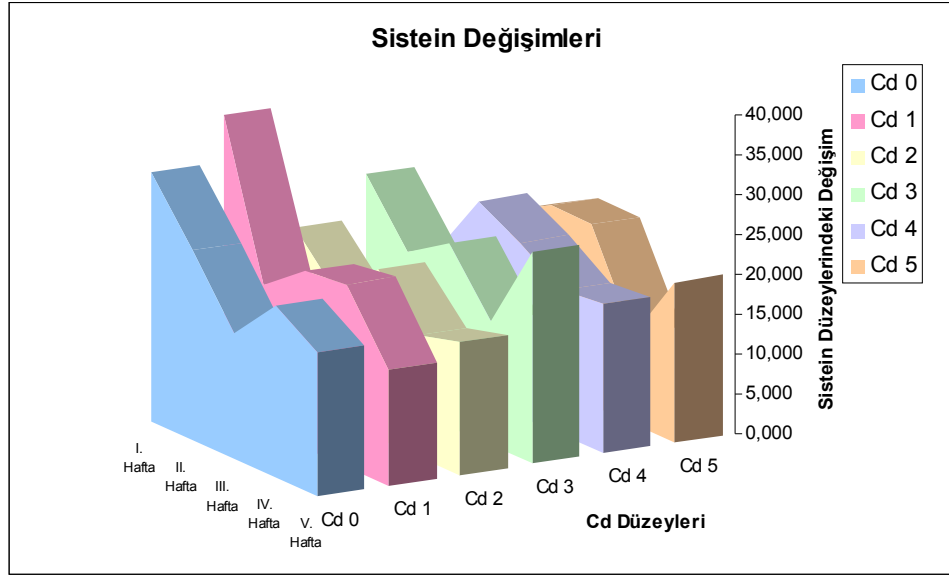
4.4.7 Bitki Yaprak Dokularının Sistein Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bitki yaprak doku örneklerine ait sistein içeriklerinin değişimi Çizelge 4.41’de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi sistein içerikleri $9,68 \pm 40,20$ $\mu\text{mol/g}$ taze ağırlık değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama sistein içeriğinin $20,78$ $\mu\text{mol/g}$ taze ağırlık olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.41. Bitki örneklerine ait sistein miktarları ($\mu\text{mol/g}$ taze ağırlık)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	32,85	28,18	16,17	24,04	18,07	16,17	32,85	23,86	22,08
	2	34,84	18,93	15,74	20,40	19,80	15,74	34,84	21,94	
	3	26,28	24,47	15,22	20,40	15,91	15,22	26,28	20,46	
Cd 1	1	40,20	17,46	23,52	24,47	13,92	13,92	40,20	23,91	22,95
	2	32,59	21,35	19,11	24,21	14,01	14,01	32,59	22,25	
	3	38,30	15,48	24,04	20,06	15,56	15,48	38,30	22,69	
Cd 2	1	22,13	16,51	21,44	17,12	18,07	16,51	22,13	19,06	18,08
	2	21,61	14,52	23,86	15,13	16,69	14,52	23,86	18,36	
	3	21,27	16,08	18,24	13,40	15,22	13,40	21,27	16,84	
Cd 3	1	31,04	22,31	24,81	14,01	23,26	14,01	31,04	23,08	22,34
	2	24,04	20,14	24,04	16,43	25,42	16,43	25,42	22,01	
	3	25,94	16,43	20,40	16,08	30,78	16,08	30,78	21,93	
Cd 4	1	16,17	24,47	20,40	17,81	19,11	16,17	24,47	19,59	19,90
	2	14,70	24,99	22,13	19,80	16,60	14,70	24,99	19,64	
	3	17,72	24,55	22,82	17,03	20,23	17,03	24,55	20,47	
Cd 5	1	15,39	27,32	22,82	9,68	21,35	9,68	27,32	19,31	19,33
	2	23,95	20,40	20,14	10,20	20,14	10,20	23,95	18,97	
	3	20,06	20,49	25,33	13,92	18,76	13,92	25,33	19,71	
Min.		14,70	14,52	15,22	9,68	13,92	Genel Min: 9,68			
Max.		40,20	28,18	25,33	24,47	30,78	Genel Max: 40,20			
Ort.		25,50	20,78	21,12	17,45	19,05	Genel Ort: 20,78			

Bitki örneklerinin sistein aminoasidi içerikleri Cd1 dozuna kadar artmaktadır. Cd2 dozunda bir azalma saptanmasına karşın Cd3 dozunda tekrar bir artış olduğu gözlenmiştir. Bu dozdan sonra bitkilerin sistein aminoasit içerikleri bir düşüş göstermektedirler. Haftalar dikkate alındığında ise bir dalgalanmanın söz konusu olduğu saptanmıştır(Şekil 4.40).



Şekil 4.40. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin sistein değişim diyagramı

Kadmiyumun *Ceratophyllum demersum L.* üzerindeki bazı fizyolojik ve morfolojik etkileri konusunda yapılan bir araştırmada; farklı derişimlerdeki Cd (0, 0.01, 0.1 ve 1 mg l⁻¹)'un etkisinde 96 saat bırakılan *Ceratophyllum demersum L.*'de meydana gelen bazı fizyolojik ve morfolojik değişiklikler araştırılmıştır. Sistein aminoasitlerinde belirlenen artışlar bunların Cd stresinde rollerinin olduğunu göstermiştir (Doğan ve Saygıdeğer 2009).

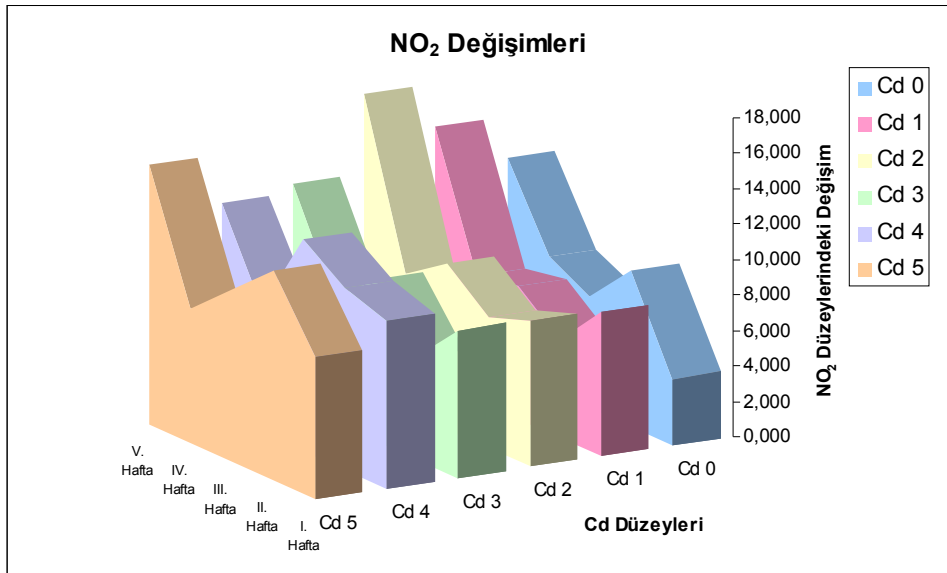
Bulunan literatürün ışığında Cd1 dozuna kadar bulunan değerlerin doğru olduğu gözlenmektedir ve yapılan analizlerle bir uyum içerisinde olduğu saptanmıştır.

4.4.8 Bitki Yaprak Dokularının Nitrat Redüktaz Enzim Aktivitesi Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bitki yaprak doku örneklerine ait Nitrat Redüktaz enzim aktivite içeriklerinin değişimi Çizelge 4.42'de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de gözlenebileceği gibi Nitrat Redüktaz enzim aktivite içerikleri 3,629 ± 18,816 mg NO₂⁻/g taze ağırlık x saat değerleri arasında değişim göstermiştir. Ortalama içeriğinin 9,201 mg NO₂⁻/g taze ağırlık x saat olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.42. Bitki örneklerine ait NO_2^- miktarları ($\text{mg NO}_2^- / \text{g}$ taze ağırlık x saat)

		I. Hafta	II. Hafta	III. Hafta	IV. Hafta	V. Hafta	Min.	Max.	Ort.	Cd Doz Ort.
Cd 0	1	3,931	9,038	6,720	8,165	13,306	3,931	13,306	8,232	7,71
	2	3,629	8,434	6,283	7,963	11,726	3,629	11,726	7,607	
	3	3,730	9,072	6,014	6,518	11,122	3,730	11,122	7,291	
Cd 1	1	7,829	6,250	7,862	7,426	14,851	6,250	14,851	8,844	8,53
	2	9,408	4,267	7,392	6,686	13,944	4,267	13,944	8,339	
	3	7,258	6,115	7,358	7,022	14,414	6,115	14,414	8,433	
Cd 2	1	9,542	7,997	9,139	10,382	15,086	7,997	15,086	10,429	9,92
	2	7,795	7,862	9,442	6,720	18,816	6,720	18,816	10,127	
	3	7,325	6,384	9,677	6,115	16,598	6,115	16,598	9,220	
Cd 3	1	8,299	5,342	8,098	8,837	12,701	5,342	12,701	8,655	8,51
	2	9,072	5,611	8,870	7,022	12,062	5,611	12,062	8,527	
	3	7,560	6,250	10,382	5,141	12,499	5,141	12,499	8,366	
Cd 4	1	8,534	10,147	12,432	8,366	12,970	8,366	12,970	10,490	10,12
	2	10,248	10,550	11,122	6,619	10,718	6,619	11,122	9,851	
	3	9,509	10,214	12,197	6,250	12,062	6,250	12,197	10,046	
Cd 5	1	7,358	13,373	8,904	8,366	16,531	7,358	16,531	10,906	10,38
	2	7,426	11,491	10,349	7,862	12,936	7,426	12,936	10,013	
	3	9,274	10,786	9,811	6,686	14,650	6,686	14,650	10,241	
Min.		3,629	4,267	6,014	5,141	10,718	Genel Min: 3,629			
Max.		10,248	13,373	12,432	10,382	18,816	Genel Max: 18,816			
Ort.		7,652	8,288	9,003	7,341	13,722	Genel Ort: 9,201			



Şekil 4.41. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, haftalar bazında bitki örneklerinin NO_2^- değişim diyagramı

Bitki örneklerinin nitrat redüktaz enzim aktivitesi Cd2 dozuna kadar bir artış göstermiştir Cd3 dozunda azalmış ve tekrara bir artış eğilimine girmiştir. Haftalar açısından incelendiğinde; 3. haftaya kadar bir artış gözlenmiş 4. hafta düşmesine rağmen 5. hafta en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Nitrat redüktaz enzim aktivitesi bitkilerin yapraklarının azot içerikleriyle bir uyum içerisinde hareket etmiştir (Şekil 4.41).

Cd sürgünlerde nitrat redüktaz aktivitesinin inhibisyonuna neden olarak sürgünlere azot taşınmasının azalmasına neden olabilmektedir (Hernandez ve ark. 1996). Büyüyen *Arachis hypogaea L.* fidelerinde kadmiyum fitotoksitesinin araştırılması amacıyla yapılan bir araştırmada; tohumlar 25, 50 ve 100 mmol / l CdCl₂ konsantrasyonlarındaki çözeltilerde, 10, 15, 20 ve 25 dakikalık sürelerde bırakılmıştır. Nitrat redüktaz, 10 günlük kadmiyum stresinden sonra değerlendirilmiştir. Kadmiyum konsantrasyonları ve uygulama sürelerindeki artışla, kadmiyum en yüksek konsantrasyonunda (100 mmol / l) nitrat redüktaz % 79,39 % 80,72 azalmasıyla (yaprak ve kökler) sonuçlanmıştır (Dinakar ve ark. 2008).

Bulunan literatürlerde 10 günlük maksimum deneme süresi ve düşük Cd dozları dikkate alındığında bulunan literatür bulgularıyla yapılan analiz sonuçlarının bir uyum içerisinde olduğu gözlenmektedir.

4.5 Analiz Sonuçlarının İstatistiki Olarak Değerlendirilmesi

4.5.1 Toprak Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçlarının İstatistiki İlişkileri

Toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarının istatistiki değerlendirilmesi sonucu bulunan ilişkiler Çizelge 4.43’de görüldüğü gibidir.

Toprakların % P içerikleri ile % toplam N içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Toprakların potasyum içerikleri ile % N ve % P içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Toprakların Fe içerikleri ile % P içerikleri arasında da %1 düzeyinde pozitif bir ilişki mevcuttur. Toprak örneklerinin Zn içerikleri ile %N içerikleri arasında %5 düzeyinde, %P ve %K içerikleri arasında da %1 düzeyinde ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Toprakların Cu içerikleri ile %N, %P, Fe, Zn içerikleri arasında %1 düzeyinde; %K içeriği ile %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Toprakların Mn içerikleri ile %N, %P, %K, Zn, Cu içerikleri arasında %1 ve Fe içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif ilişkiler tespit edilmiştir. Yapılan istatistiki analizler sonucunda toprakların Cd içerikleri ile %K miktarları arasında %1 düzeyinde, Zn içerikleri ile %5 düzeyinde pozitif ilişkiler tespit edilmiştir. Toprakların pH değerleri ile (1/2.5 Su) toprakların %N içerikleri arasında %1 lik negatif ve toprakların % K içerikleri ile %5 lik pozitif ilişkilerin varlığı saptanmıştır.

Toprakların elektriki iletkenlik (EC) değerleri ile %N, Fe, Zn ve Cd miktarlara arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Ayrıca, toprakların elektriki iletkenlik (EC) değerleri ile toprakların % K ve Cu miktarları arasında %1 düzeyinde pozitif ve Mn içeriği ile %1 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Toprakların HCO_3^- içerikleri ile %K, pH (1/2.5 su), EC (Saturasyon çamurundaki), %Tuz içerikleri arasında %1’lik ve Zn, Cu, içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif ilişkiler saptanmıştır. Toprakların HCO_3^- içerikleri ile toprakların Mn içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir.

Toprakların Ca içerikleri ile % K içerikleri arasında %1 düzeyinde ve %P, Cu, EC (Saturasyon çamurundaki), miktarları arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur.

Toprakların Ca içerikleri ile toprakların Mn içerikleri arasında %1 düzeyinde ve HCO_3^- miktarları ile %5 düzeyinde negatif ilişkiler bulunmuştur. Toprakların Mg içerikleri ile % Tuz miktarları arasında %5 düzeyinde pozitif bir ilişki tespit edilmiştir.

Toprakların Pb içerikleri ile toprakların Zn içerikleri arasında pozitif ve pH (1/2,5 su) değerleri arasında negatif %5 düzeyinde ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Toprakların Co içerikleri ile N içerikleri arasında %5 düzeyinde, P, K, Zn, Cu, EC (satur çamuru), Ca içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Ayrıca, toprakların Co içerikleri ile Mn içerikleri arasında da %1 düzeyinde pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Toprakların Cr içerikleri ile toprakların P içerikleri arasında %5 düzeyinde; ve Fe, Zn, Cu içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkiler tespit edilmiştir. Toprakların Cr içerikleri ile Mn içerikleri arasında da %5 düzeyinde pozitif bir ilişkinin varlığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.43. Toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarının istatistikî ilişkileri

	-----Toprak-----														
	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn	Cd	pH (1/2,5 su)	EC x10 ⁶	HCO ₃	Ca	Mg	Pb	Co	Cr
N	0.445**	0.333**		0.235*	0.362**	-0.535**		-0.324**	0.254*					-0.264*	
P		0.297**	0.306**	0.388**	0.565**	-0.556**					0.217*			-0.431**	-0.205*
K				0.452**	0.262*	-0.482**	0.272**	0.242*	0.377**	-0.314**	0.322**			-0.350**	
Fe					0.602**	-0.267*			0.223*						-0.375**
Zn					0.464**	-0.377**	0.215*		0.212*	-0.235*			0.217*	-0.311**	-0.278**
Cu						-0.662**			0.491**	-0.252*	0.213*			-0.467**	-0.371**
Mn									-0.559**	0.248*	-0.284**			0.695**	0.260*
Cd									0.230*						
pH (1/2,5 su)										-0.268**			-0.251*		
EC x10 ⁶										-0.392**	0.242*			-0.485**	
HCO ₃											-0.230*				
Ca														-0.335**	

• Çizelgede sadece istatistikî açıdan önemli olan bulgular verilmiştir.

• ** % 1 düzeyinde ilişkilî

• * % 5 düzeyinde ilişkilî

4.5.2 Toprak Analiz Sonuçları ile Yaprakların Bitki Besin Elementleri Arasındaki İstatistik İlişkileri

Toprakların kimyasal analizleri sonucunda bulunan değerler ile yaprak örneklerinin besin element miktarları arasındaki istatistik açıdan önemli olan ilişkiler Çizelge 4.44’de verildiği gibidir.

Çizelgeden de izlenebileceği gibi, bitki yaprak örneklerinin N besin elementi ile toprakların %N, %P, %K, Fe, Zn, Cu, EC, Ca miktarları arasında %1 düzeyinde, %Tuz miktarları arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca bitki yaprak örneklerinin %N içerikleri ile toprakların Mn içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif bir ilişkinin varlığı saptanmıştır.

Bitki yaprak örneklerinin % P içerikleri ile toprakların %N, %P, Fe, Zn, Cu, EC içerikleri arasında %1 düzeyinde ve %K, içeriği ile %5 düzeyinde pozitif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Ayrıca, Yaprakların %P içerikleri ile toprakların Na, Mn ve HCO_3^- içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkiler mevcuttur.

Yaprak örneklerinin K içerikleri ile toprakların %P, Zn ve Mg miktarları arasında %1 düzeyinde ve toprakların %K, Cu içerikleri ile %5 düzeyinde pozitif ilişkiler tespit edilmiştir.

Bitki yaprak örneklerinin Na içerikleri ile Toprakların Na içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif bir ilişkinin varlığı saptanmıştır. Ayrıca, bitki yaprak örneklerinin Na içerikleri ile Toprakların Mn ve Mg içerikleri arasında da %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur.

Bitki yaprak örneklerinin Fe içerikleri ile toprakların %N, %P, %K, Fe, Cu, EC, içerikleri arasında %1 düzeyinde ve toprakların Zn içerikleri ile %5 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Yaprak örneklerinin Fe içerikleri ile toprak örneklerinin Mn içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif bir ilişki tespit edilmiştir.

Bitki yapraklarının Zn miktarları ile toprakların Fe, Zn, Cu, Cd, EC içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır. Ayrıca yaprak örneklerinin Zn içerikleri ile toprakların Na ve HCO_3^- miktarları arasında %5 düzeyinde negatif ilişkiler mevcuttur.

Bitki yaprak örneklerinin Cu içerikleri ile toprak örneklerinin %N, EC içerikleri arasında %1 düzeyinde ve %K, Cu içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Ayrıca, bitkilerin Cu içerikleri ile toprakların Mn içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif bir ilişkinin varlığı saptanmıştır.

Yaprak örneklerinin Ca içerikleri ile toprak örneklerinin Zn, Cd, EC içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı saptanmıştır.

Yaprak örneklerinin Mg içerikleri ile toprakların %K, Zn, Cu, EC değerleri arasında %1 düzeyinde ve toprakların %P, Fe, Ca içerikleri ile %5 düzeyinde negatif ilişkiler mevcuttur. Bitki yapraklarının Mg içerikleri ile toprakların Mn içerikleri arasında da %1 düzeyinde pozitif bir ilişkinin varlığı saptanmıştır.

Bitki yapraklarının Cd içerikleri ile toprakların %N, %P, %K, Fe, Cu, Ca, EC değerleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Yaprakların Cd içerikleri ile toprakların Mn içerikleri arasında %1 düzeyinde ve toprakların pH değerleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır.

Bitki yapraklarının Pb içerikleri ile toprakların Na içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca yaprakların Pb içerikleri ile toprakların Zn, Mg içerikleri ile %1 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur.

Bitki yaprak örneklerinin Co içerikleri ile toprakların N ve P değerleri arasında %5 düzeyinde ve toprakların Fe, Cu, EC ve Ca değerleri arasında %1 düzeylerinde pozitif ilişkiler saptanmıştır. Ayrıca yaprak örneklerinin Co içerikleri ile toprakların Mn ve Co içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkiler tespit edilmiştir.

Çizelge 4.44. Toprak analiz sonuçları ile yaprakların bitki besin elementleri arasındaki istatistiksel ilişkileri

-----Bitki-----													
	N	P	K	Na	Fe	Zn	Cu	Mn	Ca	Mg	Cd	Pb	Co
N	0.423**	0.387**			-0.460**		0.480**				-0.601**		0.223*
P	0.566**	0.466**	0.303**		-0.540**					-0.266*	-0.635**		0.215*
K	0.321**	0.255*	0.216*		-0.349**		0.257*			-0.274**	-0.367**		
Na		-0.307**		-0.346**		-0.208*						-0.395**	
Fe	0.442**	0.514**			-0.396**	0.400**				-0.207*	-0.323**		0.416**
Zn	0.277**	0.475**	0.316**		-0.232*	0.310**			-0.245*	-0.450**		0.299**	
Cu	0.659**	0.650**	0.252*		-0.664**	0.333**	0.234*			-0.519**	-0.678**		0.561**
Mn	-0.691**	-0.585**		0.214*	0.540**		-0.507**			0.330**	0.829**		-0.415**
Cd						0.298**			-0.213*				
pH (1/2,5 su)											0.265*	0.237*	
EC x10 ⁶	0.525**	0.390**			-0.349**	0.286**	0.372**	0.224*	-0.213*	-0.320**	-0.469**		0.344**
HCO ₃		-0.279**				-0.218*							
Ca	0.348**									-0.238*	-0.322**		
Mg			0.271**	0.250*								0.342**	
Cd													0.288**
Co													-0.381**

• Çizelgede sadece istatistiksel açıdan önemli olan bulgular verilmiştir.

• ** % 1 düzeyinde ilişkili

• * % 5 düzeyinde ilişkili

4.5.3 Yaprak Örneklerinin Bitki Besin Elementleri İçerikleri Arasındaki İstatistik İlişkiler

Yaprak örneklerine ait yapılan istatistik analizler sonucunda önemli bulunan ilişkiler Çizelge 4.45’de gösterildiği gibidir.

Yaprak örneklerinin P içerikleri ile N içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif bir ilişki saptanmıştır. Yaprakların K içerikleri ile P içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Yaprak örneklerinin Na içerikleri ile N içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif bir ilişki ve yaprakların K içerikleri ile %1 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Yaprak örneklerinin Fe içerikleri ile N, P ve K içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Ayrıca, yaprakların Zn içerikleri ile N ve P içerikleri arasında da %1 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Yaprakların Cu içerikleri ile N ve P içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır.

Çizelge 4.45. Yaprak örneklerinin bitki besin elementleri içerikleri arasındaki istatistik ilişkiler

		-----Bitki-----											
		P	K	Na	Fe	Zn	Cu	Mn	Ca	Mg	Cd	Pb	Co
-----Bitki-----	N	0.607**		-0.250*	-0.420**	0.366**	0.213*			-0.322**	-0.719**		0.471**
	P		0.292**		-0.484**	0.392**	0.232*	0.240*			-0.438**	0.408**	0.557**
	K			0.518**	-0.336**			0.302**	0.251*				0.415**
	Na							0.216*	0.522**	0.285**	0.338**	0.551**	
	Fe						-0.311**	-0.253*		0.207*	0.601**		-0.484**
	Zn									-0.273**		0.241*	
	Cu							0.227*	0.273**		-0.539**	-0.277**	0.262*
	Mn								0.376**				
	Cd									0.428**		0.418**	-0.455**
	Pb									0.280**			
	Ca									0.485**			

- Çizelgede sadece istatistik açıdan önemli olan bulgular verilmiştir.
- ** % 1 düzeyinde ilişkili
- * % 5 düzeyinde ilişkili

Yaprak örneklerinin Cu içerikleri ile Fe içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Yaprak örneklerinin Mn içerikleri ile K içerikleri arasında %1 düzeyinde ve

yaprakların P, Na, Cu içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır. Ayrıca, yaprak örneklerinin Mn içerikleri ile Fe içerikleri arasında da %5 düzeyinde negatif bir ilişki mevcuttur. Yaprakların Ca içerikleri ile Na, Cu ve Mn içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprakların K içerikleri ile %5 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır. Yaprakların Mg içerikleri ile Na, Cd, Pb ve Ca içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprakların Fe içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca, yaprak örneklerinin Mg içerikleri ile N ve Zn içerikleri arasında da %1 düzeyinde negatif ilişkiler saptanmıştır.

Yaprakların Cd içerikleri ile N, P, Cu içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif ve yaprakların Na ve Fe içerikleri ile %1 düzeyinde pozitif ilişkiler tespit edilmiştir. Yaprak örneklerine ait Pb içerikleri ile P, K, Na ve Cd içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprakların Zn içerikleri ile % 5 düzeyinde pozitif ilişkiler tespit edilmiştir. Yaprakların Pb içerikleri ile Cu içerikleri arasında da %1 düzeyinde negatif bir ilişki mevcuttur. Yaprakların Co içerikleri ile N, P içerikleri arasında %1 düzeyinde ve Cu içerikleri ile %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Ayrıca; yaprakların Co içerikleri ile Fe ve Cd içerikleri arasında da %1 düzeyinde negatif ilişkiler saptanmıştır.

4.5.4 Yaprak Örneklerinin Bitki Besin Elementi İçerikleri ile Fizyolojik Analiz Sonuçları Arasındaki İstatistikî İlişkiler

Yaprak örneklerine ait bitki besin element içerikleri ile yaprak doku örneklerinin fizyolojik analiz sonuçlarına ait değerler arasında yapılmış olan istatistikî analiz sonuçları Çizelge 4.46'da gösterilmektedir.

Çizelgeden de izlenebileceği gibi yaprak doku örneklerinin % protein miktarları ile yaprakların N, Cu içerikleri arasında %5 düzeyinde ve yaprakların Mn içeriği ile %1 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Yaprak örneklerinin % protein miktarları ile yaprakların Fe içerikleri ile %1 düzeyinde ve Cd içeriği ile %5 düzeyinde önemli ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Yaprak doku örneklerinin Klorofil A miktarları ile yaprakların Mn miktarları arasında %1 düzeyinde ve yaprakların N, Cu içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Yaprak dokularının Klorofil A miktarları ile yaprakların Fe içerikleri arasında %1 ve yaprakların Cd içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Yaprak doku

örneklerindeki Klorofil B miktarları ile yaprakların Mn içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif bir ilişki tespit edilmiştir.

Çizelge 4.46. Yaprak örneklerinin bitki besin elementi içerikleri ile fizyolojik analiz sonuçları arasındaki istatistiki ilişkiler

-----Bitki Fizyolojik Analizleri-----											
	Protein	Klf A	Klf B	Toplam Klf	Karotenoid Pigment	C Vitamini	Serbest Prolin	Lipid Peroksidasyonu	Fenolik Bileşikler	Sistein	Nitrat Redüktaz
N	1,000**	-0.230*		-0.206*	-0.412**	0.326**	0.288**		0.550**	0.342**	0.422**
P	0.607**					0.228*			0.312**	0.233*	-0.236*
Fe	-0.420**	0.271**		0.256*		-0.308**		0.234*		-0.473**	
Zn	0.366**				-0.209*			0.227*	0.379**		
Cu	0.213**	-0.206*			-0.229*			-0.492**	0.226*		0.218*
Mn		-0.345**	-0.248*	-0.349**				-0.279**			
Cd	-0.719**	0.259*		0.230*	0.424**	-0.374**			-0.477**	-0.462**	0.458**
Pb					0.334**		-0.289**	0.240*	-0.411**		0.262*
Ca								-0.329**	-0.514**	0.260*	0.346**
Mg	-0.322**				0.253*			-0.319**	-0.422**		0.437**
Na	-0.250*						-0.238*		-0.485**		0.305**
Co	0.471**								0.288**	0.206*	-0.264*

- Çizelgede sadece istatistiki açıdan önemli olan bulgular verilmiştir.
- ** % 1 düzeyinde ilişkili
- * % 5 düzeyinde ilişkili

Yaprak doku örneklerinin % Toplam Klorofil miktarları ile yaprakların Fe ve Cd içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır. Yaprak dokularının % Toplam Klorofil miktarlarıyla yaprakların N içerikleri arasında %5 düzeyinde ve yaprakların Mn içerikleri ile %1 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Yaprak doku örneklerine ait karoten miktarları ile yaprakların N içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprakların Zn ve Cu miktarları ile %5 düzeyinde negatif ilişkiler saptanmıştır. Yaprak dokularının karoten miktarları ile yaprakların Cd ve Pb içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprakların Mg içeriği ile %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Bitki yaprak dokularının C vitamini (Askorbik asit miktarı) miktarı ile yaprakların N içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprak örneklerinin P miktarları ile %5 düzeyinde pozitif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Ayrıca yaprak doku örneklerinin C vitamini miktarları ile yaprak örneklerinin Fe ve Cd içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkiler mevcuttur.

Yaprakların serbest prolin içerikleri ile yaprakların N içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca yaprak doku örneklerinin serbest prolin içerikleri ile yaprakların Pb içerikleri arasında %1 düzeyinde ve Na içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir.

Yaprakların lipid peroksidasyonu içerikleri ile Cu, Mn, Ca ve Mg içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkiler tespit edilmiştir. Lipid peroksidasyonu içerikleri ile yaprakların Fe, Zn, Pb içerikleri arasında da %5 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır.

Yaprak doku örneklerinin fenolik bileşiklerinin içerikleri ile yaprakların N, P, Zn ve Co içerikleri ile %1 düzeyinde ve yaprakların Cu içerikleri ile %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Ayrıca, yaprakların fenolik bileşiklerinin içerikleri ile yaprakların Cd, Pb, Ca, Mg ve Na içerikleri arasında da %1 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir.

Yaprakların sistein miktarları ile N içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprakların P, Ca ve Co içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Ayrıca yaprakların sistein içerikleri ile Fe ve Cd içerikleri arasında da %1 düzeyinde önemli negatif ilişkiler saptanmıştır.

Yaprakların nitrat redüktaz içerikleri ile yaprakların N, Cd, Ca, Mg ve Na içerikleri ile %1 düzeyinde ve yaprakların Cu ve Pb içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Yaprakların nitrat redüktaz enzim aktivite içerikleri ile yaprakların P ve Co içerikleri arasında %5 düzeyinde önemli negatif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir.

4.5.5 Yaprak Doku Örneklerinin Fizyolojik Analiz Sonuçları ile Toprak Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları Arasındaki İstatistikî İlişkiler

Yaprak Doku örneklerinin Fizyolojik analiz sonuçları ile toprakların kimyasal analiz sonuçlarının; istatistikî olarak yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.47’de görüldüğü gibidir.

Yaprak örneklerinin % protein miktarları ile toprakların N, P, K, Fe, Zn, Cu, EC ve Ca içerikleri arasında pozitif ve toprakların Mn, Co ve Cr içerikleri arasında negatif %1 düzeyinde

ilişkiler tespit edilmiştir. Yaprak doku örneklerinin Klorofil A miktarları ile toprakların N ve EC değerleri arasında %5 düzeyinde negatif ve toprakların Mn içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Yaprak doku örneklerinin toplam klorofil miktarları ile toprakların N içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif bir ilişki mevcuttur. Yapraklar Dokularının Karoten içerikleri ile toprakların P ve EC değerleri arasında %1 düzeyinde ve toprakların N içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Yaprak doku örneklerinin karoten içerikleri ile toprakların Mn içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Yaprak doku örneklerinin C vitamini (Askorbik asit) içerikleri ile toprakların P, Fe, Cu içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif ve toprakların Cd içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı saptanmıştır.

Çizelge 4.47. Yaprak doku örneklerinin fizyolojik analiz sonuçları ile toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları arasındaki istatistikli ilişkiler

-----Bitki Fizyolojik Analizleri-----										
	Protein	Klf A	Toplam Klf	Karotenoid Pigment	C Vitamini	Serbest Prolin	Lipid Peroksidasyonu	Fenolik Bileşikler	Sistein	Nitrat Redüktaz
N	0.423**	-0.241*	-0.221*	-0.236*			-0.256*		0.462**	
P	0.566**			-0.270**	0.390**				0.358**	-0.314**
K	0.321**									
Na							-0.353**			
Fe	0.422**				0.464**				0.344**	-0.495**
Zn	0.277**						0.432**			
Cu	0.659**				0.547**			0.357**	0.310**	-0.435**
Mn	-0.691**	0.241*		0.370**				-0.503**	-0.337**	0.311**
Cd					-0.267*	-0.211*				
EC x10 ⁶	0.525**	-0.223*		-0.340**				0.465**	0.218*	
pH (1/2,5 su)									-0.476**	
Ca	0.348**					0.220*		0.272**		-0.222*
Mg						-0.270**				
Pb								-0.353**	0.224*	
Co	-0.668**							-0.585**		0.315**
Cr	-0.284**						-0.292**	-0.214*		0.431**

- Çizelgede sadece istatistik açıdan önemli olan bulgular verilmiştir.
- ** % 1 düzeyinde ilişkili
- * % 5 düzeyinde ilişkili

Yaprak doku örneklerinin serbest prolin içerikleri ile toprakların Mg miktarları arasında %1 düzeyinde ve toprakların Cd içerikleri ile %5 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca yaprakların serbest prolin içerikleri ile toprakların Ca miktarları arasında %5 düzeyinde pozitif bir ilişki saptanmıştır.

Yaprakların lipid peroksidasyonu miktarları ile toprakların Na ve Cr içerikleri arasında %1 düzeyinde ve toprakların N içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif ilişkiler tespit edilmiştir. Ayrıca yaprakların lipid peroksidasyonu içerikleri ile toprakların Zn içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif bir ilişkinin varlığı bulunmuştur.

Yaprakların fenolik bileşiklerinin içerikleri ile toprakların Cu, EC ve Ca içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Ayrıca yaprakların fenolik bileşiklerinin içerikleri ile toprakların Mn, Pb ve Co içerikleri arasında %1 düzeyinde ve Cr içerikleri ile %5 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır.

Yaprak doku örneklerinin sistein miktarları ile toprakların N, P, Fe, Cu içerikleri arasında %1 düzeyinde ve toprakların EC ve Pb içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler tespit edilmiştir. Ayrıca, yaprakların sistein içerikleri ile toprakların Mn ve pH değerleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkiler saptanmıştır.

Yaprakların nitrat redüktaz enzim aktivite içerikleri ile toprakların P, Fe ve Cu içerikleri arasında %1 düzeyinde ve toprakların Ca içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif ilişkiler saptanmıştır. Yaprak doku örneklerinin nitrat redüktaz enzim aktivite içerikleri ile toprakların Mn, Co ve Cr içerikleri arasında %1 düzeyinde önemli pozitif ilişkiler saptanmıştır.

4.5.6 Yaprak Doku Örneklerinin Fizyolojik Analiz Sonuçlarının İstatistikî İlişkileri

Yapılan istatistikî analiz sonuçlarına göre yaprak doku örneklerinin fizyolojik analiz sonuçlarının istatistikî analizinde önemli çıkan değerler Çizelge 4.48'de görüldüğü gibidir.

Yapılan istatistiki analiz sonuçlarına göre yaprak örneklerinin klorofil A miktarları ile % protein içerikleri arasında %5 düzeyinde negatif bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Yaprak doku örneklerinin klorofil A miktarı ile klorofil B miktarları arasında % 1 düzeyinde pozitif bir ilişki saptanmıştır. Yaprak doku örneklerinin % toplam klorofil miktarları ile klorofil A, klorofil B miktarı arasında % 1 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır. Ayrıca yaprakların toplam klorofil içerikleri ile % protein içerikleri arasında da % 5 düzeyinde negatif bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Yaprakların karotenoid pigment içeriği ile klorofil A ve toplam klorofil içerikleri arasında pozitif ve yaprakların % protein içerikleri ile negatif %1 düzeyinde ilişkiler saptanmıştır.

Çizelge 4.48. Yaprak doku örneklerinin fizyolojik analiz sonuçlarının istatistiki ilişkileri

-----Bitki Fizyolojik Analizleri-----										
	Klf A	Klf B	Toplam Klorofil	Karotenoid Pigment	C Vitamini	Serbest Prolin	Lipid Peroksidasyonu	Fenolik Bileşikler	Sistein	Nitrat Redüktaz
Protein	-0.230*		-0.206*	-0.412**	0.326**	0.288**		0.550**	0.342**	-0.422**
Klf A		0.545**	0.941**	0.567**			0.279**		-0.222*	
Klf B			0.796**						-0.276**	
Toplam Klorofil				0.400**					-0.272**	
Karotenoid Pigment								-0.398**		
C Vitamini									0.301**	-0.449**
Serbest Prolin							0.220*			-0.277**
Lipid Peroksidasyonu						0.220*				-0.323**
Fenolik Bileşikler										-0.418**
Nitrat Redüktaz						-0.277**	-0.323**	-0.418**		

- Çizelgede sadece istatistiki açıdan önemli olan bulgular verilmiştir.
- ** % 1 düzeyinde ilişkili
- * % 5 düzeyinde ilişkili

Yaprakların C vitamini içeriği ile yaprak doku örneklerinin protein miktarları arasında % 1 düzeyinde pozitif bir ilişki saptanmıştır.

Yaprak doku örneklerinin serbest prolin içerikleri ile yaprakların protein içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprakların lipid peroksidasyonu içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler bulunmuştur. Ayrıca yaprakların serbest prolin içerikleri ile yaprakların nitrat redüktaz enzim aktivite içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir.

Yaprakların lipid peroksidasyonu içerikleri ile yaprak doku örneklerinin Klf A içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprakların serbest prolin içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Ayrıca, yaprakların lipid peroksidasyonu içerikleri ile yaprakların Nitrat redüktaz enzim aktivite içerikleri arasında da %1 düzeyinde negatif bir ilişki saptanmıştır.

Yaprakların fenolik bileşiklerinin içerikleri ile yaprakların protein içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Yaprak doku örneklerinin fenolik bileşiklerinin içerikleri ile yaprakların karotenoid pigment ve nitrat redüktaz enzim aktivite içerikleri arasında da %1 düzeyinde negatif ilişkiler tespit edilmiştir.

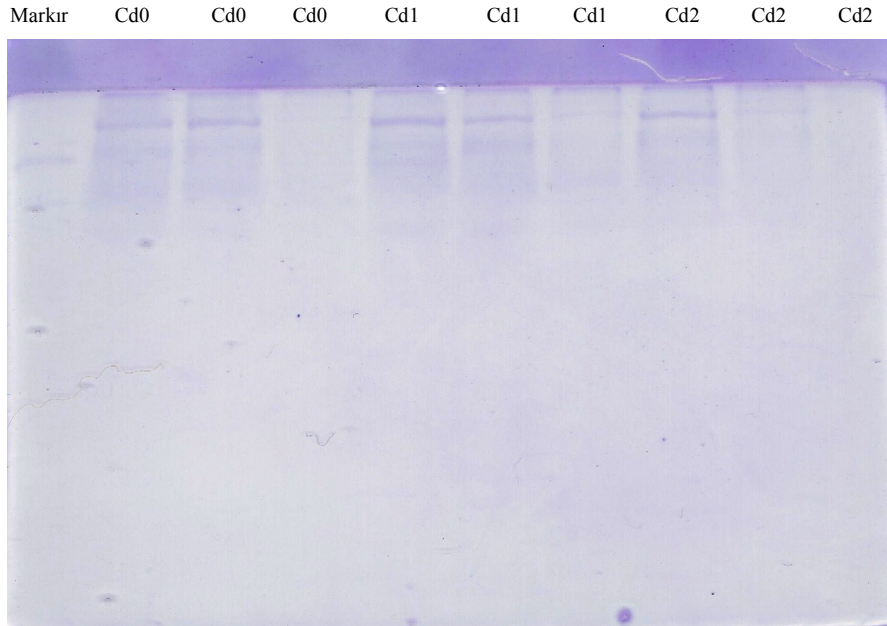
Yaprakların sistein içerikleri ile yaprakların Klf B ve toplam Klf içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprakların Klf A içerikleri ile %5 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı saptanmıştır. Ayrıca, yaprakların sistein içerikleri ile yaprakların % protein ve C vitamini, içerikleri arasında %1 düzeyinde pozitif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir.

Yaprakların Nitrat redüktaz enzim aktivite içerikleri ile yaprakların C vitamini, Serbest prolin, Lipid peroksidasyonu, fenolik bileşikler, ve % protein içerikleri ile %1 düzeyinde negatif ilişkiler saptanmıştır.

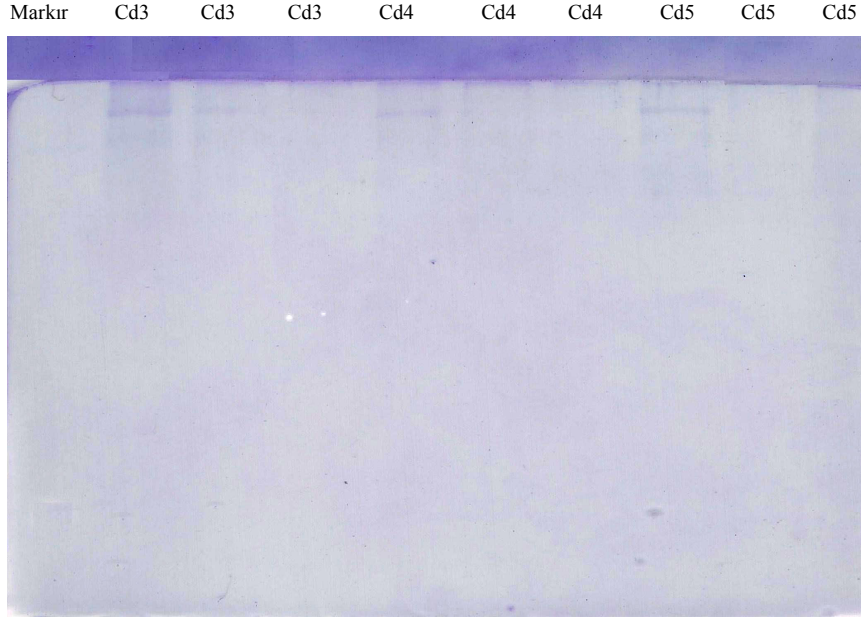
4.6 Bitki Yaprak Dokularının Protein Bant Desenlerinin Değerlendirilmesi

Bitki yaprak doku örneklerinin elektroforezi 2-D Jel elektroforez sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Okumalar Yürütme jelinde 60 volt ve ayırma Jelinde 100 volt sabit tutularak gerçekleştirilmiştir. Elektroforez okumaları sonucu, denemenin her 3 tekerrürünün farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Birinci tekerrürden 3. tekerrüre doğru gidildiği zaman bitkiler güneş ışığından daha fazla etkilenmişlerdir. Bunun neticesinde bitkilerin protein içeriklerinde bir azalma meydana geldiği de saptanmıştır. Ayrıca vejetasyon periyodu boyunca bitki protein içeriklerinin arttığı ve çeşitli proteinlerin sentez edildiği de saptanmıştır.

Elde edilen bant desenleri 1. hafta için şekil 4.42 ve şekil 4.43’ de görülmektedir.



Şekil 4.42. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 1. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd0-Cd1 ve Cd2 dozlarına ait)



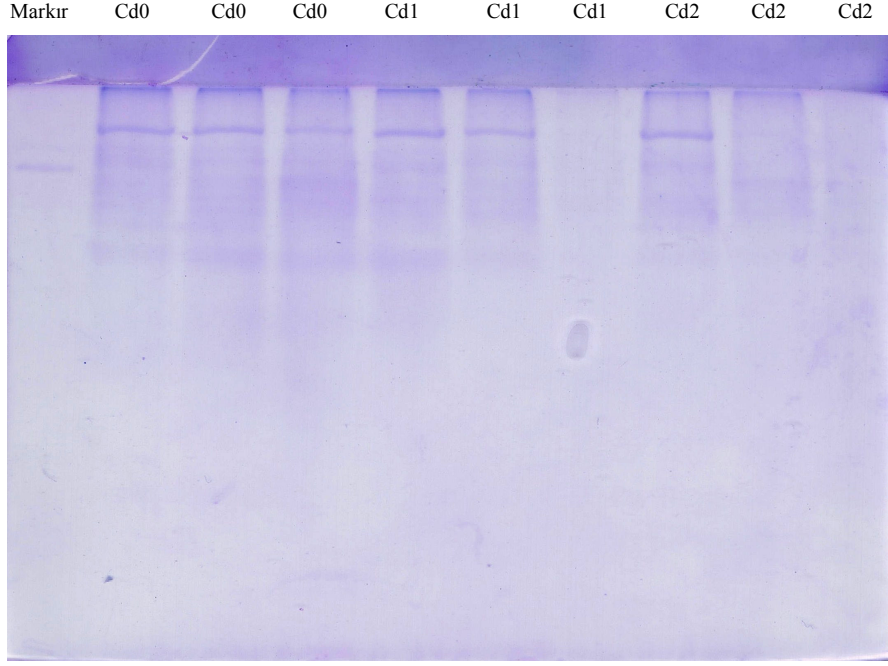
Şekil 4.43. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 1. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd3-Cd4 ve Cd5 dozlarına ait)

Birinci hafta sonuçları göz önüne alındığında; 33,5-79,0 kDa molekül büyüklükleri arasında çeşitli proteinlerin oluştuğu saptanmıştır. Artan Cd dozlarına bağlı olarak proteinlerin azaldığı gözlenmiştir. Cd1 ve Cd2 dozlarında 61,0 kDa molekül büyüklüğünde bir proteinin sentezlendiği saptanmıştır (Çizelge 4.49).

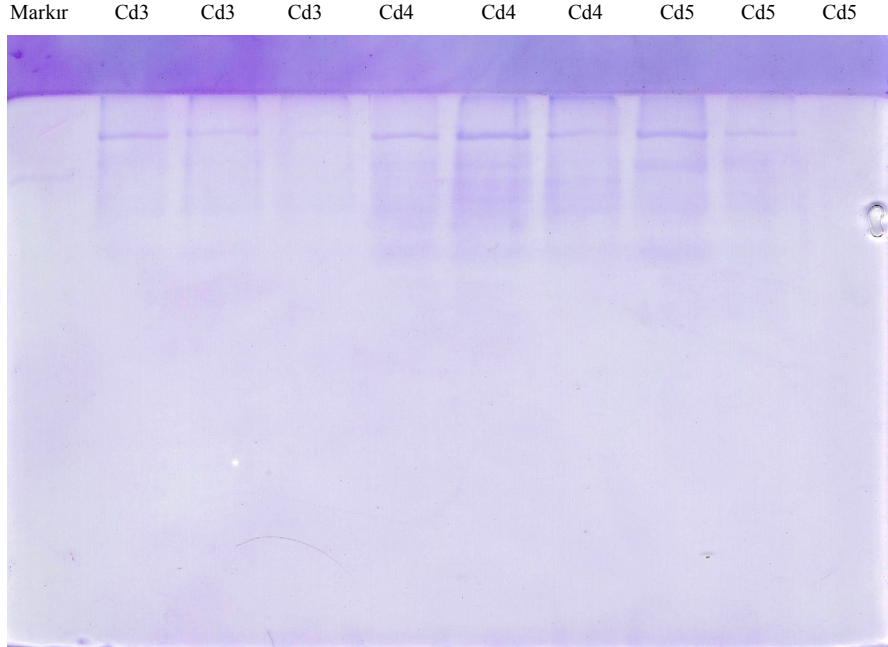
Çizelge 4.49. Birinci hafta elektroforez okumaları sonucu elde edilen proteinlerin kDa olarak molekül büyüklükleri.

Markır	Cd0	Cd0	Cd0	Cd1	Cd1	Cd1	Cd2	Cd2	Cd2	Cd3	Cd3	Cd3	Cd4	Cd4	Cd4	Cd5	Cd5	Cd5
58,1	79,0	79,0		79,0	79,0	79,0	79,0	79,0		79,0	79,0		79,0	79,0		79,0		
	70,5	70,5		70,5	70,5	70,5	70,5	70,5		70,5			70,5			70,5		
	49,0	49,0		61,0	61,0	49,0	61,0	49,0										
	33,5	33,5		49,0	49,0		49,0											
				33,5	33,5													

Elektroforez analizi sonucu 2. hafta için elde edilen bant desenleri şekil 4.44 ve şekil 4.45 de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.44. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 2. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd0-Cd1 ve Cd2 dozlarına ait)



Şekil 4.45. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 2. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd3-Cd4 ve Cd5 dozlarına ait)

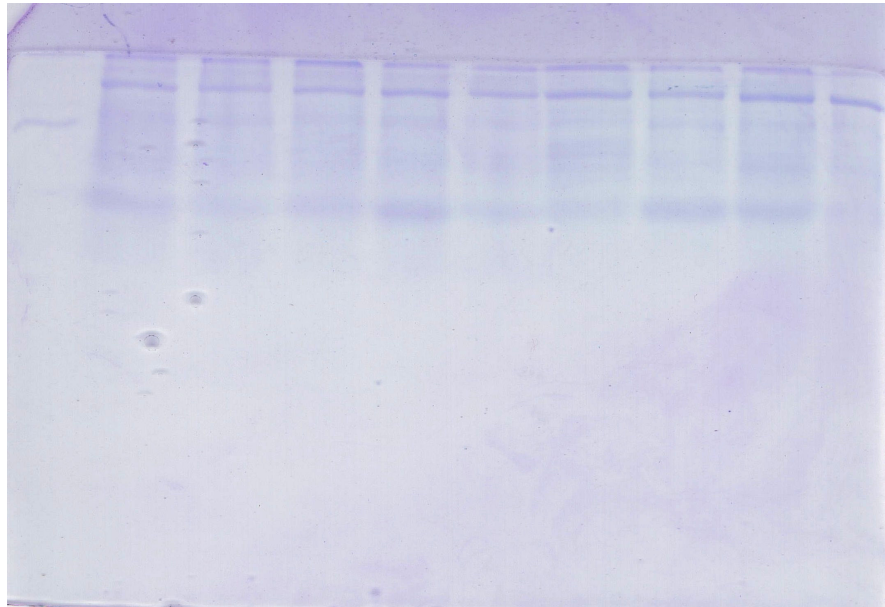
İkinci hafta elektroforez analizi sonuçları göz önüne alındığında; 26,5-79,0 kDa molekül büyüklükleri arasında çeşitli proteinlerin oluştuğu saptanmıştır. Yine artan Cd dozlarına bağlı olarak proteinlerin azaldığı ve bazı proteinlerin yok olduğu saptanmıştır. Özellikle Cd3 dozunda protein içeriklerinde bir inhibasyonun söz konusu olduğu gözlenmektedir. Cd2 dozundan sonra ise 79,0 kDa'luk proteinin yok olduğu saptanmıştır. Ayrıca 1. hafta tanıkta gözlenmeyen 61,0 kDa'luk proteinin 2. hafta tanıkta da var olduğu gözlenmiş ve bütün dozlarda var olduğu saptanmıştır.(Çizelge 4.50).

Çizelge 4.50. İkinci hafta elektroforez okumaları sonucu elde edilen proteinlerin kDa olarak molekül büyüklükleri.

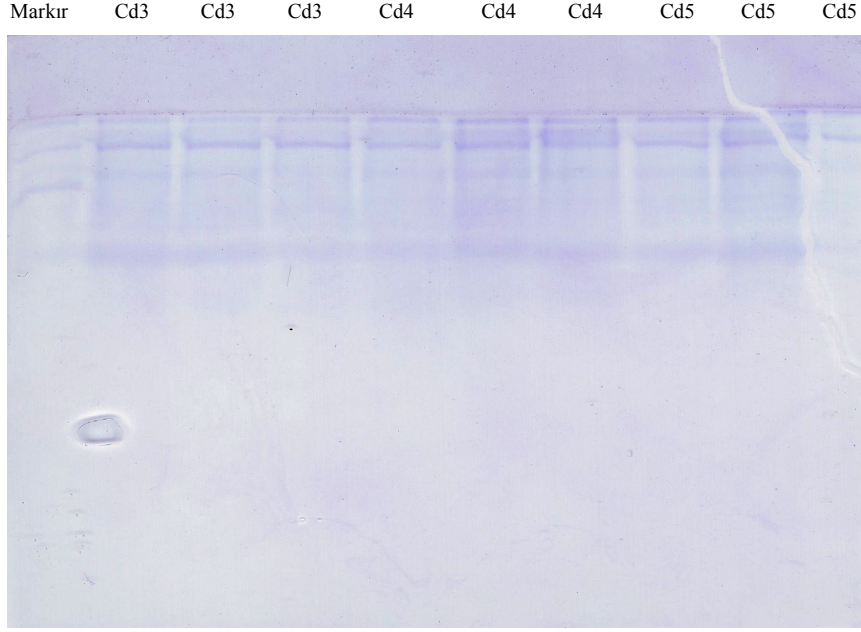
Markır	Cd0	Cd0	Cd0	Cd1	Cd1	Cd1	Cd2	Cd2	Cd2	Cd3	Cd3	Cd3	Cd4	Cd4	Cd4	Cd5	Cd5	Cd5
58,1	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0		61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	79,0	61,0	61,0	
	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	26,5	61,0	61,0		53,5	53,5		53,5	53,5	61,0	53,5	53,5	
	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5		53,5	49,0					49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	
	49,0	49,0	49,0	26,5	26,5		49,0	26,5					26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	
	26,5	26,5	26,5				26,5											

Yapılan elektroforez analizi sonucunda; elde edilen bant desenleri 3. hafta için şekil 4.46 ve şekil 4.47' de görüldüğü gibidir.

Markır Cd0 Cd0 Cd0 Cd1 Cd1 Cd1 Cd2 Cd2 Cd2



Şekil 4.46. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 3. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd0-Cd1 ve Cd2 dozlarına ait)



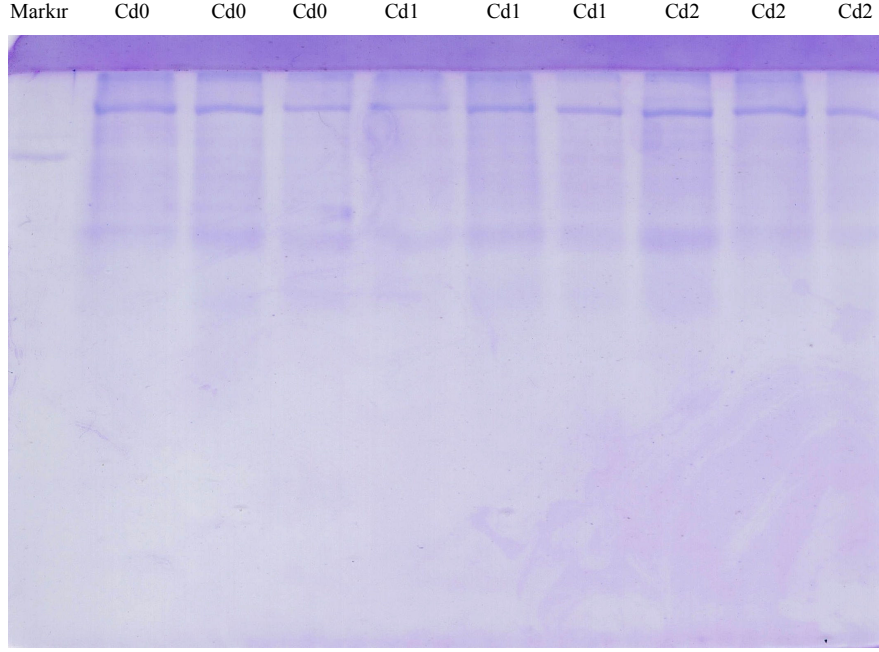
Şekil 4.47. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 3. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd3-Cd4 ve Cd5 dozlarına ait)

Üçüncü hafta sonuçları göz önüne alındığında; 33,5-79,0 kDa molekül büyüklükleri arasında çeşitli proteinlerin oluştuğu saptanmıştır. Artan Cd dozlarına bağlı olarak 3. hafta Cd1 dozunda 58,5 kDa molekül büyüklüğündeki bir proteinin tanıktan farklı olarak oluştuğu saptanmıştır. 2. Haftadan farklı olarak da 70,5 ve 58,5 ve 33,5 kDa molekül büyüklüklerinde proteinlerin oluştuğu gözlenirken 26,5 kDa molekül büyüklüğündeki proteinin yok olduğu gözlemlenmiştir. (Çizelge 4.51).

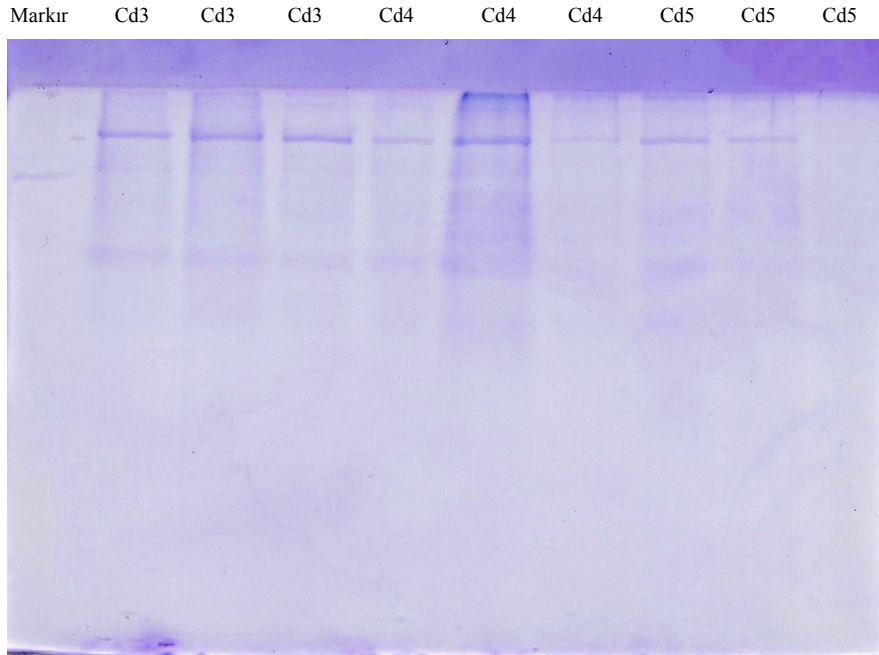
Çizelge 4.51. Üçüncü hafta elektroforez okumaları sonucu elde edilen proteinlerin kDa olarak molekül büyüklükleri.

Markır	Cd0	Cd0	Cd0	Cd1	Cd1	Cd1	Cd2	Cd2	Cd2	Cd3	Cd3	Cd3	Cd4	Cd4	Cd4	Cd5	Cd5	Cd5
58,1	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0
	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5
	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	33,5
	49,0	49,0	49,0	58,5	58,5	58,5	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	33,5	49,0	49,0	
	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5		33,5	33,5	

Dördüncü hafta saptanan elektroforez bant desenleri şekil 4.48 ve şekil 4.49' da görülmektedir.



Şekil 4.48. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 4. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd0-Cd1 ve Cd2 dozlarına ait)



Şekil 4.49. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 4. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd3-Cd4 ve Cd5 dozlarına ait)

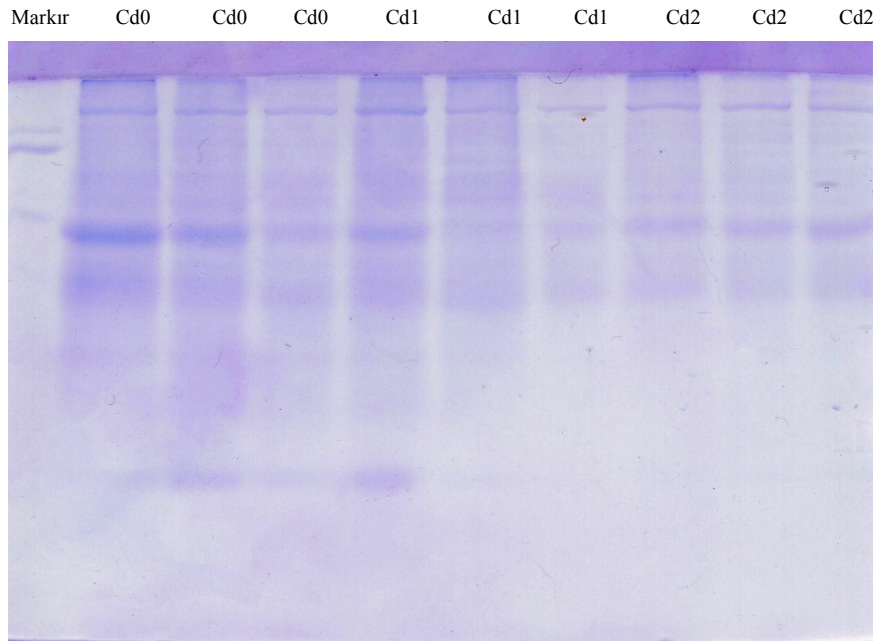
Dördüncü hafta sonuçları göz önüne alındığında; 9,5-79,0 kDa molekül büyüklükleri arasında çeşitli proteinlerin oluştuğu saptanmıştır. Artan Cd dozları göz önüne alındığında; Cd2

ve Cd3 dozlarında 79,0 kDa'luk proteinin yok olduğu fakat Cd4 ve Cd5 dozlarında tekrar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca; 53,5 kDa'luk proteinin Cd3 dozundan sonra inhibe olduğu saptanmıştır. Ayrıca 3. Haftaya göre yeni olarak 9,5-26,5-39,0-53,5 kDa molekül büyüklüklerine sahip yeni proteinlerin oluştuğu saptanırken; 79,0-70,5-58,5 kDa'luk proteinlerin de yok oldukları saptanmıştır. (Çizelge 4.52).

Çizelge 4.52. Dördüncü hafta elektroforez okumaları sonucu elde edilen proteinlerin kDa olarak molekül büyüklükleri.

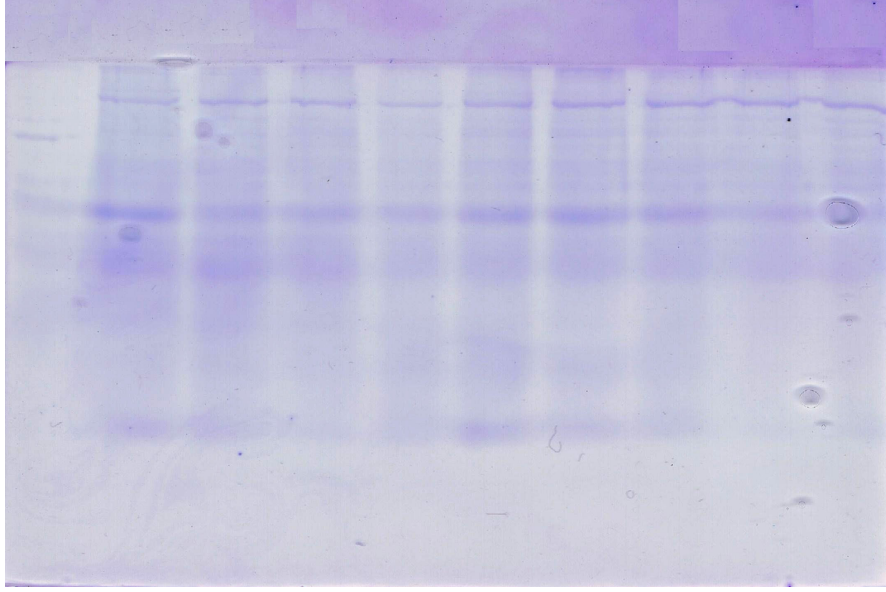
Markır	Cd0	Cd0	Cd0	Cd1	Cd1	Cd1	Cd2	Cd2	Cd2	Cd3	Cd3	Cd3	Cd4	Cd4	Cd4	Cd5	Cd5	Cd5	
58,1	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	49,0
	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	49,0	53,5	53,5	49,0	49,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	39,0
	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	39,0	49,0	49,0	39,0	39,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	33,5
	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	33,5	39,0	39,0	33,5	33,5	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	26,5
	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	26,5	33,5	33,5	26,5	26,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	
	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5		26,5	26,5		9,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	
	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5			9,5		9,5	9,5	9,5	9,5			
		9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5												

Beşinci hafta örneklerine ait elektroforez bant desenlerinin sonuçları şekil 4.50 ve şekil 4.51'de verildiği gibidir.



Şekil 4.50. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 5. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd0-Cd1 ve Cd2 dozlarına ait)

Markır Cd3 Cd3 Cd3 Cd4 Cd4 Cd4 Cd5 Cd5 Cd5



Şekil 4.51. Artan Cd dozlarına bağlı olarak, 5. hafta elektroforez bantlarının görünüşü (Cd3-Cd4 ve Cd5 dozlarına ait)

Beşinci hafta sonuçları göz önüne alındığında; 14,0-79,0 kDa molekül büyüklükleri arasında çeşitli proteinlerin olduğu saptanmıştır. 4. Haftadan farklı olarak vejetasyon periyodunun son haftası 58,5-70,5-79,0 kDa'luk proteinler tekrar oluşurken; 14,0 kDa 'luk yeni bir proteinin daha sentez edildiği saptanmıştır. (Çizelge 4.53).

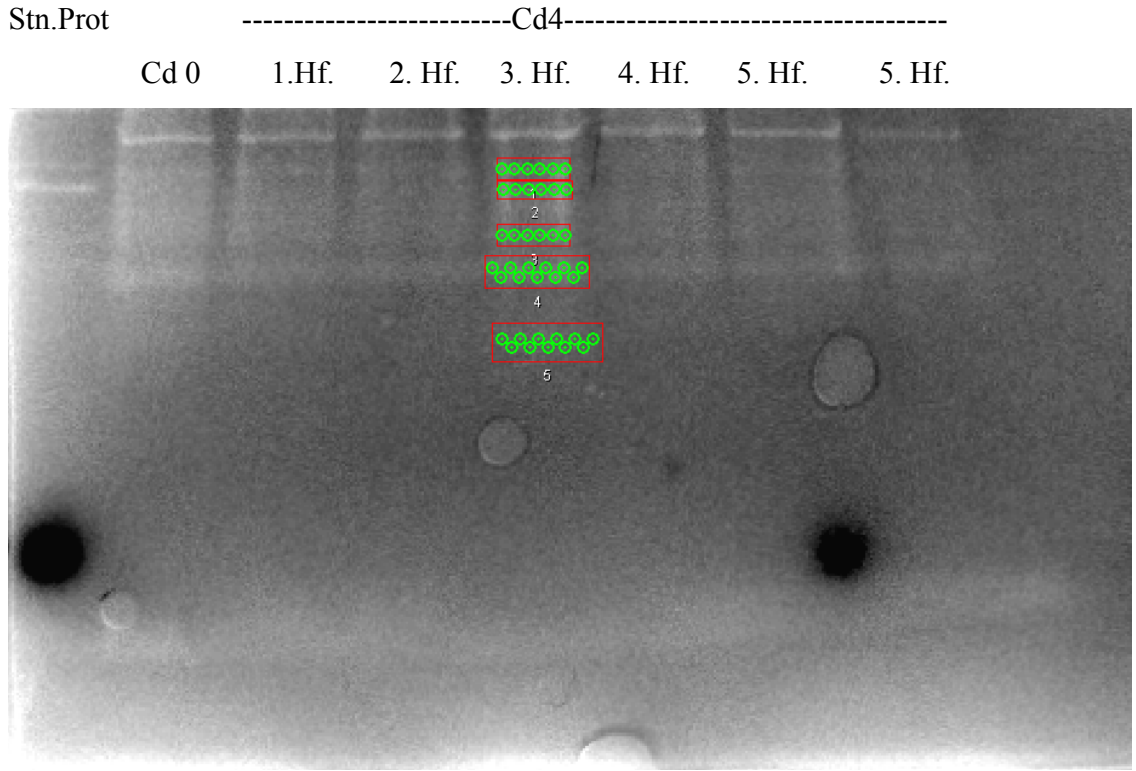
Çizelge 4.53. 5. Hafta elektroforez okumaları sonucu elde edilen proteinlerin kDa olarak molekül büyüklükleri.

Markır	Cd0	Cd0	Cd0	Cd1	Cd1	Cd1	Cd2	Cd2	Cd2	Cd3	Cd3	Cd3	Cd4	Cd4	Cd4	Cd5	Cd5	Cd5
58,1	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0
	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5
	61,0	58,5	58,5	61,0	58,5	58,5	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0
	58,5	49,0	49,0	58,5	49,0	39,0	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5
	49,0	39,0	39,0	49,0	39,0	33,5	39,0	33,5	33,5	49,0	49,0	33,5	33,5	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0
	39,0	33,5	33,5	39,0	33,5		33,5			39,0	39,0	14,0	14,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0
	33,5	14,0	14,0	33,5	14,0					33,5	33,5			33,5	33,5	33,5	33,5	33,5
	14,0			14,0						14,0	14,0			14,0	14,0	14,0	14,0	14,0

Genel olarak incelenecek olursa; Cd dozlarındaki artış genelde protein miktarının azalmasına ve değişik modifikasyonlar geçirerek yeni proteinlerinin sentezine yol açmıştır. Ayrıca; vejetasyon periyodu süresince protein içeriğinde bir artışın var olduğu da saptanmıştır.

4.7 Bitki Yaprak Dokularının Protein Tanı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elektroforez analizi sonucu stres proteinlerinin saptandığı 1 adet bant deseninden örnekler alınmıştır. Elektroforez bant desenlemesi sonucunda bulunan stres proteinlerinden seçilen örnekler; Bio-Rad's Proteome Works VersaDoc Gel Image Acquisition and the PDQuest Gel Analysis system'de görüntülenerek proteinler saptanmış ve resimleri belirlenmiştir. Bunu takiben oluşan stres proteinleri belirlenerek Bio-Rad's Proteome Works Plus Spot Cutting System kullanılarak protein örneklerinden spotlama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.52). Ardından, örneklere manuel tripsinizasyon işlemi uygulanmış ve örnekler maldi plakelere spotlanmıştır. Beş peptid yöntemine göre; Maldi MS cihazının kalibrasyon işleminin ardından protein örneklerinin okunması işlemi gerçekleştirilmiştir.



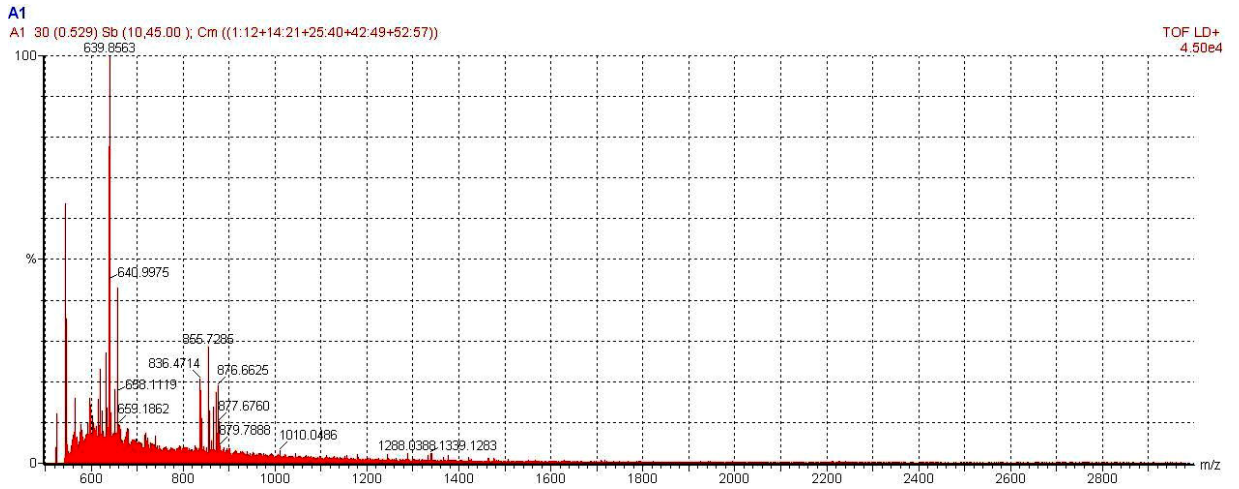
Şekil 4.52. Protein örnekleme (kesim) diyagramı (protein örneklerine ait Bio-Rad's proteome works plus spot cutting system resmi)

Beş peptid yöntemine göre hazırlanmış olan Matrix karışımının olması gereken LC Mass değerleri Çizelge 4.54’de verildiği gibidir. Matrix’in LCA 1 ve LCA3 değerleri okunarak cihazın kalibrasyonun sağlanmasının ardından örnek okumalarına geçilmiştir.

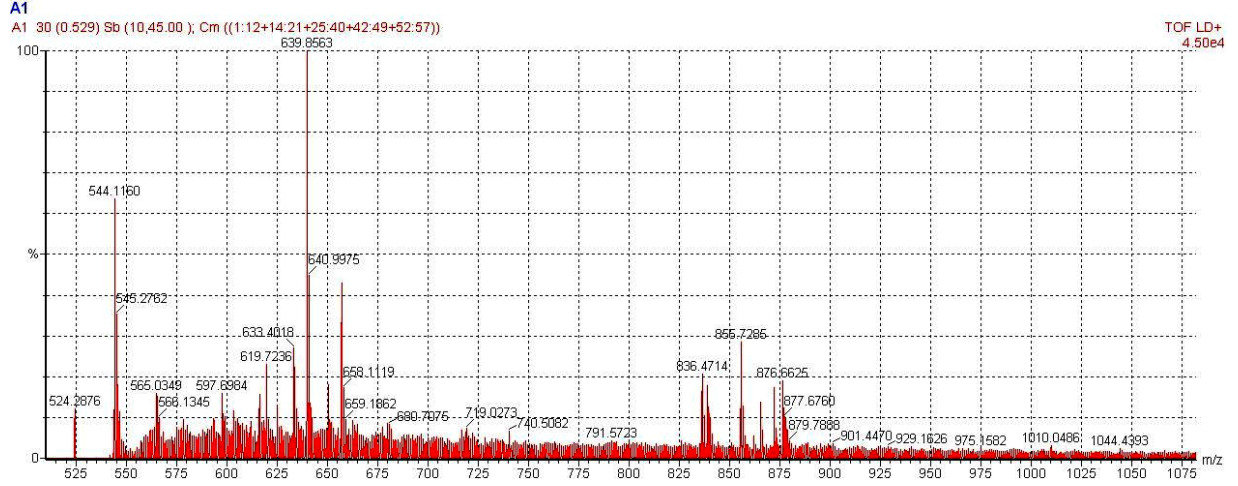
Çizelge 4.54. MALDİ MS spektrometre 5 peptid standardının Mass Da değerleri

LC Mass 5 Peptid Mix	
	Mas Da.
Angiotensin	1296,6853
Substance P	1347,7360
Glu Fib.	1570,6774
Renin -14 peptid	1758,9326
ACTH-18,39	2465,1989

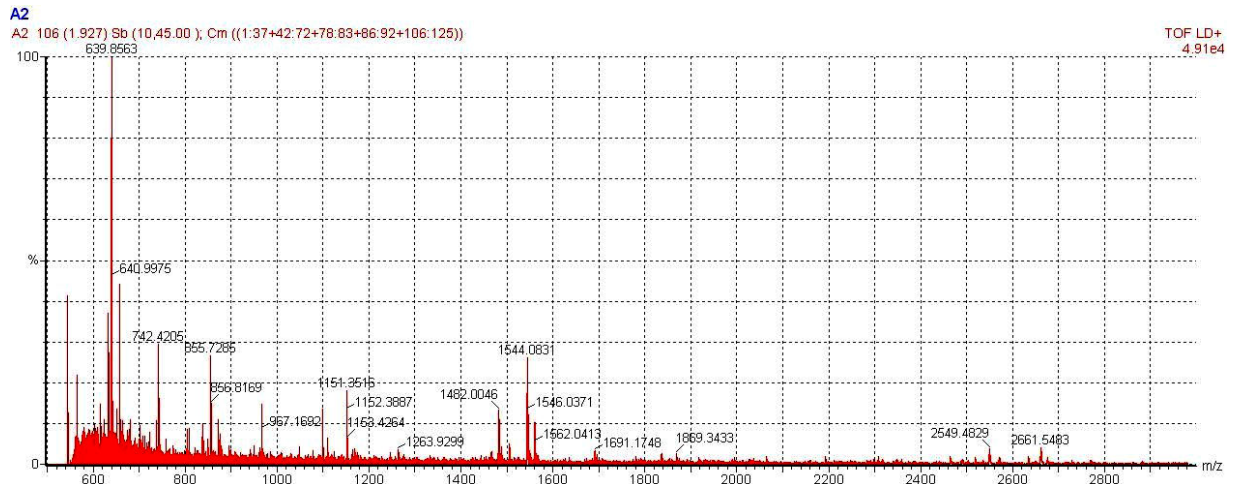
Maldi-Ms cihazında okunan örnek diyagramları Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55, Şekil 4.56, Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63’de görüldüğü gibidir.



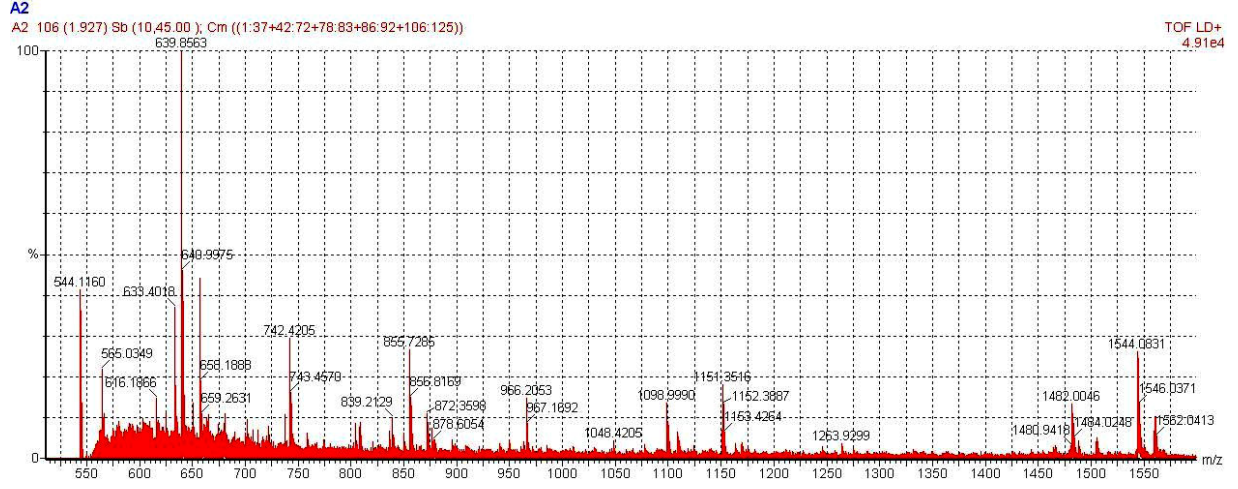
Şekil 4.53. 1 nolu örneğe ait Maldi-Ms analiz diyagramı



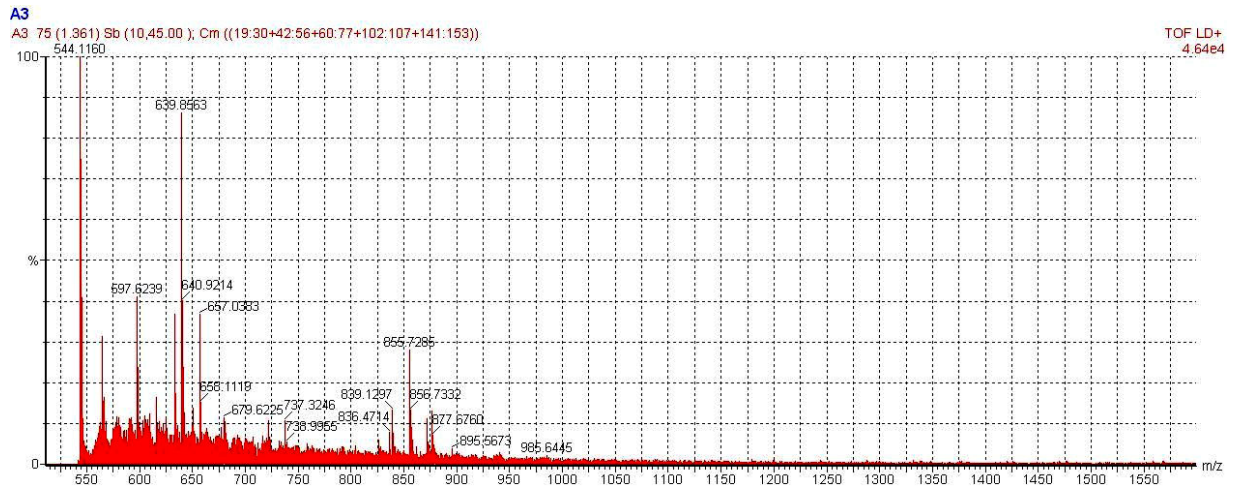
Şekil 4.54. 1 nolu örneğe ait piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı



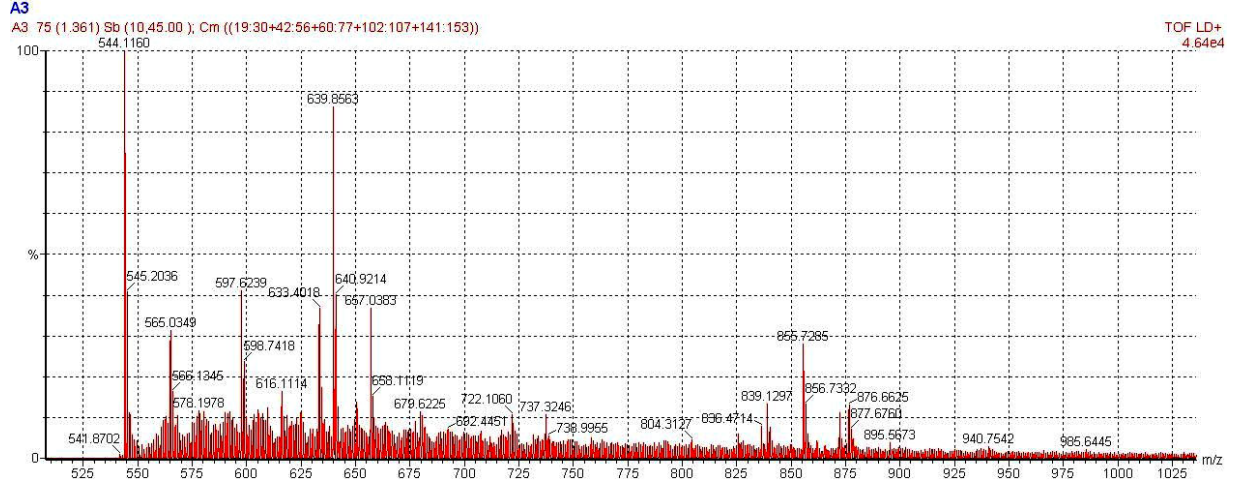
Şekil 4.55. 2 nolu örneğe ait Maldi-Ms analiz diyagramı



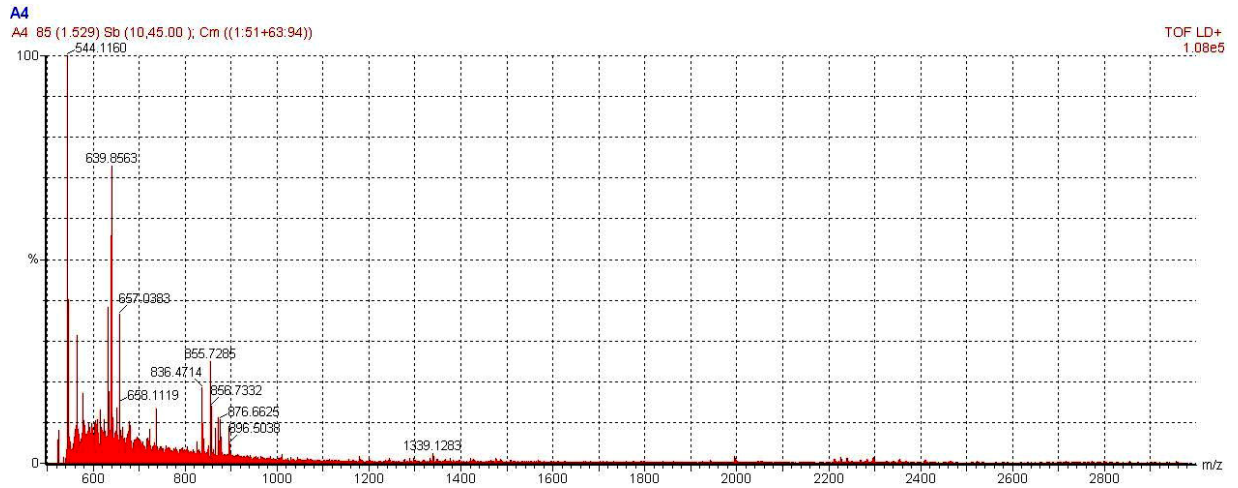
Şekil 4.56. 2 nolu örneğe ait piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı



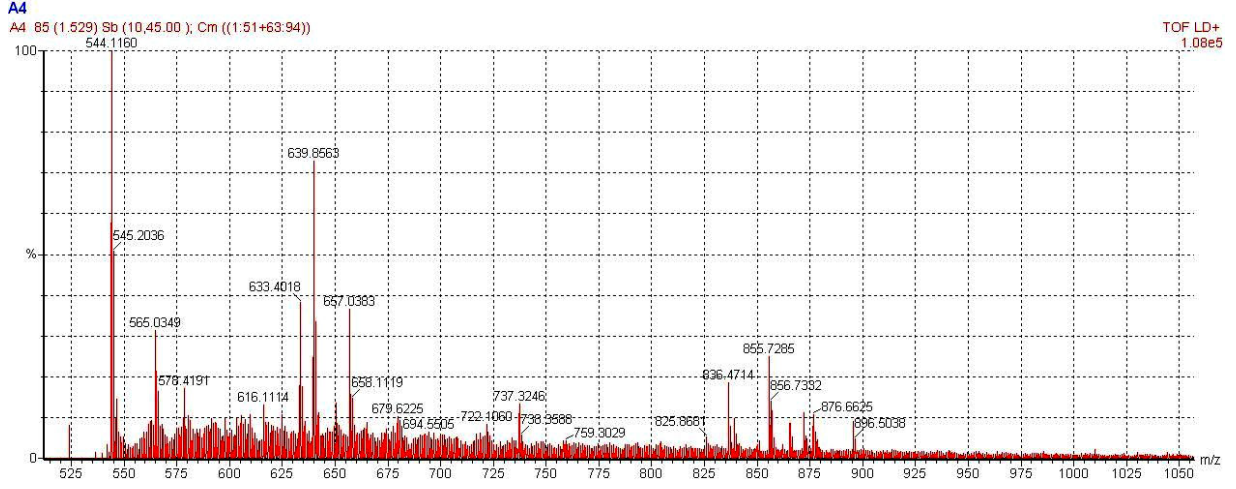
Şekil 4.57. 3 nolu örneğe ait Maldi-Ms analiz diyagramı



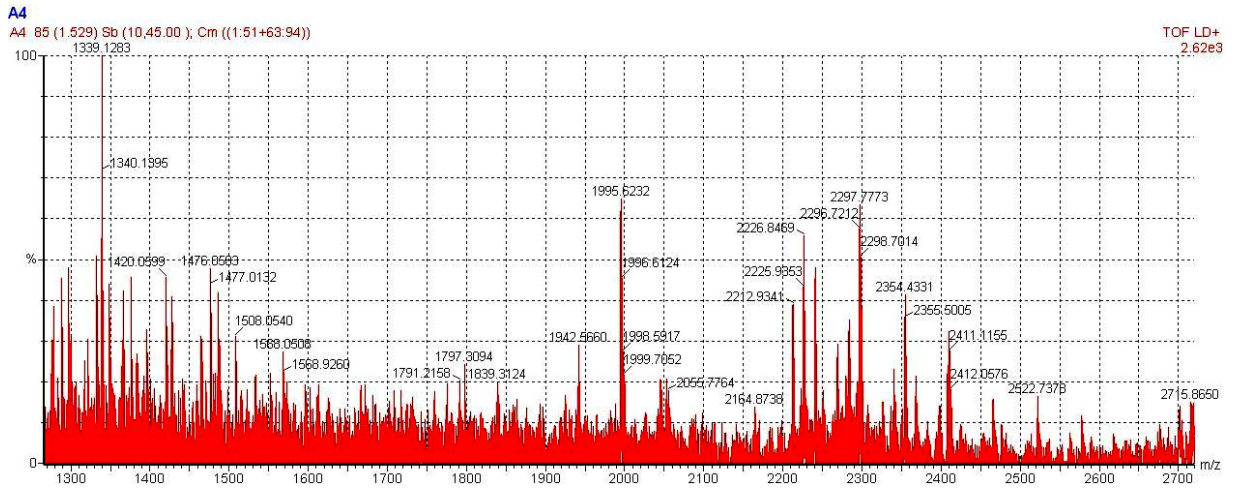
Şekil 4.58. 3 nolu örneğe ait piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı



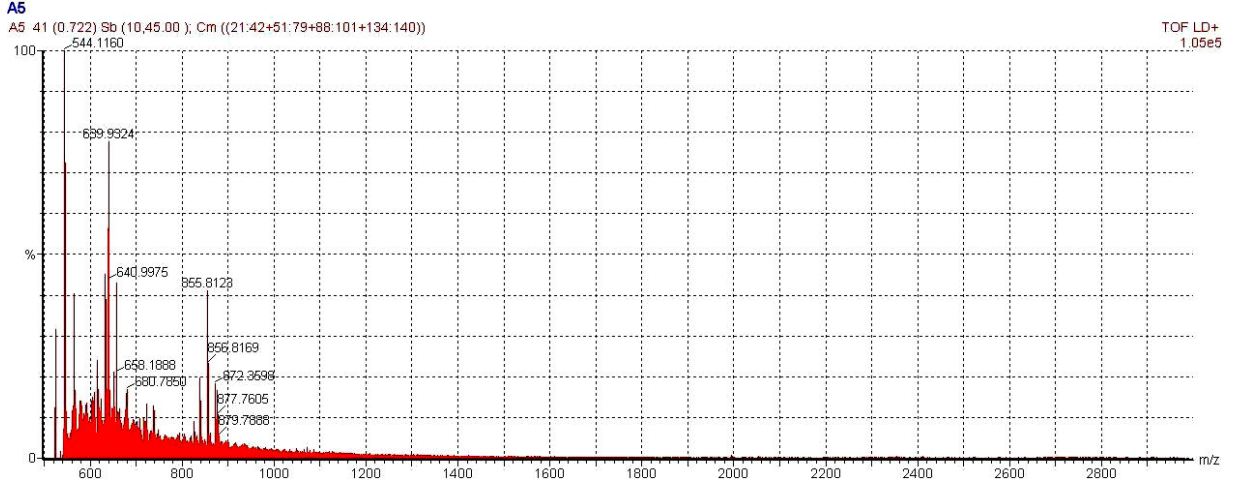
Şekil 4.59. 4 nolu örneğe ait Maldi-Ms analiz diyagramı



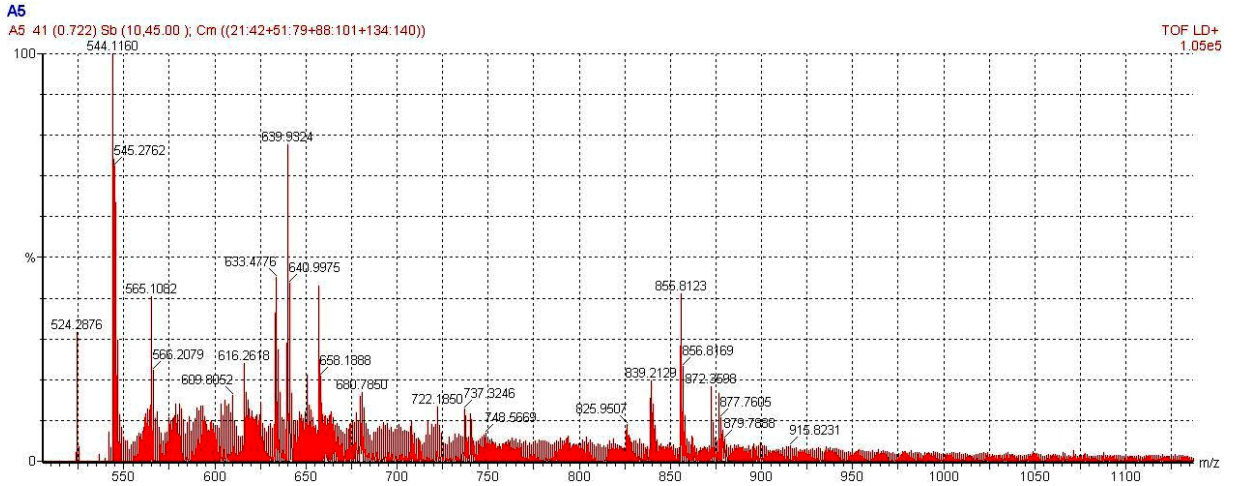
Şekil 4.60. 4 nolu örneğe ait 1. bölgede piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı



Şekil 4.61. 4 nolu örneğe ait 2. bölgede piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı



Şekil 4.62. 5 nolu örneğe ait Maldi-Ms analiz diyagramı



Şekil 4.63. 5 nolu örneğe ait piklerin okunması için açılmış Maldi-Ms analiz diyagramı

Şekillerden de takip edilebileceği gibi piklerin çoğu ortak olup aynı proteinin değişik modifikasyonlarını içerdikleri saptanmıştır (Çizelge 4.55).

Çizelge 4.55. Maldi-MS sonuçlarına göre; araştırılan proteinlerin saptanan m/z değerleri

1 nolu Örnek	2 nolu Örnek	3 nolu Örnek	4 nolu Örnek	5 nolu Örnek	Proteinin Saptanan Ana Profili
544,1160	544,1160	544,1160	544,1160	544,1160	544,1160
545,2762	565,0349	545,2036	545,2036	545,2762	545,2762
619,7236	633,4018	597,6239	565,0349	565,1082	633,4018
633,4018	639,8563	639,8563	633,4018	633,4776	639,8563
639,8563	640,9975	640,9214	639,8563	639,9324	640,9975
640,9975	742,4205	657,0383	657,0383	640,9975	855,7285
836,4714	855,7285	855,7285	836,4714	658,1888	
855,7285	1151,3516		855,7285	855,8123	
876,6625	1544,0831			856,8169	

Fasulye bitkisi Bilindiği gibi Leguminosea takımına aittir ve bu takıma ait değişik türlerde bitkiler mevcuttur.

Takım: *Leguminosae*

Familya: *Leguminosae*

Tür: *Phaseolus vulgaris* (Fasulye)

Phaseolus coccineus (Ateş fasulyesi)

Pisum sativum (Bezelye)

Vicia faba var. Major (Bakla)

Vigna sinensis (Börülce) (Ağaoğlu ve ark. 2001).

Saptanan ana profildeki m/z değerlerine göre mascot search'de yapılan aramalar sonucunda aynı familyaya ait bitki türleri dikkate alınmış, diğer bitki, hayvan , mikroorganizma veya insan proteinlerine ait bulgular dışarıda bırakılmıştır. Bulunan mascot search sonuçlarının p<0,05 düzeyinde önemli oldukları saptanmıştır.

Bulunan ilk sonuç; *Phaseolus vulgaris* (Kidney bean) (French bean) bitkisine ait olup Rezistans gen proteini (Fragment) olduğu saptanmıştır.

Eşleşen peptid %'si: 13% olarak saptanmıştır.

Protein dizisi içerisinde eşleşen peptitler kırmızıyla işaretlenmiştir

1 **RLEK**LTFSNM KEWEEWECKT TSPRLEELY VGDCPK**LKGT** KVVVSDDELRI
51 SGNSMDSLTI FPLHFFPKLC YLELTK**CQNL** **RRISQ**EYAHN HLMYLSIEDC
101 PQL

Bulunan bu protein dizisine ait ayrıntılı bilgiler aşağıdaki gibidir.

Baş. - Sonuç	Gözlenen	Mr (Bulunan)	Mr (hesaplanan)	Delta	Eşleşen /kaçırılan Peptidler
1 - 1			174.1117		0 R
82 - 82			174.1117		0 R
37 - 38			259.1896		0 LK
39 - 41			304.1747		0 GTK
2 - 4			388.2322		0 LEK
1 - 4	544.1160	544.1160	544.3333	-0.2173	1 -.RLEK.L
37 - 41	545.2762	545.2762	545.3537	-0.0775	1 K.LKGTK.V
77 - 81	633.4018	633.4018	632.3064	1.0954	0 K.CQNL.R
20 - 25			707.3602		0 TTSFPR
77 - 82			788.4075		1 CQNLRR
5 - 11			839.4211		0 LTFSNMK
42 - 49			915.5025		0 VVVSDDEL
69 - 76			981.5205		0 LCYLELTK
12 - 19			1137.4437		0 EWEEWECK
39 - 49			1201.6667		1 GTKVVVSDDEL
2 - 11			1209.6427		1 LEKLTFSNMK
26 - 36			1264.6009		0 LEELYVGDCPK
26 - 38			1505.7800		1 LEELYVGDCPKLK
69 - 81			1595.8164		1 LCYLELTKCQNL
12 - 25			1826.7934		1 EWEEWECKTTSFPR
20 - 36			1953.9506		1 TTSFPRLEELYVGDCPK
5 - 19			1958.8543		1 LTFSNMKEWEEWECK

50 - 68			2150.0870		0 ISGNSMDSLTIPLHFFPK
83 - 103			2503.1512		0 ISQEYAHNHLMYLSIEDCPQL
82 - 103			2659.2523		1 RISQEYAHNHLMYLSIEDCPQL
42 - 68			3047.5790		1 VVVSEDELRIISGNSMDSLTIPLHFFPK
50 - 76			3113.5970		1 ISGNSMDSLTIPLHFFPKLCYLELTK

Bulunan ikinci sonuç; *Phaseolus aureus* (*Vigna radiata var. radiata*) bitkisine ait olup İndol 3 asetik asit tarafından indüklenmiş protein ARG7 olduğu saptanmıştır.

Eşleşen peptid %'si: 18 % olarak saptanmıştır.

Protein dizisi içerisinde eşleşen peptitler kırmızıyla işaretlenmiştir

1 MGFRLPGIRK **TLSARNEASS KVLDPK**GYL AVYVGENMKR FVIPVSHLNQ
51 PLFQDLLSQA EEEFGYDHPM GGLTIPCED LFQHITSCLS AQ

Bulunan bu protein dizisine ait ayrıntılı bilgiler aşağıdaki gibidir.

Baş. - Sonuç	Gözlenen	Mr (Bulunan)	Mr (Hesaplanan)	Delta	Eşleşen /kaçırılan Peptidler
10 - 10			146.1055		0 K
1 - 1			149.0510		0 M
40 - 40			174.1117		0 R
2 - 4			378.2016		0 GFR
1 - 4			509.2420		0 MGFR
11 - 15	545.2762	545.2762	-546.3125	1.0363	0 K.TLSAR.N
5 - 9			554.3540		0 LPGIR
16 - 21	633.4018	633.4018	-634.2922	0.8904	0 R.NEASSK.V
22 - 27	640.9975	640.9975	641.3748	0.3773	0 K.VLDAPK.G
10 - 15			674.4075		1 KTLSAR
5 - 10			682.4490		1 LPGIRK
2 - 9			914.5450		1 GFRLPGIR
1 - 9			1045.5855		1 MGFRLPGIR
11 - 21			1162.5942		1 TLSARNEASSK

16 - 27			1257.6565		1 NEASSKVLDAK
28 - 39			1342.6591		0 GYLAVYVGENMK
28 - 40			1498.7602		1 GYLAVYVGENMKR
22 - 39			1966.0234		1 VLDAPKGYLAVYVGENMK
41 - 92			5800.7528		0
					FVIPVSHLNQPLFQDLLSQAEEEFQYDHPMG
					GLTIPCEDLFQHITSCLSAQ
40 - 92			5956.8539		1
					RFVIPVSHLNQPLFQDLLSQAEEEFQYDHPMG
					GLTIPCEDLFQHITSCLSAQ

Bulunan üçüncü sonuç ise ; *Vigna radiata* (mung bean) bitkisine ait olup auksin tarafından indüklenmiş protein 6B olduğu saptanmıştır.

Eşleşen peptid %'si: 18% olarak saptanmıştır.

Protein dizisi içerisinde eşleşen peptidler kırmızıyla işaretlenmiştir

1 MGFRLPGIRK **TL SARNEASS KVLDAK**GYL AVYVGENMKR FVIPVSHLNQ
51 PLFQDLLSQA EEEFGYDHPM GGLTIPCED LFQHITSCLS AQ

Bulunan bu protein dizisine ait ayrıntılı bilgiler aşağıdaki gibidir.

Baş. - Sonuç	Gözlenen	Mr (Bulunan)	Mr (Hesaplanan)	Delta	Eşleşen /kaçırılan Peptidler
10 - 10			146.1055		0 K
1 - 1			149.0510		0 M
40 - 40			174.1117		0 R
2 - 4			378.2016		0 GFR
1 - 4			509.2420		0 MGFR
11 - 15	545.2762	545.2762	-546.3125	1.0363	0 K.TLSAR.N
5 - 9			554.3540		0 LPGIR
16 - 21	633.4018	633.4018	634.2922	-0.8904	0 R.NEASSK.V
22 - 27	640.9975	640.9975	641.3748	0.3773	0 K.VLDAK.G

10 - 15			674.4075		1 KTLSAR
5 - 10			682.4490		1 LPGIRK
2 - 9			914.5450		1 GFRLPGIR
1 - 9			1045.5855		1 MGFRLPGIR
11 - 21			1162.5942		1 TLSARNEASSK
16 - 27			1257.6565		1 NEASSKVLDAK
28 - 39			1342.6591		0 GYLAVYVGENMK
28 - 40			1498.7602		1 GYLAVYVGENMKR
22 - 39			1966.0234		1 VLDAPKGYLAVYVGENMK
41 - 92			5800.7528		0
					FVIPVSHLNQPLFQDLLSQAEFEFGYDHPMG
					GLTIPCEDLFQHITSCLSAQ
40 - 92			5956.8539		1
					RFVIPVSHLNQPLFQDLLSQAEFEFGYDHPMG
					GLTIPCEDLFQHITSCLSAQ

Sonuç olarak; bitki yaprak dokularında oluşan bu stres proteinlerinin; MASCOT Search sonuçlarına göre; fasulye bitkisinde oksinler tarafından indüklenen rezistans gen proteinleri olduğu söylenebilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

- ❖ Bitki yapraklarının Zn miktarları ile toprakların Fe, Zn, Cu, Cd, EC değerleri arasında %1 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır. Ayrıca, bitki yapraklarının Cd içerikleri ile toprakların %N, %P, %K, Fe, Cu, Ca, EC değerleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Yaprakların Cd içerikleri ile toprakların Mn içerikleri arasında da %1 düzeyinde pozitif bir ilişkinin varlığı saptanmıştır.
- ❖ Yaprakların Cd içerikleri ile N, P, Cu içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif ve yaprakların Na ve Fe içerikleri ile %1 düzeyinde pozitif ilişkiler tespit edilmiştir. Ayrıca; yaprakların Co içerikleri ile Fe ve Cd içerikleri arasında da %1 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir.
- ❖ Yaprak dokularının klorofil A miktarları ile yaprakların Fe içerikleri arasında %1 ve yaprakların Cd içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Yaprak doku örneklerinin % toplam klorofil miktarları ile yaprakların Fe ve Cd içerikleri arasında %5 düzeyinde pozitif ilişkiler saptanmıştır. Yaprak dokularının karoten miktarları ile yaprakların Cd ve Pb içerikleri arasında %1 düzeyinde ve yaprakların Mg içeriği ile %5 düzeyinde pozitif ilişkiler mevcuttur. Ayrıca yaprak doku örneklerinin C vitamini miktarları ile yaprak örneklerinin Fe ve Cd içerikleri arasında da %1 düzeyinde negatif ilişkiler saptanmıştır. Yaprakların fenolik bileşiklerinin içerikleri ile yaprakların Cd, Pb, Ca, Mg ve Na içerikleri arasında %1 düzeyinde negatif ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir. Yaprakların sistein içerikleri ile Fe ve Cd içerikleri arasında da %1 düzeyinde önemli negatif ilişkiler saptanmıştır. Yaprakların nitrat redüktaz içerikleri ile yaprakların N, Cd, Ca, Mg ve Na içerikleri ile %1 düzeyinde pozitif ilişkilerin varlığı saptanmıştır.
- ❖ Cd'un bitki fizyolojisine etkileri konusunda, bugüne kadar yapılmış olan araştırmalar kısa süreli ve hidroponik kültürler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca; yapılan denemelerde ağır metal dozları çok düşük konsantrasyonlarda uygulanmıştır. Ayrıca yapılan hiçbir çalışmada bitki içerisindeki Cd miktarı verilmemiştir. Yapılan bu araştırmada ise fasulye bitkisi hem

yüksek seviyelerde Cd'a maruz bırakılmış hem de bitkinin Cd'u toprak kültüründen vejetasyon periyodu süresince alması sağlanmıştır. Yapılan fizyolojik analiz sonuçlarında, ilk haftalar ve düşük dozlar dikkate alındığında literatür bulgularıyla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, bulunan sonuçlar bundan sonra yapılacak olan araştırma ve denemelerle daha kapsamlı çalışmaların yapılmasının gerekliliğini de ortaya koymaktadır.

- ❖ Elektroforez okumaları sonucu, deneme periyodu süresince her 3 tekerrürünün farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. 1. tekerrürden 3. tekerrüre doğru gidildiği zaman bitkiler güneş ışığından daha fazla etkilenmişlerdir. Bunun neticesinde bitkilerin protein içeriklerinde bir azalma meydana geldiği de saptanmıştır. Ayrıca vejetasyon periyodu boyunca bitki protein içeriklerinin arttığı ve çeşitli proteinlerin sentez edildiği de gözlenmiştir. Fakat Cd dozları dikkate alınarak incelendiğinde; Cd dozlarındaki artış genelde protein miktarının azalmasına ve değişik modifikasyonlar geçirerek yeni proteinlerinin sentezine yol açmıştır. Cd'un ileri dozlarında ise inhibasyona neden olmuştur. Ayrıca; vejetasyon periyodu süresince protein içeriğinde bir artışın var olduğu da gözlenmiştir.
- ❖ Yapılan MALDİ-MS analizi sonuçlarında; bitki yaprak dokularında oluşan stres proteinlerinin; MASCOT Search sonuçlarına göre, fasulye bitkisinde oksinler tarafından indüklenen rezistans gen proteinleri olduğu saptanmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Açıkgöz N, Akkaş ME, Moughaddam A, Özcan K (1993). Tarist: PC'ler İçin İstatistik ve Kantitatif Genetik Paketi. Selçuk Üniversitesi, Bilgisayar Araştırma ve Uygulama Merkezi, Uluslararası Bilgisayar Sempozyumu, Konya
- Ağaoğlu YS, Çelik H, Çelik M, Fidan Y, Gülşen Y, Günay A, Halloran N, Köksal Aİ, Yanmaz R (2001). Genel Bahçe Bitkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No:5 ISBN:975-7185-00-0
- Ahsan N, Sang-Hoon L, Dong-Gi L, Hyoshin L, Shin Woo L, Jeong Dong B, Byung-Hyun L (2007). Physiological and Protein Profiles Alternation of Germinating Rice Seedlings Exposed to Acute Cadmium Toxicity. *Comptes Rendus Biologies*, 330(10): 735-746
- Aitken A (2004). Book of Workshop on Protein Mass Spectrometry and Proteomics. (16-18 August,2004).
- Alak G, Özdemir N, Atamanalp M (2007). Akuatik Toksikolojide Stres Proteinleri. *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 3-5 (5-8)
- Alcantara E, Romera FJ, Can Ete M ve De La Guardia MD (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.
- Alparslan M, Güneş A, İnal A (1998). Gübreleme Çalışmalarında Bitki Analizlerinin Yeri ve Farklı Bitkiler İçin Bitki Besin Maddesi Kritik Düzeyleri. Tarım Sanayi Çevre Bildiri Kitabı, 2. Cilt. 3. Ulusal Gübre Kongresi 11-13 Ekim 2004 Tokat. 1215-1277.
- Anonim (1981). Schwermetallgehalte in Landwirtschaftlich Genutzen. Ackerboden Hessens. *Landwirtsch. Forsch. Sonderheft* 38, 338-349. Brunde, H., R. Ellinghaus.
- Anonim (2001). Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 10.12.2001 Tarih ve 24609 Sayılı Resmi Gazete.
- Anonim (2008). Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğ (No: 2008/26) 17.05.2008 Tarih 26879 Sayılı Resmi Gazete.
- Anonim (2009a). Gina Fasulye. May Tohumculuk İnternet Sitesi. <http://www.may.com.tr/tr/urun1.asp?id=264> (erişim tarihi,18.12.2009)
- Anonim (2009b). Cmk. <http://www.cmk.uhasselt.be/english/onderzoek/groepen/milieubiologie.asp> (erişim tarihi, 18.12.2009).
- Anonim (2009c). Cpcb <http://www.cpcb.nic.in/oldwebsite/News%20Letters/Latest/cadmium/ch8-CADMIUM.htm> (erişim tarihi, 18.12.2009).

- Anonim (2009d). İpipotash, www.ipipotash.org/e-ifc/2008-16/research2.php (erişim tarihi, 18.12.2009).
- Bates LS, Waldren RP ve Teare D (1973). Rapid Determination Of Free Proline For Water Stress Studies. *Plant And Soil*, 39: 205-297.
- Benavides MP, Gallego SM, Tomaro ML (2005). Cadmium Toxicity in Plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17(1)21-34.
- Bi X, Xinbin F, Yuangen Y, Xiangdong L, Grace PYS, Feili L, Guangle Q, Guanghui L, Taoze L, Zhiyou F (2009). Allocation and Source Attribution of Lead and Cadmium in Maize (*Zea mays L.*) Impacted by Smelting Emissions. *Environmental Pollution Journal.*, 157(3): 834-839
- Bingham FT (1949). Soil Test for Phosphate. *California Agri.*, 3,8,11-14
- Bonfranceschi BA, Flocco CG, Donati ER (2009). Study of The Heavy Metal Phytoextraction Capacity of Two Forage Species Growing in an Hydroponic Environment. *Journal of Hazardous Materials*, 165 (1-3): 366-371
- Bowen H (1979). *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press, London. Cited in Vymazal 1995
- Boxma B (1972). Bicarbonate as the Most Important Soil Factor in Lime-Induced Chlorosis in the Netherlends. *Plant and Soil*, 37, 233-243.
- Bremner JM (1965). Total Nitrogen. (Ed. Black, C.A.). *Methods of Soil Analysis Part 2*, American Society of Agronomy Inc. Publisher Madison, Wisconsin. U.S.A. 1149-1178.
- Çatak E, Çolak G, Tokur S, Bilgiç O (2000). Bazı Domates ve Tütün Genotiplerinde Kadmiyum Etkilerini İnceleyen İstatistiksel Bir Çalışma. *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (1) :13-41
- Chen T, Xingmei L, Xia L, Keli Z, Jiabao Z, Jianming X, Jiachun S, Randy AD (2009). Heavy Metal Sources Identification and Sampling Uncertainty Analysis in a Field-Scale Vegetable Soil of Hangzhou, China. *Environmental Pollution Journal*, 157 (3): 1003-1010
- Costa G, ve Spitz E (1997). Influence of Cadmium on Soluble Carbohydrates, Free Amino Acids, Protein Content of in Vitro Cultured *Lupinus albus*. *Plant Science Journal*, 128 (2): 131-140.
- Costa G, Michaut JC, Guckert A (1997). Amino Acids Exuded From Axenic Roots Of Lettuce And White Lupin Seedlings Exposed To Different Cadmium Concentrations. *J. Plant. Nutr.*, 20: 883-900.
- Costa G. ve Morel JL (1994). Water Relations, Gas Exchange And Amino Acid Content in Cd-Treated Lettuce. *Plant Physiol. Biochem.*, 32, 561–570

- Cumming JR ve Taylor GJ (1990). Mechanisms of Metal Tolerances in Plants: Phsiological Adaptation for Exclusion of Metal Ionsfrom the Cytoplasm, Wiley-Liss, Inc.
- Das P, Samantaray S, Rout GR (1997). Studies On Cadmium Toxicity in Plants: A Review. Environmental Pollution, 98: 29-36.
- De Knecht JA, Van Baren N, Ten Bookum WT, Wong Fong Sang HW, Koevoets PLM, Schat H, Verkleij JAC (1995). Synthesis and Degradation of Phytochelatins in Cadmium-Sensitive and Cadmium-Tolerant *Silene Vulgaris*. Plant Sci., 106: 9-18.
- Di Toppi LS ve Gabbrielli R (1999). Response To Cadmium in Higher Plants. Environmental and Experimental Botany, 41: 105-130.
- Dinakar N, Nagajyothi PC, Suresh S, Udaykiran Y, Damodharam T (2008). Phytotoxicity of Cadmium on Protein, Proline and Antioxidant Enzyme Activities in Growing *Arachis hypogaea L.* Seedlings. Journal of Environmental Sciences, 20 (2): 199-206
- Doğan M (2005). *Ceratophyllum demersum L.*'de Kadmiyum Klorür, Sodyum Klorür ve Bunların Kombinasyonlarının Fizyolojik ve Morfolojik Etkileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Doğan M ve Saygıdeğer SD (2009). Kadmiyumun *Ceratophyllum demersum L.* Üzerindeki Bazı Fizyolojik ve Morfolojik Etkileri Ekoloji, 18: 57-64.
- Ernst WOH ve Josse-van Damme ENG (1983). Umweltbelastung durch Mineralstoffe-Biologische Effecte. Fischer, Stuttgart.
- Evliya H (1960). Kültür Bitkilerinin Beslenmesi. A.Ü.Z.F.Yay., 36:292-294
- Feige N ve Grunwaldt HS (1977). Einordnung von Abfallstoffen in Belastungsgrade im Erlass des Hessischen Ministers für Landsentwicklung, Umwelt, Landwirtschaft Forsch (4)-34179.
- Follet RF ve Lindsay WL (1970). Profile Distribution of Zn, Fe, Mn and Cu in Colarado Soils. Colorado Exp. Station Tech. Bull., 110.
- Gaitonde MK (1967). A Spectrophotometric Method for the Direct Determination of Cysteine in the Presence of Other Naturally Occurring Amino Acids. Biochem. J., 104: 627-633.
- Gekeler W, Grill E, Winnacker EL, Zenk MH (1989). Survey of the Plant Kingdom for the Ability to Bind Heavy Metals Through Phytochelatins. Z. Naturforsch., 44: 361-369.
- Gianazza E, Wait R, Sozzi A, Regondi S, Saco D, Labra M, Agradi E (2007). Growth and Protein Profile Changes in *Lepidium sativum L.* Plantlets Exposed to Cadmium. Environmental and Experimental Botany, 59 (2): 179-187

- Goldbol DL ve Hutterman A (1985). Effect of Zinc, Cadmium and Mercury on Root Elongation on *Picea ağabeyes* (Karst.) Seedlings and the Significance of These Metals to Forest die-back. *Enciron. Pollution*, 38:375-381
- Gorinova N, Nedkovska M, Todorovska E, Simova-Stoilova L, Stoyanova Z, Georgieva K, Demirevska-Kepova K, Atanassov A, Herzig R (2007). Improved Phytoaccumulation of Cadmium by Genetically Modified Tobacco Plants (*Nicotiana tabacum L.*). Physiological and Biochemical Response of the Transformants to Cadmium Toxicity. *Environmental Pollution*, 145 (1) : 161-170
- Grill E, Loeffler S, Winnacker EL, Zenk MH (1989). Phytochelatins, The Heavy-Metal-Binding Peptides of Plants, are Synthesized from Glutathione by a Specific G-Glutamylcysteine Dipeptidyl Transpeptidase (Phytochelatin Synthase). *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 86: 6838-6842.
- Grill E, Winnacker EL, Zenk MH (1985). Phytochelatins, The Principal Heavy-Metal Complexing Peptides of Higher Plants. *Science*, 230: 674-676.
- Guo TR, Zhang GP, Zhang YH (2007). Physiological Changes in Barley Plants Under Combined Toxicity of Aluminum, Copper and Cadmium. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 57 (2): 182-188
- Gürel A ve Avcıoğlu R (2004). Bitkilerde Strese Dayanıklılık Fizyolojisi. *Bitki Biyoteknolojisi Cilt 2*. ISBN:975-6652-05-5 : 288-326
- Gusmão Lima SI, Pereira A, de Almeida Figueira EM, Caldeira GCN, Caldeira HDQ (2006). Cadmium Uptake in PEA Plants Under Environmentally-Relevant Exposures: The Risk of Food-Chain Transfer *Journal of Plant Nutrition*, 29: 2165–2177
- Güzel EU (2006). Ağır Metallerin Kil Mineralleri Tarafından Tutulması ve Bitkilerce Alımı. T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
- Hageman RH, Hucklesby DP (1971). Nitrate Reductase from Higher Plants. In: *Methods in Enzymology*. Ed. San Pietro Vol 23 Academic Press. London New York :491-503.
- Haghiri F (1973). Cadmium Uptake by Plants. *Journal of Environmental Quality*, 2: 93-96.
- Hakerlerler H, Okur B, Yağmur B (1995). Gediz Havzasında Otoyollara Yakın Arazilerde Motorlu Araç Trafikinden Kaynaklanan Ağır Metal Kirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. I.Gediz Havz. Ereyon ve Çevre Semp. Bildiriler Kitabı, 10-11 Ekim 1995, :138-148.
- Haktanır K (1992). Gıdalarda Toprak Aracılığı ile Bulaşan Kirlilikler. *Tarım ve Mühendislik*, 43, 42-46.

- He JY, Zhu C, Ren YF, Yan YP, Cheng C, Jiang DA, Sun ZX (2008). Uptake, Subcellular Distribution, and Chemical Forms of Cadmium in Wild-Type and Mutant Rice. *Pedosphere*, 18 (3) 371- 377
- Hernandez LE, Carpena-Ruiz R, Garate A (1996). Alterations in the Mineral Nutrition of Pea Seedlings Exposed to Cadmium. *J. Plant Nutr.*, 19: 1581-1598.
- Hodges DM, DeLong J M, Forney CF, Frange RK (1999). Improving the Thiobarbituric Acid-Reactive-Substances Assay for Estimating Lipid Peroxidation in Plant Tissues Containing Anthocyanin and Other Interfering Compounds. *Planta*, 207: 604-611
- Huang X ve Zhou Q (2006). Alleviation Effect of Lanthanum on Cadmium Stress in Seedling Hydroponic Culture of Kidney Bean and Corn. *Journal of Rare Earths.*, 24 (2): 248
- Inouhe M, Mitsumune M, Tohoyama H, Joho M, Murayama T (1991). Contributions of Cell Wall and Metalbinding Peptide to Cd- and Cu-Tolerances in Suspension-Cultured Cells of Tomato. *Bot. Mag. Tokyo* 104: 217-229.
- İsmail MA (2008). Involvement of Ca^{+2} in Alleviation of Cd^{+2} Toxicity in Common Bean (*Phaseolus vulgaris L.*) Plants. *Asian Journal of Biological Science*, 1(1): 26-32
- Jackson ML (1967). *Soil Chemical Analysis* Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs. N.J. U.S.A.
- Jensen JK, Holm PE, Nejrup J, Larsen MB, Borggaard OK (2009). The Potential of Willow for Remediation of Heavy Metal Polluted Calcareous Urban Soils. *Environmental Pollution Journal*, 157 (3): 931-937
- Johnson CM ve Ulrich A (1959). *Analytical Methods for Use in Plant Analysis*, II. California Agri. Exp.Sta. Bull., 766.
- Jones JBJr, Wolf B, Mills HA (1991). *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing, Inc. Georgia 30607, USA.
- Kacar B ve İnal A (2008). *Bitki Analizleri*. Nobel Yayın Dağıtım. Nobel Yayın No:1241 Fen Bilimleri:63 ISBN:978-605-395-036-3
- Kacar B, Katkat V, Öztürk Ş (2002). *Bitki Fizyolojisi*.Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:198 Vipaş A.Ş. Yayın No:74 ISBN: 975-564-133-5
- Kloke A (1980). Orientierungs Daten für Tolerierbare Gesamtgehalte Einiger Elemente in Kulturboden. *Mitt. VDLUFA*, H. 1-3, 9-11.
- Kocaçalışkan İ (2008). *Bitki Fizyolojisi*. 7. Basım Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti. ISBN:978-605-395-135-3
- Köleli N ve Kantar Ç (2005). Fosfat Kayası, Fosforik Asit ve Fosforlu Gübrelerdeki Toksik Ağır Metal (Cd, Pb, Ni, As) Konsantrasyonu. *Ekoloji*, 55:1-5

- Lado R, Hengl L, Reuter T, (2007). Heavy Metals in European Soils: a Geostatistical Analysis of the FOREGS Geochemical Database. European Soil Data Center, <http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/foregshmc/>.. (erişim tarihi, 18.12.2009)
- Larcher W (1995). Physiological Plant Ecology. 3rd Ed. P:1-506. Springer-Verlag, New York.
- Li M, Zhang LJ, Tao L, Li W (2008). Ecophysiological Responses of *Jussiaea rapens* to Cadmium Exposure. *Aquatic Botany*.,:88 (4):347-352
- Liang HM, Lin TH, Chiou JM, Yeh KC (2009). Model Evaluation of the Phytoextraction Potential of Heavy Metal Hyperaccumulators and Non-Hyperaccumulators. *Environmental Pollution Journal*, 157(6): 1945-1952
- Lichtenthaler HK ve Wellburn AR (1985). Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls A and B of Leaf in Different Solvents. *Biochem. Soc. Trans*, 603: 591-592.
- Lima AIG, Pereira SIA, de Almeida Paula Figueira EM, Caldeira GCN, de Matos Caldeira HDQ (2006). Cadmium Detoxification in Roots of *Pisum sativum* Seedlings: Relationship Between Toxicity Levels, Thiol Pool Alterations and Growth. *Environmental and Experimental Botany*, 55 (1-2):149-162
- Lindsay WL ve Norvell WA (1978). Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *S.S.S. of Am.Jour.*, 42: 421-428.
- Liu C, Wang T, Zhang W, Li X (2008). Computational Identification and Analysis of Immune-Associated Nucleotide Gene Family in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Plant Physiology*, 165 (7):777-787
- Liu W, Zhou Q, Sun Y, Liu R (2009). Identification of Chinese Cabbage Genotypes With Low Cadmium Accumulation for Food Safety. *Environmental Pollution Journal*, 157 (6): 1961-1967
- Loeffler S, Hochberger A, Grill E, Gekeler W, Winnacker EL, Zenk MH (1989). Termination of the Phytochelatin Synthase Reaction Through Sequestration of Heavy Metals by the Reaction Product. *Febs Lett.*, 258: 42-46.
- Lokeshwari H ve Chandrappa GT (2006). Impact of Heavy Metal Contamination of Belladur Lake on Soil and Cultivated Vegetation. *Current Science*, 91(5), 622-627
- Loué A (1968). Diagnostic Petiolarie de Prospection. Etudes Sur la Nutrition et le Fertilisation Potasiques de la Vigne Socie'te Commerciale des Potasses d'alsae Services Agronomiques, 31-41.
- Magda Pál EH, Tibor Janda EP, Szalai G (2006). Physiological Changes and Defense Mechanisms Induced by Cadmium Stress in Maize J. *Plant Nutr. Soil Sci.*, 169, 239–246

- Mengel K, Kirkby A (1979). Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute Worblaufen-Bern, Switzerland, :124-130.
- Nussbaum S, Schmutz D, Brunold C (1988). Regulation of Assimilatory Sulfate Reduction by Cadmium in Zea Mays L. Plant Physiol., 88: 1407-1410.
- OECD (1974). Mercury and Environent. Organisation for Economic Co-operation and Development . ISBN:92-64-11166-2.
- Olsen SR, Cole CV, Watanable FS, Dean LA (1954). Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction With Sodium Bicarbonate. U. S. Dept. of Agric. Cir. 939, Washington D. C.
- Özbek H, Kaya Z, Tamcı M (1984). Bitkinin Beslenmesi ve Metabolizması. (K. Mengel Tercüme) Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:162 Ders Kitabı :12
- Peachey CJ, Sinnett D, Wilkinson M, Morgan GW, Freer-Smith PH, Hutchings TR (2009). Deposition and Solubility of Airborne Metals to Four Plant Species Grown at Varying Distances from two Heavily Trafficked Roads in London. Environmental Pollution Journal, 157 (8-9): 2291-2299
- Pena LB, Pasquini LA, Tomaro ML, Gallego SM (2006). Proteolytic System in Sunflower (*Helianthus annuus L.*) Leaves Under Cadmium Stres. Plant Science Journal, 171(4):531-537
- Pendias KA ve Pendias H (1984). Trace Elements in Soils and Plants. Book. Boca Raton, Florida, CRC Press, Inc., 31, 315.
- Pendias KA ve Pendias H (1992). Trace Elements in Soil and Plant. CRC Press. Boca Raton.
- Pizer NH (1967). Some Advisory Aspect. Soil Potassium and Magnesium. Tech. Bull., 14: 184
- Qadir S, Qureshi MI, Javed S, Abdin MZ (2004). Genotypic Variation in Phytoremediation Potential of *Brassica juncea cv.* Exposed to Cd Stress. Plant Science, 167(5):1171-1181
- Quartacci MF, Irtelli B, Gonnelli C, Gabbrielli R, Navari-Izzo F (2009). Naturally-Assisted Metal Phytoextraction by *Brassica carinata*: Role of Root Exudates. Environmental Pollution Journal, 157(10): 2697-2703
- Ratkevicius N, Correa JA, Moenne A (2003). Copper Accumulation, Synthesis of Ascorbate and Activation of Ascorbate Peroxidase in *Enteromorpha compressa (L.) Grev.* (Chlorophyta) from Heavy Metal-Enriched Environments in Northern Chile. Plant, Cell And Environment, 26: 159-1608.

- Rivetta A, Negrini N, Cocucci M (1997). Involvement Of Ca^{2+} -Calmodulin in Cd^{2+} Toxicity During the Early Phases of Radish (*Raphanus Satibus L.*) Seed Germination. Plant Cell Environ., 20: 600-608.
- Rodecap KD, Tingey DT, Tibbs JH (1981). Cadmium-Induced Ethylene Production in Bean Plants. Z. Pflanzenphysiol., 105: 65-74.
- Römken PFAM, Guo HY, Chu CL, Liu TS, Chiang CF, Koopmans GF (2009). Prediction of Cadmium Uptake by Brown Rice and Derivation of Soil-Plant Transfer Models to Improve Soil Protection Guidelines. Environmental Pollution Journal, 157 (8-9): 2435-2444
- Saatçi F, Altınbaş Ü, Tuncay H, Akıncı C (1983). Toprak ve Su Analiz Yöntemleri Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Teksir No:18 Bornova-İzmir.
- Sağlam MT (2001). Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri. T.U. Tekirdağ Ziraat Fak. Yayın No:89 Ders Kitabı No:5
- Samecka-Cymerman A, Stankiewicz A, Kolon K, Kempers AJ (2009). Self-Organizing Feature Map (Neural Networks) as a Tool to Select the Best Indicator of Road Traffic Pollution (Soil, Leaves or Bark of *Robinia pseudoacacia L.*). Environmental Pollution Journal, 157 (7): 2061-2065
- Sauerbeck D (1982). Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen Dürfen Nicht Überschritten Werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu Vermeiden? Landwirtschaftl Forsch Sonderheft 39:105–129
- Schaller K (1988). Praktikum zur Bodenkunde und Pflanzenernährung Geisenheim (Geisenheimer Berichte Band 2), Druck Copy Center, Darmstadt, 393 – 394.
- Scheffer F ve Schachtschabel P (1989). Lehrbuch der Bodenkunde. 12 ed. p., 159, 248, 336.
- Schlichting E ve Blume HP (1966). Bodenkundliches Practicum. PPV Hamburg Berlin.
- Shah K ve Dubey RS (1995). Effect of Cadmium on RNA Level as Well as Activity and Molecular Forms of Ribonuclease in Growing Rice Seedlings. Plant Physiol. Biochem., 33: 577-584.
- Sharma SS, Kaul S, Metwally A, Goyal KC, Finkemeier I, Dietz KJ (2004). Cadmium Toxicity to Barley (*Hordeum vulgare*) as Affected by Varying Fe Nutritional Status. Plant Science Journal, 166 (5): 1287-1295
- Shocmaker, H.E., Mclean, E.O. and Pratt, P.F., 1961. Buffer Methods for Determining Lime Requirement of Soils with Appreciable Amounts of Extractable Aluminium. Soil Science Society of American Proceeding, 25:274-282.

- Soil Survey Staff (1951). Soil Survey Manual. Agricultural Research Administration. U.S. Dept. Agriculture, Handbook, No:18.
- Stöppler M (1991). Metals and Their Compounds in the Environment. VCH, Weinheim
- Temizkan G ve Arda N (2004). Moleküler Biyolojide Kullanılan Yöntemler. İstanbul Üniversitesi Biyoteknoloji ve Genetik Mühendisliği Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayın No:2 ISBN:975-420-347-4
- Tok HH (1996). Çevre Kirliliği, Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No. 244, Ders Kitabı No. 30, Tekirdağ
- Tüzüner A (1990). Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara;
- Ülgen N ve Yurtsever N (1995). Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müd. Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No:66, 4. Baskı, Ankara.
- Ulus Y, Öztürk L, Karata İ (2007). Maydanoz (*Petroselinum hortense*) Bitkisinde Kadmiyum Stresinin Antioksidant Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri. 21. Ulusal Kimya Kongresi. 23-27 Ağustos 2007. İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Verkleij JAC ve Schat H (1990). Mechanisms of Metal Tolerance in Higher Plants. in: Show, J. (Ed.), Evolutionary Aspects of Heavy Metal Tolerance in Plants. Crc Press, Boca Raton, Fl, : 179-193.
- Vural N (1996). Toksikoloji. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları No:73 ISBN:975-482-289-1.
- Wolwerton BC (1979). Engineering Design Data for Small Vascular Aquatic Plant Wastewater Treatment Systems. Aquaculture Systems for Wastewater Treatment Seminar Proceeding and Engineering Assessment, 179-191
- World Health Organisation (WHO) (1992). Environmental Health Criteria 134 - Cadmium International Programme on Chemical Safety (IPCS) Monograph
- Yücel E, Doğan F, Öztürk M (2005). Porsuk Çayında Ağır Metal Kirlilik Düzeyleri ve Halk Sağlığı İlişkisi. Ekoloji Çevre Dergisi. Ekim-Kasım-Aralık Sayı, 17 : 29-32.
- Zawoznik MS, Groppa MD, Tomaro ML, Benavides MP (2007). Endogenous Salicylic Acid Potentiates Cadmium-Induced Oxidative Stress in *Arabidopsis thaliana*. Plant Science , 173 (2):190-197
- Zengin FK ve Manzuroğlu Ö (2003). Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) Kök, Gövde ve Yaprak Büyümesi Üzerine Kadmiyum(Cd⁺⁺) ve Civa (Hg⁺⁺)'nın Etkileri. C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi. Fen Bilimleri Dergisi, 24 (1): 64-75

EKLER

EK 1 Deneme Süresince Kaydedilen Günlük Meteorolojik Veriler

Günler	Günlük Ortalama Sıcaklık (°C)	Nem (%)	Basınç (mmHg)	Ortalama Güneşlenme süresi (Saat)	Ortalama Güneşlenme Şiddeti (cal/cm ²)
25 Haziran 08	30	59	760	8	520
26 Haziran 08	31	51	762	13	720
27 Haziran 08	31	45	760	10	610
28 Haziran 08	32	65	760	10	610
29 Haziran 08	28	67	762	10	580
30 Haziran 08	27	59	762	10	610
1 Temmuz 08	30	41	760	10	600
2 Temmuz 08	28	58	760	11	620
3 Temmuz 08	27	54	761	11	530
4 Temmuz 08	27	57	760	12	680
5 Temmuz 08	30	40	757	10	550
6 Temmuz 08	29	30	759	10	520
7 Temmuz 08	28	47	763	9	570
8 Temmuz 08	25	64	760	11	570
9 Temmuz 08	30	48	757	11	570
10 Temmuz 08	29	28	761	10	520
11 Temmuz 08	28	51	762	11	590
12 Temmuz 08	26	46	762	11	620
13 Temmuz 08	28	52	762	10	660
14 Temmuz 08	26	65	764	12	640
15 Temmuz 08	27	69	761	10	480
16 Temmuz 08	26	74	760	1,5	280
17 Temmuz 08	27	38	760	11	460
18 Temmuz 08	26	65	761	10	580
19 Temmuz 08	27	56	760	10	650
20 Temmuz 08	26	73	762	10	630
21 Temmuz 08	28	66	759	10	600
22 Temmuz 08	28	63	758	10	520
23 Temmuz 08	29	77	754	10	560
24 Temmuz 08	24	64	755	6	450
25 Temmuz 08	25	53	756	10	520
26 Temmuz 08	25	65	755	9	520
27 Temmuz 08	25	69	758	9	530
28 Temmuz 08	26	69	759	7,5	560
29 Temmuz 08	28	40	761	8	630
30 Temmuz 08	27	56	763	5,5	480
31 Temmuz 08	28	47	764	10	540
1 Ağustos 08	28	44	764	9	500
2 Ağustos 08	26	58	764	10	450
3 Ağustos 08	27	46	762	10	480
4 Ağustos 08	27	55	761	11	500
5 Ağustos 08	25	68	760	10	480
6 Ağustos 08	27	71	759	10	520
7 Ağustos 08	27	59	760	9	620
8 Ağustos 08	26	59	759	10	520

EK 2 Bitki Çıkış Zamanları

Örnek No:	28 Haziran 08	29 Haziran 08	30 Haziran 08	1 Temmuz 08	2 Temmuz 08	3 Temmuz 08	4 Temmuz 08
1	—	5	—	—	1	—	—
2	1	5	—	—	1	—	—
3	—	6	—	—	—	—	—
4	—	5	1	—	1	—	—
5	—	3	3	—	—	—	1
6	—	3	1	—	—	1	—
7	—	6	1	1	—	—	—
8	—	6	1	—	—	—	—
9	—	4	—	1	—	—	1
10	—	5	1	—	—	—	—
11	—	4	—	1	—	—	—
12	—	3	1	—	—	1	—
13	—	3	2	—	1	—	1
14	—	6	—	1	—	—	—
15	—	4	1	—	—	—	—
16	—	3	1	—	—	1	—
17	—	1	3	—	—	—	1
18	—	2	2	1	—	—	—
19	—	1	4	2	—	—	—
20	—	3	3	2	—	—	—
21	—	2	5	—	—	—	—
22	—	—	4	2	—	—	—
23	—	—	4	1	1	—	—
24	—	1	3	1	—	—	—
25	—	—	2	5	—	—	—
26	—	—	5	—	1	—	—
27	—	—	5	2	—	—	1
28	—	1	3	2	1	—	1
29	—	—	7	1	—	—	—
30	—	—	3	1	1	—	—
31	—	—	3	3	—	1	—
32	—	—	4	4	—	—	—
33	—	2	2	2	—	—	1
34	—	—	2	5	—	—	—
35	—	—	5	—	—	—	1
36	—	—	6	—	—	—	—
37	—	—	4	—	—	—	1
38	—	1	5	1	—	—	—
39	—	2	3	—	—	—	—
40	—	—	1	3	—	1	1
41	—	1	4	1	—	—	—
42	—	1	4	2	—	1	—
43	—	—	2	3	2	—	—
44	—	1	3	2	1	—	2
45	—	3	2	1	1	—	—
46	—	—	4	1	1	—	—
47	—	—	6	1	—	—	—
48	—	1	2	—	1	1	—
49	—	1	1	4	—	—	—
50	—	—	4	2	2	1	1

51	—	3	2	—	1	—	—
52	—	3	2	1	—	1	1
53	—	2	2	—	—	1	2
54	—	2	2	2	2	—	—
55	—	1	4	1	—	—	—
56	—	3	1	—	—	—	1
57	—	3	1	—	—	—	1
58	—	2	3	1	—	—	1
59	—	4	2	—	—	—	—
60	—	5	1	—	—	—	—
61	—	3	—	1	1	1	—
62	—	3	4	—	—	—	—
63	—	3	3	1	—	—	1
64	—	2	4	—	1	—	—
65	—	2	3	—	2	—	1
66	—	4	4	—	—	—	—
67	—	3	1	1	2	—	—
68	—	4	3	1	—	—	—
69	—	4	2	1	—	—	—
70	—	2	3	1	—	—	—
71	—	3	2	—	1	—	1
72	—	3	3	—	—	—	—
73	—	4	3	1	—	—	—
74	—	3	5	—	—	—	—
75	—	4	2	—	1	—	—
76	—	2	2	1	—	—	1
77	—	1	5	—	—	—	—
78	—	5	3	—	—	—	—
79	—	1	4	1	—	1	—
80	—	2	3	1	—	1	—
81	—	3	5	—	—	—	—
82	—	—	6	1	—	1	—
83	—	1	6	—	—	—	—
84	—	3	3	—	—	—	—
85	—	1	—	3	1	—	1
86	—	3	1	1	—	1	1
87	—	2	3	2	1	—	—
88	—	3	4	—	1	—	—
89	—	—	6	—	—	—	—
90	—	2	4	—	1	1	—

EK 3 Vejetasyon Periyodu Boyunca Çekilen Deneme Fotorafı

1. Temmuz. 2008



2. Temmuz. 2008



3. Temmuz. 2008



4. Temmuz. 2008



5. Temmuz. 2008



6. Temmuz. 2008



7. Temmuz. 2008



8. Temmuz. 2008



9. Temmuz. 2008



10. Temmuz. 2008



11. Temmuz. 2008



12. Temmuz. 2008



13. Temmuz. 2008



14. Temmuz. 2008



15. Temmuz. 2008



16. Temmuz. 2008



17. Temmuz. 2008



18. Temmuz. 2008



19. Temmuz. 2008



20. Temmuz. 2008



21. Temmuz. 2008



22. Temmuz. 2008



23. Temmuz. 2008



24. Temmuz. 2008



25. Temmuz. 2008



26. Temmuz. 2008



27. Temmuz. 2008



28. Temmuz. 2008



29. Temmuz. 2008



30. Temmuz. 2008



31. Temmuz. 2008



1. Ağustos. 2008



2. Agosto. 2008



3. Agosto. 2008



4. Agosto. 2008



5. Agosto. 2008



6. Agosto. 2008



7. Agosto. 2008



8. Ağustos. 2008

Hasat Bakla Resimleri
Cd 0 Dozu Fasulye Bitkisi Hasat Dönemi
Bakla Oluşumu



Cd I. Dozu Fasulye Bitkisi Hasat Dönemi
Bakla Oluşumu



Cd II. Dozu Fasulye Bitkisi Hasat Dönemi
Bakla Oluşumu



Cd III. Dozu Fasulye Bitkisi Hasat Dönemi
Bakla Oluşumu



Cd IV. Dozu Fasulye Bitkisi Hasat Dönemi
Bakla Oluşumu



Cd V. Dozu Fasulye Bitkisi Hasat Dönemi
Bakla Oluşumu



ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında İzmir’de doğdum. İlkokulu Balıkesir 6 Eylül İlkokulu’nda, Ortaokulu Balıkesir Karesi Ortaokulu’nda tamamladım. 1992 Yılında İzmir Şemikler Lisesi’nden mezun oldum. 1992-1993 yılları arasında Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü’nde eğitimime devam ettim. 1997 Yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü’nden mezun oldum. 2000 Yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı’ndan Mezun Olarak Ziraat Yüksek Mühendisi Unvan’ını aldım. 2001 Yılında Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım. 2006 yılında Namık Kemal Üniversitesi’nin kurulması ve fakültemizin Namık Kemal Üniversitesi bünyesinde eğitim ve öğretime devam etmesi nedeniyle halen Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi’nde Araştırma Görevlisi olarak görevime devam etmekteyim.