

**TEKİRDAĞ YÖRESİNDE FARKLI pH
DEĞERLERİNE SAHİP TOPRAKLARDA YETİŞEN
MISIR BİTKİSİNDE ÇİNKO-KADMIYUM
ETKİLEŞİMİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Bahar SÖZÜBEK

Doktora Tezi

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Turgut SAĞLAM

2012

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**TEKİRDAĞ YÖRESİNDE FARKLI pH DEĞERLERİNE SAHİP
TOPRAKLARDA YETİŞEN MISIR BİTKİSİNDE ÇİNKO-KADMİYUM
ETKİLEŞİMİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Bahar SÖZÜBEK

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. M. Turgut SAĞLAM

TEKİRDAĞ-2012

Her hakkı saklıdır.

Prof. Dr. M. Turgut SAĞLAM danışmanlığında, Bahar SÖZÜBEK tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

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

Üye : Prof. Dr. Ömer KARAÖZ *İmza :*

Üye : Prof. Dr. Enver ESENDAL *İmza :*

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

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nureddin ÖNER *İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

TEKİRDAĞ YÖRESİNDE FARKLI pH DEĞERLERİNE SAHİP TOPRAKLARDA YETİŞEN MISIR BİTKİSİNDE ÇİNKO-KADMIYUM ETKİLEŞİMİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Bahar SÖZÜBEK

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Turgut SAĞLAM

Bu araştırmanın amacı, Tekirdağ ili sınırları içinde üç farklı yerden alınmış topraklara uygulanan çinko ve kadmiyum elementlerinin, bu topraklarda yetiştirilen mısır (*Zea mays L.*) bitkisinde birbirinin alımına etkisini araştırmaktır. Topraklar alkalın, asit ve nötr olmak üzere farklı pH değerlerine sahiptir. Her toprağa dört doz kadmiyum (Cd0=0 ppm Cd, Cd1=2,5 ppm Cd, Cd2=5 ppm Cd ve Cd3=10 ppm Cd) CdCl₂ şeklinde ve dört doz çinko (Zn0=0 ppm Zn, Zn1=10 ppm Zn, Zn2=20 ppm Zn ve Zn3=40 ppm Zn) ZnSO₄ şeklinde üç tekerrürlü olarak uygulanmıştır. Bitkiler gelişiminin 45. gününde hasat edilip, kök ve sapslarında ayrı ayrı Cd ve Zn miktarları analiz edilmiştir.

Çinko miktarları sabit tutulduğunda her üç toprakta da artan dozlarda kadmiyum uygulanmasıyla hem sap hem de köklerde kadmiyum miktarları artış göstermiştir. Benzer şekilde, kadmiyum miktarları sabit tutulduğunda her üç toprakta da artan dozlarda çinko uygulamasıyla hem sap hem de köklerde çinko miktarları artış göstermiştir. Artan dozlardaki çinko uygulaması alkalın ve nötr toprakta bitkinin sap ve köklerindeki kadmiyum miktarlarını arttırmıştır. Asit toprakta Cd3 dozu hariç, bitkideki kadmiyum içeriğinde bir miktar düşüşe neden olsa da bu durum istatistiksel olarak önemli bulunmamış olup yüksek doz kadmiyum seviyesinde çinko uygulaması sapslardaki ve köklerdeki kadmiyum miktarlarını arttırmıştır. Farklı topraklara farklı dozlarda uygulanan kadmiyumun çinko alımı üzerine etkisi farklılıklar göstermekle birlikte, çinko miktarları belli aralıklarda sınırlanmıştır. Alkalın toprakta, yüksek doz kadmiyum ve yüksek doz çinko uygulandığında sapslardaki çinko içeriğinde istatistiksel olarak önemli olmayan artışlar bulunmuş, köklerde ise genel olarak çinko miktarlarında düşüş tespit edilmiştir. Nötr toprakta kadmiyum uygulaması bitkinin sapslarındaki çinko içeriğinde kadmiyum uygulanmamış duruma göre istatistiksel olarak önemli olmayan artışa, köklerinde ise istatistiksel olarak önemli olmayan azalışa neden olmuştur. Çinko miktarları yalnızca asit toprakta ve en yüksek çinko dozu olan Zn3 uygulamasında bitkide bulunması gereken sınırı aşmış ve 87,627 ppm seviyelerine kadar çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Çinko, kadmiyum, mısır, toprak

2012, 82 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

A RESEARCH ON ZINC-CADMIUM INTERACTION IN MAIZE GROWN IN SOILS WITH DIFFERENT pH VALUES IN TEKIRDAG REGION

Bahar SÖZÜBEK

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. M. Turgut SAĞLAM

The aim of this research is to investigate the interactions of zinc and cadmium elements applied to the soils in maize (*Zea mays L.*) plant which was grown in the soils taken from three different places in Tekirdag region. The soils have different pH values including alkaline, acid and neutral. Four doses cadmium (Cd0=0 ppm Cd, Cd1=2,5 ppm Cd, Cd2=5 ppm Cd and Cd3=10 ppm Cd) in the form of CdCl₂ and four doses zinc (Zn0=0 ppm Zn, Zn1=10 ppm Zn, Zn2=20 ppm Zn and Zn3=40 ppm Zn) in the form of ZnSO₄ have been applied to the soils with three repetitions. Plants have been harvested at the 45th day of their developments and zinc and cadmium amounts in the shoots and the roots have been analyzed separately.

The amounts of cadmium in both shoots and roots increased with increasing doses of cadmium application in all three soils when the zinc amounts kept fixed. Similarly, the amounts of zinc in both shoots and roots increased with increasing doses of zinc application in all three soils when the cadmium amounts kept fixed. Increasing doses of zinc application increased the amount of cadmium in both shoots and roots of maize grown in alkaline and neutral soils. In the acid soil, at the high levels of cadmium, zinc application increased the amount of cadmium in both shoots and roots of maize although caused a decrease in cadmium content of the plant except for Cd3 doses which is not statically significant. Although the effects of cadmium with different doses applied to different soils on zinc uptake of maize vary, zinc amounts were restricted in definite limits. In the alkaline soil, the application of high doses of cadmium and high doses of zinc cause a statistically non significant increase in zinc content of the shoots whereas generally caused a decrease in zinc content of the roots. Cadmium application to the neutral soil caused a statistically non-significant increase in zinc content of the shoots and caused a statistically non-significant decrease in zinc content of the roots. Zinc amounts of the plant exceeded the limit only in acid soil with Zn3 application and reached the level of 87.627 ppm.

Keywords : Zinc, cadmium, maize, soil

2012, 82 pages

TEŞEKKÜR

Öncelikle, başlangıcından sonuna kadar bilgisini, tecrübesini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. M. Turgut SAĞLAM'a sonsuz teşekkür ederim. Doktorada geçirdiğim süre boyunca ihtiyacım olan tüm bilgi birikimini paylaşan, yol gösteren Yrd. Doç. Dr. Korkmaz BELLİTÜRK'e, bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen tez izleme komitesi hocalarım Prof. Dr. Enver ESENDAL ve Prof. Dr. Aydın ADİLOĞLU'na ve tüm "Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü" akademik kadrosuna, ayrıca istatistik konusundaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Eser Kemal GÜRÇAN'a teşekkürü borç bilirim. Biricik kızımınla birlikte, maddi ve manevi her konuda yanımda olup destek veren eşime ve anneme ne kadar teşekkür etsem azdır.

Bu tez, Namık Kemal Üniversitesi tarafından NKUBAP00.24.DR.09.02 proje numarası ile "Bilimsel Araştırma Projesi" olarak desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
2.1. Çinko ve Kadmiyum Elementlerinin Bazı Özellikleri.....	7
2.2. Toprakta Çinko ve Kadmiyum	8
2.3. Mısır Bitkisinin Bazı Özellikleri	11
2.4. Mısır Bitkisinde Çinko ve Kadmiyum	13
2.5. Diğer Bitkilerle Yapılan Çalışmalarda Çinko ve Kadmiyum	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM	20
3.1. Materyal.....	20
3.2. Yöntem.....	22
3.2.1. Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi.....	22
3.3. Topraklarda Yapılan Bazı Fiziksel ve Kimyasal Analizler.....	28
3.3.1. Tekstür.....	28
3.3.2. pH.....	28
3.3.3. Tuzluluk.....	28
3.3.4. Kireç.....	28
3.3.5. Organik Madde.....	28
3.3.6. Toplam Azot.....	28
3.3.7. Yarayırlı Fosfor.....	28
3.3.8. Değişebilir Katyonlar.....	29
3.3.9. Yarayırlı Bazı Mikroelementler.....	29
3.3.10. Ekstrakte Edilebilir Bazı Ağır Metaller.....	29
3.4. Bitkilerde Yapılan Kimyasal Analizler	29
3.4.1. Toplam Azot.....	29
3.4.2. Toplam Fosfor, Potasyum, Kalsiyum ve Magnezyum.....	29
3.4.3. Mikroelementler ve Bazı Ağır Metaller	29
3.5. İstatistiksel Değerlendirme.....	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	31
4.1. Bitkilerin Genel Görünümünün Değerlendirilmesi.....	31
4.2. Alkalın Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Kadmiyum Miktarları.....	32
4.3. Asit Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Kadmiyum Miktarları.....	38
4.4. Nötr Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Kadmiyum Miktarları.....	45
4.5. Alkalın Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Çinko Miktarları.....	51
4.6. Asit Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Çinko Miktarları.....	58
4.7. Nötr Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Çinko Miktarları.....	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
6. KAYNAKLAR	76
EKLER	80
EK 1.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

'	Dakika
"	Saniye
%	Yüzde
°	Derece
°C	Santigrat derece
Ar	Argon
ATP	Adenozin trifosfat
Cd	Kadmiyum
cm	Santimetre
da	Dekar
DAP	Diamonyum fosfat
DTPA	Dietilen triamin penta asetik asit
EDTA	Etilen diamin tetra asetik asit
EPA	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
g.kg ⁻¹	Gram bölü kilogram
g.mol ⁻¹	Gram bölü mol
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
ha	Hektar
HEDTA	Hidroksi etilen diamin tri asetik asit
ICP-OES	İndüktif eşleşmiş plazma – Optik emisyon spektroskopisi
KDK	Katyon değişim kapasitesi
Kr	Kripton
m	Metre
M	Molarite
mg.L ⁻¹	Miligram bölü litre
mm	Milimetre
mM	Milimol
NPK	Azot fosfor potasyum gübresi
p	İstatistiksel önem değeri
pH	Hidrojen iyonu aktivitesinin negatif logaritması
pm	Pikometre
ppm	Milyonda bir kısım
PS	Polistiren
TSP	Triple süper fosfat
Zn	Çinko

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Her birinde ikişer kilogram toprak bulunan PS saksılar.....	23
Şekil 3.2.	Her saksıya ekilen dörder adet mısır tohumu.....	23
Şekil 3.3.	İlk çimlenme (ekimin 5. günü).....	25
Şekil 3.4.	Ekimden 1 hafta sonra bitkilerin görünümü.....	25
Şekil 3.5.	Seyreltme öncesi bitkilerin görünümü (ekimden 2 hafta sonra).....	26
Şekil 3.6.	Seyreltme sonrası bitkilerin görünümü (ekimden 2 hafta sonra).....	26
Şekil 3.7.	Hasat öncesi bitkilerin görünümü.....	27
Şekil 4.1.	Alkalin toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	34
Şekil 4.2.	Alkalin toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	34
Şekil 4.3.	Alkalin toprakta Zn2 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	35
Şekil 4.4.	Alkalin toprakta Zn3 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	35
Şekil 4.5.	Alkalin toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	36
Şekil 4.6.	Alkalin toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	37
Şekil 4.7.	Alkalin toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	37
Şekil 4.8.	Alkalin toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	38
Şekil 4.9.	Asit toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	40
Şekil 4.10.	Asit toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	41
Şekil 4.11.	Asit toprakta Zn2 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	41
Şekil 4.12.	Asit toprakta Zn3 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	42

Şekil 4.13. Asit toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	43
Şekil 4.14. Asit toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	43
Şekil 4.15. Asit toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	44
Şekil 4.16. Asit toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	44
Şekil 4.17. Nötr toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	47
Şekil 4.18. Nötr toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	47
Şekil 4.19. Nötr toprakta Zn2 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	48
Şekil 4.20. Nötr toprakta Zn3 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	48
Şekil 4.21. Nötr toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	49
Şekil 4.22. Nötr toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	50
Şekil 4.23. Nötr toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	50
Şekil 4.24. Nötr toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi.....	51
Şekil 4.25. Alkalin toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	53
Şekil 4.26. Alkalin toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	54
Şekil 4.27. Alkalin toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	54
Şekil 4.28. Alkalin toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	55
Şekil 4.29. Alkalin toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	56

Şekil 4.30. Alkalin toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	56
Şekil 4.31. Alkalin toprakta Zn2 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	57
Şekil 4.32. Alkalin toprakta Zn3 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	57
Şekil 4.33. Asit toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	60
Şekil 4.34. Asit toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	60
Şekil 4.35. Asit toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	61
Şekil 4.36. Asit toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	62
Şekil 4.37. Asit toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	62
Şekil 4.38. Asit toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	63
Şekil 4.39. Asit toprakta Zn2 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	63
Şekil 4.40. Asit toprakta Zn3 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	64
Şekil 4.41. Nötr toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	66
Şekil 4.42. Nötr toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	67
Şekil 4.43 Nötr toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	67
Şekil 4.44. Nötr toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	68
Şekil 4.45. Nötr toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	68
Şekil 4.46. Nötr toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	69

Şekil 4.47. Nötr toprakta Zn ₂ düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	69
Şekil 4.48. Nötr toprakta Zn ₃ düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	1995-2010 tarihleri arasında dünya tahıl üretimi miktarları.....	4
Çizelge 1.2.	1995-2020 tarihleri arasında dünya tahıl ekiliş alanları.....	4
Çizelge 1.3.	1995-2010 tarihleri arasında Türkiye’de tahıl üretimi miktarları.....	5
Çizelge 1.4.	1995-2010 tarihleri arasında Türkiye’de tahıl ekiliş alanları	5
Çizelge 2.1.	Bazı toksik metallerin yer kabuğundaki konsantrasyonları	8
Çizelge 2.2.	Bazı metallerin doğal toprak ve bitkideki toksik olabilecek konsantrasyonları	8
Çizelge 2.3.	Mısırdaki bitki besin maddelerinin kritik düzeyleri.....	12
Çizelge 2.4.	Değişik bitkilerin çinko noksanlığına karşı duyarlılıklarına göre gruplandırılması.....	12
Çizelge 3.1.	Toprak örneklerinin alındığı yerin konum ve koordinat bilgileri.....	20
Çizelge 3.2.	Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	21
Çizelge 3.3.	Saksılara ekilen mısır tohumu bilgileri.....	22
Çizelge 3.4.	Doz koduna göre verilen çinko miktarları (ppm).....	24
Çizelge 3.5.	Doz koduna göre verilen kadmiyum miktarları (ppm).....	24
Çizelge 4.1.	Çinko ve kadmiyum uygulanmış alkalın toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen kadmiyum miktarları (ppm).....	32
Çizelge 4.2.	Çinko ve kadmiyum uygulanmış alkalın toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları (ppm).	33
Çizelge 4.3.	Çinko ve kadmiyum uygulanmış asit toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen kadmiyum miktarları (ppm).....	39
Çizelge 4.4.	Çinko ve kadmiyum uygulanmış asit toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları (ppm).	39
Çizelge 4.5.	Çinko ve kadmiyum uygulanmış nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen kadmiyum miktarları (ppm).....	45
Çizelge 4.6.	Çinko ve kadmiyum uygulanmış nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları (ppm).	46
Çizelge 4.7.	Çinko ve kadmiyum uygulanmış alkalın toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen çinko miktarları (ppm).	52
Çizelge 4.8.	Çinko ve kadmiyum uygulanmış alkalın toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen çinko miktarları (ppm).	53

Çizelge 4.9. Çinko ve kadmiyum uygulanmış asit toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen çinko miktarları (ppm).	58
Çizelge 4.10. Çinko ve kadmiyum uygulanmış asit toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen çinko miktarları (ppm).	59
Çizelge 4.11. Çinko ve kadmiyum uygulanmış nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen çinko miktarları (ppm).	65
Çizelge 4.12. Çinko ve kadmiyum uygulanmış nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen çinko miktarları (ppm).	65

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji, insanoğlunu her geçen gün daha üstün koşullara taşıırken, pek çok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar çok farklı kategorilerde kendini gösterse de temel olarak havayı, suyu ve toprağı kirleterek bitkilerin, hayvanların ve insanların kısacası doğanın dinamiklerini direkt ve indirekt olarak etkilemektedir. Bu etkiler birbirini tetikleyerek daha fazla hissedilmektedir. Ağır metaller farklı kaynaklardan insana ulaşmakta ve çoğu zaman da insan hayatını ciddi bir şekilde tehdit etmektedir. Toprakta bitkiye, bitkiden de insana geçerek insan vücudunda özellikle kemiklerde birikerek ölümcül sonuçlara neden olabilmektedir.

Teknolojinin ve sanayinin gelişmesiyle birlikte doğa daha fazla kirlenmeyle karşı karşıya kalmaktadır. Aslında normal şartlarda doğada eser miktarlarda bulunan toksik metaller üretim sırasında yan ürün olarak çıkabildiğı gibi, direkt olarak üretilmiş ürünlerin doğaya bırakılmasıyla da toprakların belirli bölgelerinde yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedirler. Burada toksik metal ile kastedilen, canlı bünyesine girdiğinde zarar veren metallerdir. Endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan toksik metallere en sık karşılaşılanlar Civa (Hg), Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd) ve Berilyum (Be)'dur.

Metalik kirlenmelerde bileşikler, organik kirlenmelerde olduğu gibi kimyasal ve biyolojik parçalanma ile parçalanamaz, en fazla başka bir metal bileşiğine dönüşür fakat ne olursa olsun metal iyonu kaybolmaz (Gündüz 2004). Eğer bitkiye geçerse topraktan ayrılır ama metal iyonu olarak bitkiden insana geçerek toksik anlamda risk oluşturur. Toprağın ağır metallerle kirlenmesi ürünün miktarı ve kalitesi üzerine etki ederken, aynı zamanda gıda zinciri ile insan vücudundaki birikimi her geçen gün artmaktadır. (Guo ve ark. 2011).

Hayvan yemi olarak da kullanılan mısırdaki metal limitinin aşılması böbrek ve karaciğerde birikime neden olur (Koopmans ve ark. 2008). Özellikle nüfusu fazla veya gıda tüketimi yüksek olan ülkeler ile madenciliğin, metal endüstrisinin ve ağır metal açığı çıkaran endüstrilerin yoğun olduğu ülkelerde bu etkilerin çok daha fazla olması beklenebilir.

Toprak çözeltisindeki metallerin kimyasal formları elementin kendisi, pH ve diğer iyonların varlığıyla doğrudan ilgilidir. Ağır metal iyonlarının toksik etkisi enzimler

üzerindedir. Kadmiyum oldukça önemli bir kirleticidir, çünkü yüksek toksisitesi ve suda yüksek çözünürlüğü vardır. Kadmiyum doğada zaten bulunmaktadır ancak, genellikle klorür kompleksleri halindedir. Toprak çözeltisinde düşük ağırlıklı metal şelatları oluşur. Bu da serbest metal aktivitesini düşük tutar, fakat çözülebilir metal konsantrasyonunu artırır (Das ve ark. 1997).

Bitkilerin ağır metallere karşı gösterdikleri duyarlılık ağır metalin cinsine, konsantrasyonuna, bitkinin türüne göre değişebilmekle beraber toprak çözeltisindeki iyonların çeşidi ve konsantrasyonundan da etkilendiği bilinmektedir. Ancak bu etkiler, ikili karşılaştırmalar yapılarak saptandığında toprak çözeltisindeki iyon çeşidi dikkate alındığı zaman “çok bilinmeyenli bir denklem” ortaya çıkmakta ve gerçek anlamdaki etkileşimleri açıklamak zorlaşmaktadır.

Toprağa sıkı bir şekilde bağlanan kadmiyumun bütün bileşikleri zehirli olup havadan solunarak, kadmiyum bulaşmış yiyecek ve içeceklerin tüketilmesiyle ve sigaradan insan vücuduna alınır ve böbrek, akciğer ve karaciğer rahatsızlıkları, kemiklerde kırılma ve kansere neden olurlar (Tezcan ve Tezcan 2007). Ayrıca enzimlerde çinko yerine kadmiyum geçmesi zehirlenmelere yol açmakta, çinko kullanımı arttıkça çinkoda safsızlık olarak bulunan kadmiyumdan gelen zehirlenmeler artmaktadır (Petrucci ve ark. 2008). Yüksek Cd konsantrasyonlarının pek çok hayvanda kanserojen, mutajen ve teratojen etkileri vardır (Pal ve ark 2006).

Kadmiyum toksisitesi bitkide genellikle su ve besin elementlerinin alımı ve iletilmesi üzerinde değişiklik meydana getirir, klorofili bozarak fotosentezi, dolayısıyla bitkilerin büyümesini inhibe eder ve CO₂ fiksasyonunda rol oynayan enzimleri engeller, iyon metabolizmasını bozar ve serbest radikaller oluşturur (Cunha ve ark 2008, Pal ve ark 2006).

Kadmiyumun toprakta birikme nedenleri yağış gibi doğal prosesler olabileceği gibi, özellikle endüstriden kaynaklanan antropojenik nedenler de olabilir. Örneğin fosforlu gübrelemeden toprağa kadmiyum geçmektedir (Grant ve Sheppard 2008). Ayrıca madencilik, döküm işleri, endüstriyel atıklar ve lağım çamuru da kadmiyum kaynakları arasındadır (Pal ve ark. 2006, Sparks 2003).

Kadmiyumun toprağa ve dolayısıyla bitkiye, oradan da insana geçmesine engel olma yolları için farklı fikirler ortaya atılabilir. Bunlardan en etkili yol kadmiyum kaynağını engellemektir. Havaya daha az karışırsa, yağışlarla daha az yeryüzüne iner. Sulara az karışırsa havaya ve toprağa daha az metal ulaşmış olur. Toprakta süzülme ile de kadmiyum topraktan uzaklaşabilir ancak sulama ile diğer yararlı besin maddeleri de uzaklaşmış olur ve böylece toprağın kalitesi düşer ve yer altı sularına karışır, kadmiyum yine yok olmaz. Kadmiyumla kirlenmiş toprakta bitki yetiştiriliyorsa metal biriktirme kapasitesi düşük bitkiler seçilebilir ancak yine metal topraktan uzaklaşmış olmaz.

Kadmiyumun bitkiye geçişi çeşitli kimyasallar kullanılarak da azaltılabilir. Asit toprak kireçlenebilir. Diğer iyonların antagonist etkisinden faydalanarak metalin bitkiye geçmesi engellenebilir. Ancak topraktan yine de uzaklaşmamış olur. Ayrıca pH'ı düşürerek EDTA, HEDTA, DTPA gibi metali mobil hale getiren kimyasallar (şelatlar) kullanılabilir (Li ve ark. 2009), ancak bu yöntem yer altı sularının kirlenmesine sebep olabilir. Ayrıca toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bozulmasına sebep olabilirler.

Yapılan çalışmalarda, fiziksel ve kimyasal özellikleri benzer elementlerin birbirine antagonist olduğu, aynı taşıma ve birikme yüzeyleri için yarıştıkları, birbirlerinin enzimatik proteinlerinde yer değiştirdikleri belirtilmektedir (Das ve ark. 1997). Kadmiyumla karşılıklı etkileşimleri incelenen bir element de kimyasal benzerlikleri nedeniyle çinkodur. Çinko, ağır metal olmakla birlikte bitkiler için ihtiyaç duyulan bir elementtir. Çinko eksikliğinden en çok etkilenen bitkilerden biri mısırdır.

Mısır insan beslenmesinin yanı sıra hayvan beslenmesinde de kullanıldığından dolayı topraktan mısıra geçen ağır metaller hem direkt olarak mısırın beslenme programına girmesi ile hem de mısır ile beslenen hayvanların et, süt ve yumurtasının tüketilmesiyle insana ulaşır. Bu sebeple, kısa ve uzun vadede insan sağlığında ne ölçüde olumsuz etkileri olduğu ilerleyen yıllarda çok daha net ortaya çıkacaktır.

Buğdaygiller familyasından olan mısır (*Zea mays L.*) haşlanmış mısır, patlamış mısır, mısır unu ve mısır cipsi olarak insan beslenmesinde, hayvan yemi olarak ve sanayinin değişik kollarında hammadde olarak kullanılabilmesinden dolayı, pek çok ülkenin tarımsal üretiminde bulunmaktadır. Dünyada üretilen mısırların yaklaşık % 90' ı insan beslenmesinde ve hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Bunun % 65-70'i hayvan yemi olarak, % 20'si ise direkt olarak

insanlar tarafından tüketilmektedir. Geri kalan % 8-10' luk kısım sanayide un, yağ, nişasta, tatlandırıcılar gibi ürünler olarak değerlendirilmektedir (Babaoğlu 2005).

Mısır, dünya tahıl üretiminde 844 milyon ton ile ilk sırada, ekiliş alanı sıralamasında ise yaklaşık 162 milyon ha ile buğdaydan sonra ikinci sırada bulunmaktadır (FAO 2012). Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi 1995 yılında dünya tahıl üretiminde çeltik ve buğdaydan sonra üçüncü sıradayken 2010 yılında ilk sıraya yerleşmiştir. Ekiliş alanında da 1995'te üçüncü sıradayken 2010'da çeltiğin önüne geçerek buğdaydan sonra ikinci sırada yer almıştır (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.1. 1995-2010 tarihleri arasında dünya tahıl üretimi miktarları (FAO 2012)

Tahıl	Üretim Miktarları (ton)				
	1995	2000	2005	2009	2010
Arpa	140,952,737	133,115,053	138,664,673	151,823,830	123,695,392
Mısır	517,329,315	592,479,279	713,609,226	819,702,399	844,358,253
Darı	25,671,470	27,668,799	30,962,346	26,706,849	29,171,819
Yulaf	28,854,662	26,098,624	23,698,236	23,235,156	19,600,935
Çeltik	547,430,500	599,355,455	634,392,234	684,779,898	672,021,180
Çavdar	23,223,183	20,116,046	15,152,553	18,242,514	12,328,178
Buğday	542,603,801	585,690,370	626,867,703	686,956,562	651,397,902

Çizelge 1.2. 1995-2010 tarihleri arasında dünya tahıl ekiliş alanları (FAO 2012)

Tahıl	Ekiliş Alanları (ha)				
	1995	2000	2005	2009	2010
Arpa	68,133,356	54,514,925	55,356,309	54,249,341	47,536,419
Mısır	136,167,096	137,004,734	147,471,782	158,842,402	161,821,251
Darı	35,931,575	37,100,597	35,484,027	33,697,551	35,127,976
Yulaf	17,390,500	12,675,527	11,268,129	10,198,022	9,054,772
Çeltik	149,594,221	154,059,904	154,944,442	158,377,654	153,650,582
Çavdar	10,754,355	9,817,432	6,802,822	6,598,816	5,327,467
Buğday	216,162,481	215,436,907	219,742,875	224,844,971	216,775,462

Türkiye’de ise üretim bakımından 1995’te buğday (18 milyon ton) ve arpadan (7,5 milyon ton) sonra üçüncü sırada yer alan mısır (1,9 milyon ton) 2010’da da yine buğday (20 milyon ton) ve arpadan (7,2 milyon ton) sonra üçüncü sıradaki yerini korumuş, ancak üretimi artarak 4,3 milyon tona çıkmıştır (Çizelge 1.3). Ekiliş alanı bakımından Türkiye’de sıralaması 1995 yılından 2010 yılına kadar değişmeyen mısır, buğday ve arpadan sonra 1995’te 515 bin ha ve 2010’de 593 bin ha ekiliş alanı ile üçüncü sıradaki yerini korumuştur (Çizelge 1.4).

Çizelge 1.3. 1995-2010 tarihleri arasında Türkiye’de tahıl üretimi miktarları (FAO 2012)

Tahıl	Üretim Miktarları (ton)				
	1995	2000	2005	2009	2010
Arpa	7,500,000	8,000,000	9,500,000	7,300,000	7,240,000
Mısır	1,900,000	2,300,000	4,200,000	4,250,000	4,310,000
Darı	6,000	5,300	7,200	7,171	6,772
Yulaf	250,000	314,000	270,000	218,286	203,870
Çeltik	200,000	350,000	600,000	750,000	860,000
Çavdar	240,000	260,000	270,000	343,330	365,560
Buğday	18,015,000	21,008,600	21,500,000	20,600,000	19,660,000

Çizelge 1.4. 1995-2010 tarihleri arasında Türkiye’de tahıl ekiliş alanları (FAO 2012)

Tahıl	Ekiliş Alanları (ha)				
	1995	2000	2005	2009	2010
Arpa	3,525,000	3,629,000	3,650,000	2,977,330	2,999,800
Mısır	515,000	555,000	600,000	591,279	593,552
Darı	4,100	3,000	3,600	3,280	2,933
Yulaf	148,000	153,600	130,000	92,684	87,639
Çeltik	50,000	58,000	85,000	96,441	98,966
Çavdar	146,000	147,000	130,000	138,488	140,905
Buğday	9,400,000	9,400,000	9,250,000	8,026,900	8,053,670

Sulanabilir alanların artmasına bağlı olarak son yıllarda mısır üretiminde artışlar görölmesi son derece doğaldır. FAO'nun 2010 yılına ait verilerine göre dünya mısır üretimi 844,358,253 ton olup, Türkiye'de ise 4,310,000 ton olduğu bildirilmiştir. Ülkemize ait bu değerler, dünya ekiliş ve üretim rakamları ile kıyaslandığında, Türkiye'nin dünya mısır tarımında üretim miktarı açısından % 0.5'lik bir paya sahip olduğu görölmektedir (Çizelge 1.1, Çizelge 1.3).

Bu çalışmanın amacı, Tekirdağ ili sınırları içindeki üç farklı yerden alınmış ve farklı pH değerlerine sahip topraklara uygulanan çinko ve kadmiyum elementlerinin, bu topraklarda sera koşullarında yetiştirilen mısır (*Zea mays L.*) bitkisinin sap ve köklerinde biriken çinko ile kadmiyum miktarlarını tespit etmek ve çinko ile kadmiyum elementlerinin bitkide birbirinin alımına etkisini araştırmaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Çinko ve Kadmiyum Elementlerinin Bazı Özellikleri

Kadmiyum periyodik tabloda 5. periyot, 2B gurubunda yer alan hegzagonal kristal kafes sistemine sahip, gümüş gri renkte, atom numarası 48, atom ağırlığı $112,411 \text{ g mol}^{-1}$ olan bir elementtir. Elektron konfigürasyonu $[\text{Kr}] 4d^{10}5s^2$ şeklinde olup (+2) yükseltgenme basamağına sahiptir (Petrucci ve ark. 2008).

Kadmiyum doğada tek başına bulunmayıp çinko mineralleri yanında bulunur. Çinko elde edilirken kadmiyum da elde edilir. Çinko minerallerinde %1 kadmiyum karbonat ve kadmiyum sülfür şeklinde safsızlık olarak bulunur. Günlük hayatta kadmiyumla en çok karşılaşılan ürünlerden biri de cep telefonlarında kullanılan Ni-Cd pilleri olup, bünyelerinde ortalama %15 oranında kadmiyum içerdiklerinden dolayı atık pillerin özellikle toprağa gömülmesinden kaçınılmalıdır (Tezcan ve Tezcan 2007).

Çinko periyodik tabloda 4. periyot, 2B gurubunda yer alan hegzagonal kristal kafes sistemine sahip, mavimsi açık gri renkte, atom numarası 30, atom ağırlığı $65,39 \text{ g mol}^{-1}$ olan bir elementtir. Elektron konfigürasyonu $[\text{Ar}] 3d^{10}4s^2$ şeklinde olup, (+2) yükseltgenme basamağına sahiptir (Petrucci ve ark. 2008).

Çinko doğada mineralleri halinde bulunmaktadır ve en önemli çinko mineralleri Sfalerit (ZnS), Smitsonit (ZnCO_3) ve Kalamın ($\text{Zn}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)'dir (Kacar ve İnal 2008). Çinko, daha elektropozitif elementlerin paslanmasını önlemek için metal kaplamasında çokça kullanılmasının yanı sıra boya, ilaç sanayi ile alaşım üretiminde de kullanılmaktadır (Tezcan ve Tezcan 2007).

Kimyasal açıdan benzerlikler gösteren kadmiyum ve çinko 12. grupta yer alırlar ve madenlerde birlikte bulunurlar (Das ve ark. 1997). Her iki elementin de erime ve kaynama noktaları diğer geçiş metallerine göre düşüktür. Elektron konfigürasyonlarındaki benzerlik nedeniyle iki metalin de yükseltgenme basamakları (+2)'dir ve bu sebeple aynı element veya bileşiklerle benzer özelliklere sahip yeni bileşikler oluştururlar. Yapmış oldukları klorür (ZnCl_2 ve CdCl_2) ve sülfat bileşikleri (ZnSO_4 ve CdSO_4) suda çözünür özelliktedirler (Ebbing

1996). Kovalent bağ yapma eğilimleri dikkate alındığında kadmiyumun çinkodan daha fazla tutulması beklenmektedir. Örneğin, $Zn(H_2O)_6^{2+}$ iyonları $Cd(H_2O)_6^{2+}$ iyonlarından daha zayıf tutulduğu, çinkonun kadmiyumdan daha mobil durumda olduğu belirtilmiştir (Warwick ve ark. 1999).

2.2. Toprakta Çinko ve Kadmiyum

Normal şartlarda doğada eser miktarlarda bulunan toksik metaller, direkt olarak veya dolaylı yollardan doğaya bırakılmasıyla toprakların belirli bölgelerinde yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedirler (Gündüz 2004). Metallerin konsantrasyonları belirli bir düzeyi geçtiğinde toksik etkileri gözlemlenmektedir. Bazı toksik metallerin yer kabuğundaki konsantrasyonları Çizelge 2.1’de verilmiştir. Çizelge 2.2’de ise bazı metallerin toprak ve bitkideki toksik olabilecek konsantrasyonları mevcuttur.

Çizelge 2.1. Bazı toksik metallerin yer kabuğundaki konsantrasyonları (Gündüz 2004)

Metal	Konsantrasyon (ppm)
Civa	0,08
Kurşun	12,5
Kadmiyum	0,2
Berilyum	2,8

Çizelge 2.2. Bazı metallerin doğal toprak ve bitkideki toksik olabilecek konsantrasyonları (Sağlam 2001)

Metal	Topraktaki kritik değer (ppm)	Toprak çözeltisi (mg.l⁻¹)	Bitki değişim aralığı (ppm)
Civa	0,05	0,001	-
Kurşun	10	0,001	0,1-10
Kadmiyum	0,06	0,001	0,2-0,8
Berilyum	1	0,001	-

Topraktaki hem toplam kadmiyum hem de yarıyıllı kadmiyum dikkate alınmalıdır. Sadece toprak çözeltisindeki Cd^{2+} değil topraktaki Cd çözünürlüğü ve mobilitesi ile tutunma

ve çökme mekanizmaları da kontrol edilmelidir. Kadmiyumun yararı başta pH olmak üzere pek çok faktöre bağlıdır. Kadmiyumun çözünürlük dengesine pH etkisi çok büyük olmakla birlikte toprak organik maddesi de bir başka bağımsız değişkendir. Kadmiyumun denge sabiti, toprağın yüksek organik madde içeriğine bağlı olarak artmaktadır. Toprak organik maddesi, KDK değerini etkilerken pH ise kil mineralleri, oksitler ve organik madde ile yakından ilgilidir. Toprağın düşük pH değerinde kadmiyumun denge sabiti daha yüksektir. Kireçleme ile kadmiyumun yararı düşürülebilir (Grant ve Sheppard 2008).

Kadmiyum kaynağı olarak fosforlu gübrelerle ilgili Köleli ve Kantar (2005)'in yapmış oldukları bir çalışmada fosfat kayası, fosforik asit ve fosforlu gübrelerdeki kadmiyum oranları incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, tarım topraklarında verimi arttırmak amacıyla tüketilen DAP, TSP ve kompoze gübrelerin özellikle kadmiyum içeriği oldukça yüksek bulunmuştur. Türkiye'de üretilen gübrelerin yaklaşık %87'sinde 8 mg/kg gübre sınır değerine yakın ya da 2-5 kat üzerinde olduğunu, bu durumun Türkiye'de gübre tüketiminin yoğun olduğu tarım topraklarımızın kirlendiğinin ya da gelecekte kirlenme olasılığına sahip olduğunun göstergesi olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle gübre ile ilgili yasal düzenlemelere ve kontrol sistemine acil ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir.

Fosforlu gübrelemeden gelen kadmiyumun yanı sıra, fosforlu gübrenin kadmiyum alımı üzerine etkisi, toprağın pH, iyonik kuvvet, çinko konsantrasyonu, rizosfer kimyası, mikrobiyal aktivite ve bitki gelişimi ile de ilişkilidir (Grant ve Sheppard 2008).

Kadmiyumun topraktan uzaklaştırılması için çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmı fitoremediasyon yani kirlenmiş çevrenin toksinlerden arındırılması için yeşil bitkilerin kullanılması üzerinedir. Bunun yanı sıra, yüksek biyokütlede bitkileri hiperakümülatör haline getirmek için metal alımını arttıran şelatlar eklenmekte ve en çok da EDTA kullanılmaktadır. EDTA, toksik metalleri mobil hale getirir, dolayısıyla kadmiyumun mobilitesi artar, ancak yer altı suyu kirlenmiş olur (Kirkham 2006).

Çinkonun büyük bir kısmı toprakta adsorbe edilmiş olduğundan toprak çözeltisindeki çinko miktarı çok düşüktür ve bu sebeple kitle akımı ile çinkonun kök etki alanına taşınması da çok azdır. Yapay olarak kirlenmemiş toprak çözeltisinde çinko miktarı Barber (1995) tarafından belirtildiğine göre 3×10^{-8} ile 5×10^{-7} M arasındadır (Kacar ve Katkat, 2007).

Kacar ve İnal (2008) bitkilerin çinko alımını etkileyen etmenlerin iki ana grupta toplandığını belirtmişlerdir. Biri bitki etmenleri, diğeri toprak etmenleridir. Toprak etmenleri de pH ve kireçleme, kil mineralleri, diğeri iyonlar, gübreler, iklim faktörleri, organik madde ve mikroorganizmaları barındırmaktadır.

Toprak sıcaklığıyla ilgili olarak bitkilerde çinko alımının arttığı, çinko alımı üzerine toprakta bulunan diğeri bitki besin elementlerinin önemli derecede etki ettikleri saptanmıştır. Ayrıca, fosforlu gübre uygulamasının fazla yapıldığı durumda, çinko fosfat bileşiği şeklinde çökeceğinden çinko bakımından düşük içerikli topraklarda bitkinin çinko alımı azalmakta ve bitkide çinko noksanlığı görülmektedir (Kacar ve Katkat 2007).

Siltli tın tekstüründe asidik toprakta Cd, Pb ve Zn elementlerinin çözülmüş formları ve kolloidal taşınmasının incelendiği bir çalışmada, çinko konsantrasyonunun toprak çözeltisinin pH veya toplam organik karbon ile ilişkili olmadığı fakat kadmiyum konsantrasyonu ile ilişkili olduğu bulunmuş, çinko ve kadmiyumun kolloidal formunun oranının yaklaşık % 5, kurşunun ise % 50 olduğu bildirilmiştir (Denaix ve ark. 2001).

Cancela ve ark. (2005) nötr topraklarda yapmış oldukları çalışmada toplam ve ekstrakte edilebilir nikel ve kadmiyumu incelemişlerdir. Toplam ve ekstrakte edilebilir nikel ve kadmiyum ile genel toprak özellikleri arasındaki korelasyon analizine göre DTPA yöntemi ile ölçülen kadmiyum ile toprakların organik madde içeriği ve katyon değişim kapasiteleri arasında önemli bir ilişki vardır. EPA yöntemi ile ölçülen toplam kadmiyum ve nikel ile kil içeriği arasında önemli bir korelasyon olduğu saptanmıştır. Bu ilişkinin kil fraksiyonunun değişebilir geçiş metali katyonlarını bulundurmasından ve izomorfik yer değiştirme oluşturmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir. Ayrıca, yarayışlı kadmiyumun organik madde fraksiyonu ile ilişkilendirildiği, yarayışlı nikelin ise kil içeriği tarafından kontrol edildiği belirtilmiştir.

Asit toprakta Apel ve ark. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, kurşun ve kadmiyumun toprakta tutunma mekanizması incelenmiştir. Ayrıca, toprakta elementlerin bağlanma yerlerinin metale özgü olup olmadığının tespiti ve metallerin bağlanma yerleri için nasıl yarıştığının tespiti amaçlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre kurşun kadmiyumdan daha az değişebilir ve kurşun kadmiyumun bağlanmasını inhibe etmektedir. Kadmiyumun kurşun üzerindeki etkisinin ise az olduğu bildirilmiştir.

2.3. Mısır Bitkisinin Bazı Özellikleri

Mısır, tanesi insan ve hayvan beslenmesinde kullanılan tek yıllık bir bitkidir (Sağlam 2005). Kökleri 60-80 cm yanlara, 2-2,5 m derinliğe yayılabilirken sapları ise 1,5-2,5 m uzunluğa sahiptir ve her bitkide boyu 15-30 cm arasında değişen 1-3 koçan bulunup, her bir koçanda 500-1000 tohum oluşabilmektedir (Korkut 1992).

Geniş bir uyum yeteneğine sahip mısır, 58° kuzey ve 40° güney enlemleri arasında yer alan tropik, subtropik ve ılıman iklim kuşaklarına sahip yerlerde rahatlıkla yetiştirilebilen tek yıllık kısa gün bitkisidir (Babaoğlu 2005).

Mısır, sıcak iklim bitkisi olduğundan ortalama yaz sıcaklığı 19°C'den az ve yaz ayları süresince ortalama gece sıcaklığı 13°C'nin altındaki yerlerde mısır tarımı yapılması uygun olmamaktadır. Ortalama günlük sıcaklığı 20°C'yi aştığında ise mısır gelişimi hızlanır. Mısır yetiştirme dönemi ilkbahar son öldürücü donları ile sonbahar ilk öldürücü donları arasındadır ve minimum çimlenme sıcaklığı 8-10°C, uygun büyüme sıcaklığı 20-32°C arasındadır (Korkut 1992).

Babaoğlu (2005) mısırın ülkemizin hemen hemen her bölgesinde yetiştirilebilmesine karşın, en çok Karadeniz Bölgesi'nde yoğunlaştığını, ülkemiz toplam mısır alanlarının yaklaşık % 60-65'ine sahip olduğunu, ancak bu yöremizde ortalama verimin 220-230 kg/da olduğunu, bu nedenle ancak üretimimizin % 20'sini karşılayabildiğini belirtmektedir.

Babaoğlu (2005) Akdeniz Bölgesinde, toplam mısır üretimimizin % 45'ini sağladığını, Trakya'nın da yer aldığı Marmara Bölgesinin toplam mısır üretimimizin yaklaşık % 20'sini sağladığını ve mısır ekim alanları yıldan yıla değişmekle beraber, Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, Çanakkale (Gelibolu ve Lapseki) ve İstanbul (Çatalca ve Silivri) illerinin toplam mısır ekim alanları 6.000-7.500 ha arasında değişirken, toplam üretim 35,000-45,000 ton civarında gerçekleştiğini bildirmiştir.

Gübreleme yapılmadan önce mutlaka toprak analizleri yapılmalı, bitkinin ihtiyaç duyduğu besin elementlerini sağlayacak şekilde gübreleme yapılmalıdır. Uygulanacak gübre dozunun belirlenmesinde ise toprağın önceki verimi, ürün potansiyeli, önceki bitki, pH,

uygulama zamanı ve uygulama biçimi gibi faktörler dikkate alınmalıdır (Sağlam 2005). Mısırdaki bitki besin maddelerinin kritik düzeyleri Çizelge 2.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Mısırdaki (tüm bitki, 30 cm'den kısa) bitki besin maddelerinin kritik düzeyleri (Alpaslan ve ark. 2005)

Makro Element	%			Mikro Element	ppm		
	Noksan	Yeterli	Fazla		Noksan	Yeterli	Fazla
N	<3,5	3,5-5,0	>5,0	B	<5,0	5,0-25	>25
P	<0,3	0,3-0,5	>0,5	Cu	<5,0	5,0-20	>20
K	<2,5	2,5-4,0	>4,0	Fe	<50,0	50,0-250	>250
Ca	<0,3	0,3-0,7	>0,7	Mn	<20,0	20,0-300	>300
Mg	<0,15	0,15-0,45	>0,45	Mo	<0,1	0,1-10	>10
S	<0,15	0,15-0,5	>0,5	Zn	<20	20-60	>60

Mısırdaki en fazla görülen mikro element eksikliği Zn, Fe ve Mn elementleri olup eksiklikleri yüksek pH değerlerinde görülmektedir (Sağlam, 2005). Kacar ve İnal (2008) tarafından bildirildiğine göre çinkonun mısır bitkisinin gelişimi için gerekli olduğu ilk olarak Mazé (1919) tarafından belirtilmiştir. Kacar ve Katkat (2007) çinko sülfatın diğerlerine göre daha ucuz, çözünürlüğü yüksek ve kolay bulunur olması sebebiyle yaygın şekilde kullanıldığını bildirmiştir. Mısır bitkisinin çinko noksanlığına duyarlılığı Çizelge 2.4'te yer almaktadır.

Çizelge 2.4. Değişik bitkilerin çinko noksanlığına karşı duyarlılıklarına göre gruplandırılması (Kacar ve Katkat 2007)

Bitki Türü	Duyarlılık		
	Çok duyarlı	Orta derecede duyarlı	Dayanıklı
Mısır	Sorgun	Yonca	
Bakla	Üçgül	Arpa	
Çeltik	Patates	Yulaf	
	Yem bitkileri	Darı	
	Soya fasulyesi	Çavdar	
	Şeker pancarı	Buğday	
	Yonca	Çayır bitkileri	

Kacar ve Kakat (2007) çinko noksanlığının aşırı derecede dağılıp parçalanmış asit topraklarla, kireçli alkalın topraklarda yetişen bitkilerde yaygın bir şekilde görüldüğünü ve çinko noksanlığının en belirgin görüntüsünün bodur büyüme olduğunu, ayrıca yapraklarda damarlar arası açık yeşil, sarı ve hatta beyaz kısımlar olduğunu ve kök büyümesine göre toprak üstü organlarında büyüme azalmasını daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

2.4. Mısır Bitkisinde Çinko ve Kadmiyum

Sanayinin yoğun olduğu yerleşim yerlerinde kadmiyum kirlenmesine sıkça rastlanmaktadır. Bu durum ağır metallere kirlenmiş tarım topraklarında yetişen bitkileri de olumsuz olarak etkilemektedir. Kadmiyum toksisitesinin semptomları genellikle bodur gelişme ve klorozdur. Kloroz Fe:Zn oranının değişmesinden kaynaklanabilir. Yapılan çalışmalarda kadmiyumun pek çok bitki türünde ATP (Adenozin trifosfat) ve klorofili azalttığı bildirilmektedir (Das ve ark. 1997).

Çinko ile kadmiyumun rekabet halinde oldukları, birbirlerinin alımını etkiledikleri yapılan çeşitli saksı denemelerinde ortaya konulmuştur. Çinko ve kadmiyumun kimyasal benzerliklerinden dolayı rekabet içinde olduklarından dolayı aralarında bir antagonizm bulunduğu belirtilmektedir. Eğer toprakta çinko içeriği düşükse, bitkilerin genellikle daha fazla kadmiyum aldıkları, besin çözeltisinde iki iyon da eşit ama yüksek konsantrasyondaysa çinko alımı kadmiyum alımının yaklaşık iki katı olduğu belirtilmektedir (Kirkham 2006).

Kacar ve Katkat (2007) bitkilerin çinkoyu iki değerlikli Zn^{2+} iyonu şeklinde yani ancak çözülmüş şekilde aldığını ve Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} ve Mn^{2+} 'dan farklı olarak bitkide kimyasal değerlik değişimine uğramadığını ve Zn (II) olarak işlevini sürdürdüğünü bildirmişlerdir.

Çinko alımı yönünden bitkiler arasında önemli farklar vardır. Mısır bitkisi yarayıklı çinkonun %60'ını alırken domates bitkisi yalnızca %30'unu almaktadır. Toprak pH'sı 5,5 ile 7,0 arasında her bir birim değiştiğinde, denge çözeltisindeki çinko konsantrasyonunun 30-45 kez azaldığı, benzer şekilde çinkonun difüzyon katsayısının asit topraklara göre kireçli topraklarda 50 kat daha az olduğu ve El-Kherbawy ve ark. (1989) tarafından kireçleme sonucu asit topraklarda bitkilerin çinko alımının hızla azaldığı bildirilmiş, toprak organik

maddesinin ise çinkonun difüzyon oranının artmasına ve çinkonun bitkiler tarafından daha fazla alınmasına neden olduğu Sharma ve Deb (1988) tarafından belirtilmiştir (Kacar ve Katkat 2007).

Nan ve ark. (2002) tarafından tarla koşullarında kadmiyum ile çinko etkileşiminin ve toprak-ürün sistemindeki transferlerinin araştırıldığı bir çalışmada, alkalın kireçli toprakta buğday ve mısır seçilmiştir. İki metalin topraktan bitkiye geçiş oranının bağıl olarak düşük olduğu, kadmiyumun transfer oranının çinkodan düşük olduğu ve iki metalin de tüm bölgelerde kökte daha fazla olduğu bildirilmiştir. Tarla koşullarında iki bitkide de kadmiyum ve çinkonun birbirine sinerjik etki yaptığı, toprakların kadmiyum ve çinko içerikleri arttıkça her iki bitkide de kadmiyum ve çinko birikiminin artacağı sonucuna varılmıştır.

Çinko eksikliği olan toprakta Adiloğlu (2002) tarafından yapılan saksı denemesinde, bazı tahıl türlerinde çinko uygulamasının kadmiyum alımı üzerine etkileri incelenmiş ve artan dozda uygulanan kadmiyumun kuru madde miktarını ve çinko konsantrasyonunu azalttığı, çinko uygulamasının denemedeki tüm tahıllardaki kadmiyum konsantrasyonunu azalttığı ancak kuru madde miktarını arttırdığı bildirilmiştir.

Souza ve Rauser (2003)'ün turp ve mısırın Cd, Zn ve Cd+Zn fazlalığındaki reaksiyonlarının karşılaştırılması için yaptıkları saksı denemesinde Cd ve Zn fazla miktarlarda ve sülfat tuzları olarak verilmiştir. Deneme sonunda turp bitkisinin mısıra göre çinko fazlalığına daha hassas olduğu belirlenmiş, ayrıca çinkonun kökte Cd konsantrasyonunu biraz arttırdığı, Zn+Cd uygulamasının Cd konsantrasyonunu kadmiyumun tek başına verilmesinden daha az arttırdığı, sürgünlerde Zn uygulamasının Cd konsantrasyonunu etkilemediği ancak Zn+Cd uygulamasının Cd konsantrasyonunu kadmiyumun tek başına verilmesinden daha az arttırdığı saptanmıştır.

Mısır tohumlarında fazla kadmiyum ve çinko iyonlarının kök ve sap gelişimine etkisini inceleyen Souza ve ark. (2005), bitki besin elementi çözeltilisine ekledikleri 1 mM ZnSO₄ veya CdCl₂ neticesinde kadmiyumun sap ve kök gelişimini olumsuz yönde etkilediği, çinkonun önemli bir engellemeye neden olmadığı ve kadmiyumun çinkoya göre mısır bitkisine daha toksik olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Adiloğlu ve ark. (2005)'nın pH değeri 7,10 olan killi tekstüre sahip kireçli toprakta mısır bitkisinin Zn ve Cd konsantrasyonları ve kuru madde üzerinde, artan dozlardaki Zn ve Cd uygulamasının etkilerini incelemek üzerine yapmış olduğu saksı denemesinde, Zn iki doz (0 ve 10 ppm) ve Cd üç doz (0, 10 ve 20 ppm) olmak üzere $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ve $CdSO_4 \cdot 8H_2O$ şeklinde verilmiştir. Deneme sonuçlarına göre artan oranlarda Cd eklendiğinde bitkide Zn konsantrasyon azaldığı, ancak Zn uygulamasının Cd konsantrasyonunu arttırdığı belirlenmiş, ayrıca bitkiye yeterli derecede Zn uygulandığında artan Cd konsantrasyonunun Zn konsantrasyonuna etki etmediğı belirtilmiştir. Kadmiyum toksitesinin Zn eksikliğine maruz kalan bitkide daha ciddi olduğu sonucuna varılmıştır.

Shen ve ark. (2006) düşük yarayışlı fosfora sahip kireçli topraktan mısır bitkisinin çinko, kadmiyum ve fosfor alımını inceledikleri çok faktörlü saksı denemesinde üç doz Zn (0, 300 ve 900 ppm), üç doz da Cd (0, 25, 100 ppm) uygulamışlar, çinko olarak $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, kadmiyum olarak da $CdSO_4 \cdot 8H_2O$ verdikten sonra iki hafta dengeye gelmesi için bırakmışlardır. Daha sonra her saksıya üç tohum ekmişlerdir. Kullanılan toprak kumlu olup pH değeri 8 olarak belirtilmiştir. Kök ve sürgünlerinin ayrı ayrı analizi sonucu çinko alımının hem kökte hem de sürgünde artan kadmiyum miktarı ile azaldığı, ancak Zn fazla miktarda verildiğinde (900 ppm) bu durumun geçerli olmadığı belirtilmektedir. Cd alımının ise kökte ve sürgünde artan Zn miktarı ile arttığı bildirilmiş, daha asit koşullarda Zn ve Cd toksitesinin daha artabileceğini belirtmişlerdir.

Kireçli, pH derecesi 6,8 olan bir toprakta yapılan bir saksı denemesinde Zhang ve Song (2006) iki farklı mısırdaki (Jidan 209 ve Changdan 374) üç farklı Zn gübresinin ($Zn(NO_3)_2$, $ZnCl_2$, $ZnSO_4$), Cd konsantrasyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, çinkoyu 0, 80, 160 ve 240 ppm olmak üzere dört farklı dozda vermişler ve hepsine 10 ppm $Cd(NO_3)_2$ eklemişlerdir. 35 günün ardından yapılan hasat sonucu tüm Zn gübreleri eklenmeleri sonucu sürgündeki kadmiyum konsantrasyonlarını düşürdüğü belirlenmiştir. En fazla Cd konsantrasyonu Jidan 209 için ($ZnSO_4$) ile yapılan gübrelemede bulunmuş, en fazla Cd konsantrasyonu düşüşü ise $Zn(NO_3)_2$ ile sağlanmıştır. Changdan 374 mısır çeşidi için $ZnCl_2$ ile yapılan gübrelemede Cd konsantrasyonu daha yüksek bulunmuştur. Köklerde Cd konsantrasyonu en az $ZnCl_2$ 'de en çok $ZnSO_4$ 'ta bulunmuştur. Çinko uygulamasının bitkide genelde Cd alımı ve birikimini engellediğı ancak bu etkilerinin her zaman tutarlı olmadığını bildirmişler, düşük dozda Cd ve Zn iyonlarının kolloidin tüm negatif

bölgelerini doldurmaması sebebiyle çinkonun düşük dozlarının kadmiyum alımını azalttığını belirtmişlerdir.

Wang ve ark. (2007) farklı konsantrasyonlardaki kadmiyumun mısır gelişimine ve metal alımına etkisini araştırdıkları saksı denemesinde 2 farklı çeşit tohum (Liyu No.6 ve Nongda No.108) kullanmışlar, 10^{-4} M, 10^{-5} M ve 10^{-6} M dozlarını uygulayarak $CdCl_2 \cdot 2,5H_2O$ vermişler ve kök ile sürgünleri ayrı ayrı incelemişlerdir. Kadmiyumun kök gelişimi üzerindeki etkisi tohum cinsine, Cd konsantrasyonuna ve zamana bağlı olarak çok farklı sonuçlar ortaya çıkarmış olup 10 gün sonunda 10^{-4} M Cd uygulananda kök gelişimi engellenmiş, ayrıca Cd daha çok köklerde biriktiği belirlenmiştir. Çinko alımı artan Cd konsantrasyonu ile önemli derecede arttığı saptanmıştır. Artan Cd dozları ile 15 günde kökteki Zn oranı azalırken sürgünde artmıştır. Wang ve ark. (2007) Cd:Zn oranı ve kadmiyum ve çinkonun birbirine inhibitör etkisinin cevaplandırılmayı beklediğini belirtmişlerdir.

Guo ve ark. (2011)'nin çinko ve kadmiyumla kirlenmiş asit toprakta yapmış oldukları bir tarla denemesinde, kimyasal fiksasyon ile iyileşme yapılmasının mısır tanelerindeki kadmiyum ve çinko birikimine etkisi incelenmiş, kireçleme, silika ekleme ve diatomit ekleme gibi bazı uygulamalar yapılmış ve bu kimyasalların kadmiyum ve çinko birikimine etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre kireçleme ile çinko ve kadmiyum konsantrasyonlarının düştüğü ancak silika ve diatomit uygulamalarında çinko ve kadmiyumun kontrol grubuyla aralarında önemli bir fark göstermediği, kireçlemenin mısırın kök absorpsiyon prosesinde kadmiyumun bitki alımında Ca^{2+} iyonu ile rekabetini arttırmasına neden olabileceği bildirilmiştir.

Özgüven ve Katkat (2001)'in çinkonun mısır bitkisinin verimi ve çinko alımı üzerine etkisini araştırdıkları saksı denemesinde, topraklara 0, 2,5, 5 ve 10 ppm çinko $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ şeklinde verilmiş ve araştırma sonuçlarına göre farklı düzeylerde uygulanan çinko miktarlarına bağlı olarak mısır bitkisinin kuru madde miktarı, çinko içeriği ve topraktan kaldırılan çinko miktarlarında kontrole oranla önemli artışlar olduğu belirlenmiştir.

Bellitürk ve Sözübek(2009) pH değeri 7,16 ve 6,25 olan çinko bakımından yetersiz iki farklı toprakta artan dozda çinko uygulamasının mısırın kuru madde ve çinko içeriğine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, artan dozda çinko uygulamasının mısır bitkisinin kuru madde ve çinko içeriğini arttırdığı, en çok artışın uygulanan en yüksek doz olan 20 ppm çinko

ile sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır. 20 ppm çinko uygulanmasıyla mısırın çinko içeriği % 292,73 ile % 270,48 oranında artarak 32,2 ve 28,4 ppm'e çıkmıştır.

Kireçli alkalın toprakta arbuskular mikoriza mantarlı mısırın kadmiyum alımını inceleyen Chen ve ark. (2004) saksı denemesi ile toprağa farklı dozlarda kadmiyum (0, 25 ve 100 ppm) ve fosfor (20 ve 60 ppm) eklemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, ne kadmiyum ne de fosfor eklemenin mantarın kök kolonileşmesini inhibe etmemiştir. Fakat kadmiyumun hem saplardaki, hem de köklerdeki biyokütlesini azalttığı görülmüştür. Mikorizal kolonileşme, fosfor ekleme ve artan dozlarda eklenen kadmiyum, kadmiyumun saplarda daha az yerleşmesine neden olmuşlardır.

Liang ve ark. (2005) tarafından asit toprakta yapılan bir saksı denemesinde mısırın kadmiyum toleransı üzerinde silisyumun etkisi incelenmiş, 0 ppm Cd + 0 ppm Si, 20 ppm Cd +0 ppm Si, 40 ppm Cd + 0 ppm Si, 20 ppm Cd + 400 ppm Si, 40 ppm Cd+ 400 ppm Si olmak üzere beş farklı uygulama yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre kadmiyum uygulaması kök ve saptaki kuru ağırlığı düşürmüş, silisyum ise biyokütleyi arttırmıştır. Silisyum eklenmesi ile toprak pH'ı artmış, topraktaki kadmiyumun yarayışlılığını azaltmıştır. Bu durum kök ve saplardaki kadmiyum konsantrasyonunun azalmasına neden olmuştur. Silisyumun mısırdaki kadmiyum toksisitesini hafifletebildiği, bunun sebebinin kadmiyumun immobilize olması ve pH artışına bağlı yarayışlılığının azalması olabileceği araştırma sonuçları arasındadır.

Pal ve ark. (2006) kadmiyum stresinin mısırdaki neden olduğu fizyolojik değişimler ve savunma mekanizmalarının değerlendirildiği incelemelerinde kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak mısır bitkisinde çimlenmenin, bitki gelişiminin ve yan kök oluşumunun engellediğini, köklerin kahverengi, sert ve çarpık olmasının yanı sıra bitkide kloroz ve nekroz eşlik ettiğini bildirmişlerdir. Kadmiyum konsantrasyonu ile mısırın fotosentezi ve transpirasyonunun engellenmesi arasında doğrudan bir korelasyon olduğu belirtilmektedir.

Kadmiyum bitki hücresine girdiğinde organik bileşiklerle etkileşerek metabolik faaliyetleri, lipid ve proteinleri etkiler, membran akışkanlılığını ve enzim aktivitesini değiştirir ve serbest radikallerin oluşmasına neden olarak oksidatif strese neden olur. Kadmiyumun bağlanması ve detoksifikasyonu daha çok mısır bitkisinin köklerinde lokalize olurken, fitoşelatların ağır metal detoksifikasyonundan sorumlu olmasına rağmen, muhtemelen kadmiyum toleransından sorumlu olmadığı bildirilmiştir (Pal ve ark. 2006).

Malekzadeh ve ark. (2007) tarafından yapılan bir petri kabı denemesinde, sterilize edilen mısır tohumları petri kabında çimlendirilmiş ve kadmiyumun neden olduğu oksidatif stres gibi toksik etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre artan $CdCl_2$ konsantrasyonları (0, 0,25, 0,5, 1, 3, 5 mM) kök uzunluğunu azaltmış fakat sap uzunluğunu azaltma etkisine sahip olmadığı görülmüştür. Bu durumun kadmiyumun köklerde daha fazla birikmesinden kaynaklandığı bildirilmektedir.

Pritsa ve ark. (2008)'nin su kültürü ortamı ve saksıda yaptığı bir çalışmada mısırın kadmiyum ve bir çeşit herbisid olan atrazin toleransının incelenmiş, deneme sonuçlarına göre kadmiyum uygulaması ile mısırın yaprak alanında ve klorofil içeriğinde azalma olduğu, tüm bitkinin gelişiminin engellendiği ve kadmiyumun daha çok köklerde biriktiği bildirilmiştir.

Kireçli ve asit topraklarda yapılmış bir saksı denemesinde Cunha ve ark. (2008) kadmiyum ile kirlenmiş toprakta yetişen mısır bitkisinde farklı dozlarda (0, 1, 3, 5, 10, 30 ppm) kadmiyum uygulanarak kadmiyumun mısırdaki hücrel lokalizasyonu incelenmiştir. Çalışmaya göre, mısır yapraklarındaki yapısal değişimin yalnızca kadmiyum stresine bağlı olmadığı, aynı zamanda sitoplazmada serbest Cd^{2+} iyonunu azaltmak için hücrel mekanizma ile de ilgili olduğu belirtilmiştir. Ancak bu mekanizmanın belli kadmiyum konsantrasyonlarına kadar geçerli olduğu, kireçli toprakta apoplastta birikirken, kireçsiz toprakta daha çok hücre içine dağıldığı bildirilmiştir. Kireçlemenin yarayışlı kadmiyum konsantrasyonunu arttıran önemli bir faktör olduğu, pH artması ile topraktaki kadmiyum konsantrasyonunun %13 oranında düştüğü fakat kireçli toprakta yetişen bitkide daha fazla kadmiyum biriktiği sonucuna ulaşılmıştır.

Li ve ark. (2009) tarafından nötr toprakta yapılan saksı denemesinde, mısırın kadmiyum alımını arttırmak için mısırla aynı anda çeşitli bitkilerin ekilmesinin fizibilitesi değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre bitkilerin çoğu vejetatif büyüme periyodunda mısırın kadmiyum alımını arttırmış, köklerde daha da etkili olmuştur. Nohut bitkisinin kadmiyumun topraktan mısır ile uzaklaştırılmasında en uygun baklagil olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, diğer bitkilerin tersine *amaranthus* bitkisinin, mısırın kadmiyum alımını arttırmadığı hem de kadmiyum hiperakümülatörü olduğu ifade edilmiştir.

2.5. Diğer Bitkilerde Yapılan Çalışmalarda Çinko ve Kadmiyum

Su kültüründe Green ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada, buğdaya farklı dozlarda kadmiyum ve çinko uygulanmış, kadmiyum ve çinko etkileşimi incelenmiştir. Bitkiler 21 gün sonunda hasat edilmiş ve sap ve kökler ayrı ayrı analiz edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre artan dozda uygulanan çinko ile sap ve köklerdeki kadmiyum azalmış, artan dozda kadmiyum uygulaması ile bitkinin aldığı çinko miktarında önemli değişiklikler meydana gelmemiştir.

Kirkham (2006)'nın yapmış olduğu incelemede kadmiyum alımının topraktaki çinko içeriğine bağlı olduğu ve eğer toprağın çinko içeriği düşükse bitkilerin genellikle daha fazla kadmiyum aldıkları fakat besin çözeltisinde iki iyonun da eşit ama yüksek konsantrasyonda bulunması durumunda çinko alımının kadmiyuma göre yaklaşık iki katı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca fosfatın kadmiyum yararışlılığını düşürdüğü, klorürün ise kadmiyumun toprağa bağlanmasını engelleyerek toprak çözeltisinde ve bitkideki kadmiyum konsantrasyonunu arttırdığı bildirilmiştir.

Maejima ve ark. (2007) tarafından yapılan bir saksı denemesinde fasulyenin kadmiyum absorpsiyonu üzerinde CaCl_2 ile yıkamanın etkileri değerlendirilmiş, toprağın yıkanmış veya yıkanmamış olmasının fasulyenin gelişimini önemli derecede etkilemediği fakat tohumdaki kadmiyum konsantrasyonunu % 25'e kadar düşürdüğü sonuçlarına ulaşılmıştır. Ayrıca, toprak çözeltisinde kadmiyumun en çok Cd^{2+} , CdCl^+ ve CdSO_4 formlarında bulunduğu bildirilmiştir.

Çeltik tarlasından alınan topraklarla Livera ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada kadmiyumun çözünürlüğü demir ve çinkoya göre kıyaslanmıştır. Aerobik fazda kükürt eklenmeden Cd:Zn oranının arttığı, kükürt eklenince kükürdün sülfid mineralleri halinde çöktüğü ve Cd:Zn oranının düştüğü, kadmiyumun toprak çözeltisindeki çözünürlüğünün düştüğü bildirilmiştir. Toprağa çinko uygulandığında Cd:Zn oranının yüksek çinko konsantrasyonuna bağlı olarak düşük olduğu, toprağa çinko eklenmesinin toprak çözeltisindeki Cd:Zn oranını yüksek çinko konsantrasyonu sebebiyle düşürmesi açısından uygulanabilir bir metod olduğu çalışma sonuçları arasında yer almaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Yürütülen saksı denemesinde, toprağın pH derecesinin çinko-kadmiyum etkileşimindeki etkisini gözlemlemek amacıyla asit, nötr ve alkalın toprak olacak şekilde farklı pH derecesine sahip topraklar kullanılmıştır. Toprak örnekleri, Tekirdağ il sınırları içinden 0-20 cm derinlikten alınmıştır (Jackson 1965). Araştırma topraklarına ait konum ve koordinat bilgileri Çizelge 3.1’de verilmiştir

Çizelge 3.1. Toprak örneklerinin alındığı yerin konum ve koordinat bilgileri.

Toprak No	Toprak örneğinin alındığı yerin			
	İli	İlçesi	Köyü	Koordinatları
1	Tekirdağ	Muratlı	Merkez	N 41 ⁰ 10’ 18,3” E 27 ⁰ 31’ 35,8”
2	Tekirdağ	Muratlı	Ballıhoca	N 41 ⁰ 12’ 34,7” E 27 ⁰ 29’ 54,1”
3	Tekirdağ	Marmara Ereğlisi	Merkez	N 40 ⁰ 59’ 16,1” E 27 ⁰ 56’ 24,6”

Araştırmada kullanılan topraklara ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.2’de yer almaktadır. Kullanılan topraklardan 8.13 pH değerine sahip alkalın toprak killi tın, pH değerleri 4,87 ve 6,52 olan diğer iki toprak ise kumlu killi tın tekstür sınıfında yer almaktadır.

Tuz değerleri incelendiğinde üç toprağın da tuzsuz olduğu Çizelge 3.2’de görülmektedir. Toprakların organik madde yüzdeleri 0,98 ile 1,21 arasında değişmekle birlikte organik madde bakımından fakirdirler. Bellitürk ve ark. (2009) da yaptıkları bir çalışmada Tekirdağ yöresindeki toprakların %85’inde organik maddenin yetersiz olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 3.2. Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Toprak Özellikleri	Toprak No		
	1	2	3
pH	8,13	4,87	6,52
Kil	% 35,36	22,23	26,50
Silt	% 27,24	22,47	24,70
Kum	% 37,40	55,30	48,80
Tekstür Sınıfı	Killi tın	Kumlu-killi tın	Kumlu-killi tın
Tuz	% 0,019	0,0079	0,0080
Kireç	% 2,84	0	0
Organik Madde	% 1,21	1,24	0,98
Toplam Azot	% 0,060	0,062	0,049
P	ppm 3,77	22	14,22
K	ppm 130	128	100
Ca	ppm 6821	1361	2857
Mg	ppm 410	306	564
Fe	ppm 4,62	67	20,1
Cu	ppm 0,89	1,45	1,42
Mn	ppm 2,87	53	27,8
Zn	ppm 0,140	0,280	0,290
Cd	ppm 0,014	0,018	0,025

Toprakların yararışlı çinko içerikleri 0,140 ppm ile 0,290 ppm arasında olup kritik düzey olan 0,5 ppm değerinin altındadır ve toprakların üçünde de çinko noksanlığı bulunmaktadır (Kacar ve Katkat 2007).

Kadmiyum değerleri incelendiğinde 0,014 ppm ile 0,025 ppm arasında olduğu ve kritik değeri (0,06 ppm) geçmediği, üç toprağın da kadmiyum ile kirlenmiş topraklar olmadığı görülmektedir (Sağlam 2001).

Araştırmada kullanılan kadmiyum, Merck 109960 kodlu kadmiyum standardı olup, 1000 mg Cd içeren standart bir CdCl₂ çözeltisidir.

Kullanılan çinko “Merck 109991” kodlu 1000 ml çözeltide 0,1 mol ZnSO₄ içeren bir çözeltidir.

NPK gübrelmesi için kadmiyum içermeyen NH₄NO₃ ve KH₂PO₄ kimyasalları kullanılmıştır.

T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Sertifikalı tohumluk etiketi Çizelge 3.3’te belirtilen melez çeşidi mısır tohumu kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Saksılara ekilen mısır tohumu bilgileri

Mısır tohumu bilgileri	
Tür Adı	Mısır
Çeşit Adı	Kermes (Melez)
Referans No	TR45/0390-07-0039
İlacın Adı	Maxim XL-GAUCHO
Üretici Firma	KWS Türk Tarım Tic. AŞ.
Tohum Sayısı	50.000 adet
Mühürleme Tarihi	Mart 2008
Seri No	A730166416

3.2. Yöntem

3.2.1. Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi

Alınan topraklar ortamın sıcaklık ve nem durumuna göre belirli aralıklarla alt üst edilerek havalandırılmış ve kuruması sağlanmıştır. Daha sonra topraklar 4mm.lik elekten geçirilmiştir. Denemede 2 kilogramlık silindir şekilli bir termoplastik türü olan PS (polistiren) saksılar kullanılmıştır. İkişer kilogram toprak özenle tartılarak saksılara konulmuştur (Şekil 3.1). Her saksıya 4 adet mısır tohumu ekilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Her birinde ikişer kilogram toprak bulunan PS saksılar



Şekil 3.2. Her saksıya ekilen dörder adet mısır tohumu

Deneme üç tekerrürlü olacak şekilde 48 uygulama grubu oluşturularak (4 doz Zn x 4 doz Cd x 3 farklı pH'da toprak x 3 tekerrür) 144 saksı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dört doz kadmiyum (0, 2.5, 5, 10 ppm) CdCl₂ şeklinde, dört doz çinko (0, 10, 20, 40 ppm) ZnSO₄ şeklinde verilmiştir. Çinko ve kadmiyum dozları Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'de belirtildiği gibi kodlanmıştır.

Çizelge 3.4. Doz koduna göre verilen çinko miktarları (ppm)

Doz kodu	İçerdiği Zn Miktarı (ppm)	İçerdiği Zn Miktarı (mg/saksı)
Zn0	0	0
Zn1	10	20
Zn2	20	40
Zn3	40	80

Çizelge 3.5. Doz koduna göre verilen kadmiyum miktarları (ppm)

Doz kodu	İçerdiği Cd Miktarı (ppm)	İçerdiği Cd Miktarı (mg/saksı)
Cd0	0	0
Cd1	2,5	5
Cd2	5,0	10
Cd3	10	20

Her saksıya ayrıca standart NPK gübrelmesi yapılarak 100 ppm Azot, 80 ppm Fosfor ve 100 ppm Potasyum verilmiştir. NPK gübrelmesi NH₄NO₃ ve KH₂PO₄ kimyasalları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Mısır sıcak isteyen bitki olduğundan ekimi temmuz ayı başında yapılmıştır. Ekimin 5. gününde ilk çimlenme gözlemlenmiştir (Şekil 3.3). Ekimden 1 hafta sonra bitkilerin genel görünümü Şekil 3.4'te görülmektedir. Daha sonra seyreltme yapılarak her saksıda 3 bitki bırakılmıştır. Seyreltme öncesi ve sonrası bitkilerin genel görünümü Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.3. İlk çimlenme (ekimin 5. günü)



Şekil 3.4. Ekimden 1 hafta sonra bitkilerin görünümü



Şekil 3.5. Seyreltme öncesi bitkilerin görünümü (ekimden 2 hafta sonra)



Şekil 3.6. Seyreltme sonrası bitkilerin görünümü (ekimden 2 hafta sonra)

İlk çimlenmeden itibaren her gün saksıların yerleri değiştirilerek daha homojen bir güneşlenme almaları sağlanmıştır. Tekirdağ iline ait 2009 yılı meteoroloji verileri Ek-1’de verilmiştir. Kısa sürede hasada gelen mısır bitkisi, analiz için yeterli büyüme gösterdiğinden 45 gün sonra, ağustos ayında hasat edilmiştir. Hasat öncesi bitkilerin genel görünümü Şekil 3.7’de görülmektedir.

Bitkinin toprak altı (kök) ve toprak üstü (sap) kısımları ayrı ayrı hasat edilmiş, önce çeşme suyu ile daha sonra saf su ile yıkanıp kurutulduktan sonra analiz edilmiştir. Araştırmada toprak altı ve toprak üstü kısımları ayrı ayrı incelenip çinko ve kadmiyum miktarları ppm cinsinden kaydedilmiştir.



Şekil 3.7. Hasat öncesi bitkilerin görünümü

3.3. Topraklarda Yapılan Bazı Fiziksel ve Kimyasal Analizler

3.3.1. Tekstür

Toprak örneklerinin tekstür sınıfları Bouyoucos Hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Bouyoucos 1951).

3.3.2. pH

Toprak örneklerine ait pH değerleri (1:2.5 toprak:su) cam elektrodlu pH-metre ile belirlenmiştir (U.S. Salinity Lab. Staff 1954).

3.3.3. Tuzluluk

Elektriksel iletkenlik aleti ile (1:2.5 toprak:su) tuzluluk ölçülmüştür (Sağlam 2008).

3.3.4. Kireç

Toprak örneklerinin kireç miktarları Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Gedikoğlu 1990).

3.3.5. Organik Madde

Toprak örneklerinin organik madde içerikleri Walkley-Black yöntemi ile belirlenmiştir (Greweling and Peech 1960).

3.3.6. Toplam Azot

Toprak örneklerinin toplam azot miktarları organik maddeden hesaplama yöntemiyle bulunmuştur.

3.3.7. Yarıyıllı Fosfor

Toprak örneklerindeki yarıyıllı fosfor, Olsen yöntemiyle belirlenmiştir (Sağlam 2008).

3.3.8. Değişebilir Katyonlar (K, Ca, Mg)

Değişebilir katyonlar, toprak örneklerinin amonyum asetatla ekstrakte edilmesinden sonra ICP-OES cihazında belirlenmiştir (Kacar 2009).

3.3.9. Yarayışlı Bazı Mikroelementler

Toprak örneklerinin mikroelement (Fe, Mn, Zn, Cu) içerikleri DTPA yöntemiyle ICP-OES cihazında belirlenmiştir (Kacar 2009).

3.3.10. Ekstrakte Edilebilir Bazı Ağır Metaller

Toprak örneklerinin ağır metal (Cd, Pb) içerikleri DTPA yöntemi ile ICP-OES cihazında belirlenmiştir (Kacar 2009).

3.4. Bitkilerde Yapılan Bazı Kimyasal Analizler

3.4.1. Toplam Azot

Yaş yakılan bitki örneklerindeki toplam azot Kjeldahl yöntemi kullanılarak ölçülmüştür (Kacar ve İnal 2008).

3.4.2. Toplam Fosfor, Potasyum, Kalsiyum ve Magnezyum

Nitrik asit ve perklorik asitle yaş yakılan bitki örneklerindeki toplam P, K, Ca ve Mg içerikleri ICP-OES cihazında okunarak belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

3.4.3. Bazı Mikroelementler ve Bazı Ağır Metaller

Nitrik asit ve perklorik asitle yaş yakılan bitki örneklerindeki Fe, Mn, Zn, Cu mikroelement içerikleri ile Cd ve Pb ağır metal içerikleri ICP-OES cihazı ile ölçülmüştür (Kacar ve İnal, 2008).

3.5. İstatistiksel Değerlendirme

Her toprak için ayrı ayrı dört doz kadmiyum, dört doz çinko için tamamı ile şansa bağlı deneme planında 4x4 faktöriyel düzenleme esasına göre üç tekerrürlü olarak varyans analizi yapılmıştır. Ortalamaların karşılaştırılmasında LSD çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır (Soysal 2007). Analiz sonuçları her bir toprak için artan dozlarda uygulanan kadmiyum ve çinko elementlerine göre bitkinin kök ve saplarına geçen çinko ve kadmiyum miktarları tablolaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Bitkilerin Genel Görünümlerinin Değerlendirilmesi

Alkalin, nötr ve asit topraklarla yapılan bu çalışmada üç toprakta da yetişen mısır bitkisinde tüm çinko ve kadmiyum dozlarında herhangi bir nekroz ve kloroz gözlemlenmemiştir.

Alkalin toprakta, çinko uygulanmayan saksılarda yetişen mısırdaki diğerlerine kıyasla belirgin bir şekilde gelişim geriliği görülmüştür.

Nötr toprakta da özellikle Cd₀+Zn₀ dozunda diğerlerine kıyasla belirgin bir gelişim geriliği mevcut olduğu gözlemlenmiştir.

Asit toprakta ise uygulanan dozlar açısından bitki gelişiminde önemli farklar gözlemlenmemiştir. Genel olarak kadmiyum uygulamasının bitkide gelişim geriliğine neden olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi bitkinin kadmiyum toleransı ile ilgili olabilir.

Kadmiyumun bitkilerin sap ve kök gelişimini olumsuz yönde etkilediği, özellikle köklerde biriktiği için kök gelişimi daha fazla engellediği pek çok çalışmada ortaya konulmuştur (Chen ve ark. 2004, Souza ve ark. 2005, Malekzadeh ve ark. 2007, Pritsa ve ark. 2008). Kadmiyumun bitki gelişimini inhibe etmesinin yanısıra, yan kök oluşumunu engellediği, köklerin kahverengi, sert ve çarpık olduğu ve hatta bitkide kloroz ve nekroz eşlik ettiği bildirilmiştir (Pal ve ark. 2006).

4.2. Alkalin Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Kadmiyum Miktarları

Alkalin toprakta uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının saplarda ölçülen kadmiyum miktarlarını ne kadar etkilediği Çizelge 4.1’de görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,003 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile saplarda ölçülen kadmiyum miktarları arasında önemli farklar elde edilmiştir ($p<0,01$).

Çizelge 4.1. Çinko ve kadmiyum uygulanmış alkalin toprakta yetişen mısır bitkisinin sapslarında ölçülen kadmiyum miktarları (ppm)

Alkalin toprakta yetişen mısır bitkisinin sapslarında ölçülen kadmiyum miktarları (ppm) ¹					
Zn Dozu					
Cd Dozu	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Ortalama
Cd0	0,143±0,002 ^{B,a}	0,180±0,018 ^{C,a}	0,189±0,025 ^{C,a}	0,158±0,008 ^{C,a}	0,166±0,013
Cd1	0,625±0,002 ^{AB,b}	1,273±0,131 ^{B,ab}	1,712±0,216 ^{B,a}	1,468±0,240 ^{B,a}	1,270±0,147
Cd2	0,984±0,069 ^{A,b}	2,111±0,305 ^{A,a}	1,453±0,033 ^{B,ab}	1,849±0,276 ^{B,a}	1,599±0,171
Cd3	1,280±0,142 ^{A,b}	2,479±0,118 ^{A,a}	3,101±0,125 ^{A,a}	2,835±0,543 ^{A,a}	2,424±0,232
Ort.	0,758±0,054	1,511±0,143	1,614±0,100	1,576±0,267	

¹ Büyük harf yukarıdan aşağıya, sabit Zn değerinde değişen Cd uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları, küçük harf soldan sağa, sabit Cd değerinde değişen Zn uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları göstermektedir ($p<0,01$).

Alkalin toprakta uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının köklerde ölçülen kadmiyum miktarlarını ne kadar etkilediği Çizelge 4.2’de görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,000 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile köklerde ölçülen kadmiyum miktarları arasında önemli farklar bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelgeler incelendiğinde çinko dozları sabit tutulduğunda artan dozlarda kadmiyum uygulamasıyla köklerde ve sapslardaki kadmiyum miktarının arttığı görülmektedir.

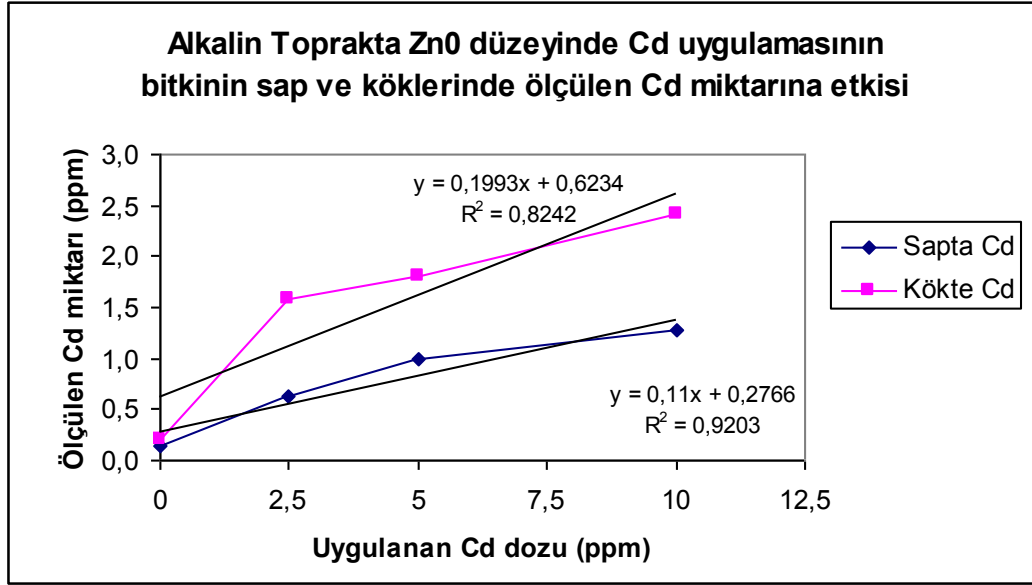
Elementlerin sap ve köklerde birikmesi dikkate alındığında, alkalın toprakta kadmiyum birikimi köklerde saplara göre daha fazladır (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2). Yapılan başka çalışmalarda da kadmiyumun köklerde saplara göre daha fazla biriktiği belirtilmektedir (Nan ve ark. 2002, Wang ve ark. 2007).

Çizelge 4.2. Çinko ve kadmiyum uygulanmış alkalın toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları (ppm)¹

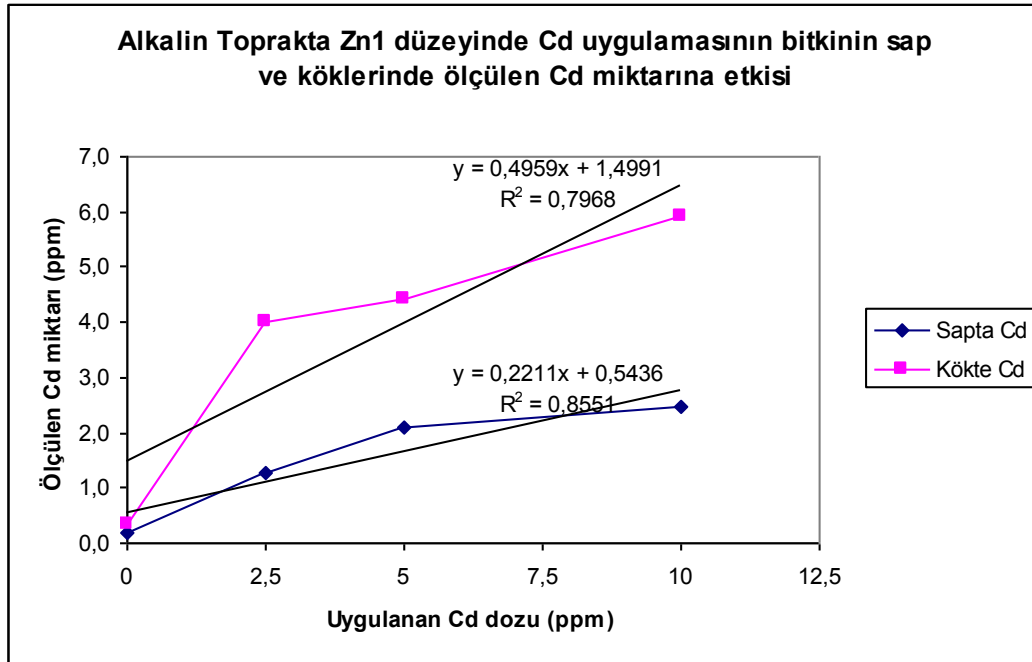
Alkalın toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları (ppm) ¹					
Zn Dozu					
Cd Dozu	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Ortalama
Cd0	0,194±0,013 ^{B,a}	0,334±0,026 ^{B,a}	0,356±0,005 ^{C,a}	0,249±0,039 ^{C,a}	0,283±0,021
Cd1	1,576±0,309 ^{AB,b}	4,006±0,306 ^{A,a}	4,097±0,378 ^{B,a}	2,623±0,510 ^{B,ab}	3,076±0,376
Cd2	1,797±0,377 ^{AB,b}	4,408±0,566 ^{A,a}	3,048±0,406 ^{B,ab}	3,670±0,329 ^{B,a}	3,231±0,420
Cd3	2,414±0,239 ^{A,c}	5,927±0,387 ^{A,b}	9,076±0,602 ^{A,a}	8,498±1,660 ^{A,a}	6,479±0,597
Ort.	1,495±0,235	3,669±0,321	4,144±0,3458	3,760±0,635	

¹ Büyük harf yukarıdan aşağıya, sabit Zn değerinde değişen Cd uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları, küçük harf soldan sağa, sabit Cd değerinde değişen Zn uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları göstermektedir (p<0,01).

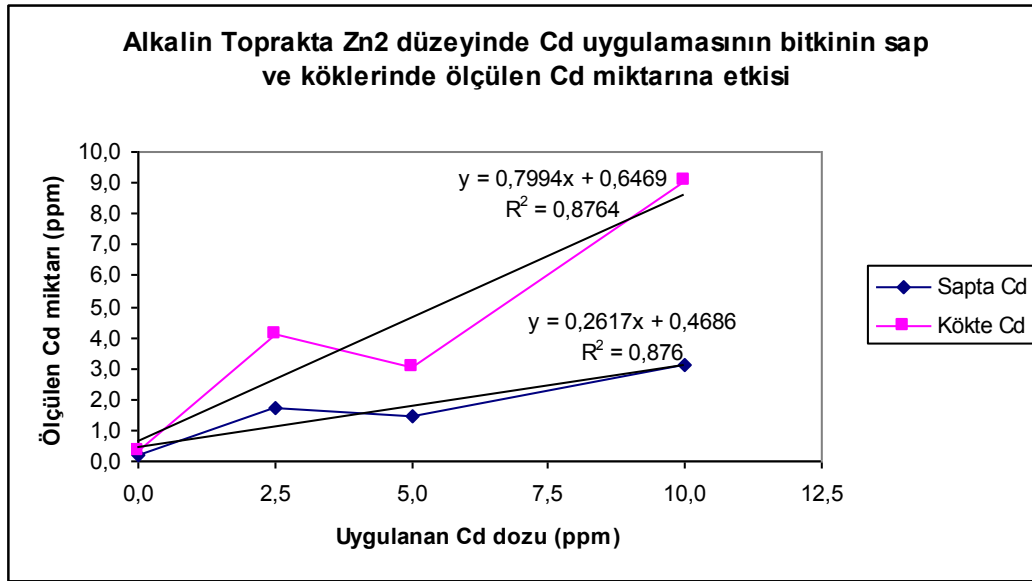
Alkalın toprakta Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.4'te görüldüğü gibi Zn0, Zn1 ve Zn3 düzeylerinde uygulanan kadmiyum miktarı arttıkça bitkinin sap ve köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları da doğru orantılı olarak artmıştır. Ancak, Zn2 düzeyinde Cd2 uygulamasıyla sap ve köklerde ölçülen kadmiyum miktarı Cd1 uygulamasına göre daha düşük bulunmuştur (Şekil 4.3).



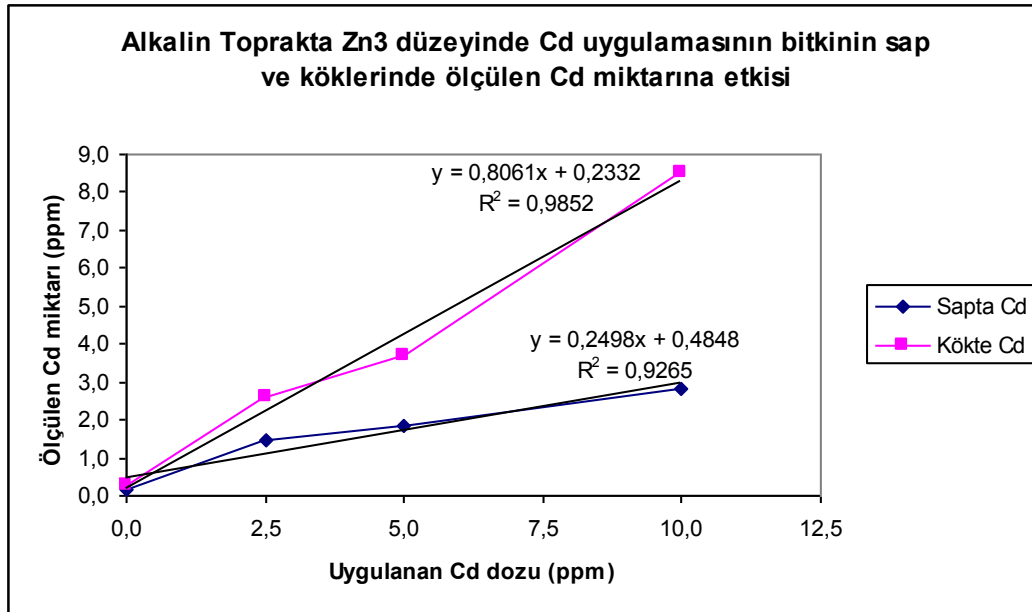
Şekil 4.1. Alkalin toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi



Şekil 4.2. Alkalin toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi



Şekil 4.3. Alkalin toprakta Zn₂ düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

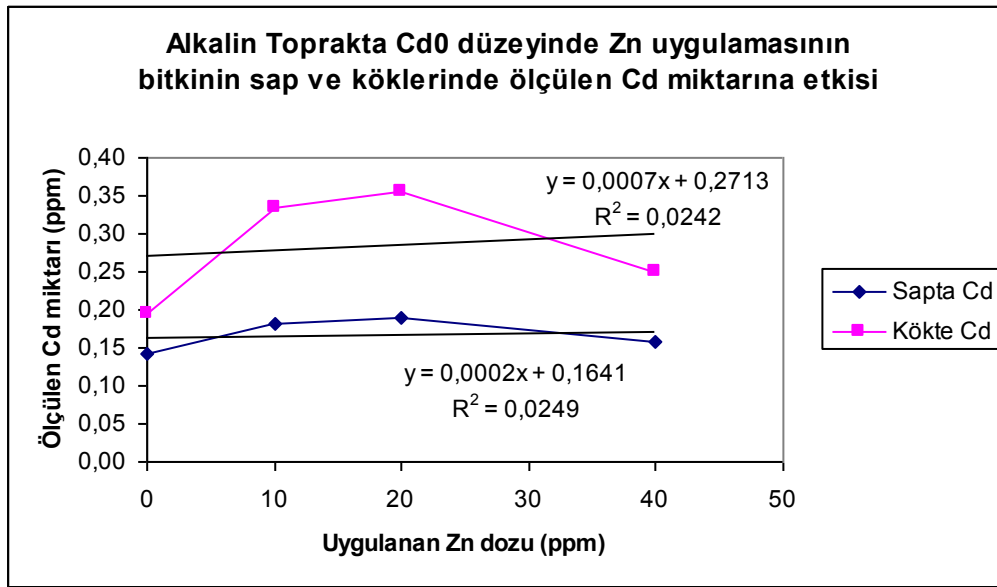


Şekil 4.4. Alkalin toprakta Zn₃ düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

Kadmiyum düzeyleri sabit tutulduğunda Cd₀, Cd₁ ve Cd₃ düzeylerinde artan çinko uygulaması ile hem köklerdeki hem de saplardaki kadmiyum miktarları önce artmış (Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.8), en yüksek doz olan Zn₃ uygulamasıyla azalmıştır. Ancak

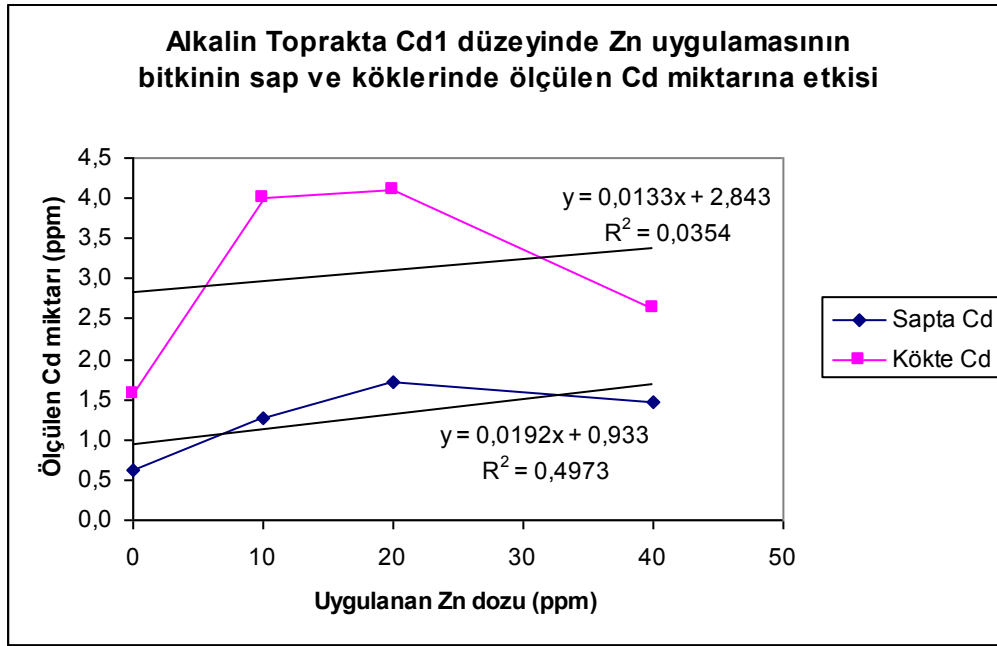
yine de çinko uygulanmamış toprakta yetişen bitkinin sap ve köklerindeki kadmiyumdan daha yüksek bir değer ölçülmüştür. Bu azalış istatistiksel olarak önemli sayılmamakla birlikte yüksek çinko konsantrasyonu, toprak çözeltisindeki Cd:Zn oranını düşürmüş olabilir ve bu sebeple bitkinin aldığı kadmiyum miktarı da düşmüş olabilir (Livera ve ark. 2011).

Shen ve ark. (2006)'nın alkalın toprakta yaptıkları çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuş, artan dozda çinko uygulamasının bitkinin kadmiyum alımını arttırdığı belirtilmiştir. Ancak yapılan bir başka çalışmada artan çinko uygulamasının bitkide kadmiyum alımını azalttığı bildirilmiştir (Adiloğlu 2002).

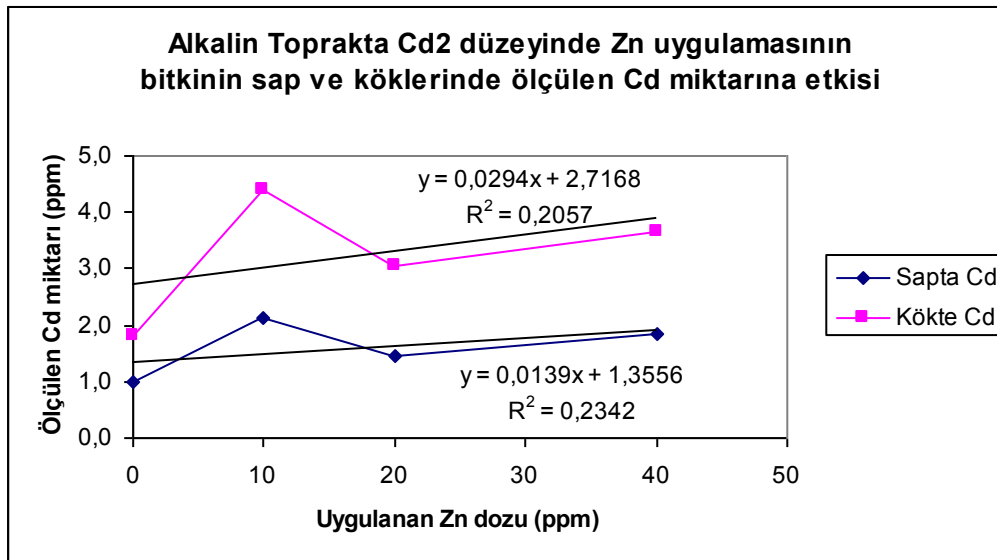


Şekil 4.5. Alkalın toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

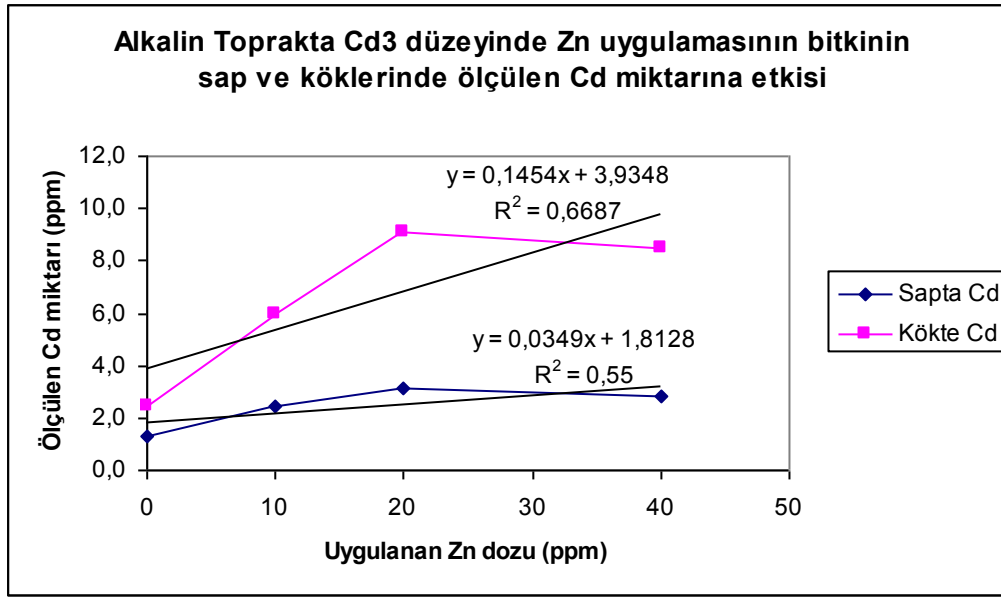
Cd2 düzeyinde hem köklerde hem saplarda Zn1 dozu uygulaması, kadmiyum miktarını arttırmıştır. Zn2 dozu, kadmiyum miktarını Zn1'e göre azaltmış, Zn3 dozu tekrar arttırmıştır. Zn2 dozu uygulandığında, kadmiyum miktarı Zn0 dozu seviyesine kadar düşmemiştir (Şekil 4.7.). Tüm kadmiyum düzeylerinde çinko uygulaması hem saplarda hem köklerde biriken kadmiyum miktarını çinko uygulanmamış saksıda (Zn0) yetişen bitkinin kadmiyum içeriğine kıyasla arttırmıştır. Shen ve ark. (2006)'nın yapmış olduğu çalışmada da kadmiyum alımının artan çinko miktarı ile arttığı bildirilmiştir.



Şekil 4.6. Alkalin toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi



Şekil 4.7. Alkalin toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi



Şekil 4.8. Alkalin toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

4.3. Asit Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Kadmiyum Miktarları

Asit toprakta uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının saplarda ölçülen kadmiyum miktarlarını ne kadar etkilediği Çizelge 4.3'te görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,013 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile saplarda ölçülen kadmiyum miktarları arasında önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

Çizelgeler incelendiğinde çinko dozları sabit tutulduğunda artan dozlarda kadmiyum uygulamasıyla hem köklerde hem de saplardaki kadmiyum miktarının arttığı görülmektedir. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 karşılaştırıldığında, asit toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde biriken kadmiyum miktarlarının, saplarda biriken kadmiyum miktarlarına göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bitki toprak çözeltisinden aldığı kadmiyumu saplara iletir. Asit toprakta pH'a bağlı olarak kadmiyum çözünürlüğü daha fazla olduğu için köklerdeki kadmiyum miktarlarının saplara oranla fazla olması beklenen bir durumdur.

Çizelge 4.3. Çinko ve kadmiyum uygulanmış asit toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen kadmiyum miktarları (ppm).

Asit toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen kadmiyum miktarları (ppm)¹					
Zn Dozu					
Cd Dozu	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Ortalama
Cd0	0,280±0,080 ^{B,a}	0,000±0,000 ^{C,a}	0,000±0,000 ^{C,a}	0,009±0,009 ^{D,a}	0,072±0,022
Cd1	1,911±0,158 ^{B,a}	1,586±0,257 ^{C,a}	1,424±0,103 ^{C,a}	2,079±0,105 ^{C,a}	1,750±0,156
Cd2	5,524±0,268 ^{A,a}	4,642±0,116 ^{B,a}	4,484±0,380 ^{B,a}	4,169±1,430 ^{B,a}	4,705±0,549
Cd3	5,809±0,816 ^{A,c}	7,957±0,620 ^{A,b}	8,700±1,090 ^{A,ab}	9,614±0,802 ^{A,a}	8,020±0,832
Ort.	3,381±0,331	3,546±0,248	3,652±0,393	3,968±0,587	

¹ Büyük harf yukarıdan aşağıya, sabit Zn değerinde değişen Cd uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları, küçük harf soldan sağa, sabit Cd değerinde değişen Zn uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları göstermektedir (p<0,05).

Çizelge 4.4. Çinko ve kadmiyum uygulanmış asit toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları (ppm).

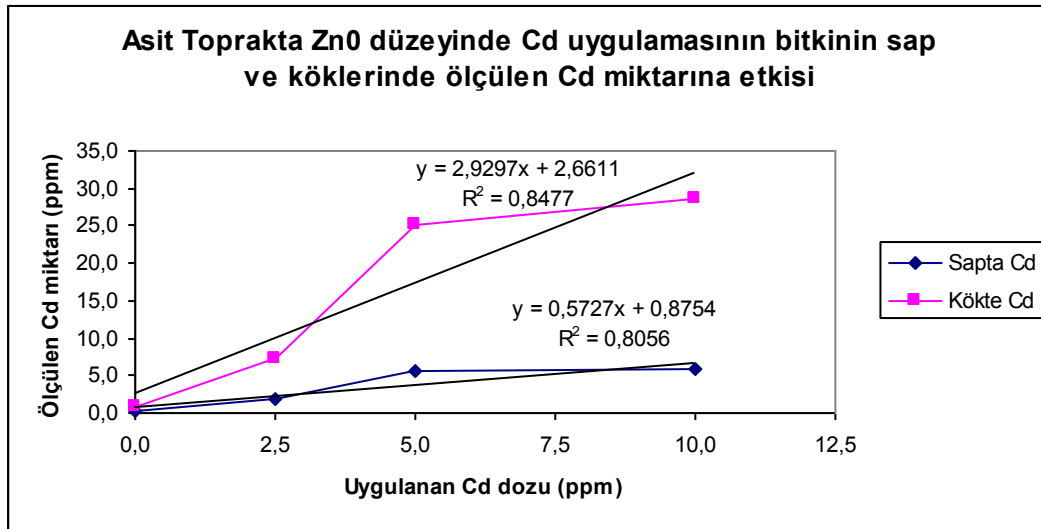
Asit toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları (ppm)¹					
Zn Dozu					
Cd Dozu	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Ortalama
Cd0	0,698±0,215 ^{C,a}	0,137±0,070 ^{C,a}	0,136±0,096 ^{C,a}	0,323±0,047 ^{C,a}	0,324±0,107
Cd1	7,329±0,274 ^{B,a}	4,628±0,474 ^{C,a}	4,556±0,290 ^{C,a}	6,329±0,638 ^{C,a}	5,711±0,419
Cd2	25,220±2,740 ^{A,a}	19,235±0,442 ^{B,ab}	18,207±1,340 ^{B,b}	16,870±1,420 ^{B,b}	19,883±1,486
Cd3	28,667±1,730 ^{A,b}	32,603±1,990 ^{A,ab}	38,550±4,650 ^{A,a}	37,797±0,468 ^{A,a}	34,404±2,210
Ort.	15,479±1,240	14,151±0,744	15,362±1,594	15,330±0,643	

¹ Büyük harf yukarıdan aşağıya, sabit Zn değerinde değişen Cd uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları, küçük harf soldan sağa, sabit Cd değerinde değişen Zn uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları göstermektedir (p<0,01).

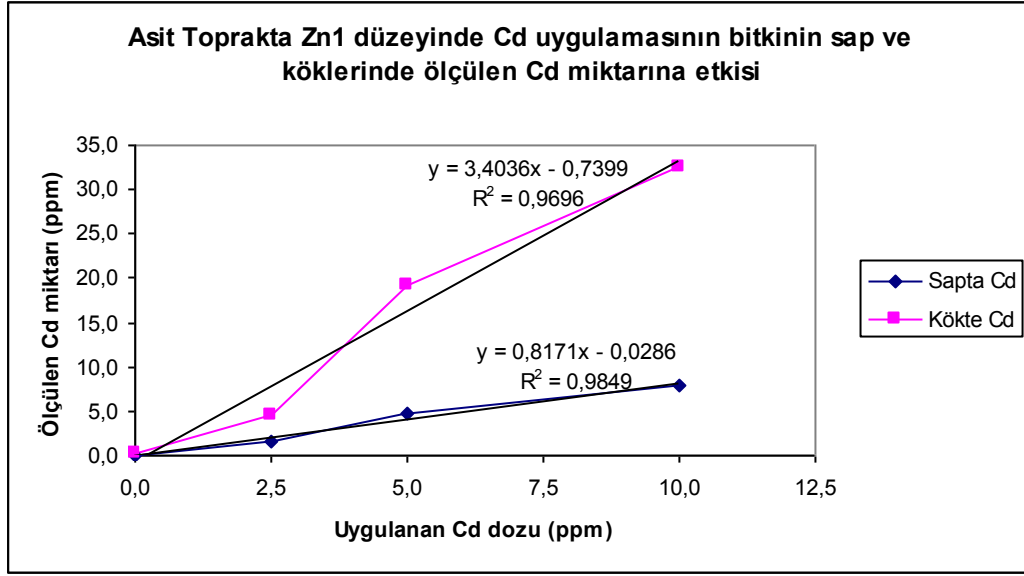
Çizelge 4.4'te asit toprağa uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının köklerde ölçülen kadmiyum miktarlarını ne kadar etkilediği görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,001 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile köklerde ölçülen kadmiyum miktarları arasında önemli farklar bulunmuştur ($p < 0,01$).

Asit toprakta tüm çinko düzeylerinde uygulanan kadmiyum miktarı arttıkça bitkinin sap ve köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları da doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir (Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).

Bu artışlar Zn0 ve Zn1 düzeylerinde, özellikle de köklerde uygulanan ikinci kadmiyum dozundan sonra daha keskin bir artış göstermiştir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10). Zn0 düzeyinde kadmiyum uygulanmamış toprakta yetişen mısır bitkisinin sapslarında ölçülen kadmiyum miktarı 0,280 ppm iken Cd1 dozunda 1,911 ppm'e, Cd2 dozunda ise 5,524 ppm'e çıkmıştır. Zn1 düzeyinde de benzer bir artış söz konusudur. Kadmiyum uygulanmamış toprakta yetişen mısır bitkisinin sapslarında ölçülen kadmiyum miktarı 0,000 ppm ölçülürken Cd1 dozunda 1,586 ppm'e, Cd2 dozunda 4,642 ppm'e çıkmıştır.

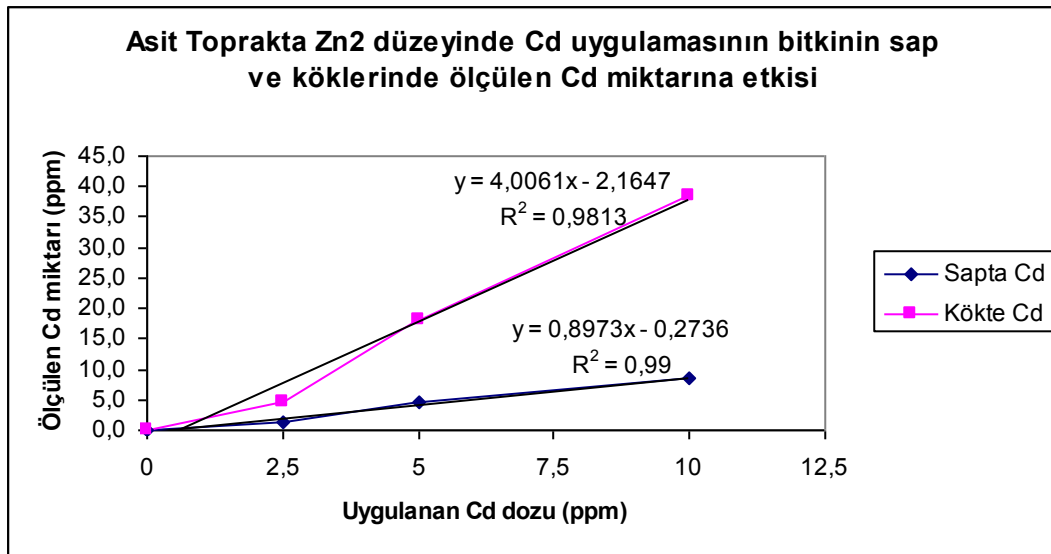


Şekil 4.9. Asit toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

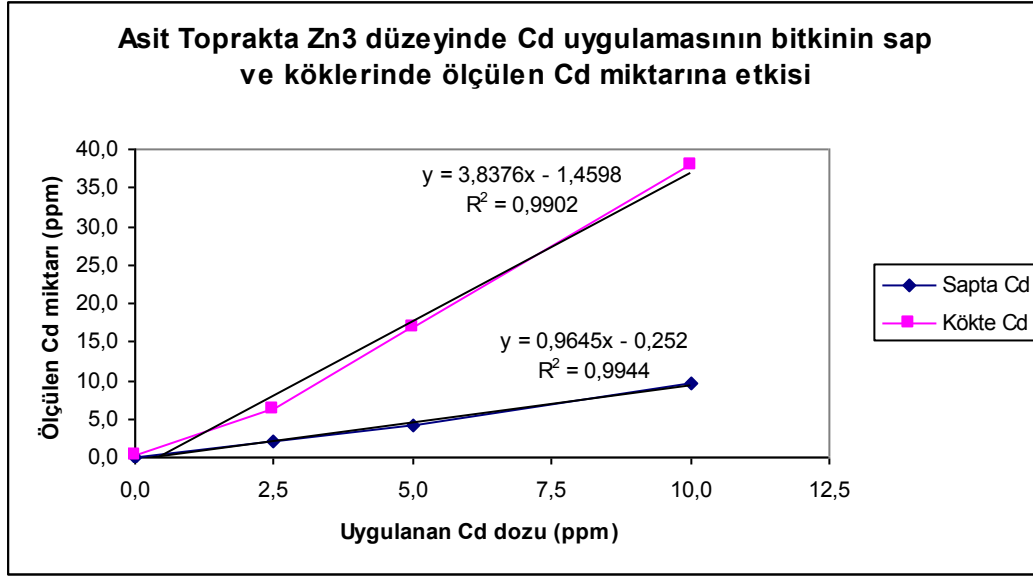


Şekil 4.10. Asit toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

Zn2 ve Zn3 düzeylerinde uygulanan kadmiyum miktarları ile ölçülen kadmiyum miktarları arasında oldukça yüksek bir korelasyon bulunmuştur (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12). Zn2 düzeyinde R^2 değerleri sapta ve kökte sırasıyla 0,9900 ve 0,9813 olarak hesaplanmış, benzer şekilde Zn3 düzeyinde de R^2 değerleri sapta ve kökte sırasıyla 0,9944 ve 0,9902 olarak bulunmuştur.

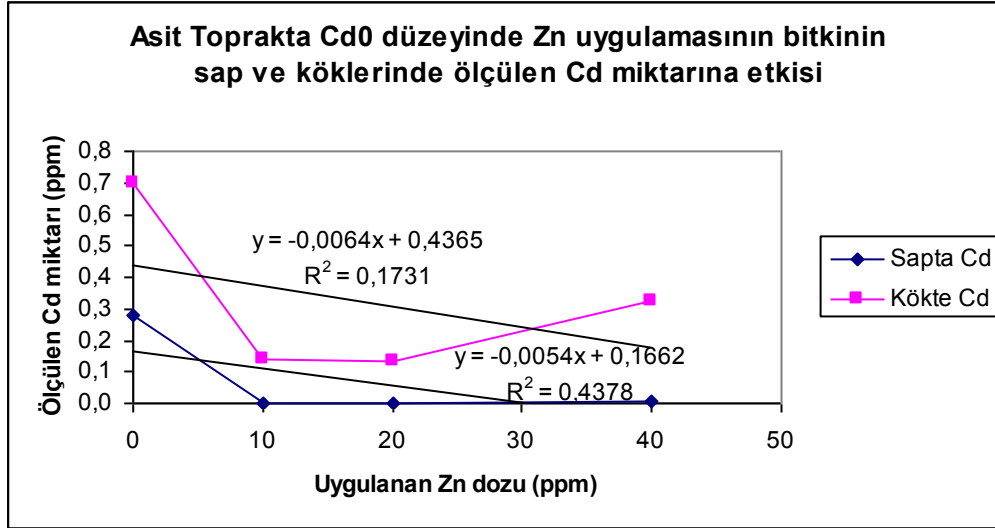


Şekil 4.11. Asit toprakta Zn2 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi



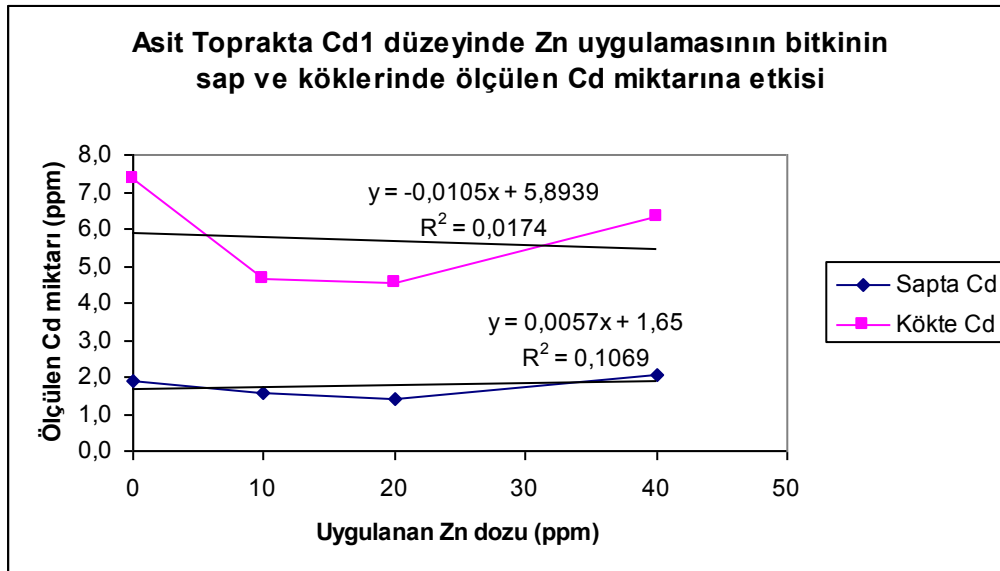
Şekil 4.12. Asit toprakta Zn3 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

Asit toprakta yetişen mısır bitkisinin sap ve köklerindeki kadmiyum miktarları Cd0 ve Cd1 düzeylerinde artan çinko dozu uygulamasıyla önce düşmüş, sonra bir miktar artmıştır (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14). Bu azalışların Cd1 düzeyinde sapta ölçülen kadmiyum miktarı hariç çinko uygulanmamış bitkide ölçülen kadmiyum miktarlarının da altında olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle, toprağa kadmiyum verilmeden veya düşük kadmiyum düzeylerinde çinko uygulaması sap ve köklere geçen kadmiyum miktarlarını azaltmaktadır. Çinko bitkinin kadmiyum alımını sınırlamıştır. Ancak Cd3 düzeyi hariç istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kadmiyum verilmemiş toprakta yetişen mısır bitkisinin sapsına kadmiyum geçmediği, 40 ppm çinko uygulandığında yalnızca 0.009 ppm kadmiyum geçtiği görülmektedir (Çizelge 4.3).



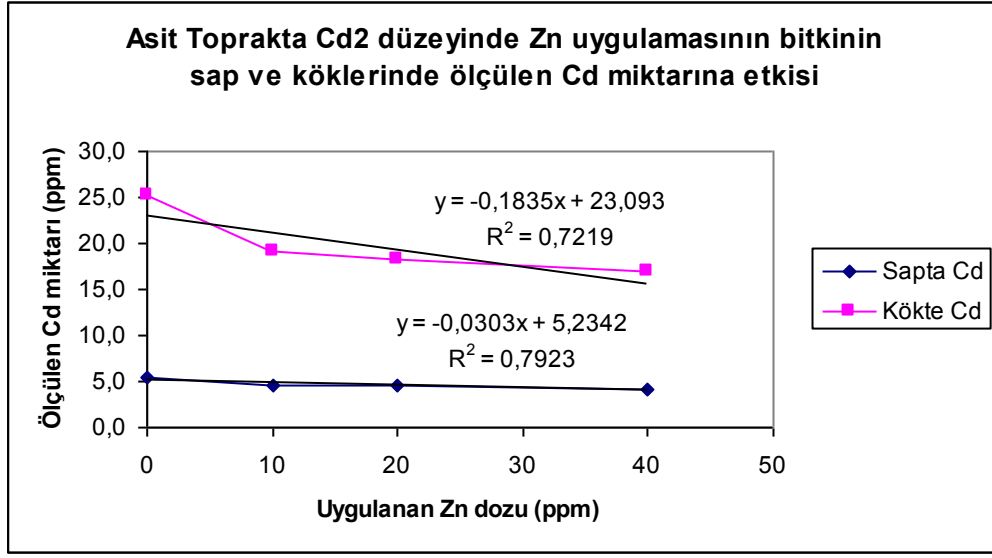
Şekil 4.13. Asit toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

Cd1 düzeyinde, hem saplarda hem de köklerde en düşük kadmiyum miktarına Zn2 uygulamasında ulaşıldığı Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te görülmektedir. Cd1 düzeyinde Zn2 uygulanmasıyla saplarda 1,424 ppm, köklerde 4,556 ppm kadmiyum ölçülmüştür.

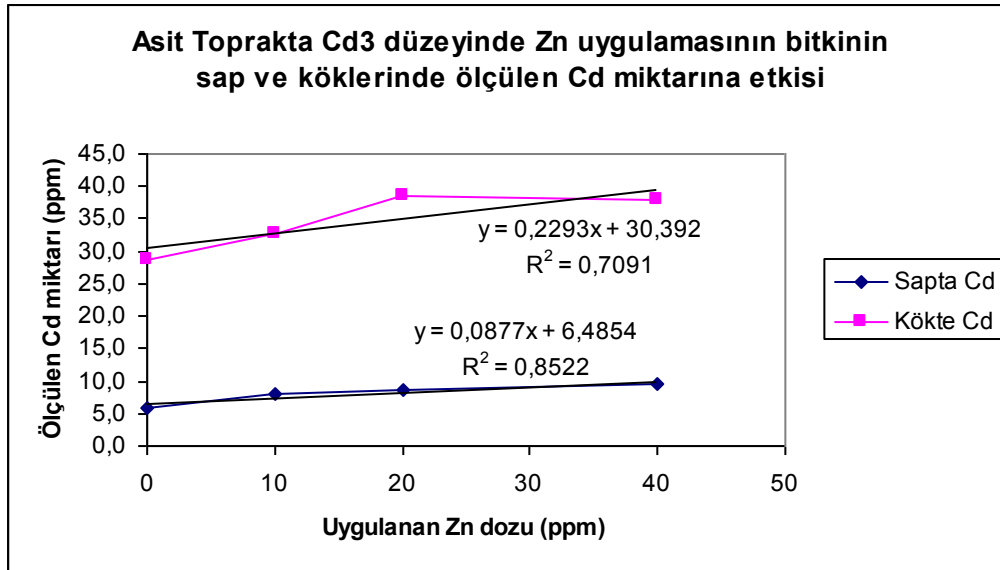


Şekil 4.14. Asit toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

Cd2 düzeyinde artan miktarda çinko uygulaması hem köklerdeki hem saplardaki kadmiyum miktarını azaltmıştır (Şekil 4.15). Bu azaltma %33 oranının da üstüne çıkmıştır. Ancak en yüksek kadmiyum dozu uygulandığında artan miktarlardaki çinko uygulaması hem köklerde hem de saplarda biriken kadmiyum miktarlarını arttırmaktadır (Şekil 4.16). Bu durum yüksek kadmiyum dozu sebebiyle, toprak çözeltisindeki Cd:Zn oranının artmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.15. Asit toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi



Şekil 4.16. Asit toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

Asit toprakta yapılan diğer çalışmalarda kireçlemenin bitkiye geçen kadmiyum üzerindeki etkileri incelenmiş ve kireçleme ile toprağın pH değerinin arttığı belirtilmiştir. Kireçlemenin toprağın pH değerinin arttırdığı ve bitkinin kadmiyum alımını azalttığı ifade edilmiştir (Guo ve ark. 2011). Ancak yapılan bir başka çalışmada ise kireçleme ile toprak yüzeyinde kadmiyum ile kalsiyumun rekabet halinde oldukları ve kadmiyumun toprak yüzeyinden ayrılarak toprak çözeltisine geçtiği ve bitkinin kadmiyum alımının arttığı bildirilmiştir (Cunha ve ark. 2008). Başka bir çalışmada, silisyum eklenmesinin pH değerini arttırarak kadmiyumun yarıyışlılığını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır (Liang ve ark. 2005).

4.4. Nötr Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Kadmiyum Miktarları

Nötr toprakta uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının saplarda ölçülen kadmiyum miktarlarını ne kadar etkilediği Çizelge 4.5'te görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,000 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile saplarda ölçülen kadmiyum miktarları arasında önemli farklar bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.5. Çinko ve kadmiyum uygulanmış nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarda ölçülen kadmiyum miktarları (ppm)

Nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarda ölçülen kadmiyum miktarları (ppm) ¹					
Cd Dozu	Zn Dozu				Ortalama
	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	
Cd0	0,000±0,000 ^{B,a}	0,000±0,000 ^{C,a}	0,000±0,000 ^{D,a}	0,122±0,031 ^{D,a}	0,031±0,008
Cd1	0,687±0,017 ^{AB,b}	1,802±0,260 ^{B,ab}	2,271±0,355 ^{C,a}	1,790±0,080 ^{C,ab}	1,638±0,178
Cd2	0,811±0,159 ^{AB,c}	3,332±0,852 ^{A,b}	4,796±0,129 ^{B,a}	4,394±0,771 ^{B,ab}	3,333±0,478
Cd3	1,483±0,030 ^{A,c}	4,257±0,149 ^{A,b}	6,737±0,674 ^{A,a}	6,228±0,175 ^{A,a}	4,676±0,257
Ort.	0,745±0,052	2,348±0,315	3,451±0,290	3,134±0,264	

¹ Büyük harf yukarıdan aşağıya, sabit Zn değerinde değişen Cd uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları, küçük harf soldan sağa, sabit Cd değerinde değişen Zn uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları göstermektedir ($p<0,01$).

Çizelge 4.6’da nötr toprağa uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının köklerde ölçülen kadmiyum miktarlarını ne kadar etkilediği görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,001 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile köklerde ölçülen kadmiyum miktarları arasında önemli farklar bulunmuştur ($p<0,01$).

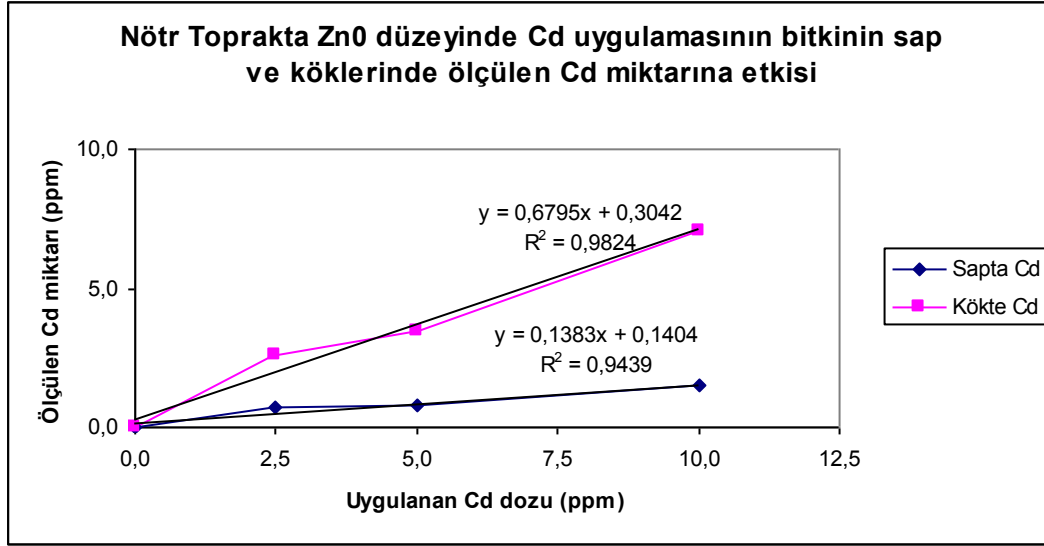
Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 karşılaştırıldığında nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde sapslarına göre daha fazla kadmiyum bulunduğu görülmektedir. Souza ve Rauser (2003)’ın su kültüründe yapmış oldukları çalışmada da artan dozda çinko uygulaması köklerde ölçülen kadmiyum miktarını arttırırken sapslardaki kadmiyum konsantrasyonunu etkilememiştir.

Çizelge 4.6. Çinko ve kadmiyum uygulanmış nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları (ppm)

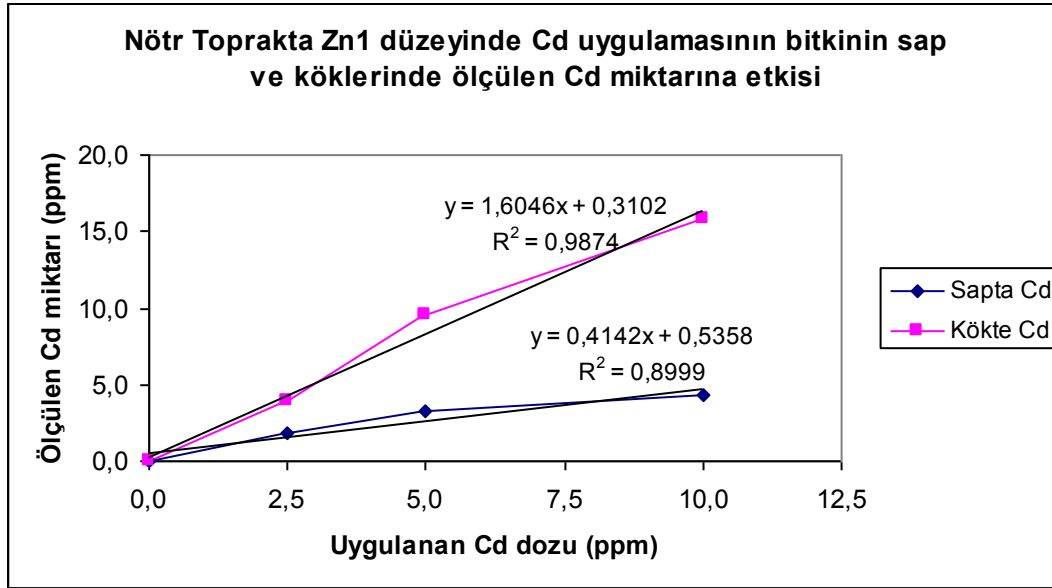
Nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen kadmiyum miktarları (ppm) ¹					
Zn Dozu					
Cd Dozu	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Ortalama
Cd0	0,000±0,000 ^{B,a}	0,000±0,000 ^{C,a}	0,246±0,049 ^{C,a}	0,225±0,060 ^{C,a}	0,118±0,027
Cd1	2,558±0,319 ^{B,a}	3,965±0,520 ^{C,a}	5,336±0,480 ^{B,a}	4,804±0,918 ^{B,a}	4,166±0,559
Cd2	3,478±0,589 ^{AB,b}	9,488±2,090 ^{B,a}	9,399±0,318 ^{B,a}	9,349±0,649 ^{A,a}	7,929±0,912
Cd3	7,073±1,450 ^{A,b}	15,868±3,250 ^{A,a}	18,357±0,929 ^{A,a}	10,190±1,250 ^{A,b}	12,872±1,720
Ort.	3,277±0,590	7,330±1,465	8,335±0,444	6,142±0,719	

¹ Büyük harf yukarıdan aşağıya, sabit Zn değerinde değişen Cd uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları, küçük harf soldan sağa, sabit Cd değerinde değişen Zn uygulaması ile analiz sonucu bulunan Cd miktarları arasındaki farkları göstermektedir ($p<0,01$).

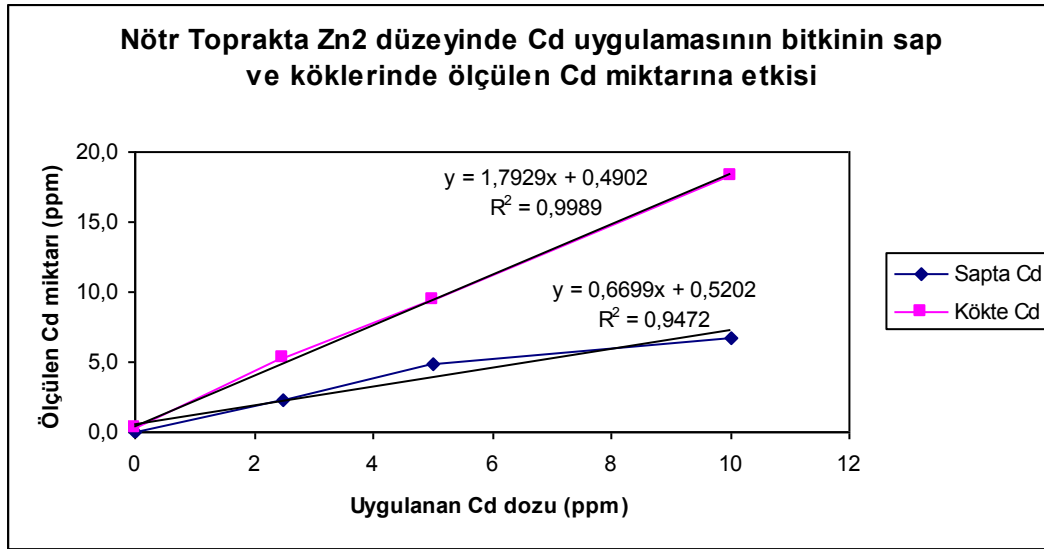
Nötr toprakta tüm çinko düzeylerinde, uygulanan kadmiyum hem sapslardaki hem de köklerdeki kadmiyum miktarlarını arttırmıştır. Uygulanan kadmiyum miktarları ile ölçülen kadmiyum miktarları arasındaki korelasyon oldukça yüksek bulunmuştur (Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19).



Şekil 4.17. Nötr toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

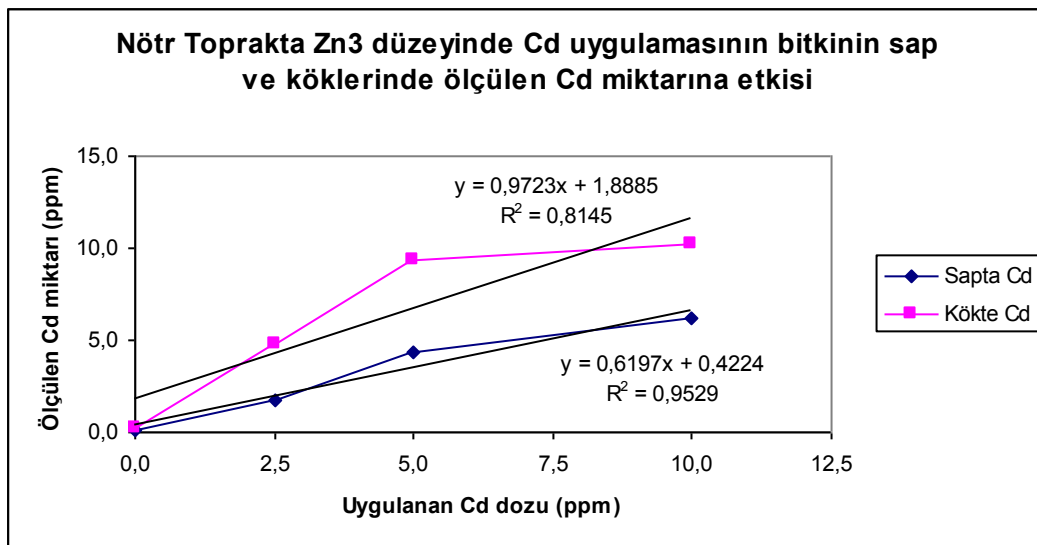


Şekil 4.18. Nötr toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi



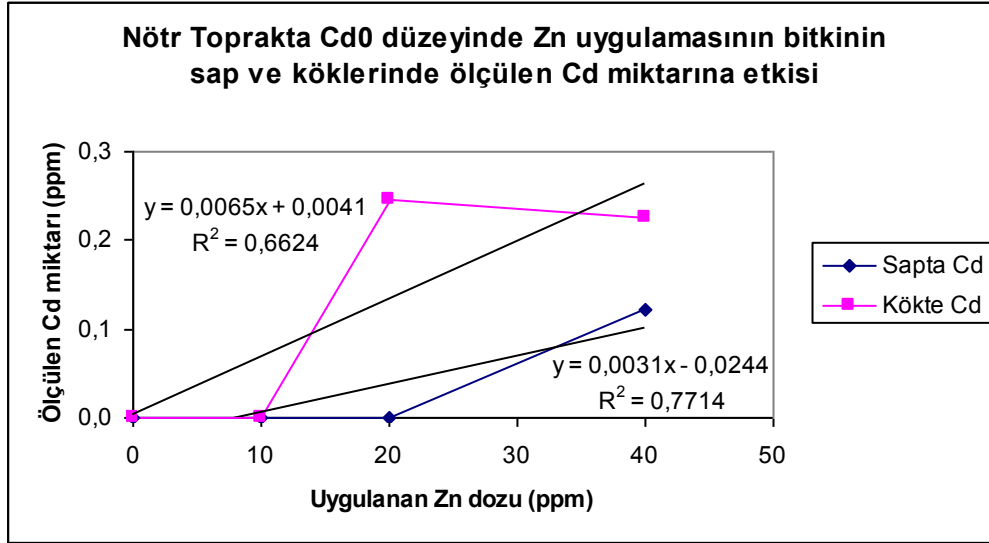
Şekil 4.19. Nötr toprakta Zn₂ düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

Nötr toprakta Zn₃ düzeyindeki kadmiyum uygulamasında toprağa uygulanan Cd₁ ve Cd₂ dozları, sap ve köklerdeki kadmiyum miktarlarını doğru orantılı olarak arttırmıştır. Ancak yüksek doz olan Cd₃ uygulandığında sap ve köklerde ölçülen kadmiyumda artışa neden olduğu fakat bu artışın daha düşük dozlardaki artışla aynı oranda olmadığı Şekil 4.20’de görülmektedir. Bu durum toprak kolloidleri üzerinde ve toprak çözeltisinde bulunan kadmiyum oranlarıyla ilgili olabilir.



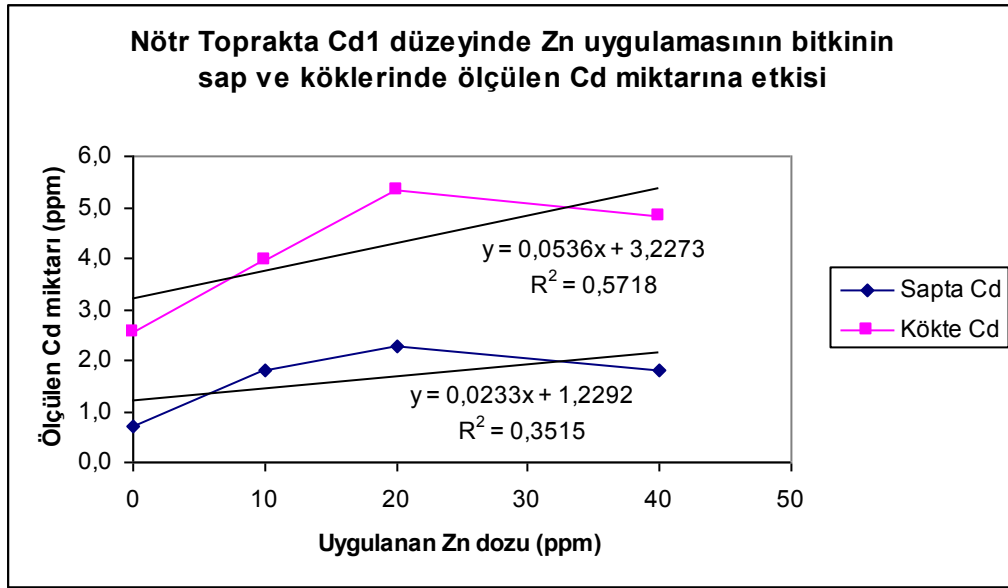
Şekil 4.20. Nötr toprakta Zn₃ düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

Nötr toprakta Cd0 düzeyinde Zn1 uygulamasıyla saplara ve köklere kadmiyum geçmemiş, Zn2 uygulamasında da saplara kadmiyum geçmemiş fakat köklerde 0,246 ppm kadmiyum ölçülmüştür. Zn3 uygulamasında saplarda kadmiyum tespit edilmiş olup, köklerde Zn2 uygulamasına göre azalan ancak istatistiksel olarak önemli olmayan kadmiyum miktarı ölçülmüştür (Şekil 4.21).



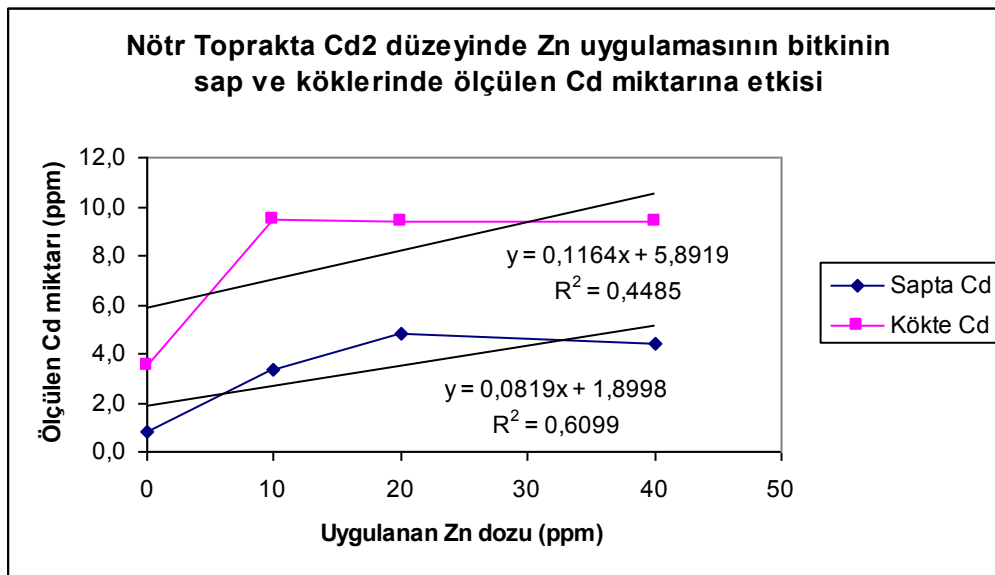
Şekil 4.21. Nötr toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

Cd1, Cd2 ve Cd3 düzeylerinde Zn3 dozu hariç artan dozda çinko uygulaması hem saplardaki hem de köklerdeki kadmiyum miktarını arttırmıştır (Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24). Adiloğlu ve ark. (2005)'nin yapmış olduğu çalışmada da çinko uygulamasının kadmiyum konsantrasyonunu arttırdığı bildirilmiştir. Yapılmış bir başka çalışmada artan dozda çinko uygulamasıyla bitkiye geçen kadmiyum miktarının azaldığı ancak bu durumun her zaman tutarlılık göstermediği bildirilmiştir (Zhang ve Song 2006).

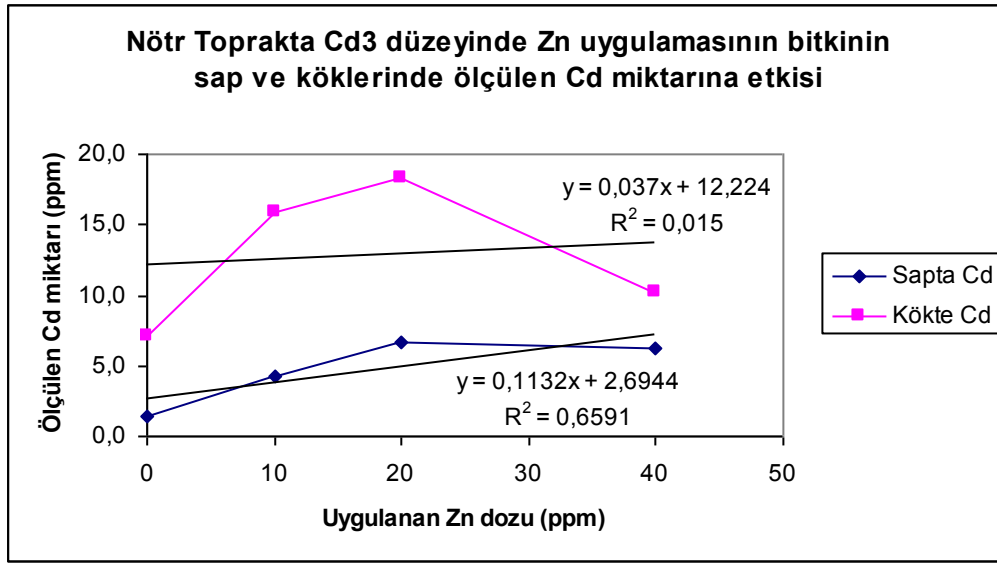


Şekil 4.22. Nötr toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

Cd1, Cd2 ve Cd3 düzeylerinde Zn3 uygulaması, Zn2 uygulamasına göre bitkinin saptarındaki ve köklerindeki kadmiyum miktarının azalmasına sebep olmuştur. Ancak yine de Zn3 uygulaması sonucu ölçülen kadmiyum değerleri kadmiyum verilmemiş saksıda (Cd0) yetişen mısır bitkisindekine oranla daha yüksektir.



Şekil 4.23. Nötr toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi



Şekil 4.24. Nötr toprakta Cd³ düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Cd miktarına etkisi

4.5. Alkalin Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Çinko Miktarları

Alkalin toprakta uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının saplarda ölçülen çinko miktarlarını ne kadar etkilediği Çizelge 4.7’de görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler göre p değeri 0,080 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile saplarda ölçülen çinko miktarları arasında önemli farklar bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Kadmiyum dozları sabit tutulduğunda artan dozlarda çinko uygulanmasıyla hem köklerde hem de saplardaki çinko miktarlarının arttığı görülmektedir. Benzer sonuçlar Özgüven ve Katkat (2001)’in yapmış oldukları çalışmada da yer almaktadır.

Çizelge 4.7. Çinko ve kadmiyum uygulanmış alkalın toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen çinko miktarları (ppm)

Alkalın toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen çinko miktarları (ppm)¹					
Zn Dozu					
Cd Dozu	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Ortalama
Cd0	8,441±0,900	11,411±1,28	11,970±0,427	14,577±1,160	11,600±0,942
Cd1	6,576±0,861	9,889±0,131	14,450±1,200	16,977±2,830	11,973±1,256
Cd2	5,731±0,263	10,418±1,030	11,327±0,539	18,073±1,430	11,387±0,816
Cd3	10,948±0,915	11,420±0,277	16,990±1,300	18,680±0,485	14,510±0,744
Ort.	7,924±0,735	10,785±0,680	13,684±0,867	17,077±1,476	

¹ (p>0,05).

Çizelge 4.8’de alkalın toprakta uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının köklerde ölçülen çinko miktarlarını ne kadar etkilediği görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,302 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile köklerde ölçülen çinko miktarları arasında önemli farklar bulunmamıştır (p>0,05).

Çizelge 4.9’a göre alkalın toprakta uygulanan Cd dozu arttıkça, Zn0, Zn1 ve Zn2 uygulamasında köklerdeki çinko miktarı azalmış, yüksek çinko dozu olan Zn3 uygulamasında önce bir miktar azalıp sonra bir miktar artmıştır. Ancak, yine de kadmiyum verilmemiş saksıda (Cd0) yetişen bitkinin saplarındaki çinko miktarının altında kalmaktadır. Shen ve ark. (2006)’nın yapmış olduğu çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

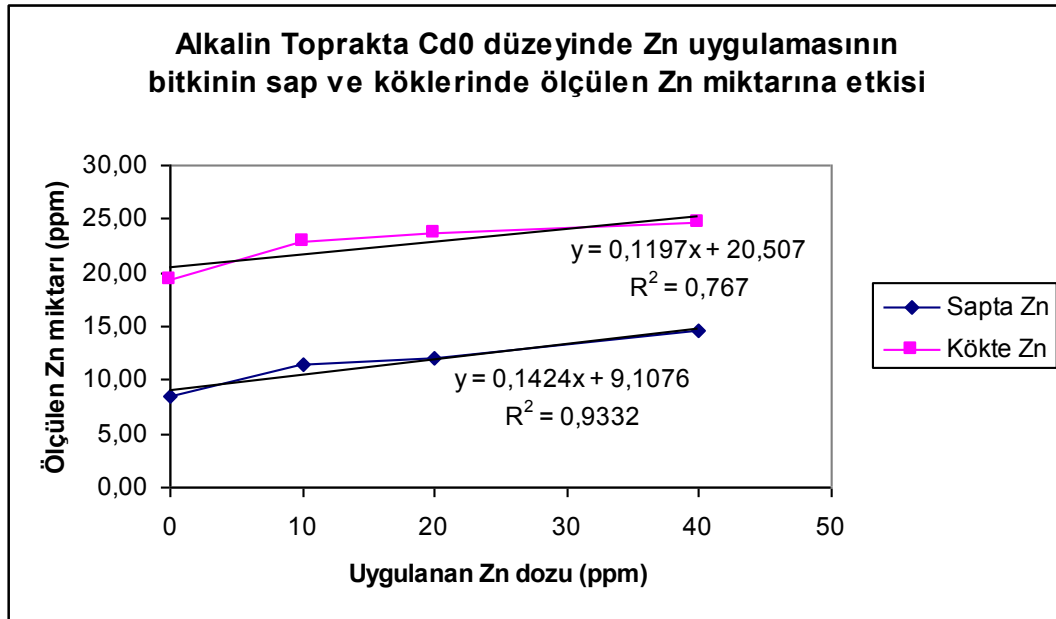
Elementlerin sap ve köklerde birikmesi dikkate alındığında alkalın toprakta çinko birikimi köklerde saplara göre daha fazla olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Çinko ve kadmiyum uygulanmış alkalın toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen çinko miktarları (ppm)

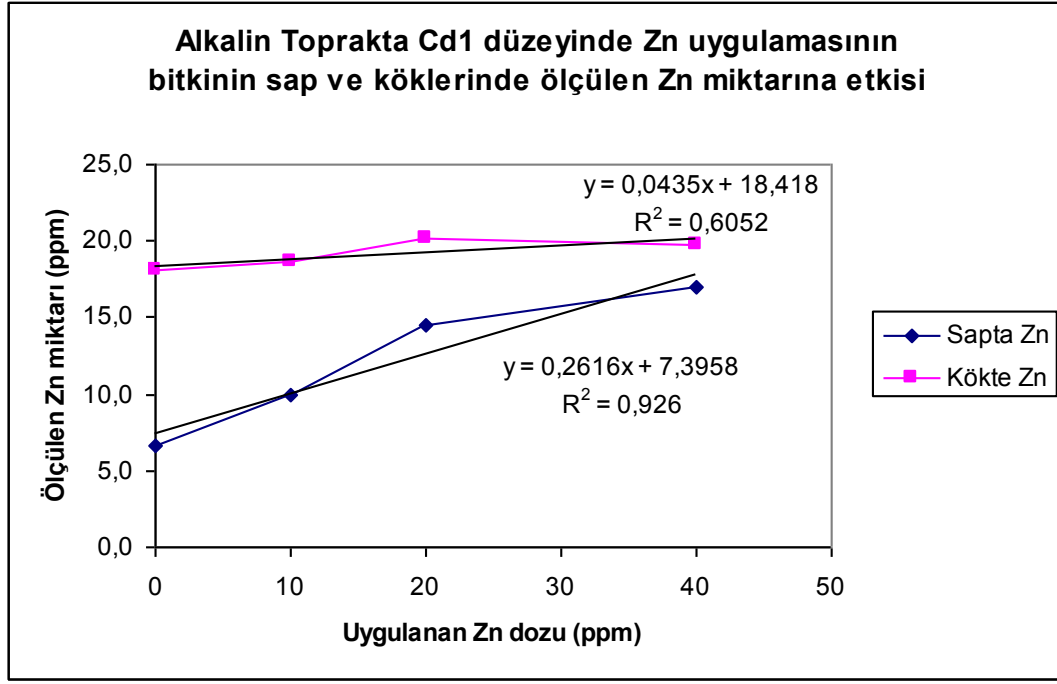
Alkalın toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen çinko miktarları (ppm) ¹					
Zn Dozu					
Cd Dozu	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Ortalama
Cd0	19,277±2,200	22,850±0,358	23,640±0,924	24,637±2,690	22,601±1,543
Cd1	18,103±4,170	18,680±0,647	20,177±0,706	19,757±1,530	19,179±1,763
Cd2	11,800±0,527	12,977±1,870	18,490±1,210	21,457±1,320	16,181±1,232
Cd3	11,074±0,999	12,087±0,344	17,613±1,430	21,940±3,940	15,679±1,678
Ort.	15,064±1,974	16,649±0,805	19,980±1,068	21,948±2,370	

¹ (p>0,05)

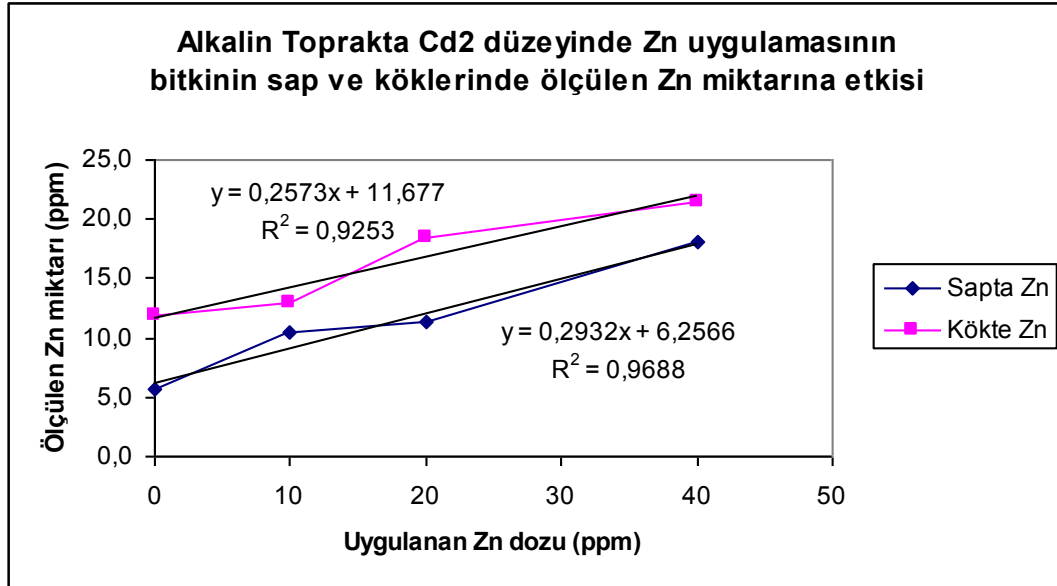
Kökte Cd1+Zn3 uygulaması hariç, diğer kadmiyum düzeylerinde artan çinko uygulamasıyla sap ve köklerde biriken çinko miktarları artmıştır (Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28).



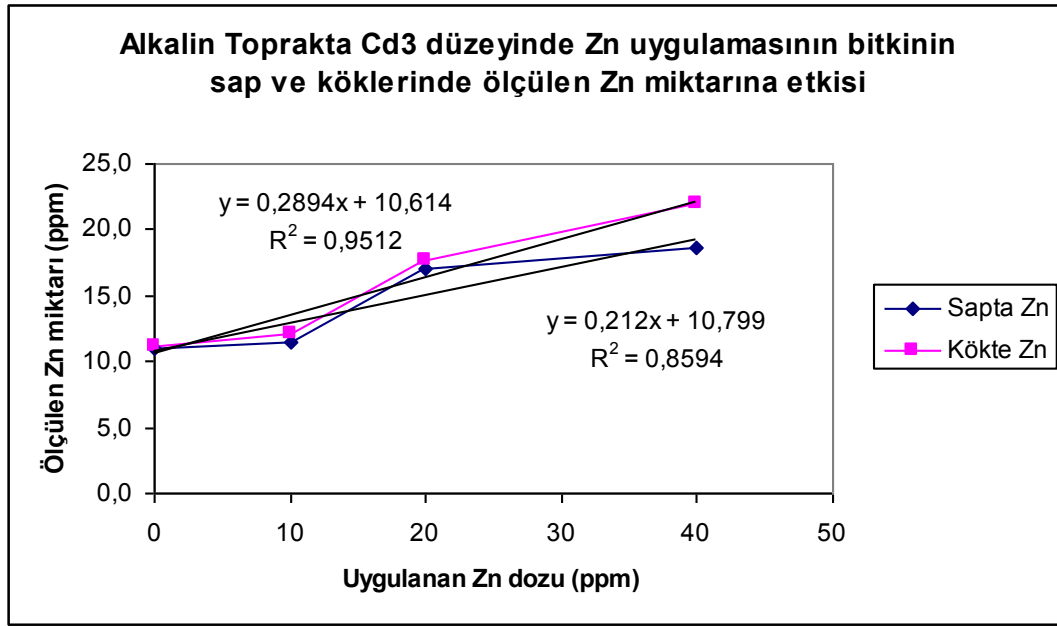
Şekil 4.25. Alkalın toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi



Şekil 4.26. Alkalin toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi



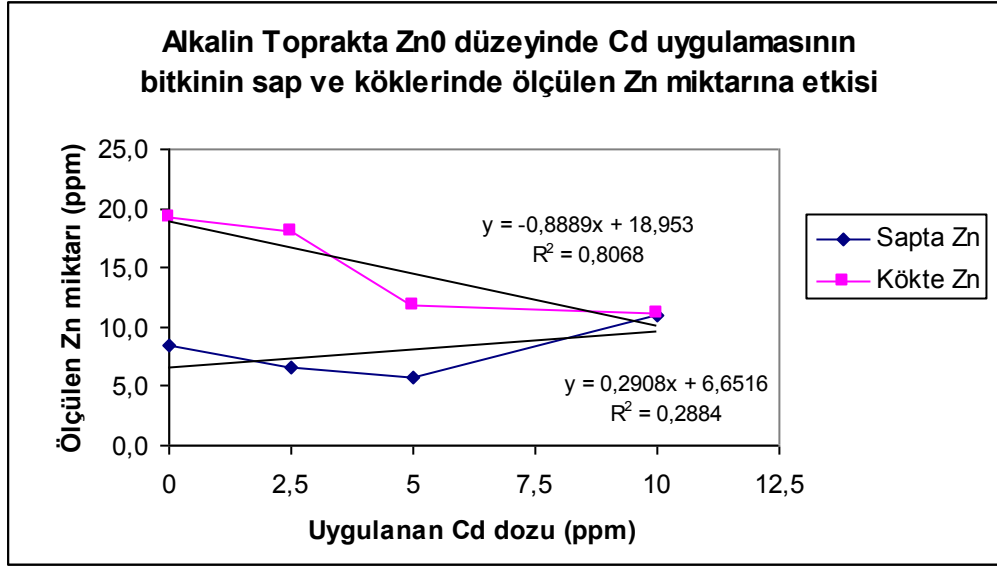
Şekil 4.27. Alkalin toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi



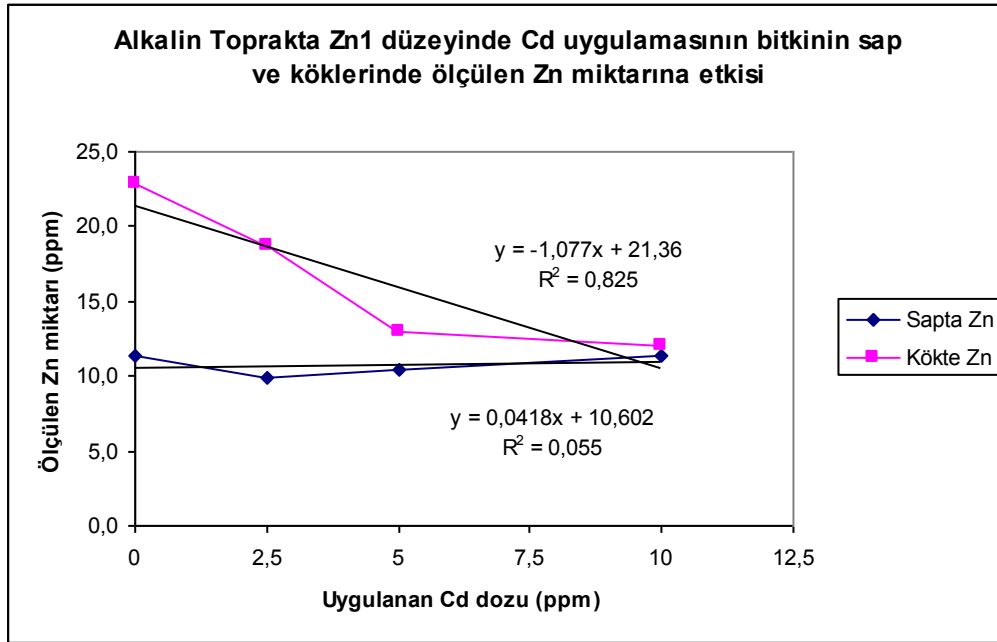
Şekil 4.28. Alkalin toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

Artan miktarda kadmiyum uygulamasının Zn0, Zn1 ve Zn2 düzeylerinde köklerde biriken çinko miktarlarını azalttığı Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de görülmektedir. Zn3 düzeyinde kökte en düşük çinko miktarı Cd1 uygulamasında ölçülse de tüm kadmiyum uygulamaları, kadmiyum uygulanmamış saksıda yetişen mısır bitkisinin köklerinde biriken çinko miktarından daha düşüktür (Şekil 4.32). Bu durum kadmiyum uygulamasının köklerde biriken çinko miktarını azalttığını göstermektedir. Benzer sonuçlar Adiloğlu (2002)’nin yapmış olduğu çalışmada da elde edilmiştir.

Saplarda biriken çinko miktarları incelendiğinde düzenli artış ve azalışlar olmadığı görülmektedir. Zn1 düzeyinde artan kadmiyum uygulaması saplardaki çinko miktarını önce düşürmüştü, Cd3 uygulamasında ise arttırmıştır (Şekil 4.29). Zn1 düzeyinde yalnızca Cd1 uygulamasında düşüş görülmüş, artan dozda kadmiyum uygulaması sapta biriken çinko miktarını arttırmıştır (Şekil 4.30).



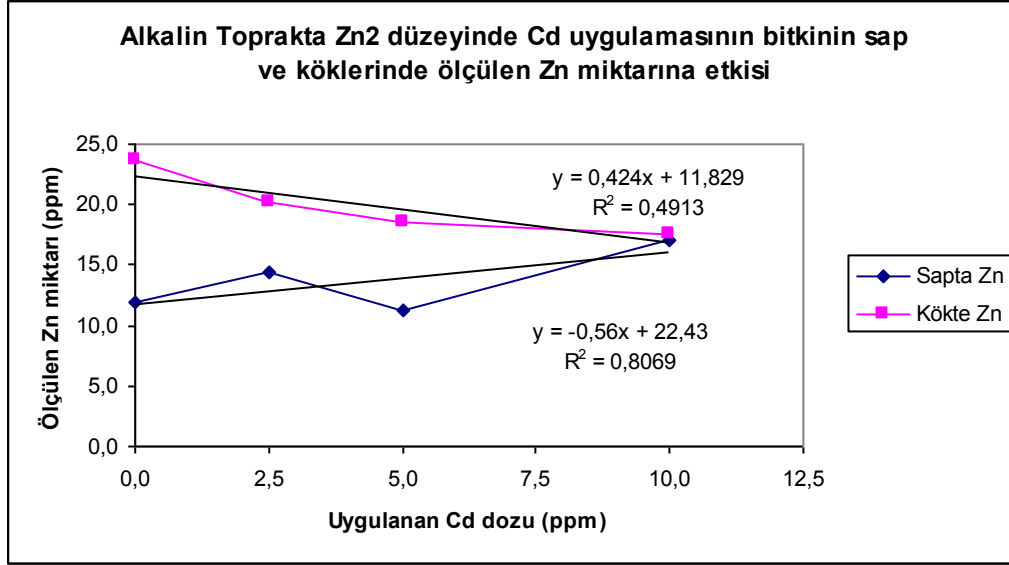
Şekil 4.29. Alkalin toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi



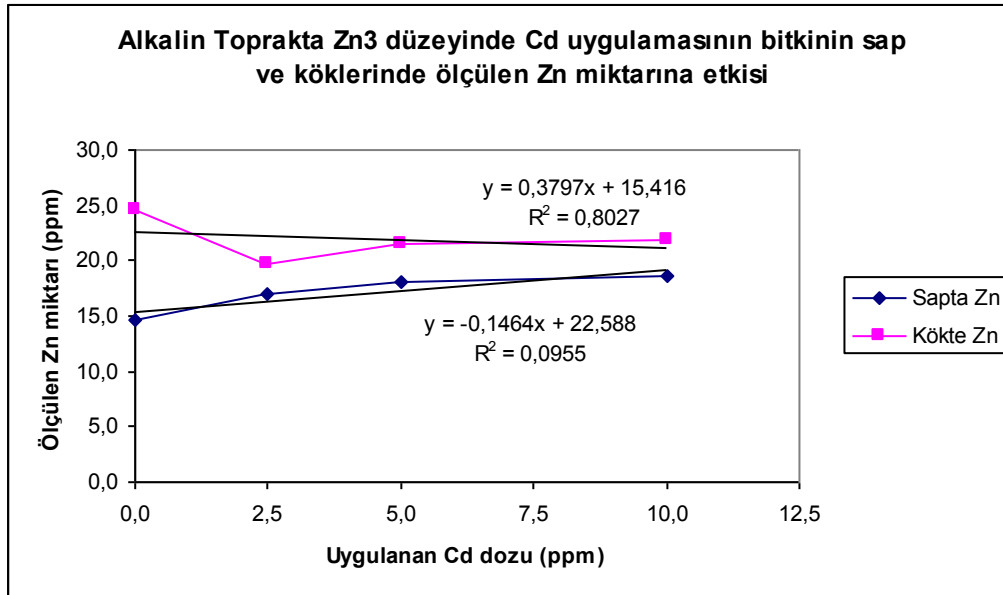
Şekil 4.30. Alkalin toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

Zn2 düzeyinde artan kadmiyum uygulamasıyla saplarda biriken çinko miktarları önce artmış, sonra düşmüş, yüksek doz kadmiyum uygulamasıyla tekrar artmıştır (Şekil 4.31).

Zn2 düzeyinde uygulanan Cd2 dozu bitkinin sapslarına geçen çinko miktarını sınırlamıştır. Zn3 düzeyinde artan kadmiyum uygulamasıyla sapslarda biriken çinko miktarları da artmıştır.



Şekil 4.31. Alkalın toprakta Zn2 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi



Şekil 4.32. Alkalın toprakta Zn3 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

Çizelge 4.7’de genel duruma bakıldığında, Zn0, Zn1 ve Zn2 düzeylerinde ancak yüksek doz kadmiyum uygulandığında ve Zn3 düzeyinin tüm kadmiyum dozlarında saplardaki çinko miktarları kadmiyum uygulanmamış saksıda yetişen mısır bitkisinde ölçülen çinko miktarlarının üstündedir.

4.6. Asit Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Çinko Miktarları

Asit toprakta uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının saplarda ölçülen çinko miktarlarını ne kadar etkilediği Çizelge 4.9’da görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,067 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile saplarda ölçülen çinko miktarları arasında önemli farklar elde edilmemiştir ($p>0,05$).

Çizelge 4.9. Çinko ve kadmiyum uygulanmış asit toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarda ölçülen çinko miktarları (ppm)

Asit toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarda ölçülen çinko miktarları (ppm) ¹					
Cd Dozu	Zn Dozu				Ortalama
	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	
Cd0	24,530±1,630	24,950±1,460	39,080±1,990	48,813±9,310	34,343±3,596
Cd1	19,827±2,010	30,260±2,780	34,170±2,570	52,027±8,360	34,071±3,930
Cd2	31,320±1,740	45,893±6,830	36,463±3,410	35,790±1,110	37,367±3,273
Cd3	27,660±3,510	32,690±4,220	39,593±10,30	53,220±4,790	38,291±5,705
Ort.	25,834±2,223	33,448±3,823	37,327±4,568	47,463±5,893	

¹ ($p>0,05$)

Asit toprakta uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının köklerde ölçülen çinko miktarlarını ne kadar etkilediği Çizelge 4.10’da görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,000 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile köklerde ölçülen çinko miktarları arasında önemli farklar vardır ($p<0,01$).

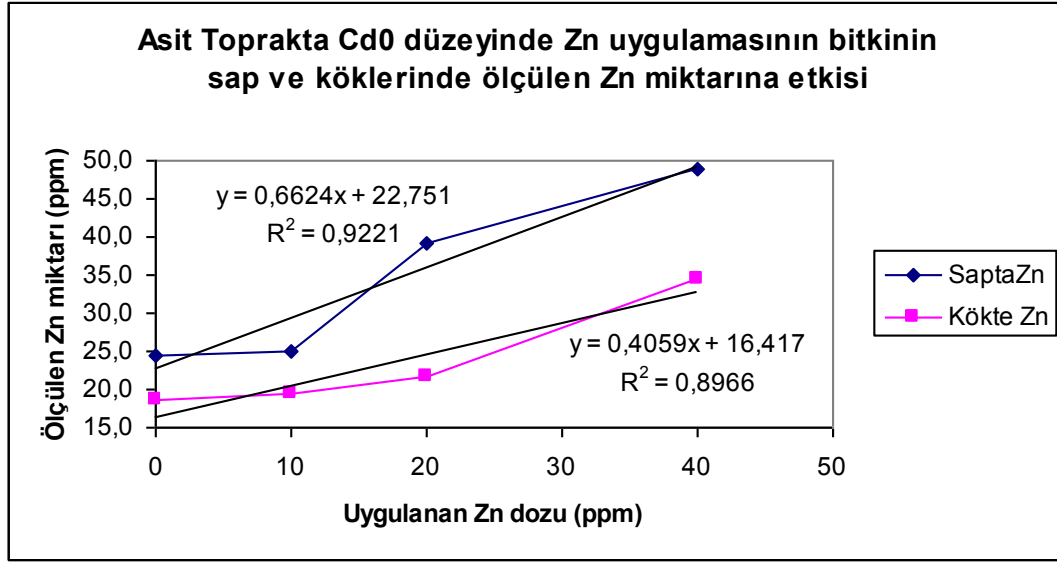
Çizelge 4.10. Çinko ve kadmiyum uygulanmış asit toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen çinko miktarları (ppm)

Asit toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen çinko miktarları (ppm) ¹					
Zn Dozu					
Cd Dozu	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Ortalama
Cd0	18,600±0,346 ^{A,b}	19,453±0,831 ^{B,b}	21,703±1,020 ^{B,b}	34,323±1,240 ^{C,a}	23,520±0,859
Cd1	17,853±0,368 ^{A,b}	19,710±1,350 ^{AB,b}	27,050±0,652 ^{B,b}	57,470±3,640 ^{B,a}	30,521±1,503
Cd2	20,037±0,904 ^{A,c}	31,360±2,560 ^{A,c}	45,193±7,090 ^{A,b}	86,887±0,361 ^{A,a}	45,869±2,729
Cd3	17,963±0,553 ^{A,c}	29,257±1,690 ^{AB,c}	50,367±3,230 ^{A,b}	87,627±7,390 ^{A,a}	46,304±3,216
Ort.	18,613±0,543	24,945±1,608	36,078±2,998	66,577±3,158	

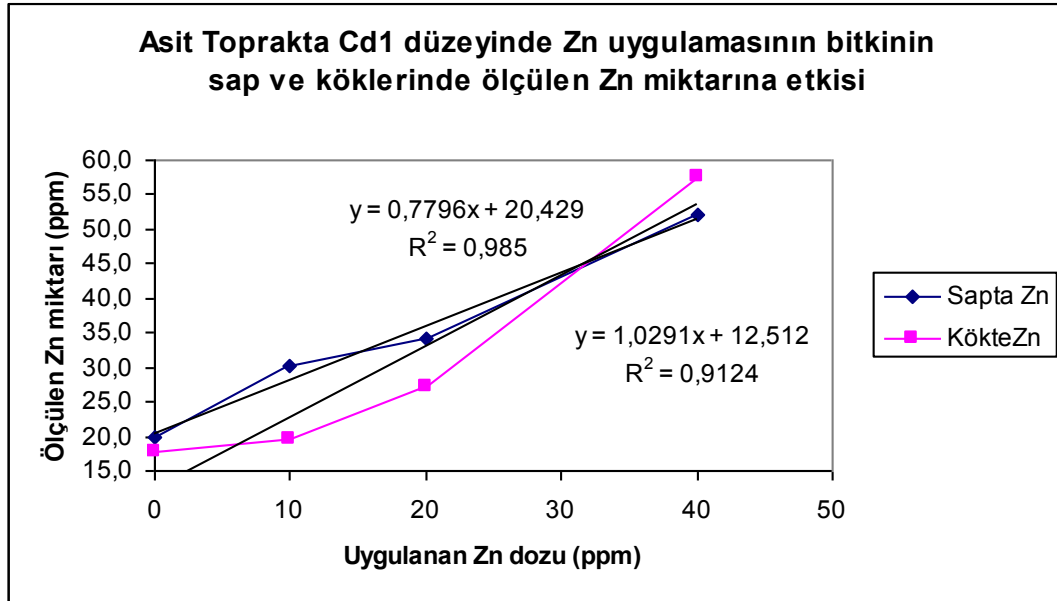
¹ Büyük harf yukarıdan aşağıya, sabit Zn değerinde değişen Cd uygulaması ile analiz sonucu bulunan Zn miktarları arasındaki farkları, küçük harf soldan sağa, sabit Cd değerinde değişen Zn uygulaması ile analiz sonucu bulunan Zn miktarları arasındaki farkları göstermektedir (p<0,01).

Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10 karşılaştırıldığında artan dozlarda kadmiyum ve artan dozlarda çinko uygulamalarıyla (Cd1+Zn3, Cd2+Zn2, Cd2+Zn3, Cd3+Zn2 ve Cd3+Zn3) çinkonun bitkinin köklerinde saplara göre daha fazla biriktiği görülmektedir.

Asit toprağın olduğu saksıda yetişen bitkideki çinko birikimi yalnızca yüksek doz kadmiyum ve yüksek doz çinko uygulamasında (Cd2+Zn3 ve Cd3+ Zn3) bitkinin köklerinde daha fazladır ve toksik sınır olan 60 ppm'i geçmiştir (Alpaslan ve ark 2005).



Şekil 4.33. Asit toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

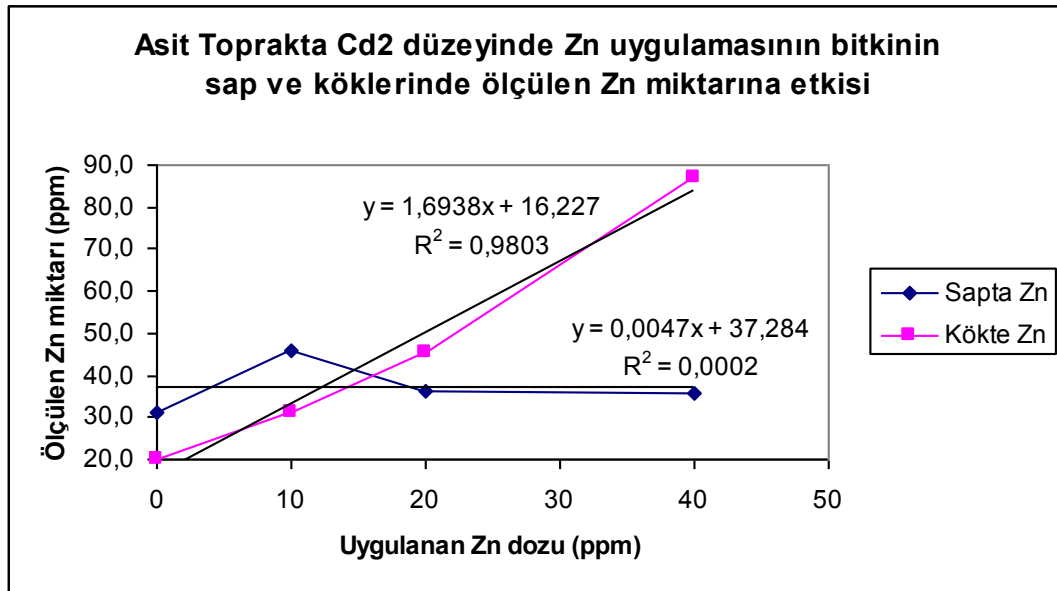


Şekil 4.34. Asit toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

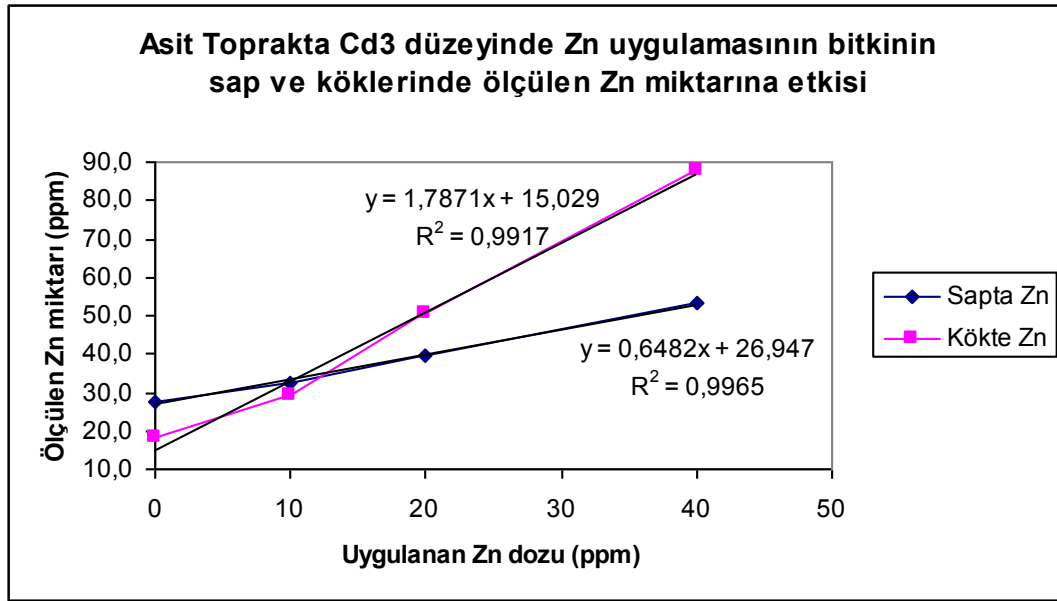
Cd0, Cd1 ve Cd2 düzeylerinde artan çinko uygulamasıyla hem köklerdeki hem de saplardaki çinko miktarları artmıştır (Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.36). Cd2 düzeyinde de kökte ölçülen çinko miktarı artan çinko uygulamasıyla artmıştır (Şekil 4.35). Bu durum,

toprak çözeltilindeki çinko konsantrasyonu arttıkça bitkinin aldığı çinkonun da artmasından kaynaklanabilir. Yapılan diğer çalışmalarda da artan çinko uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen kadmiyum miktarını arttırdığı bildirilmektedir (Özgüven ve Katkat 2001, Bellitürk ve Sözübek 2009).

Cd2 düzeyinde Zn1 uygulamasıyla saptaki çinko miktarları önce artmış, Zn2 ve Zn3 uygulamasıyla düşmüş ancak yine de çinko uygulanmamış toprakta yetişen mısır bitkisinin sapında ölçülen çinko miktarlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.35).

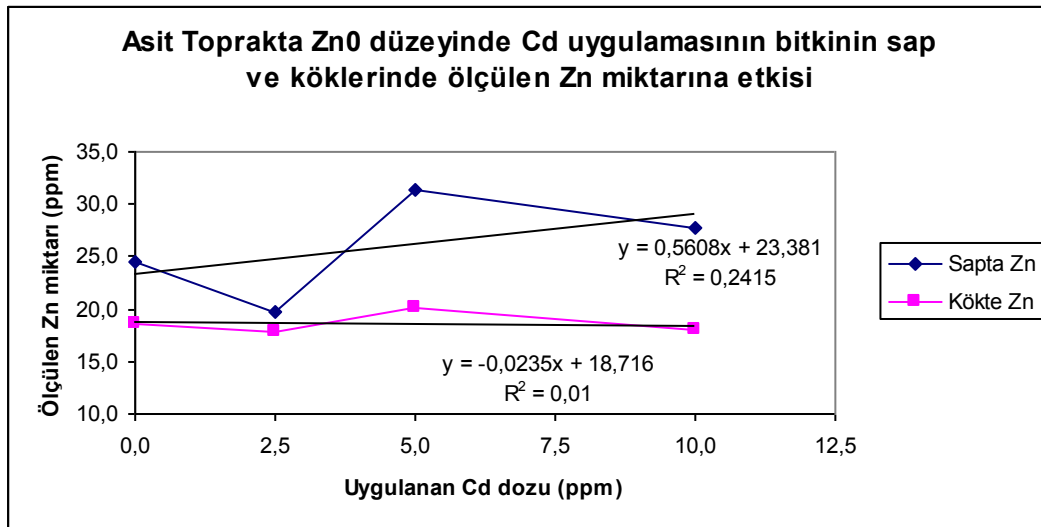


Şekil 4.35. Asit toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

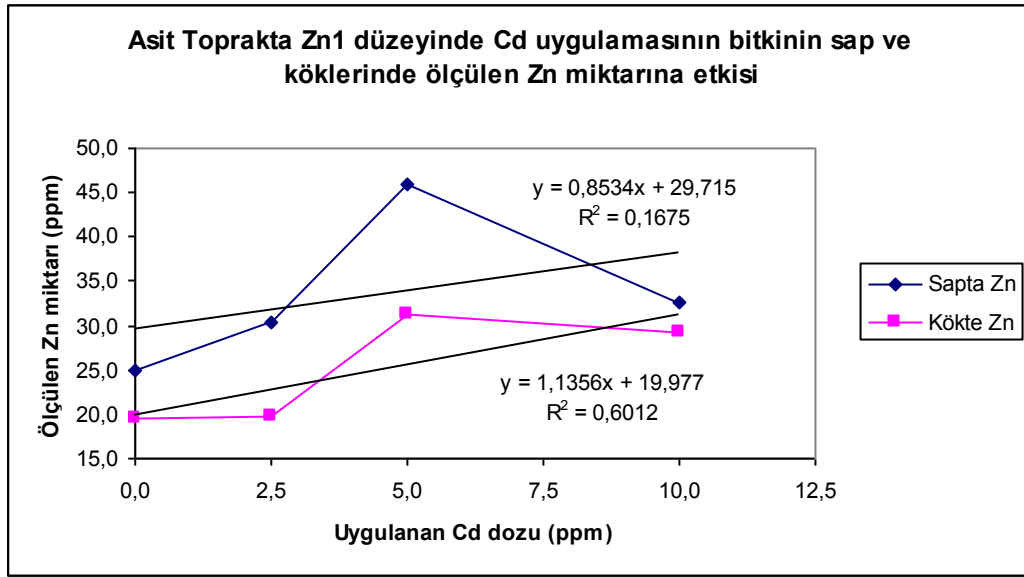


Şekil 4.36. Asit toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

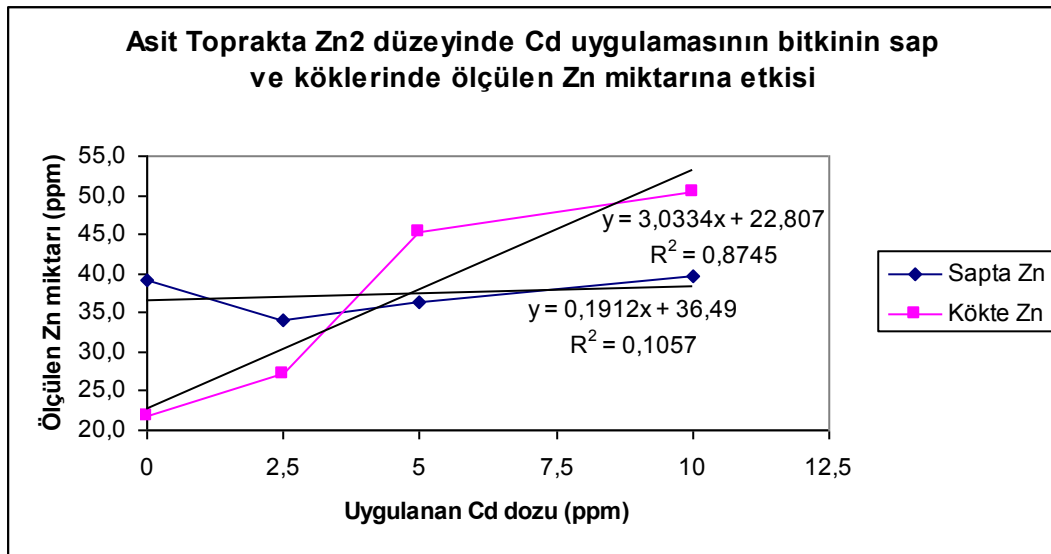
Asit toprakta artan dozlarda kadmiyum uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde düzenli bir artış ya da azalış göstermediği ancak Zn0 ve Zn1 düzeylerinde hem saplarda hem köklerde Cd3 uygulamasıyla Cd2 uygulamasına göre daha az çinko ölçüldüğü (Şekil 4.37 ve Şekil 4.38), Zn2 ve Zn3 düzeylerinde Cd3 uygulamasıyla Cd2 uygulamasına göre daha fazla çinko ölçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.39 ve Şekil 4.40).



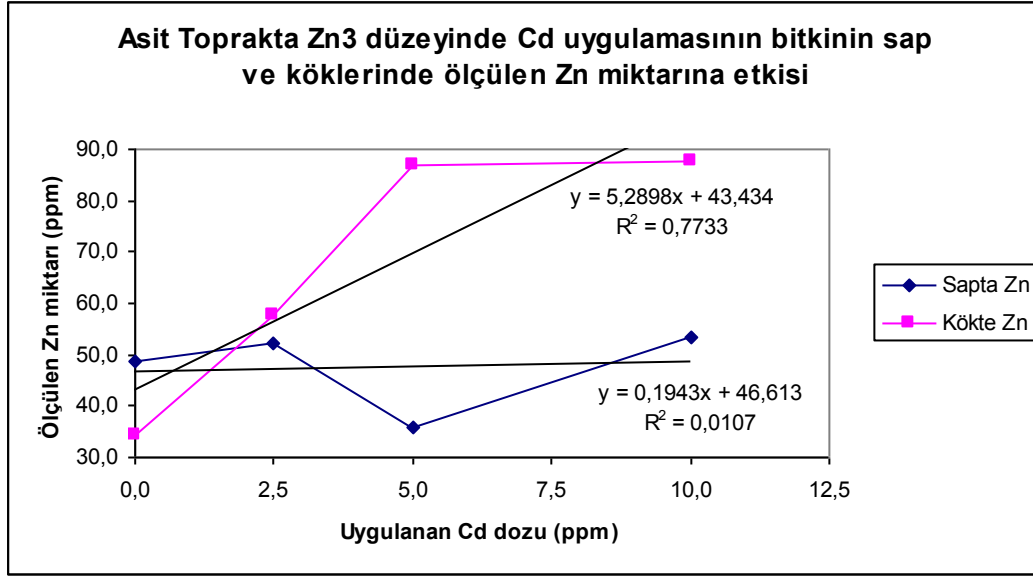
Şekil 4.37. Asit toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi



Şekil 4.38. Asit toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi



Şekil 4.39. Asit toprakta Zn2 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi



Şekil 4.40. Asit toprakta Zn³ düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

4.7. Nötr Toprakta Yetişen Bitkide Ölçülen Çinko Miktarları

Nötr toprakta uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının saplarda ölçülen çinko miktarlarını ne kadar etkilediği Çizelge 4.11’de görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,322 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile saplarda ölçülen çinko miktarları arasında önemli farklar bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Nötr toprakta uygulanan kadmiyum ve çinko dozlarının köklerde ölçülen çinko miktarlarını ne kadar etkilediği Çizelge 4.12’de görülmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre p değeri 0,609 bulunmuş olup farklı çinko ve kadmiyum dozlarının uygulanması ile köklerde ölçülen çinko miktarları arasında önemli farklar bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Çizelge 4.11. Çinko ve kadmiyum uygulanmış nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen çinko miktarları (ppm)

Nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin saplarında ölçülen çinko miktarları (ppm)¹					
Zn Dozu					
Zn Dozu	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Ortalama
Cd0	13,440±1,040	15,907±2,630	21,877±3,070	29,170±1,230	20,099±1,993
Cd1	15,790±0,799	17,830±1,170	25,320±0,751	25,477±0,650	21,104±0,843
Cd2	12,443±1,510	23,500±4,890	24,257±0,101	26,340±2,460	21,635±2,240
Cd3	16,187±0,816	18,773±1,580	27,070±1,170	30,080±4,180	23,028±1,937
Ort.	14,465±1,041	19,003±2,568	24,631±1,273	27,767±2,130	

¹ (p>0,05)

Çizelge 4.12. Çinko ve kadmiyum uygulanmış nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen çinko miktarları (ppm)

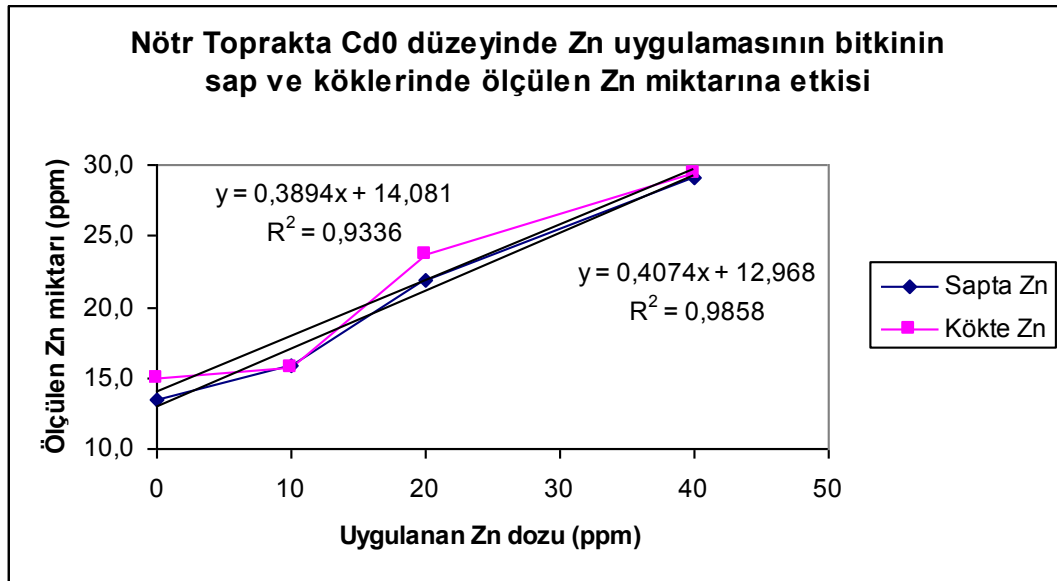
Nötr toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerinde ölçülen çinko miktarları (ppm)¹					
Zn Dozu					
Cd Dozu	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Ortalama
Cd0	14,923±1,570	15,653±1,180	23,667±5,320	29,337±2,480	20,895±2,638
Cd1	12,014±2,020	16,757±1,960	18,543±0,780	25,753±2,460	18,267±1,805
Cd2	12,137±0,786	14,490±1,490	17,863±0,619	29,993±3,200	18,621±1,524
Cd3	13,403±0,403	14,430±1,070	22,230±0,967	25,420±1,990	18,870±1,108
Ort.	13,119±1,195	15,333±1,425	20,576±1,922	27,626±2,533	

¹ (p>0,05)

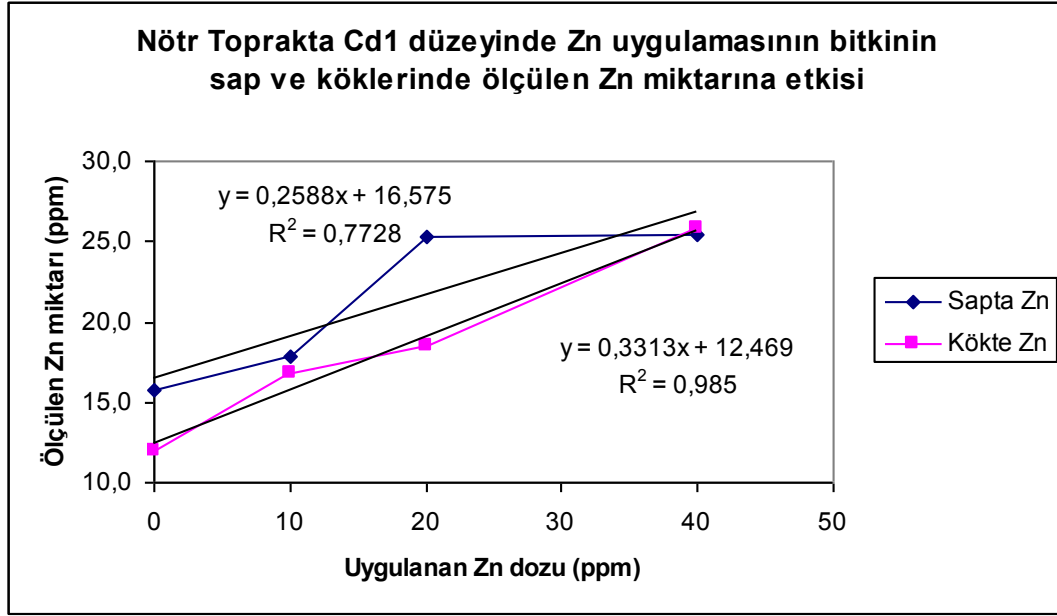
Nötr toprakta farklı dozda uygulanan kadmiyumun bitkinin çinko alımı üzerinde belli bir etki yapmadığı görülmektedir. Su kültüründe yapılan başka çalışmalarda da benzer

sonuçlara ulaşıldığı belirtilmektedir (Green ve ark. 2003). Çinkonun sap ve köklerde birikimi karşılaştırıldığında düzensizlikler olmakla beraber, daha çok saplarda biriktiği görülebilir (Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12). Bu durum, araştırmada kullanılan toprağın pH değerinin mısır bitkisinin yetiştirildiği optimum pH değeri civarında olması sebebiyle bitki besin elementlerinin köklerden saplara iletiminin daha iyi olmasından kaynaklanabilir. Yüksek doz çinko uygulamasında diğer uygulamalara göre çinkonun kökte daha çok biriktiği görülmektedir.

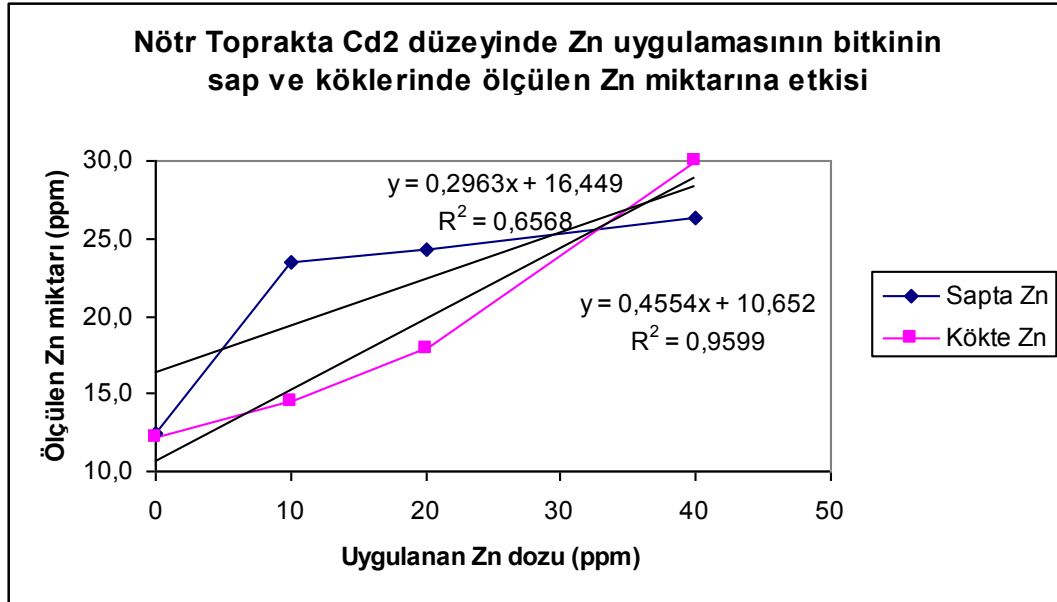
Tüm kadmiyum düzeylerinde artan miktardaki çinko uygulaması ile hem sapta hem kökteki çinko miktarlarının arttığı Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te görülmektedir. Bellitürk ve Sözübek (2009)'in yaptıkları çalışmada da artan dozda çinko uygulamasının mısırın çinko içeriğini arttırdığı bildirilmiştir.



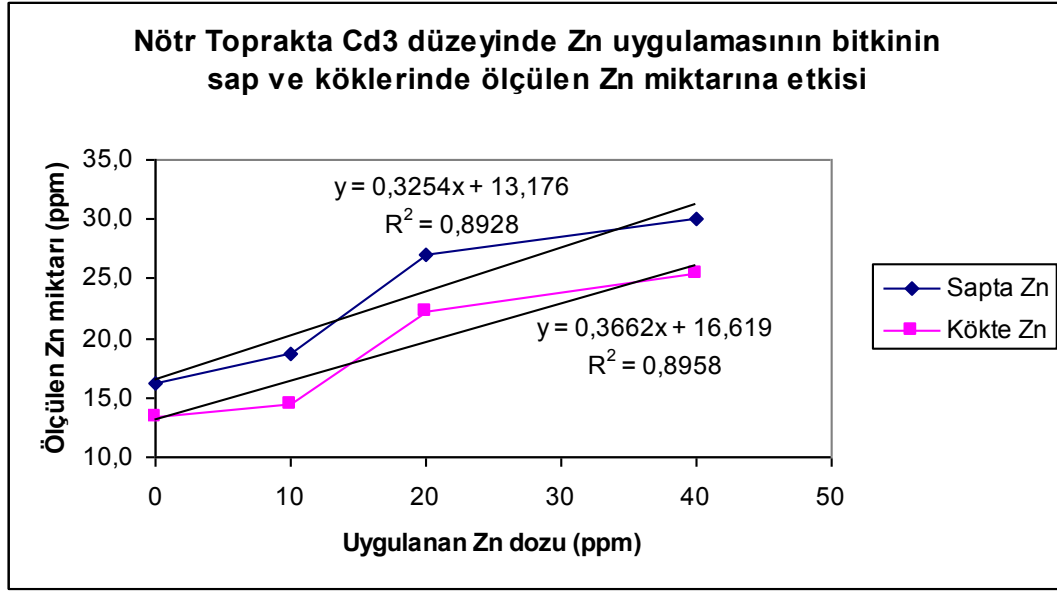
Şekil 4.41. Nötr toprakta Cd0 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi



Şekil 4.42. Nötr toprakta Cd1 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

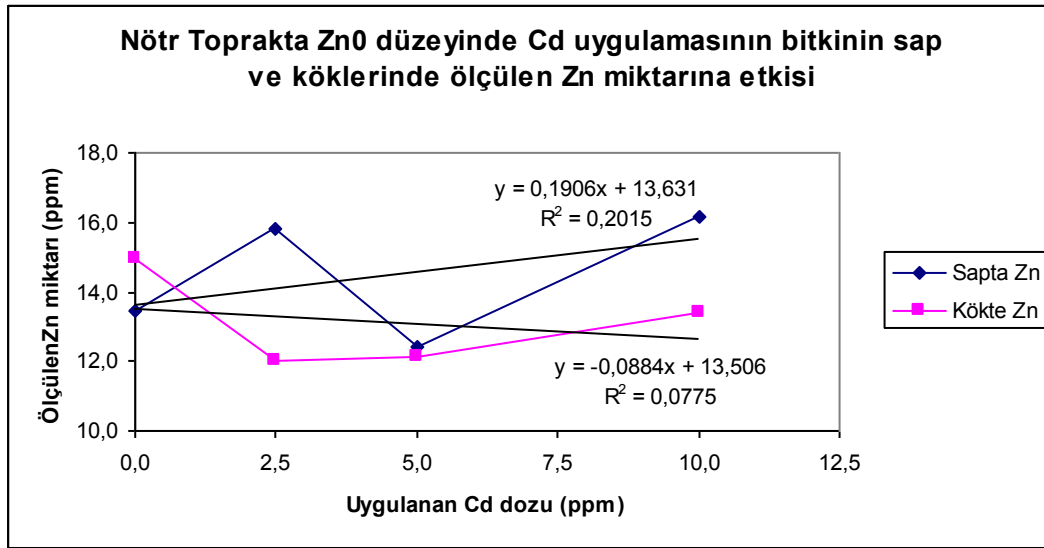


Şekil 4.43 Nötr toprakta Cd2 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

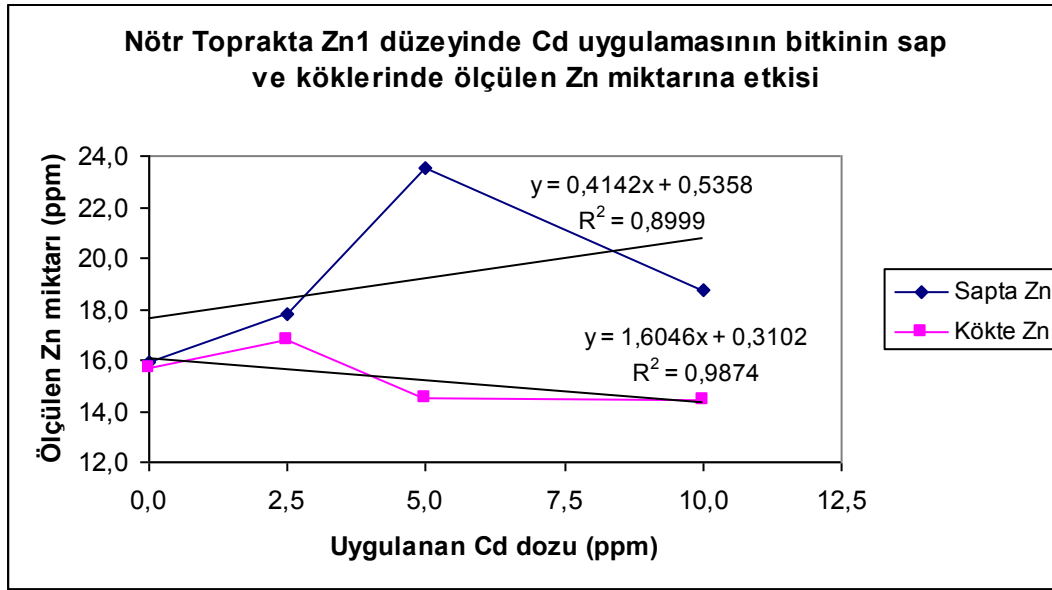


Şekil 4.44. Nötr toprakta Cd3 düzeyinde Zn uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

Şekil 4.45'te görüldüğü gibi Zn0 düzeyinde artan miktarlarda kadmiyum uygulaması sapta ve köklerde düzenli bir artış ya da azalış meydana getirmemiştir. Zn1 düzeyinde aynı doz kadmiyum uygulamalarında saptaki çinko miktarlarında azalış olurken, kökteki çinko miktarlarında artış meydana gelmiştir (Şekil 4.46).

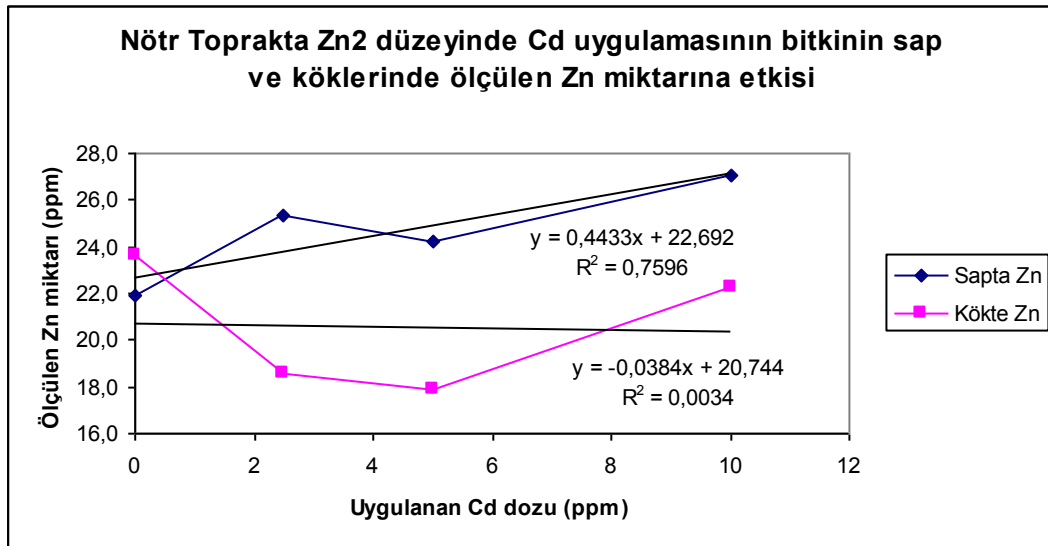


Şekil 4.45. Nötr toprakta Zn0 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

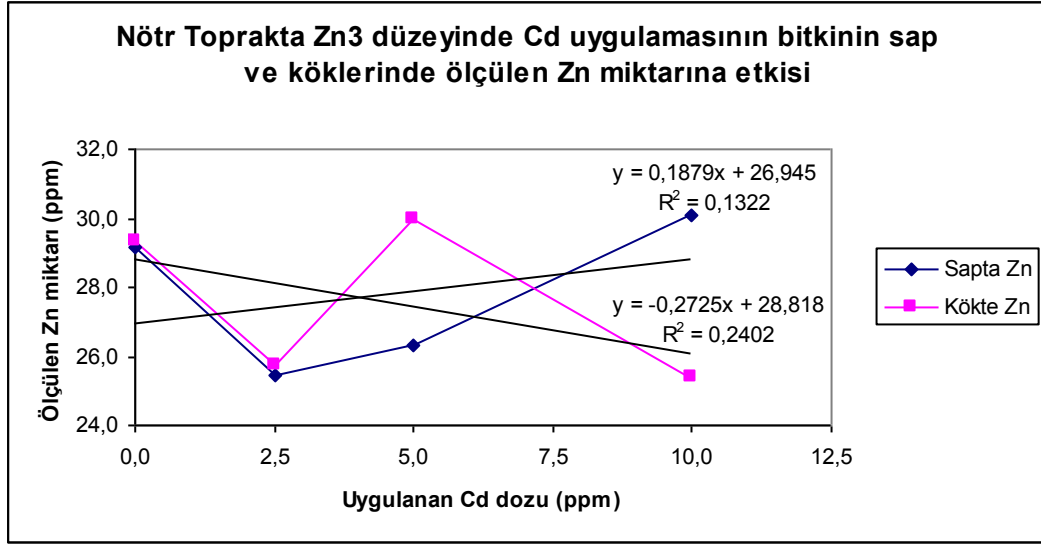


Şekil 4.46. Nötr toprakta Zn1 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

Ölçülen çinko miktarlarındaki artış ve azalışlar Zn2 düzeyinde Cd2 ve Cd3 uygulamasında ve Zn3 düzeyinde Cd1 ve Cd2 uygulamasında sap ve köklerde paralellik göstermektedir (Şekil 4.47 ve Şekil 4.48).



Şekil 4.47. Nötr toprakta Zn2 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi



Şekil 4.48. Nötr toprakta Zn3 düzeyinde Cd uygulamasının bitkinin sap ve köklerinde ölçülen Zn miktarına etkisi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mısır bitkisinde kadmiyumun çinko ile karşılaştırılmalı incelenmesindeki sebeplerden biri, kadmiyum ve çinkonun kimyasal özelliklerinin benzemesidir. Kimyasal olarak benzer iki elementin toprak yüzeyinde, toprak çözeltisinde ve dolayısıyla bitkiye geçişinde birbirleri ile yarış halinde oldukları düşüncesinden yola çıkılarak, kadmiyum ile kirlenmiş toprakta yetişen mısıra kadmiyum geçişinin çinko gübrelenmesi ile azaltılabilirliği sorgulanmış, aynı zamanda kadmiyumun bitkinin çinko alımı üzerine etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Diğer sebep de mısır bitkisinin çinkoya duyarlı oluşudur. Mısır çinkoya ihtiyaç duyan ve eksikliğinde kloroz görülen bir bitkidir. Türkiye topraklarının çinko bakımından yetersiz olduğu da düşünülerek çinko gübrelenmesi fazlaca fakat toksik düzeyi aşmadan yapılması durumunda mısırdaki kadmiyumun olası toksik etkilerinin azaltılması sorgulanmıştır.

Alkalin toprakta, sabit kadmiyum dozlarında çinko uygulaması Cd1+Zn3 uygulaması hariç hem saplardaki hem köklerdeki çinko miktarlarını arttırmıştır. Sabit kadmiyum dozlarında çinko uygulaması hem saplardaki hem köklerdeki kadmiyum miktarlarını arttırmış ancak uygulanan en yüksek doz olan 40 ppm çinko uygulaması ile, bir önceki çinko dozuna göre daha düşük kadmiyum ölçülmüştür. Fakat yine de çinko uygulanmamış duruma göre kadmiyum miktarları daha yüksektir.

Alkalin toprakta, sabit çinko dozlarında kadmiyum uygulaması, Cd2+Zn2 uygulaması hariç hem saplardaki hem köklerdeki kadmiyum miktarlarını arttırmıştır. Sabit çinko dozlarında kadmiyum uygulaması saplardaki çinko içeriğinde belirli bir artış ya da azalışa neden olmazken, yüksek doz kadmiyum ve yüksek doz çinko uygulandığında saplardaki çinko içeriğindeki artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Sabit çinko dozlarında uygulanan kadmiyum ile köklerde genel olarak çinko miktarlarında düşüş tespit edilmiştir.

Asit toprakta, sabit kadmiyum dozlarında çinko uygulaması hem saplardaki hem köklerdeki çinko miktarlarını arttırmıştır. Sabit kadmiyum dozlarında çinko uygulaması saplarda Cd3 dozu hariç bitkideki kadmiyum içeriğinde önce bir miktar düşüşe neden olsa da, bu durum istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yüksek doz kadmiyum seviyesinde (Cd3) çinko uygulaması saplardaki kadmiyum miktarlarını arttırmıştır. Köklerde ise Cd0 ve Cd1 sabit dozlarında çinko uygulaması kadmiyum miktarlarını önce biraz azaltmış olsa da,

istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Artan dozlarda çinko uygulaması ile köklerde ölçülen kadmiyum miktarları Cd2 sabit dozlarında düşmüş, Cd3 dozlarında artmıştır.

Asit toprakta, sabit çinko dozlarında kadmiyum uygulaması hem saplardaki hem köklerdeki kadmiyum miktarlarını arttırmıştır. Sabit çinko dozlarında kadmiyum uygulamasının bitkinin sapsındaki çinko miktarlarına etkisi çok istikrarlı olmamakla birlikte bir miktar artış bulunmaktadır. Kadmiyum uygulaması çinko uygulanmamış toprakta yetişen mısır bitkisinin köklerindeki çinko miktarlarını önemli derecede etkilemezken, diğer çinko dozlarında kadmiyum uygulaması bitkinin köklerindeki çinko miktarlarını arttırmıştır.

Nötr toprakta, sabit kadmiyum dozlarında çinko uygulaması hem saplardaki hem köklerdeki çinko miktarlarını arttırmıştır. Sabit kadmiyum dozlarında Zn1 ve Zn2 uygulamaları, sapsındaki kadmiyum miktarlarını arttırmıştır. Zn3 dozu uygulamasında Zn2 dozuna göre istatistiksel olarak önemli olmayan bir azalışa neden olmuştur. Köklerde sabit kadmiyum dozlarında tüm çinko uygulamalarından elde edilen kadmiyum miktarları Zn0 dozundaki kadmiyum miktarlarının üzerindedir.

Nötr toprakta, sabit çinko dozlarında kadmiyum uygulaması hem sapsındaki hem köklerdeki kadmiyum miktarlarını arttırmıştır. Sabit çinko dozlarında kadmiyum uygulaması düzensizlik gösterse de genel olarak bitkinin sapsındaki çinko miktarlarında kadmiyum uygulanmamış duruma göre istatistiksel olarak önemli olmayan artışa, bitkinin köklerinde ise istatistiksel olarak önemli olmayan azalışa neden olmuştur.

Kadmiyum ile kirlenmiş asit topraklarda mısır bitkisi yetiştirilecekse, çinko uygulamasının belli bir doza kadar kadmiyum alımını azalttığı, ancak kadmiyum kirlenmesi fazla ise çinko uygulamasının kadmiyum alımını daha da arttırdığı dikkate alınarak gerekli analizler yapıldıktan sonra çinko gübresinin verilmesi uygun olabilir. Asit toprakta bitkiye geçen kadmiyum miktarının pH değeri daha yüksek olan nötr ve alkalın topraklara göre çok daha fazla olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca fazla çinko gübrelemesinin bitkide toksik etki yapabileceği de dikkate alınmalıdır. Asit toprakta 40 ppm çinko uygulandığında bitkide bulunması gereken sınırın aşıldığı ve 87,627 ppm seviyesine kadar çıktığı görülmektedir.

Alkalin ve nötr toprakta yetişen mısır bitkisinde çinko gübresinin düşük dozda verilmesi kadmiyum alımını engellemeyip, bir miktar artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, kadmiyum ile kirlenmiş bu tip topraklarda yetiştirilecek mısır bitkisinde çinko gübresi uygulaması bitkiye geçecek kadmiyum miktarını artırabilir. Bununla birlikte, çinko dozu daha da arttırılarak 40 ppm'e çıkarıldığında bitkideki kadmiyum miktarını azaltmakta, ancak çinko gübresi verilmediği durumdaki miktarına inememektedir. Buradan yola çıkarak, kadmiyum ile kirlenmiş bu tip topraklarda mısır yetiştirilecekse mısır bitkisinin çinko elementine ihtiyaç duyduğu ancak çinko uygulandığında bitkiye geçen kadmiyum miktarının artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Mısırdaki çinko-kadmiyum etkileşiminin incelendiği çalışmalarda, kadmiyum ve çinko birikimleri kök ve saplarda farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada da kadmiyum tüm topraklarda bitkinin köklerinde birikmiş, çinko ise alkalin toprakta köklerde birikmiştir. Asit toprakta düşük çinko ve kadmiyum dozlarında saplarda birikirken, çinko ve kadmiyum dozları arttıkça köklerde birikme eğilimi göstermiştir. Nötr toprakta ise kök ve saplarda biriken çinko miktarları birbirine yakın olmakla beraber, yüksek doz çinko ve düşük doz kadmiyum uygulaması haricinde saplarda daha çok çinko birikmiştir.

Çinko ve kadmiyumun farklı konsantrasyonlarında birbiri üzerindeki etkilerinin değişebildiği, bitkilerin kadmiyum ve çinko alımında toprağın pH değeri, KDK, organik madde gibi faktörlerinin etkisi olduğu görülmektedir. Nötr toprakta yapılan bir çalışma da farklı yöntemlerle ölçülen kadmiyum ile toprakların organik madde, KDK ve kil fraksiyonu arasında önemli korelasyonlar bulunmuştur (Cancela ve ark. 2005). Asidik toprakta yapılan başka bir çalışmada çinko konsantrasyonunun pH veya toplam organik karbonla ilişkili olmayıp kadmiyum konsantrasyonu ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Denaix ve ark. 2001).

Kadmiyum ve çinko arasındaki etkileşimin antagonist olması beklenirken, durum çoğu zaman özellikle konsantrasyona bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu sebeple daha fazla faktör dikkate alınarak kadmiyum ve çinko arasındaki etkileşimin daha geniş bir ölçekte değerlendirilmesi için çalışmalar devam etmelidir. Böylece bitki hem en az toksisiteye maruz kalacak, hem alması gereken besin elementlerini alacak hem de bitkiden besin yoluyla insana ulaşması önenebilecektir.

Kadmiyum kirlenmesi bulunan topraklarda yetişen bitkiler hem kadmiyum toksisitesine maruz kalırlar, hem de mevcut diğer iyonların alımının etkilenmesi nedeniyle olumsuz yönde etkilenebilirler. Yapılan tüm çalışmalar aslında bitki beslemede iyon dengesinin ne denli önemli olduğunu gözler önüne sermektedir. İyonların etkileşimi birbirleri üzerinde olumlu ve olumsuz etkiler yaratmakta ve bu durumdan bitkiler direkt olarak etkilenmektedirler. Örneğin Apel ve ark. (2008) tarafından asit toprakta yapılan bir çalışmada kurşunun kadmiyum bağlanmasını inhibe ettiği fakat kadmiyumun kurşun üzerindeki etkisinin az olduğu belirtilmektedir. Kirkham (2006) kadmiyum alımının topraktaki çinko içeriğine bağlı olduğunu, fosfatın kadmiyum yarayışlılığını düşürdüğü, klorürün ise kadmiyumun toprağa bağlanmasını engellediğini belirtmektedir.

Bir elementin bitkiler tarafından alınması istenmiyorsa veya alınmasının azaltılması hedefleniyorsa iyonlar arası etkileşim, bitki türü ve toprak özellikleri bir bütün olarak ele alınmalı ve uygulanabilecek yöntemlerden en uygun olanı seçilmelidir. Benzer şekilde, bir elementin bitkiler tarafından daha fazla alınması isteniyorsa yine aynı hassasiyet gösterilmelidir. Aksi takdirde iyonlar arası etkileşim nedeniyle toprak özellikleri istenmeyen şekilde değişebilir, bitkinin başka bir element eksikliği ortaya çıkabilir veya bazı elementler zehir etkisi yapabilir.

Son yıllarda üzerinde çok durulan kadmiyumun topraktan uzaklaştırma yöntemlerinden biri olan fitoremeditasyon, topraktaki kadmiyumun bitkiye geçerek topraktan uzaklaştırılması esasına dayanır. Bazı bitkiler mısırla birlikte ekildiğinde ya daha fazla kadmiyum alarak mısıra geçişini engellemekte yada mısırın daha fazla kadmiyum almasına sebep olmaktadır. Örneğin yapılan bir araştırmada nohut mısırın kadmiyum alımını artırırken “*amarantus*” kadmiyumu kendi depolayarak mısırın kadmiyum alımını arttırmamaktadır (Li ve ark. 2009). Yıkama ile de kadmiyum topraktan uzaklaştırılmakta ve dolayısıyla bitkideki konsantrasyonu düşürülmektedir. Fakat bu durumda topraktaki diğer yararlı elementler de yıkanır ve kadmiyum yer altı sularına karışır (Maejima ve ark. 2007).

Sonuç olarak, çinko uygulaması ile mısırın kadmiyum içeriği alkalın ve nötr toprakta artmış, asit toprakta ise düşük dozda kadmiyum varlığında düşerken yüksek doz kadmiyum varlığında artmıştır. Asıl önemli olan kadmiyumun bitkiye geçmesini önlemek veya topraktan uzaklaştırmak değil, bu toksik metalin toprağa hiç bulaşmamasını sağlamak olmalıdır. Sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan kadmiyumun beslenme zincirindeki etkisinin azaltılması

gerekmektedir. Bu nedenle de kadmiyum içeren ürünlerin geri dönüşümünde her birey üzerine düşen sorumluluğu yerine getirmeli ve bu konuda hassasiyetini ortaya koymalıdır. 1789'da Lavoisier'in kütle korunumu yasasında ortaya koyduğu "madde vardan yok olmaz, yoktan var olmaz" ifadesi bulunduğumuz yıl itibariyle hala geçerlidir ve "bir şey olmaz" diyerek doğaya şuursuzca bırakılan toksik maddeler döngünün bir yerinde yine insanoğlunu tehdit edecektir.

6. KAYNAKLAR

- Adiloglu A (2002). The effect of zinc application on uptake of cadmium in some cereal species. *Archives of Agronomy and Soil Science*, Vol.48: 553-556.
- Adiloglu A, Adiloglu S, Gonulsuz E, Oner N (2005). Effect of zinc application on cadmium uptake of maize grown in zinc deficient soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8(1): 10-12.
- Alpaslan M, Güneş A, İnal A (2005). Deneme Tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1543, 437s, Ankara.
- Apel C, Ma LQ, Rhue RD, Reve W (2008). Sequential sorption of lead and cadmium in three topical soils. *Environmental Pollution*, 155: 132-140.
- Babaoğlu M (2005). Mısır ve Tarımı. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Edirne.
- Barber SA (1995). Soil nutrient bioavailability. A mechanistic Approach. John Wiley and Sons, New York.
- Belliturk K, Sozubeck B (2009). The effect of zinc application on the yield and zinc uptake of maize in Xerochept and Haploxeralf soils. *Agricultural Science and Technology*, Vol.1, No.3, 91-94s.
- Bellitürk K, Danışman F, Sozubeck B (2009). Tekirdağ yöresindeki toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile mineralizasyon kapasiteleri arasındaki ilişkiler. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2): 141-147.
- Bouyoucos, G. J. (1951). A. Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soil. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.
- Cancela RC, Gonzales AP (2005). Total and extractable nickel and cadmium contents in natural soils. *Communications in Soil science and Plant Analysis*, 36:241-252.
- Chen BD, Liu Y, Shen H, Li XL, Christie P (2004). Uptake of cadmium from experimentally contaminated calcareous soil by arbuscular mycorrhizal maize (*Zea mays L.*). *Mycorrhiza*, 14:347-354.
- Cunha KPV, Nascimento CWA, Mendonça Pimentel RM, Ferreira CP (2008). Cellular localization of cadmium and structural changes in maize plants grown on a cadmium contaminated soil with and without liming. *Journal of Hazardous Materials*, 160: 228-234.
- Das P, Samantaray S, Rout GR (1997). Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environmental Pollution*, Vol.98, No:1, 29-36s.
- Denaix L, Semlali RM, Douay F (2001). Dissolved and colloidal transport of Cd, Pb and Zn in a silt loam soil affected by atmospheric industrial deposition. *Environmental Pollution*, 113:29-38.

- Ebbing DD (1996). General Chemistry. Houghton Mifflin Company, 1087s, USA.
- El-Kherbawy M, Angle JS, Heggo A, Chaney RL (1989). Soil pH, rhizobia, and vesicular-arbuscular mycorrhizae inoculation effects of growth and heavy metal uptake of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Biol. Fertil. Soils*, 8:61-65.
- FAO (2012). Food an Agriculture Organization of the United Nations, www.fao.org (Erişim tarihi, 18.01.2012)
- Gedikoğlu, I. (1990). Toprak Verimliliğinin Tayininde Kullanılan Laboratuvar Analiz Yöntemleri. KHGM, şanlıurfa Araş. Enst. Md. Yay. Genel Yayın No: 55, Teknik Yayın No:11, s:22-27, şanlıurfa.
- Grant CA, Sheppard SC (2008). Fertilizer impacts on cadmium availability in agricultural soils and crops. *Human and Ecological Risk Assessment*, 14: 210-228.
- Green CE, Chaney RL, Bouwkamp J (2003). Interactions between cadmium uptake and phytotoxic levels of zinc in hard red spring wheat. *Journal of Plant Nutrition*, Vol.26, No:2, 417-430s.
- Greweling, T. and Peech M. (1960). Chemical Soil Tests. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn. Bull. No: 960, USA.
- Guo XF, Wei ZB, Wu QT, Qui JR, Zhou JL (2011). Cadmium and zinc accumulation in maize grain as affected by cultivars and chemical fixation amendmets. *Pedosphere*, 21(5): 650-656.
- Gündüz T (2004). evre Sorunları. Gazi Kitabevi, 201s, Ankara.
- Jackson ML (1965). Soil Chemistry Analysis. Prentice Hall, 111-117, USA.
- Kacar B, İnal A (2008). Bitki Analizleri. Nobel Yayın, 892s, Ankara.
- Kacar B, Katkat V (2007). Bitki Besleme. Nobel Yayın, 659s, Ankara.
- Kacar, B. (2009). Toprak Analizleri (Genişletilmiş 2. Baskı). Nobel Yayın Dağıtım Ltd. şti., s: 209-269, Ankara.
- Kirkham MB (2006). Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation and amendmets. *Geoderma*, 137: 19-32.
- Koopmans GF, Rmkens PFAM, Fokkema MJ, Song J, Luo YM, Japenga J, Zhao FJ (2008). Feasibility of phytoextraction to remediate cadmium and zinc contaminated soils. *Environmental Pollution*, 156: 905-914.
- Korkut KZ (1992). Tarla Bitkileri (Tahıllar). Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:92, 109s, Tekirdağ.
- Kleli N, Kantar  (2005). Fosfor kayası, fosforik asit ve fosforlu gbrelerdeki toksik ağır metal (Cd, Pb, Ni, As) konsantrasyonu. *Ekoloji*, 55: 1-5.

- Li NY, Li ZA, Zhuang P, Zou B, McBride M (2009). Cadmium uptake from soil by maize with intercrops. *Water Air Soil Pollution*, 199: 45-56.
- Liang Y, Wong JWC, Wei L (2005). Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize grown in cadmium contaminated soil. *Chemosphere*, 58: 475-483.
- Livera J, McLaughlin MJ, Hettiarachchi GM, Kirby JK, Beak DG (2011). Cadmium solubility in paddy soils: Effects of soil oxidation, metal sulfides and competitive ions. *Science of the Total Environment*, 409: 1489-1497.
- Maejima Y, Makino T, Takano H, Kamiya T, Sekiya N, Itou T (2007). Remediation of cadmium-contaminated paddy soils by washing with chemicals: effect of soil washing on cadmium uptake by soybean. *Chemosphere*, 67: 748-754.
- Malekzadeh P, Khara J, Farshian S, Jamal-abad AK, Rahmatzadeh S (2007). Cadmium toxicity in maize seedlings: changes in antioxidant enzyme activities and root growth. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(1): 127-131.
- Mazé P (1919). Mineral nutrient solutions. *Ann. Inst. Pasteur*, 33:139-173.
- MGM (2012). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tekirdağ Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü.
- Nan Z, Li J, Zhang J, Cheng G (2002). Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. *The Science of the Total Environment*, 285:187-195.
- Özgülven N, Katkat AV (2001). Artan miktarlarda uygulanan çinkonun mısır bitkisinin verim ve çinko alımı üzerine etkisi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15:85-97.
- Pal M, Horvath E, Janda T, Paldi E, Szalai G (2006). Physiological changes and defense mechanism induced by cadmium stress in maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169:239-246.
- Petrucci RH, Harward WS, Herring FG (2008). Genel Kimya. Palme Yayıncılık, 1160s, Ankara.
- Pritsa TS, Fotiadis EA, Lolas PC (2008). Corn tolerance to atrazine and cadmium and sunflower to cadmium in soil and hydroponic culture. *Communications in Soil Science and Analysis*, 39: 1168-1182.
- Sağlam MT (2001). Toprak Kimyası. Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:190, 240s, Tekirdağ.
- Sağlam MT (2005). Gübreler ve Gübreleme. Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:149, 363s, Tekirdağ.
- Sağlam MT (2008). Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri. N.K.Ü. Ziraat.Fakültesi Yayın No: 2, Yardımcı Ders Kitabı No: 2 ,s: 1-154, Tekirdağ.

- Sharma KN, Deb DL (1988). Effect of organic manuring on zinc diffusion in soils of varying texture. *J. Indian Soc. Soil Sci*, 36: 219-224.
- Shen H, Christie P, Lie X (2006). Uptake of zinc, cadmium and phosphorus by arbuscular mycorrhizal maize (*Zea mays L.*) from a low available phosphorus calcareous soil spiked with zinc and cadmium. *Environmental Geochemistry and Health*, 18: 111-119.
- Souza JF, Dolder H, Cortelazzo AL (2005). Effect of excess cadmium and zinc ions on roots and shoots of maize seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 28:1923-1931.
- Souza JF, Rauser WE (2003). Maize and radish sequester excess cadmium and zinc in different ways. *Plant Science*, 165: 1009-1022.
- Soysal Mİ (2007). Biometrinin prensipleri. N.K.Ü. Ziraat.Fakültesi Yayın No: 98, 368s Tekirdağ.
- Sparks DL (2003). *Environmental Soil Chemistry*. Academic Pres, UK, 13-15.
- Tezcan R, Tezcan H (2007). *Metaller Kimyası*. Nobel Yayın, 288s, Ankara.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Sodic Soils*. USDA. Handbook 60. Gov. Printing Office, Washington, D.C.
- Wang M, Zou J, Duan X, Jiang W, Liu D (2007). Cadmium accumulation and its effects on metal uptake in maize (*Zea mays L.*). *Bioresource Technology*, 98: 82-88.
- Warwick P, Hall A, Pashley V, Van der Lee J, Maes A (1999). Zinc and cadmium mobility in podzol soils. *Chemospher*, Vol.38, No:10,2357-2368s.
- Zhang L, Song FB (2006). Effects of forms and rates of zinc fertilizers on cadmium concentrations in two cultivars of maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37: 1905-1916.

EKLER

EK 1. 2009 Yılına Ait Tekirdağ Merkez Meteoroloji Verileri (MGM 2012)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortama Sıcaklık (°C)	6,1	6,1	7,9	11,5	17,5	22,0	24,5	24,1	19,8	16,9	11,9	9,8
Ort. En Düşük Sıcaklık (°C)	3,2	3,5	4,6	8,0	13,0	17,2	19,7	19,6	15,9	13,3	8,2	6,3
Ort. En Yüksek Sıcaklık (°C)	9,2	8,9	11,2	15,3	21,4	26,1	28,1	28,4	23,7	20,8	16,1	13,5
Aktüel Hava Basıncı (hPa)	1018,3	1012,9	1014,0	1017,2	1017,1	1013,5	1014,8	1015,6	1017,2	1016,3	1018,4	1012,9
Ort. Su Buhar Basıncı (hPa)	8,4	8,4	9,3	11,3	16,3	20,6	21,5	21,6	19,8	19,0	14,0	12,4
Ortalama Nisbi Nem (%)	87,0	86,4	86,6	82,7	81,0	78,0	70,0	72,3	85,1	96,4	97,8	98,6
Toplam Yağış Miktarı (mm)	76,4	62,3	73,0	32,2	13,4	11,5	60,6	0,0	132,8	146,8	64,9	135,3
Toplam Güneşlenme Süresi (sa)	Arızalı	67,7	126,1	201,0	258,7	286,2	310,2	304,3	185,5	155,2	154,4	55,5
Ortalama Toprak Üstü Sıcaklık (°C)	1,1	2,0	2,8	6,3	11,3	16,0	18,5	18,5	14,4	11,7	6,3	5,1
Ortalama Toprak Altı Sıcaklık-5 cm (°C)	6,3	7,6	9,3	14,7	22,8	28,0	29,8	28,6	22,4	18,0	12,2	9,9
Ortalama Toprak Altı Sıcaklık-10 cm (°C)	6,5	7,7	9,3	14,6	22,5	27,7	29,5	28,4	22,5	18,2	12,4	10,0
Ortalama Toprak Altı Sıcaklık-20 cm (°C)	6,9	8,2	9,4	14,6	22,2	27,4	29,3	28,3	22,9	18,7	12,9	10,4
Ortalama Toprak Altı Sıcaklık-50 cm (°C)	7,9	9,2	9,6	14,4	20,2	25,5	27,5	27,2	23,5	19,6	14,1	11,4
Ortalama Toprak Altı Sıcaklık-100 cm (°C)	10,0	10,7	10,4	13,4	17,8	22,6	24,9	25,6	24,1	20,6	16,1	12,9

ÖZGEÇMİŞ

1980'de Edirne'de doğan Bahar SÖZÜBEK ilk, orta ve lise öğrenimini Edirne'de tamamladı. 2005'te Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Öğretmenliği Bölümü'nden Yüksek Lisans derecesi ile mezun oldu. Aynı yıl Trakya Üniversitesi Muratlı Meslek Yüksekokulu Kimya Programı'na öğretim görevlisi olarak atandı. 2006 yılında, yeni kurulan Namık Kemal Üniversitesi'ne bağlanan Muratlı Meslek Yüksekokulu'nda halen öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yabancı dili İngilizce' dir.