

**FARKLI BUĞDAY VE ARPA VARYETELERİNİN KADMIYUMA TEPKİLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Şengül TONGARLAK

**DOKTORA TEZİ
TOPRAK ANABİLİM DALI
KONYA, 2010**

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

**FARKLI BUĞDAY VE ARPA VARYETELERİNİN KADMIYUMA TEPKİLERİNİN
BELİRLENMESİ**

**Şengül TONGARLAK
DOKTORA TEZİ
TOPRAK ANABİLİM DALI
KONYA, 2010**

ÖZET
Doktora Tezi

**FARKLI BUĞDAY VE ARPA VARYETELERİNİN KADMİYUMA TEPKİLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Şengül TONGARLAK
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ZENGİN
2010, 129 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Sait GEZGİN
Prof. Dr. Sevinç ARCAK
Prof. Dr. Bayram SADE
Doç. Dr. Refik UYANÖZ

Bu araştırma, 2006-2008 yılları arasında Nevşehir yöresinden alınan asidik reaksiyonlu-kireçsiz topraklarda serada saksılarda yetiştirilen farklı buğday ve arpa varyetelerinin artan dozlarda toprağa uygulanan kadmiyuma tepkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Araştırma Survey, Deneme-1 ve Deneme-2 olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür. Survey çalışması ile söz konusu yörelerde yetiştirilen buğday ve arpa varyetelerinin tanelerindeki Cd içerikleri ve toprakların bazı element kapsamı belirlenerek toprak özellikleri ile bitki-Cd ilişkileri araştırılmıştır. Deneme-1’de ise 0 ve 5 mg Cd kg⁻¹ uygulamaları ile 10 ekmeklik, 10 makarnalık buğday ve 10 arpa çeşidi kullanılarak yürütülen denemede tahıl çeşitlerinin Cd’ a tepkileri saptanmıştır. Son aşama olan Deneme-2’de ise Survey ve Deneme-1’den elde edilen veriler değerlendirilerek 3 ekmeklik buğday (Bezostaja-1, Ekiz ve Kınacı-79), 4 makarnalık buğday (Meram-2002, Selçuklu-97, Kızıltan-91 ve Ç-1252) ve 4 tane de arpa (Kral-97, Kalaycı, Bülbül ve Avcı) çeşidi belirlenerek artan Cd dozlarında (0, 1, 3, 9 mg Cd kg⁻¹) çeşitlerin Cd akümülyasyonları tespit edilmiştir. Artan dozlarda Cd uygulaması ekmeklik ve makarnalık buğday ile arpa çeşitlerinde yeşil aksam, tane ve sapın Cd kapsamını önemli derecede (P < 0.01) artırırken Cd akümülyasyonu açısından bütün tahıl gruplarında genotipik farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tane Cd kapsamı açısından Ekiz (ekmeklik), Meram-2002 (makarnalık) ve Bülbül (arpa) en düşük düzeyde Cd akümüle ederken, Kınacı-79 (ekmeklik), Selçuklu-97 (makarnalık) ve Avcı (arpa) çeşitleri yüksek düzeyde Cd akümüle etmişlerdir. Makarnalık buğday tanede ekmeklik buğday ve arpadan daha fazla Cd akümüle ederek aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunurken ekmeklik buğday ve arpa arasında tane Cd akümülyasyonu açısından önemli bir fark çıkmamıştır. Artan Cd uygulamaları genellikle bitkilerin tüm organlarında Zn kapsamını artırırken P ve K kapsamına etkisi varyete ve organa bağlı olarak değişmiştir. Toprağa uygulanan yüksek Cd dozları tahılların yeşil aksam, tane ve sap verimini genellikle düşürmüş, bu düşüş Cd’ a toleranslı çeşitlerde daha az ve istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Buğday, arpa, kadmiyum, ağır metal.

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF RESPONSES OF DIFFERENT WHEAT AND BARLEY VARIETIES TO CADMIUM

Şengül TONGARLAK

Selçuk University

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mehmet ZENGİN
2010, 129 Pages

Jury: Prof. Dr. Sait GEZGİN
Prof. Dr. Sevinç ARCAK
Prof. Dr. Bayram SADE
Assoc. Prof. Dr. Refik UYANÖZ

This research was carried out to determine the responses of different wheat and barley varieties grown in the soils taken from Nevşehir around with acidic reaction and lime-free, in the greenhouse pots to cadmium applied into soil in the increasing doses in the 2006-2008 years. The research conducted at three stages as Survey, Experiment-1 and Experiment-2. In the Survey study, soil properties and plant-Cd relations were investigated by determining Cd contents of the grains of wheat and barley varieties grown in question districts and some element contents of the soil. Also in Experiment-1 carried out with the 0 and 5 mg Cd kg⁻¹ applications and used 10 bread wheat, 10 durum wheat and 10 barley, the responses of the cereals varieties to Cd were determined. In the Experiment-2 which was last stage of the study, 3 bread wheat (Bezostaja-1, Ekiz and Kınacı-79), 4 durum wheat (Meram-2002, Selçuklu-97, Kızıltan-91 and Ç-1252) and 4 barley (Kral-97, Kalaycı, Bülbül and Avcı) varieties were determined evaluating the data obtained from Survey and Experiment-1 and the Cd accumulations of the varieties at increasing Cd doses (0, 1, 3, 9 mg Cd kg⁻¹) were determined. While the Cd application in the increasing doses increased significantly ($P < 0.01$) Cd content of shoot, grain and stem in bread wheat, durum wheat and barley varieties, in terms of Cd accumulation, genotypic differences in all cereal groups were found significant, statistically. In terms of Cd content of the grain, while the Ekiz (bread wheat), Meram-2002 (durum wheat) and Bülbül (barley) accumulated in the lowest Cd levels, Kınacı-79 (bread wheat), Selçuklu-97 (durum wheat) and Avcı (barley) accumulated in the highest Cd levels. When it was evaluated as a cereal group, durum wheat accumulated the more Cd in its grain than bread wheat and barley's grains and difference between among them were significant statistically, but it was not found any significant different statistically between bread wheat and barley in terms of Cd accumulation. While increasing Cd applications generally increased Zn content in all the parts of the plants, its effect on P and K contents changed depending on varieties and parts of the plants. In addition, the high doses of Cd applied into the soil generally reduced the yield of shoot, grain and stem of the cereals, and this decline was less in Cd tolerant varieties and it was found insignificant statistically.

Key Words: Wheat, barley, cadmium, heavy metal.

ÖNSÖZ

Bu araştırmanın tüm aşamasında vermiş oldukları her türlü yardım, ilgi, destek ve teşviklerinden dolayı danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ZENGİN başta olmak üzere, tezimin her aşamasında yapmış oldukları yapıcı eleştirilerle katkıda bulunan Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Sait GEZGİN ve Sayın Prof. Dr. Sevinç ARCAK hocalarıma, laboratuvar analizlerinde yardımlarını esirgemeyen Selçuk Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Laboratuvarı çalışanlarından Arş. Gör. Fatma GÖKMEN, Uzm. Nesim DURSUN ve Kimyager Ali KAHRAMAN'a, istatistik analizleri konusundaki katkılarından dolayı Ankara Toprak-Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü'nden Dr. Ayla ALTUN ve Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Öner ÇETİN'e verdiği manevi destek ve teşvik ile akademik kariyerimin başlamasına vesile olan TAGEM Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Şube Müdürü İskender UÇAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ve akademik kariyerimin tüm aşamasında verdikleri manevi güçten ötürü biricik oğlum ve kızıma, her türlü desteği esirgemeyen değerli aileme destek, teşvik ve fedakârlıklarından ötürü sonsuz şükranlarımı sunarım.

Dr. Şengül TONGARLAK

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Nevşehir Yöresinde Yapılan Survey Çalışmasına Ait Bilgiler.....	31
Çizelge 3.2. Sera Denemelerinde Kullanılan Toprağın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	32
Çizelge 4.1. Survey Çalışması Toprak Analiz Sonuçları.....	42
Çizelge 4.2. Survey Çalışmasında Toprak ve Tane Örneklerinin Elementel Analiz Sonuçları.....	45
Çizelge 4.3. Ön Denemede Uygulanan Cd'un Makarnalık ve Ekmeklik Buğday ile Arpa Tanelerinin Cd Kapsamlarına Etkileri.....	49
Çizelge 4.4. Kadmiyum Uygulamalarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları.....	50
Çizelge 4.5. Kadmiyum Dozlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları.....	52
Çizelge 4.6. Kadmiyum Uygulamalarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları.....	58
Çizelge 4.7. Kadmiyum Dozlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları.....	59
Çizelge 4.8. Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin ve Kadmiyum Dozlarının Tane Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları.....	62
Çizelge 4.9. Kadmiyum Uygulamalarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri İle İlgili Varyans Analiz Sonuçları.....	63
Çizelge 4.10. Kadmiyum Dozlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları.....	64
Çizelge 4.11. Kadmiyum Dozlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Sapın Potasyum ve Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları.....	65
Çizelge 4.12. Kadmiyum Uygulamalarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları.....	66
Çizelge 4.13. Kadmiyum Dozlarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları.....	67
Çizelge 4.14. Makarnalık Buğday Çeşitlerinin ve Kadmiyum Dozlarının Yeşil Aksamın Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları.....	69

Çizelge 4.15. Kadmiyum Uygulamalarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri İle İlgili Varyans Analiz Sonuçları.....	70
Çizelge 4.16. Kadmiyum Dozlarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları.....	71
Çizelge 4.17. Kadmiyum Dozlarının Makarnalık Buğdaylarda Tanenin Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları	76
Çizelge 4.18. Kadmiyum Uygulamalarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları.....	76
Çizelge 4.19. Kadmiyum Dozlarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları	77
Çizelge 4.20. Buğday Çeşidi ve Kadmiyum Dozlarının Sapın Fosfor, Potasyum ve Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları	80
Çizelge 4.21. Kadmiyum Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları	80
Çizelge 4.22. Kadmiyum Dozlarının Arpa Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları	82
Çizelge 4.23. Arpa Çeşidi ve Kadmiyum Dozlarının Yeşil Aksam Verimi ile Potasyum Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları	85
Çizelge 4.24. Kadmiyum Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları ...	86
Çizelge 4.25. Kadmiyum Dozlarının Arpa Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları	87
Çizelge 4.26. Kadmiyum Dozlarının Arpa Çeşitlerinde Tanenin Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları	89
Çizelge 4.27. Kadmiyum Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları....	89
Çizelge 4.28. Kadmiyum Dozlarının Arpa Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları	91
Çizelge 4.29. Arpa Çeşidi ve Kadmiyum Dozlarının Sapın Çinko ve Kadmiyum Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları	92
Çizelge 4.30. Kadmiyum Uygulamalarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Tane ve Sap ile Kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri İle İlgili Varyans Analiz Sonuçları.....	93
Çizelge 4.31. Kadmiyum Dozlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Tane ve Sap ile Kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları.....	94

Çizelge 4.32. Kadmiyum Uygulamalarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Tane ve Sap ile Kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri İle İlgili Varyans Analiz Sonuçları	95
Çizelge 4.33. Kadmiyum Dozlarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Tane ve Sap ile Kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları	97
Çizelge 4.34. Kadmiyum Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinde Tane ve Sap ile kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri İle İlgili Varyans Analiz Sonuçları.	98
Çizelge 4.35. Kadmiyum Dozlarının Arpa Çeşitlerinde Tane ve Sap ile Kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları	99
Çizelge 4.36. Tahıl Gruplarının Tanede En Yüksek Düzeyde Cd Akümüle Eden 1. Gruplarının Karşılaştırılması	100
Çizelge 4.37. Tahıl Gruplarının Tanede En Yüksek Düzeyde Cd Akümüle Eden 2. Gruplarının Karşılaştırılması	101
Çizelge 4.38. Tahıl Gruplarının Tanede En Yüksek Düzeyde Cd Akümüle Eden 3. Gruplarının Karşılaştırılması.....	101
Çizelge 4.39. Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Bazı Özelliklerine Ait Pearson Korelasyon Matrisleri	104
Çizelge 4.40. Makarnalık Buğday Çeşitlerinin Bazı Özelliklerine Ait Pearson Korelasyon Matrisleri	106
Çizelge 4.41. Arpa Çeşitlerinin Bazı Özelliklerine Ait Pearson Korelasyon Matrisleri	109

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.1. Toprakların toplam Zn ve Cd kapsamı arasındaki ilişki.....	43
Şekil 4.2. Toprakların toplam Cd ve DTPA-Cd kapsamı arasındaki ilişki.....	44
Şekil 4.3. Toprakların toplam Cd kapsamı ile alınabilir P kapsamı arasındaki ilişki.....	44
Şekil 4.4. Toprağın toplam Cd kapsamı ile tanenin Cd kapsamı arasındaki.....	47
Şekil 4.5. Toprak pH'sının tanenin Cd kapsamına etkisi.....	48
Şekil 4.6. Kadmiyum uygulamalarının ekmeklik buğday çeşitlerinde yeşil aksam, tane ve samanın Cd kapsamlarına etkileri.....	57
Şekil 4.7. Kadmiyum uygulamalarının makarnalık buğday çeşitlerinde yeşil aksam, tane ve samanın Cd kapsamlarına etkileri.....	75
Şekil 4.8. Kadmiyum uygulamalarının arpa çeşitlerinde yeşil aksam, tane ve samanın Cd kapsamlarına etkileri.....	84
Şekil 4.9. Kadmiyum uygulamalarının tahıl çeşitlerinin tane ve sap ile kaldırdıkları Cd kapsamlarına etkileri	96

RESİM LİSTESİ

Sayfa No

Resim 4.1. Selçuklu-97 makarnalık buğdayın gelişimine Cd dozlarının etkileri... 72

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
RESİM LİSTESİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
2.1. Bitki Çeşitleri ve Genotipleri Arasında Cd Birikimi Farklılıkları.....	6
2.2. Verim ile Kadmiyum İlişkisi.....	13
2.3. Fosfor ile Kadmiyum İlişkisi.....	15
2.4. Potasyum ile Kadmiyum İlişkisi.....	16
2.5. Çinko ile Kadmiyum İlişkisi.....	19
2.6. Kadmiyum ve Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler.....	24
3. MATERYAL VE METOT.....	30
3.1. Materyal.....	30
3.2. Metot.....	36
3.2.1. Toprak örneklerinin alınması, analizlere hazırlanması ve sera denemelerinin kurulması.....	37
3.2.2. Toprak analiz metotları.....	38
3.2.3. Hasat ve bitki örneklerinin analize hazırlanmaları.....	39
3.2.4. Bitki analiz metotları.....	40
3.2.5. İstatistiksel analiz metotları.....	40
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	41
4.1. Survey Çalışması Sonuçları.....	41
4.1.1. Toprak analiz sonuçları.....	41
4.1.2. Tane analiz sonuçları.....	46

4.2. Deneme-1 Analiz Sonuçları.....	48
4.3. Deneme-2 Analiz Sonuçları.....	50
4.3.1. Kadmiyum uygulamalarının ekmeklik buğdayda bazı özelliklere etkileri... 50	
4.3.2. Kadmiyum uygulamalarının makarnalık buğdayda bazı özelliklere etkileri.65	
4.3.3. Kadmiyum uygulamalarının arpada bazı özelliklere etkileri.....80	
4.3.4. Kadmiyum uygulamalarının bitkilerce kaldırılan Cd kapsamına etkileri.....93	
4.4. Kadmiyum Uygulamalarının Tahıl Çeşitlerinin Kadmiyum Kapsamlarına Etkisinin Karşılaştırılması	100
4.5. Buğday Çeşitlerinin Değişik Organlarında Bitkinin Bazı Özellikleri Arasındaki Korelasyon Matrisleri.....	102
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	112
6. KAYNAKLAR.....	116
ÖZGEÇMİŞ.....	129

1. GİRİŞ

Gerek ülkemiz gerekse diğer ülkelerde çevre kirliliği konusu sağlıklı bir gelecek açısından en büyük ortak endişe haline gelmiştir. Çevre kirliliği iklim, toprak, su ve doğal yapıyı negatif yönde etkileyerek doğal kaynakları tekrar düzeltilmesi mümkün olmayacak şekle sokmakta ve azaltmaktadır.

Topraklar, su ve havaya göre dış etkenlere karşı tamponlama gücü yüksek olan sistemlerdir. Toprağa ilave edilen kirleticiler tarafından toprak yapısında bozulmalar meydana geldiğinde karşılaşılan sorunlar da o ölçüde karmaşık düzeltilmesi zor ve masraflı olmaktadır. Toprakta biriken ağır metaller zamanla bitki dokularında depolanmakta ve gıda zinciri ile insan ve hayvan sağlığını tehdit etmektedir. Bunun en önemli örneğini de kadmiyum oluşturmaktadır. Çok küçük konsantrasyonlarının bile canlılar için toksik olması nedeniyle Cd çevresel açıdan çok ciddi bir problemdir. Toprakta birikip daha sonra besin zinciri ile insan ve hayvan vücuduna giren Cd'un neden olduğu çok çeşitli hastalıklar teşhis edilmiştir. Küçük miktarlarda uzun süreli Cd'a maruz kalındığında insan bünyesinde kronik zehirlenmenin gelişebildiği görülmüştür. Jinadasa ve ark. (1999)'nın Wagner (1993)'e atfen bildirdiklerine göre, organizmada Cd toksisitesi, gerekli enzimlerin reaktif merkezinde Cd'un Zn gibi elementlerle yer değiştirmesi sonucu metabolik fonksiyonları bozması şeklinde olmaktadır. Morgan (1988)'in Tsuchiya (1978)'ya atfen bildirdiğine göre, Japonya'da maden işletmeciliği ile kirletilmiş Jizu Bölgesi'nde yaşayan insanlarda Cd konsantrasyonunun yüksekliğine bağlı olarak "itai itai" adı verilen akut Cd toksisitesi semptomları teşhis edilmiştir. Bu hastalığın belirtileri kemik erimesi ve ciddi böbrek zararları şeklinde kendini göstermektedir.

Topraklarda Cd kirliliğine neden olan temel etkenler; arıtma çamurlarının ve atık suların tarımsal amaçlı kullanılması, yoğun fosforlu gübre kullanımı, sanayileşmenin bir sonucu olarak fabrika bacalarından çıkan endüstriyel emisyonlar, teknolojik gelişmeler ve toplumsal ihtiyaçlara bağlı olarak giderek artan motorlu taşıtlardır.

Ana materyalin jeolojik orijini, tekstürü, organik madde içeriği ve diğer faktörlere bağlı olarak dünya topraklarının Cd konsantrasyonu çeşitlilik göstermekle birlikte, dünya yüzey topraklarının ortalama Cd konsantrasyonu $0.06-1.1 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmektedir (Kabata-Pendias ve Pendias 2001). Bir başka kaynakta ise kirlenmemiş alanlarda dünya toprakların normal Cd kapsamının $0.01-2 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değiştiği ve ortalama 0.35 mg kg^{-1} olduğu bildirilmiştir. (Adriano 2001)

Kadmiyumun insan vücuduna girmesinde ana yol gıdalardır. Tahıllar ve patates gibi besin hammaddesi olarak kullanılan yiyeceklerde Cd konsantrasyonu nispeten daha düşük iken bunlar çok daha fazla miktarlarda tüketildikleri için günlük alım içindeki Cd katkıları da o derece fazla olmaktadır. Tahıl ürünlerinin günlük Cd alımına katkısı farklı kaynaklardan elde edilen verilere göre %20-43 arasında değişmektedir (Hutton 1982, Wagner ve ark. 1984, Gartrell ve ark. 1986, Jorhem ve Sundström 1993, Hellstrand ve Landner 1998 ve Ysart ve Möler 2000).

Özellikle, günlük besin bileşenlerimiz içindeki payı çok daha fazla olduğu için buğday diğer tarımsal ürünlere kıyasla daha fazla önem arz etmektedir. Almanya 1986 yılından beri buğday taneleri için $0.1 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ yaş ağırlık ($0.12 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ kuru ağırlık) limitini uygulamaktadır (Anonymous 1986). Avustralya ve Yeni Zelanda $0.05 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ yaş ağırlık olan limitini daha sonra $0.1 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ yaş ağırlık olarak değiştirmiştir (Anonymous 1993, Anonymous 1997, Anonymous 1999). Son AB Yönetmeliği'nde hububat ürünleri için kepek, embriyo ve buğday tanesi hariç 0.1 mg kg^{-1} yaş ağırlık ve kepek, embriyo ve buğday tanesi için 0.2 mg kg^{-1} yaş ağırlık limiti konulmuştur (Anonymous 2008a). Türkiye'de ise Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği'ne göre buğday tanesinde maksimum izin verilebilir Cd konsantrasyonu 0.2 mg kg^{-1} 'dir (Anonymous 2008b).

Besin yoluyla sağlığımızı tehdit eden Cd tehlikesinin farkına varan birçok dünya ülkesi gıda güvenliğini sağlamak için toprağa ilave edilen Cd miktarını azaltmak amacıyla da yasal düzenlemeler yapmaktadır. Topraktaki Cd'un en önemli kaynaklarından birinin fosforlu gübrelerdeki yüksek Cd konsantrasyonu nedeniyle, ülkeler fosforlu gübrelerdeki Cd konsantrasyonuna sınırlamalar koymuştur. Tarımsal uygulamaların ülkelere göre büyük ölçüde farklılık göstermesi nedeniyle ülkelerin fosforlu gübrelerdeki Cd konsantrasyonu limitleri de farklılık göstermektedir.

Avrupa ülkelerinde fosforlu gübre kullanımı oldukça yüksektir. Bu yüzden Almanya fosforlu gübrelerdeki Cd konsantrasyonunu gönüllülük esasına dayanarak 200 mg Cd kg⁻¹ olarak sınırlandırmıştır (Mortvedt ve Beaton 2001).

İsveç'te fosforlu gübrelerde Cd konsantrasyonu 5 mg kg⁻¹'in üzerine çıktığında vergi alınmakta ve Cd konsantrasyonu 100 mg kg⁻¹'in üzerinde olan fosforlu gübrelerin ithalatı yasaklanmıştır. Bu da düşük Cd içerikli gübre üretimini teşvik etmekte ve toprağa Cd girişini azaltmaktadır (Jansson 2002).

Aynı şekilde birçok ülkede çevre örgütleri tarımsal amaçlı toprağa uygulanan arıtma çamuru için uygulama koşullarını düzenleyen yönetmelikler çıkarmışlardır. Bu amaçla ülkemizde de Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği çıkartılmıştır. Yönetmelikte toprak kirliliğinin önlenmesi için tarımda kullanılacak arıtma çamurlarının kapsamı ve uygulanacak toprağın içeriği ile ilgili sınır değerleri belirlenmiş ve çeşitli yasal yükümlülükler getirilmiştir. Örneğin araziye uygulanacak arıtma çamurları için maksimum Cd konsantrasyonu kuru ağırlıkça 40 mg Cd kg⁻¹ ve uygulanacak toprak için maksimum Cd konsantrasyonu; pH'sı 5-6 olan topraklar için 1 mg Cd kg⁻¹, pH'sı 6'dan yüksek topraklar için ise 3 mg Cd kg⁻¹ olarak sınırlandırılmıştır. pH değeri 5'in altında olan topraklara arıtma çamuru uygulaması tümüyle yasaklanmıştır (Anonymous 2005a). Avrupa Birliği 1986 yılında pH'sı 6 ile 7 arasındaki tarım toprakları için 1-3 mg Cd kg⁻¹ (CEC 1986) olan topraklarda maksimum Cd konsantrasyonu sınırını, 2002 yılında tekrar gözden geçirerek ilgili maddeyi yeniden düzenlemiş (EU 2002) ve tarım topraklarında maksimum Cd konsantrasyonunu toprak pH'sı 5-6 olan topraklar için 0.5 mg kg⁻¹, pH'sı 6-7 olan topraklar için 1.0 mg kg⁻¹ ve pH'sı 7'den yüksek topraklar için ise 1.5 mg kg⁻¹ olarak değiştirmiştir.

Yurtdışında yapılan değişik araştırmalarda farklı buğday çeşitlerinde tanenin Cd konsantrasyonları arasında büyük değişiklikler bulunmuştur. Oliver ve ark. (1995) Avustralya'da yetişen buğday çeşitleri üzerinde yaptıkları çalışmada tanenin Cd konsantrasyonları arasında kayda değer farklılıklar bulmuşlar ve çeşitlere göre akümülyasyon eğilimlerini teşhis etmişlerdir. Cieslinski ve ark. (1996) Kanada'da yaptıkları çalışmada buğday tanelerinde Cd birikiminin çeşide bağlı olarak

değiştirdiğini belirlemişlerdir. Batı Kanada'da makarnalık buğday çeşitlerinde düşük düzeyde Cd depolayan genler tanımlanmıştır (Penner ve ark. 1995).

Bütün bu bilgiler ışığında gerek Avrupa ülkeleri, gerekse Avustralya ve Yeni Zelanda başta olmak üzere dünya ülkeleri besinlerdeki Cd konsantrasyonunu en aza indirmek için uygulanabilecek metotlar geliştirmeye çalışmaktadır. Örneğin 12 Haziran 2002'de İsveç'te yapılan Kadmiyum Semineri'nde Cd konusu detayları ile ele alınmış ve sonuç olarak besin zinciri içindeki Cd'ü en aza indirmek için aşağıdaki hareket planları önerilmiştir (Ivarsson ve ark. 2000).

1. Düşük düzeyde Cd alan bitki çeşitlerinin araştırılıp geliştirilmesi,
2. Tarım topraklarına uygulanan kireç, gübre vb. gibi girdiler ile kompost, arıtma çamuru vb. gibi uygulama materyallerindeki Cd içeriklerinin azaltılması,
3. Atmosfere yayılan emisyonlar içindeki Cd'un azaltılması ve
4. Problemlili alanlarda toprak Cd'ü denge modellerinin geliştirilmesi.

Rothamsted (1993) tarafından yapılan bir survey çalışmasında İngiltere'de yetiştirilen buğdayların %4'ünde Cd konsantrasyonunun 0.1 mg kg^{-1} sınırını aştığı belirlenmiştir (Chaudri ve ark. 1995). Ülkemizdeki duruma gelince, tarla ürünleri içerisinde %73.5 ekiliş oranıyla en büyük yeri tahıllar almaktadır. Tahıllar içerisinde de %67 ekiliş oranı ile buğday ilk sırada yer almakta olup bunun büyük çoğunluğu da Orta Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Ülkemiz 2006 yılı üretim rakamlarına göre, buğday üretiminde dünyada 8., arpa üretiminde ise 10. sırada yer almaktadır (FAO 2009). Türkiye'de 24 000 civarındaki gıda işletmesinin %56'sını un ve unlu mamuller oluşturmaktadır (Anonymous 2001). Ülkemizin sahip olduğu bu avantajlara rağmen özellikle Orta Anadolu Bölgesi'nde dekara 20-40 kg saf fosfor kullanılmakta olup toprakların %62'sinde fosfor birikimi ve Niğde-Nevşehir yöresi topraklarının %60'ında Cd biriktirme problemi olduğu bildirilmektedir (Anonymous 2005b). Kara ve ark. (2004) tarafından Niğde'nin Misli ve Altınhisar Ovaları patates tarlalarından toprak örnekleri alınarak toplam ve ekstrakte edilebilir bazı ağır metal kapsamı ve bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Topraklar genellikle asidik karakterli, organik madde ve kireç kapsamı oldukça düşük olup kirlenmemiş alanların Cd kapsamı yaklaşık 1 mg kg^{-1} 'in altında tahmin edilirken survey yapılan alanların ortalama Cd kapsamı Misli Ovasında 1.83 mg kg^{-1} ,

Altınhisar Ovasında ise 1.67 mg kg^{-1} olarak saptanmıştır. Araştırmacılar bu kirliliğin nedenini uzun periyotta kullanılan ağır metal içerikli gübrelere bağlamışlardır. Benzer şekilde Derici ve ark. (2002) tarafından Türkiye’de Cd kirlenmesinin boyutunu araştırmak amacıyla değişik yöreleri kapsayan bir dizi çalışmanın sonuçlarına göre; Nevşehir-Niğde yöresi patates yetiştirme alanlarında toprakların Cd konsantrasyonu oldukça farklılık göstermiş alınabilir P ile DTPA-Cd arasında önemli pozitif ilişki saptanmıştır. Örneklenen patateslerin 1999 yılında %69’u, 2000 yılında ise %32’si maksimum izin verilebilir Cd limitini aşmıştır. Araştırmacılar bunun nedenini toprak ve iklim faktörleri yanında kullanılan fosforlu gübrelere bağlamışlardır.

Avrupa Birliği’ne girmeye çalıştığımız şu günlerde özellikle bir tarım ülkesi olduğumuz için dış ticarete rekabet şansımızın artması güvenli, sağlıklı ve kaliteli gıda üretimine bağlıdır. Ülkemiz’de gıda tüketiminin çoğunlukla tahıla dayalı olması ve tahıl üretiminde de ciddi bir potansiyele sahip olması nedeniyle gerek insanlarımızın gıda güvenliği, gerekse dünya piyasalarında yer etmek adına bir takım önlemlerin önceden alınması gerekmektedir. Bu önlemlerin alınabilmesi için de bilimsel bilgi birikimine ihtiyaç vardır. Türkiye’de de özellikle Cd ile ilgili bilimsel çalışmalar oldukça sınırlıdır. Yukarıda da belirtildiği gibi, yoğun fosforlu gübre kullanımına bağlı olarak topraklarımızdaki Cd kirliliğinin oluşması yeterli önlemler alınmadığı takdirde besin zinciri ile insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşabilecektir. Ülkemizde de besin zincirine giren Cd’u en aza indirmek için düşük düzeyde Cd akümüle eden tahıl çeşitlerinin araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışması Nevşehir yöresinden alınan asidik tepkimeli, kireçsiz topraklarda sera şartlarında saksılarda suluda yetiştirilen farklı buğday ve arpa varyetelerinin, artan oranlarda toprağa uygulanan Cd’a karşı tepkilerini ve survey çalışması ile söz konusu yörede yetişen buğday ve arpa varyetelerinin tanelerindeki Cd içeriklerini belirleyerek, düşük düzeyde Cd akümüle eden çeşitleri saptayıp, en azından çiftçiyi bu konuda bilinçlendirerek çeşit tercihi yapmasına katkıda bulunmak amacıyla yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Bitki Çeşitleri ve Genotipleri Arasında Cd Birikimi Farklılıkları

Avustralya'da değişik toprak ve çevre şartlarına sahip 12 alanda yetiştirilen yaygın patates çeşitlerinde Cd konsantrasyonu değerlendirilmiş ve iki yöre hariç diğer bütün yörelerde çeşitler arası yumru Cd konsantrasyonunda önemli farklılıklar bulunmuştur. Bazı yaygın olarak kullanılan patates çeşitlerinde yumru Cd konsantrasyonu diğerlerinin yarısı kadar bulunmuştur. On dört yaygın patates çeşidinde bütün yörelerin ortalaması olarak yumru Cd konsantrasyonu 30.0-50.8 $\mu\text{g kg}^{-1}$ yaş ağırlık arasında değişmiş ve tespit edilen değerler çoğunlukla maksimum izin verilebilir konsantrasyonun altında çıkmıştır. Bununla birlikte bazı lokasyonlarda belirli çeşitlerde belirlenen Cd değerleri maksimum izin verilebilir konsantrasyonu aşmıştır. Yapılan regresyon analizleri hiç bir çeşitte sürekli olarak düşük veya sürekli olarak yüksek yumru Cd konsantrasyonunun olmadığını göstermiştir. Yumru Cd konsantrasyonu açısından çeşitler arası farklılık önemli bulunmuştur. Bununla birlikte yöreler arası Cd konsantrasyon dağılımındaki fark daha yüksek derecede önemli çıkmıştır. Böylece toprak ve diğer faktörler (su kalitesi, iklim, vb.) yumru Cd konsantrasyonunu kontrol etmede daha baskın rol oynadıkları ortaya konulmuştur (McLaughlin ve ark. 1994).

Hart ve ark. (1998) tarafından ekmeklik ve makarnalık buğdayda Cd'un tutulması, alınması ve taşınması konusunda yürütülen bir çalışmada tüm bitki olarak Cd birikiminin ekmeklik buğdaylarda makarnalık buğdaylara göre daha yüksek olduğu ve bunun sebebinin ise apoplastik Cd tutumunun artmasından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. Sürgünlere Cd taşınımının makarnalık buğdaylara göre ekmeklik buğdaylarda daha yüksek olduğu ve bunun kökler tarafından absorbe edilmiş Cd'un yeşil aksam taşınmasının daha yüksek olmasından kaynaklandığı ve ayrıca makarnalık buğday tanesindeki aşırı Cd birikiminin kök-yeşil aksam akış oranlarıyla değil, muhtemelen taneye floemdeki Cd'un taşınımıyla ilişkili olabileceği bildirilmiştir.

Adams ve ark. (2001) tarafından 1998-2000 yılları arasında İngiltere’de buğday ve arpanın Cd ve Pb içerikleri ile tanede Cd ve Pb birikimini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla survey çalışması, sera ve tarla denemelerini içeren oldukça kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür. 1998 yılında HGCA (The Home-Grown Cereals Authority) tarafından Cereals Quality Survey adı altında yaptırılan survey çalışmasında 250 buğday ve 233 arpa örneği, lokasyonları ve varyeteler kaydedilerek toplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda arpada ortalama Cd ve Pb konsantrasyonları sırasıyla 0.022 ve 0.038 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Kadmiyum ve Pb konsantrasyonunda yetiştikleri bölgeye bağlı farklılık istatistiksel anlamda önemli bulunmazken, Cd konsantrasyonları arasında varyeteye bağlı farklılık istatistiksel açıdan önemli (P < 0.01) çıkmıştır. Buğdayda ortalama Cd ve Pb konsantrasyonları sırasıyla 0.063 ve 0.025 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiş, bölgesel farklılıklar her iki ağır metal için de istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Kadmiyum konsantrasyonu açısından varyeteler arası fark önemli (P < 0.05) iken; sekiz buğday varyetesinden Rialto yüksek düzeyde (0.074 mg Cd kg⁻¹), Consort düşük düzeyde (0.053 mg Cd kg⁻¹) kadmiyum biriktiren çeşit olarak belirlenmiştir. Toprak Cd kapsamı ve toprak pH’sının kombine etkisi tane Cd kapsamını önemli (P < 0.01) derecede etkilemiştir.

Aynı çalışmada 1998, 1999 ve 2000 yıllarında Ulusal Survey adı altında sanayi buğdayı ve maltlık arpanın taneleri ve yetiştikleri toprakları hasattan kısa bir süre önce örneklenmiştir. Örneklerin tipik toprak Cd konsantrasyonu ile birlikte toprak tipi dağılımı açısından İngiltere’yi temsil etmesi için 1998’de yapılan surveyde örnekleme alanları ticari amaçlı ekim alanlarından seçilmiştir. 1999 ve 2000 yıllarında ise arıtma çamuru uygulanmış alanlar, ana yollara yakın alanlar ve doğal olarak Cd konsantrasyonu yüksek olan kirlenmiş alanlar örneklenmiştir. Yapılan analizler sonucunda buğdayda tane Cd konsantrasyonları geniş bir aralığa (0.010-0.620 mg kg⁻¹) yayılmış olup, tane Cd konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması 0.056 mg kg⁻¹, geometrik ortalaması ise 0.077 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Yıllar itibarıyla ortalama Cd konsantrasyonları arasında istatistiksel anlamda bir farklılık bulunmamış olup. 1998, 1999 ve 2000 yılları için ortalama tane Cd konsantrasyonları sırasıyla 0.051, 0.059 ve 0.056 mg kg⁻¹’dir. 1998 yılı Cereals Quality Survey çalışmasında olduğu gibi, bu çalışmada da buğday varyeteleri

arasında Cd konsantrasyonu açısından fark istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) bulunmuştur. Bu çalışmada da yine Rialto varyetesi en yüksek Cd konsantrasyonuna (ortalama 0.117 mg kg^{-1}) sahip çeşit olmuştur. Örnekleme yapılan beş alanda toprak Cd konsantrasyonları çok yüksek olduğu için tane Cd konsantrasyonları da oldukça yüksek bulunmuştur. Toprak karakteristikleri bitkinin Cd alımında etkili olmuştur. Bu yüzden 1999-2000 yıllarında örneklerin yaklaşık %4.9'unda Cd konsantrasyonu izin verilebilir sınırın üstünde çıkmıştır. 1998-2000 yıllarında toplanan arpa varyetelerinde Cd konsantrasyonu 0.1 mg kg^{-1} arasında değişmiş, tane Cd konsantrasyonunun aritmetik ve geometrik ortalaması ise sırasıyla 0.014 ve 0.019 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Hiç bir örnek İngiltere'de arpa için geçerli olan tanedeki sınır Cd konsantrasyonu değerini (kuru ağırlık esasına göre 0.118 mg kg^{-1}) aşmamıştır.

İngiltere'de 1998 yılında Cereals Quality Survey çalışması ve 1998-2000 yılları arasında buğday ve maltlık arpa için toprak ve iklim faktörleriyle ilişkili olarak yapılan Ulusal Survey çalışmaları sonucunda buğday ve arpa çeşitleri için saptanan tane Cd konsantrasyonlarında önemli farklılıklar olup olmadığını araştırmak için kontrollü çevre şartlarında saksı denemesi yapılmıştır. Yalnız bir toprak tipinde yaygın olarak yetiştirilen çeşitlerde hem kışlık buğday hem de kışlık ve yazlık maltlık arpada Cd alımında önemli ($P < 0.01$) farklılıklar saptanmıştır. Tane Cd konsantrasyonuna göre buğday çeşitleri gruplandırıldığında 1998 Cereal Quality Survey ve 1998-2000 buğday ve arpada yapılan survey çalışmaları ile şaşırtıcı bir şekilde uyum olduğu görülmüştür. Sera denemesinde en yüksek tane Cd konsantrasyonuna sahip çeşitler (Soissons, Rialto) survey çalışmalarında da en yüksek Cd içeren çeşitler olmuştur. Benzer şekilde Hereward çeşidi hem saksı denemesinde hem de her iki survey çalışmasında da orta düzeyde Cd ihtiva eden çeşit olmuştur. Consort ve Riband sera denemesinde en düşük Cd içeren çeşit olurken her iki survey çalışmasında da düşük düzeyde Cd içerdikleri görülmüştür. Tanede Cd konsantrasyonunda buğday çeşitlerinde 2 kata ulaşan, arpa çeşitlerinde 3 kata ulaşan değişimler belirlenmiştir (Adams ve ark. 2001).

Gray ve ark. (2001).Yeni Zelanda'da farklı buğday çeşitleri arasında tanenin Cd kapsamındaki değişimini bir dizi toprak özellikleri de dikkate alınarak araştırmışlardır. Sonuçlar Yeni Zelanda'da buğday tanelerinde Cd

konsantrasyonunda çeşitler arasında dikkate değer farklılıkların olduğunu göstermiştir. Buğday çeşitleri arasında tanenin Cd konsantrasyonu geniş bir aralığa yayılmış olup kışlık buğdaylarda yaş ağırlıkça 26.7-106.9 $\mu\text{g kg}^{-1}$, yazlık buğdaylarda ise 32.8-109.2 $\mu\text{g kg}^{-1}$ arasında değişmiştir. Hem kışlık hem de yazlık olarak yetiştirilen “Monad” çeşidi diğer çeşitlere kıyasla oldukça önemli ($P < 0.05$) derecede yüksek düzeyde Cd akümüle etmiştir. Bunu “Commando” ve “Belfield” çeşitleri izlemiştir. Kışlık buğday çeşitlerinden “Consort” ve yazlık buğday çeşitlerinden “KRC4172” ise en düşük düzeyde Cd akümüle eden çeşitler olmuştur. Analiz edilen örneklerin %10’u buğday tanesi için maksimum izin verilebilir Cd konsantrasyonu limitini (0.1 mg kg^{-1}) aşmıştır. Değişik buğday çeşitlerinin tane Cd akümüstasyon kabiliyetleri açısından 4 kata kadar değişen farklılık görülmüştür. Ayrıca aynı yörede yetişen buğday çeşitlerinde Cd alımında mevsimsel varyasyonlar görülmüştür. Zayıf tuz çözeltileri kullanılarak ekstrakte edilebilir toprak Cd’u ile tane Cd konsantrasyonu arasında, bütün topraklarda yazlık buğdayda daha yüksek korelasyonlar elde edilmiştir. Kışlık buğdayda ise bu özellikle arasında önemli ilişkiler bulunamamıştır. Hem kışlık hem de yazlık buğdayda, buğday tanelerinin Cd konsantrasyonu ile ana toprak özellikleri arasında herhangi bir önemli korelasyon bulunmamıştır.

İki farklı buğday çeşidi (E18513 ve Genguo 534) kullanılarak fide döneminde bitkilerin gelişimleri ve mineral besin alımları üzerine Cd’un etkisini incelemek amacıyla 0 mg kg^{-1} ’dan 1 mg kg^{-1} ’a kadar değişen Cd dozlarında bir araştırma yürütülmüştür. Düşük Cd konsantrasyonlarında (0.03 mg kg^{-1}) her iki çeşitte de büyüme ve kuru madde birikimi teşvik edilirken; yüksek Cd konsantrasyonlarında ($> 0.3 \text{ mg kg}^{-1}$) büyüme ve kuru madde birikimi engellenmiştir. Büyüme ve kuru madde birikimi açısından çeşitler arasında önemli farklılıklar bulunmuştur. E18513 çeşidi ile kıyaslandığında Genguo 534 çeşidinin Cd toksisitesine daha dayanıklı olduğu görülmüştür. Kadmiyum mineral besin alımını önemli derecede etkilemiş ve iki çeşitte farklı tepki göstermiştir. Kontrol ile kıyaslandığında; $0.1 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ uygulamasında beş makro besin içeriği E18513 çeşidi için önemli ölçüde düşük bulunurken, Genguo 534 çeşidinde çok küçük değişiklikler olmuştur (Zhang ve ark. 2002a).

Dunbar ve ark. (2003) tarafından yürütülen bir sera denemesinde büyüme dönemi süresince Cd ilave edilen toprakta yetiştirilen iki patates varyetesinde (Wilwash ve Kennebec) Cd alımı ve dağılımı araştırılmıştır. Patates çeşitleri daha önce yapılan tarla denemesi sonuçlarına göre yüksek ve düşük düzeyde Cd akümüleden çeşitler arasından seçilmiştir. Çeşitler arasında bitkinin toplam Cd alımında bir farklılık olmamış, fakat Cd'un bitki içindeki dağılımında farklılıklar oluşmuştur. Bitkilerin değişik organlarında Cd konsantrasyonu oldukça farklılık göstermiştir (kök > filiz > yumru). Wilwash ve Kennebec çeşitleri arasında yumru Cd konsantrasyonunda farklılıklar bulunmuştur. Kennebec çeşidi yumruda toplam bitki Cd'unun %75'ini biriktirirken Wilwash çeşidi %43'ünü biriktirmiştir. Çeşitlerin yumru Cd konsantrasyondaki bu farklılık Cd'a özel bir durum olup diğer besin elementlerinde görülmemiştir.

Farklı 2 makarnalık buğday çeşidi (Balcalı-85 ve Ç-1252) kullanılarak bir besin çözeltisi denemesi kurulmuş ve bu denemeye makarnalık buğday çeşitlerinde Cd toleransındaki genotipsel farklılık, Cd konsantrasyonu ve askorbik asit ile protein olmayan sülfidril gruplarının Cd toleransındaki rolü araştırılmıştır. Bitkiler kontrollü iklim koşullarında 15 gün süreyle artan Cd dozlarında (0, 6, 30, 75 ve 150 μM) yetiştirilmiştir. Buğday çeşitlerinden Ç-1252'nin Cd toksisitesine daha duyarlı olduğu gözlenmiştir. Artan dozlarda uygulanan Cd, her iki çeşitte de yeşil aksam ve kök kuru madde üretimini önemli oranda azaltmıştır. Bu azalmaların C-1252'de, Balcalı-85'e göre daha belirgin olduğu saptanmıştır. Bitkilerin Cd konsantrasyonları Cd uygulamasıyla, özellikle kökte olmak üzere, çarpıcı biçimde artış göstermiştir. Ç-1252, Balcalı-85'e göre yeşil aksamda daha fazla Cd içerirken, kökte daha az Cd'a sahip olmuştur. Bitkilerin askorbik asit konsantrasyonu, her iki çeşitte de Cd uygulamalarından benzer biçimde etkilenmiştir. Artan Cd uygulamaları ile yeşil aksamda sülfidril grupları konsantrasyonu her iki çeşitte de benzer biçimde az düzeyde bir artış göstermiştir. Ancak köklerde artan Cd uygulaması ile sülfidril grupları konsantrasyonunda, özellikle Cd toksisitesine daha toleranslı Balcalı-85 çeşidinde olmak üzere, çarpıcı düzeyde artışların olduğu saptanmıştır. Sonuçlar, makarnalık buğday çeşitlerinin farklı Cd toleransında sülfidril içeren bileşiklerin (örneğin fitoşelatinlerin) ve köklerde Cd'un tutulmasının önemli bir role sahip olabileceğini göstermiştir (Öztürk ve ark. 2003).

Greger ve Lofstedt (2004).Yüksek düzeyde Cd akümüle eden buğday çeşitlerinin; kökte yüksek Cd alımı nedeniyle kökten yeşil aksama ve oradan da taneye yüksek düzeyde Cd transferinin olup olmadığının araştırılması amacıyla 1994-1997 yılları arasında tarla koşullarında bir çalışma yürütmüşlerdir. Yaklaşık 40 çeşit; yazlık ekmeklik buğday, kışlık ekmeklik buğday ve makarnalık buğday tanede Cd konsantrasyonu araştırılmış ve elde edilen verilere dayanarak tanede düşük ve yüksek konsantrasyonlu çeşitler seçilerek 0.5 mM Cd içeren besin solüsyonu içinde iklim odalarında kısa ve uzun süreli olarak yetiştirilmişlerdir. Kısa süreli denemede, genç tohumlar Cd içeren besin solüsyonu içinde vejetasyon aşamasında her çeşit için Cd alımı ve kökten filize Cd taşınımının ölçülmesi amacıyla 19 gün süreyle yetiştirilmiştir. Uzun süreli denemede ise bitkiler aynı besin çözeltisinde olgunlaşınca kadar yetiştirilmiş ve Cd'un kökler, bayrak yapraklar, kavuz ve tanede dağılımı analiz edilmiştir. Kök, filiz, bayrak yaprak ve kavuzda Cd konsantrasyonları Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi ile ölçülmüş ve tanede Cd akümüle etme kabiliyetleri açısından çeşitler arasında farklılık bulunmuştur. En büyük farklılık makarnalık buğday çeşitleri arasında elde edilmiştir. Tanedeki farklı Cd akümülesyonunun; kökten filize taşınma ve filizde, bayrak yapraklarda ve kavuzdaki Cd konsantrasyonundaki değişimle ilişkili olduğu, kök tarafından Cd alımı ile ilişkili olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

İki Cd seviyesinde 4 farklı arpa çeşidinin Cd alımını araştırmak amacıyla serada su kültüründe bir çalışma yürütülmüştür. Sonuçlar çözeltideki Cd seviyesinin artmasıyla kök ve üst aksamın Cd konsantrasyonlarının arttığını ve kök Cd konsantrasyonunun üst aksam Cd konsantrasyonundan daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bitki tarafından akümüle edilen Cd miktarı deneme süresince sürekli olarak artmış ve kök ile üst kısımda en yüksek Cd konsantrasyonu Cd ilavesinden sonraki yaklaşık 70. ve 100. günlerde görülmüştür. Genotipler kök ve üst aksamın Cd konsantrasyonu açısından önemli farklılıklar göstermiştir. Wumaoliuling çeşidinin Cd konsantrasyonu diğer üç çeşitten daha yüksek olmuş, Mimai 114 çeşidi ise en düşük düzeyde Cd akümüle eden çeşit olmuştur. Her bir bitkinin Cd alımı ilk 70 günde önce yavaş bir şekilde artmış, sonra 70-100 gün periyodunda ise hızlı bir biçimde yükselmiştir. Daha sonra Cd alımı hızlı bir şekilde düşmüştür (Wu 2005).

Cheng ve ark. (2006).dokuz çeltik genotipini 6 farklı lokasyonda art arda 2 yıl yetiştirerek tanedeki Cd, Cr, As, Ni ve Pb konsantrasyonlarının genetik ve çevresel değişimlerini ve bu ağır metaller ile Fe ve Zn arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Tanede beş ağır metal konsantrasyonunda genotipik değişim önemli bulunmuş ve Pb ve Ni'in çevresel etkisinin diğer üç metalin etkisinden daha fazla olduğu saptanmıştır. Tanede bütün ağır metallerin konsantrasyonu ile genotip-çevre interaksyonu önemli bulunmuştur. Söz konusu lokasyonlarda çeltik yetiştirilirken tanede düşük düzeyde ağır metal içeren çeşitlerin seçiminin önemli olduğu vurgulanmıştır. Korelasyon analizleri; tanede Cd ve As; Cr ve Ni, As ve Pb konsantrasyonlarının benzer ve tanede Ni ve Zn konsantrasyonu arasındaki ilişkinin ise negatif olduğunu göstermiştir.

Kadmiyum dünyada en yaygın ve toksik bir ağır metaldir. Kadmiyumun topraktaki toksikliği yaşayan organizmalar için ciddi bir tehlike haline gelmektedir. Endüstriyel alanlara yakın çeltik tarlalarında temel kirleticilerden biri olup bitki büyümesi ve gelişimine yüksek derecede toksiktir. Bitkilerdeki Cd'u en aza indirmek için birçok başarılı Cd yönetim planı sunulmuştur. Bu yaklaşımlardan biri de hafif derecede kirlenmiş topraklarda Cd alımını kökte baskı altında tutan ve bitkinin üst aksamına taşınmasını engelleme kabiliyeti olan genotipleri seçmektir. Kadmiyum ile kirlenmiş topraklarda N, S ve Zn gibi temel bitki besin elementli gübrelerin doğru bir şekilde uygulanmasıyla Cd'un toksik etkisi azaltılabilir (Hassan ve ark. 2006).

Çin'in Yangster Nehri deltasında çeltik ekimi yapılan topraklarda yaygın bir şekilde Cd kirliliği gözlemlenmektedir. Düşük Cd içerikli bitki yetiştirme tekniklerinin araştırılması ve geliştirilmesi amacıyla Cd alımı ve taneye taşınım oranı açısından genotipik farklılıklar incelenmektedir. He ve ark. (2006), 2000-2004 yılları arasında farklı türlerdeki (İndiva ve Japonica) 38 çeltik genotipini toplanarak bir karşılaştırma yapmışlardır. Cd kontaminasyonu olan topraklarda yetişen çeltik genotipleri arasında sap, kahverengi çeltik ve tane kepeğinde Cd konsantrasyonu açısından büyük farklılıklar görülmüştür. Kahverengi çeltiğin Cd konsantrasyon aralığı 0.06-0.99 mg kg⁻¹ arasında değişmiştir. Kahverengi çeltikte toplam Cd konsantrasyonu 0.96 ile 28.58 µg bitki⁻¹ arasında seyretmiştir. İndica türü çeşitler Japonica türü çeşitlere kıyasla çok daha fazla Cd akümüle etmişlerdir. Sap Cd konsantrasyonu kahverengi çeltikle yüksek düzeyde korelasyon sağlamıştır. Bitki

genotipleri arasında Cd dağılım oranı (alınan toplam Cd'un bitki içinde % dağılımı) açısından önemli farklılıklar görülmüştür. Bunların kahverengi çeltiğin Cd konsantrasyonu ile ilişkisi bulunmamıştır. Bu durum pirinç tanesindeki Cd akümülyasyonunun bitki tarafından Cd alımı yoluyla kontrol edilebilir, fakat bitki içindeki dağılımın kontrol edilemez olduğuna işaret etmektedir. Düşük Cd içerikli çeltik yetiştirilmesi için düşük düzeyde Cd akümüle eden çeltik genotiplerinin seçimi önerilebilir. Sap ve tane arasında Cd dağılımındaki farklılıktan ziyade düşük Cd alımı üzerine yetiştirme tekniklerinin geliştirilmesi üzerine odaklanmalıdır.

2.2. Verim ile Kadmiyum İlişkisi

Zhang ve ark'nın. (2000) besin kültüründe Cd uygulamasının, buğday bitkisinde Cd ve diğer bazı besin elementleri alımı ve organlarda dağılımına etkilerinde genotipik farklılığı saptamak amacıyla yürüttükleri bir denemede, 1 mg L⁻¹ uygulamasında kök ve yeşil aksam kuru madde miktarı, bitki boyu, kök uzunluğu, klorofil içeriği ve sürgün sayısı önemli derecede azalmıştır. Cd uygulaması yapılan denemelerde kullanılan 16 buğday genotipinin yeşil aksam ve kök ortalama Cd konsantrasyonu sırasıyla 48.1 ve 459.0 µg g¹ (kuru madde) olarak saptanmış ve alınan Cd'un %77.9'u kökte tutulduğu ortaya konulmuştur. Cd ilavesi genellikle bitki organları hesaba katılmaksızın S, P, Mg, Mo, Mn ve B konsantrasyonunu düşürmüştür, Fe konsantrasyonunu ise artırmıştır. Kök ve toprak üstü aksamda Cd konsantrasyonunun K, Ca ve Cu kapsamına etkisi farklı olmuştur. Altı buğday genotipinin gelişim ve bitki besin element kapsamı açısından Cd'a tepkileri farklı olmuştur. Ailuyuang genotipi yeşil aksamda en yüksek, kökte ise en düşük düzeyde Cd akümüle ederken, gelişim gerilemesinden en az etkilenen E81513 genotipi toprak üstü aksamda en az, kökte ise en yüksek düzeyde Cd ihtiva etmiştir. Kök ve toprak üstü aksamda bütün besin elementleri için Cd uygulamaları ve genotip arasında (kök S ve Zn kapsamı hariç) önemli interaksiyonlar bulunmuştur.

Buğday çeşitlerinin biomass üretimi, verim ve verim unsurları arasındaki farklılığı araştırmak amacıyla beş Buğday çeşidi ve dokuz farklı Cd seviyesinde çözültü kültüründe yürütülen bir çalışmada, 1 mg L⁻¹ Cd ilavesi kök ve gövde kuru madde ağırlığı ve sürgün ağırlığını önemli derecede düşürmüştür. Düşüş oranı

açısından buğday genotipleri arasında farklılık görülmüş ve verim bileşenleri arasındaki karşılıklı telafi nedeniyle her bir başaktaki tane sayısı ve tane ağırlığındaki düşüş uyumlu bulunmamıştır. Kökteki Cd birikiminin toprak üstü aksamından 20 kat, taneninden 200 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Cd ilavesine karşı buğday genotiplerinin değişik organlarında Cd'a tepkileri açısından önemli farklılıklar oluşmuştur. Cd ilavesi besin elementi konsantrasyonu, element çeşidi, bitki organı ve genotipe bağlı farklılıklara sebep olmuştur. Cd uygulaması muhtemelen toprak üstü aksama transferin engellenmesinden dolayı kökte daha fazla P, K ve Mn birikimine neden olmuştur (Zhang ve ark. 2002b).

Kompost, kahverengi kömür, kireç ve bentonit gibi değişik organik materyaller uygulanmış toprakta Cd elementinin bitkinin N alımı üzerine etkisini incelemek amacıyla yürütülen bir denemede, bitkinin N içeriği ile toprağın Cd kapsamı, verim ve bitki makro ve mikro element içerikleri arasındaki korelasyonlar araştırılmıştır. Topraktaki yüksek Cd konsantrasyonu bütün bitkilerin toprak üstü aksamında ve acı bakla, turp ve arı otu bitkilerinin kök ağırlığında ciddi biçimde düşüşe neden olmuştur. Yulaf ve mısır bitkisinin kökünde ise zıt bir korelasyon görülmüştür. Kompost, kireç ve kahverengi kömür uygulaması Cd'un bitki verimi üzerine negatif etkisini azaltmıştır. Bitkinin N kapsamı üzerine toprak Cd'unun etkisinin bitki çeşidi ve Cd dozuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Yüksek dozda Cd, yulaf sapı ve kökü ile mısır kökünde Cd kapsamının artmasına neden olmuştur. Toprak Cd kontaminasyonu yulaf tanesinde, acı baklanın yeşil aksam ve kökünde mısırın yeşil aksamında ve arı otunun yeşil aksam ve kökünde N kapsamını azaltmıştır. Toprağa uygulanan değişik materyaller arasında bentonit uygulaması bitki N kapsamı üzerine en güçlü ve negatif etki yapmıştır. Bentonitin en büyük etkisi yulaf tanesi, mısır, acı bakla ve arı otunun yeşil aksamlarına olmuştur. Toprağa uygulanan materyaller dikkate alınmaksızın bitki N kapsamı ile makro element ve bazı mikro element kapsamı arasındaki korelasyon genellikle pozitif çıkmıştır (Ciecko ve ark. 2004c).

Toprağa 0, 25, 50 ve 100 mg Cd kg⁻¹ uygulayarak 5 değişik buğday çeşidinin (PBW343, HT2329, PBW373, UP2338 ve WH542) üç gelişim döneminde (ekimden 30, 60 ve 90 gün sonra-kardeşlenme, başaklanma ve süt olum) gelişim karakteristikleri (bitki boyu, kuru ağırlık ve yaprak alanı), net fotosentez hızı ve

verim unsurlarındaki (başak sayısı, bin tane ağırlığı, tane verimi) değişimleri incelemek amacıyla yürütülen denemede, bütün varyetelerde ve bütün örnekleme dönemlerinde gelişme karakteristiklerinde önemli derecede düşüşler $100 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ uygulamasında görülmüştür. Varyeteler arasında PBW373 çeşidi tüm unsurlarda daha az azalış göstererek toleranslı bulunmuştur. Oysa WH542 çeşidi maksimum derecede azalışa maruz kalarak toleranssız olduğunu göstermiştir (Khan ve ark. 2006).

2.3. Fosfor ile Kadmiyum İlişkisi

Toprağa kompost, kahverengi kömür, kireç ve bentonit gibi nötrale edici materyal uygulayarak 10, 20, 30 ve 40 mg Cd kg^{-1} toprak ilavesinin bitkinin fosfor alımına etkisini incelemek amacıyla yürütülen bir saksı denemesinde; topraktaki Cd kontaminasyonu, verim ve bitkinin makro ve mikro element içeriği ile fosfor içeriği arasındaki korelasyonlar saptanmıştır. Toprağın Cd kontaminasyonunun bitkinin fosfor içeriğine etkisi bitki çeşidi ve organları ile ilişkili bulunmuştur. Topraktaki yüksek Cd konsantrasyonu; yulafın tane ve kök, mısırın kök ve acı baklanın yeşil aksam fosfor içeriğini artırmıştır. Böyle bir korelasyon yulaf sapı, acı bakla kökü ve kırmızı turpun toprak üstü aksamında saptanmamıştır. Toprağa kahverengi kömür, kireç ve bentonit uygulaması sonucu fosfor içeriklerinde azalma olurken, kompost uygulaması bitkinin fosfor içeriğini artırarak zıt bir etki göstermiştir. Bitkinin belli organları tarafından kimyasal element alımı sırasında böyle sistemler antagonizm ve sinerjizm etkileri ile ilişkili kompleks mekanizmalar göstermektedir. Cd'un fosfor kapsamına etkisi değişken olup, bitki çeşidi ve bitki organı tarafından belirlenmektedir (Ciećko ve ark. 2004b).

Bütün topraklara sabit Cd dozu (6 mg kg^{-1} toprak) uygulanarak, Zn (0, 1, 5, ve 10 mg kg^{-1} toprak) ve P (0, 10, 50, 100 mg kg^{-1} toprak) uygulamalarının kışlık buğdayın kök ve toprak üstü aksamına etkisi Zhao ve ark. (2005). tarafından bir saksı denemesiyle araştırılmıştır. Fosfor uygulamaları kök ve toprak üstü aksam veriminde belirgin bir artış sağlamıştır. Bitki gelişimine çinkonun etkisi fosforun ki kadar bariz olmamıştır. Yüksek düzeyde Zn uygulaması (10 mg kg^{-1}) yeşil aksam ve kök verimini düşürmüş ve bu etki Zn toksitesi olarak açıklanmıştır. Kullanılan Zn ve P

seviyesinin sınırları içinde fosfor ve çinkonun bitki tarafından alınımı karmaşık bir interaksiyon göstermiştir. 10 mg P kg⁻¹ uygulaması hariç, artan Zn uygulamaları ile yeşil aksam Cd içeriği önemli derecede ($P < 0.01$) azalmış, bunun aksine 5 mg Zn kg⁻¹ uygulaması hariç kök Cd konsantrasyonu önemli derecede ($P < 0.01$) artmıştır. Bu sonuçlar çinkonun Cd'un kökten yeşil aksama transferini engellediği şeklinde yorumlanmıştır. Fosfor uygulaması ile yeşil aksamın Cd konsantrasyonu önemli ölçüde ($P < 0.001$) artarken, kökte azalmıştır ($P < 0.001$). Çinko ve P arasındaki interaksiyon hem yeşil aksam ($P < 0.002$), hem de kökte ($P < 0.001$) Cd birikimine önemli ölçüde etki yapmıştır.

Fosfor uygulamasının toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd içeriği ve ıspanağın büyüme ve Cd alımına etkisini araştırmak amacıyla yürütülen bir saksı denemesinde, tekstürleri farklı iki toprağa Cd(NO₃)₂ formunda beş değişik Cd dozu (0, 20, 30, 40 ve 60 mg Cd kg⁻¹) ile, Cd'un P tarafından immobilizasyonunu saptamak amacıyla KH₂PO₄ formunda üç farklı P dozu (0, 12 ve 24 mg P kg⁻¹) uygulanmıştır. Ispanaklar çıkıştan sonra 60 gün süreyle yetiştirilmiştir. Toprağa artan dozlarda Cd uygulanması ile ıspanağın yeşil aksam kuru madde verimi farklılık göstermiştir. Kumlu toprakta %67 verim azalması görülürken, siltli-tınlı toprakta bu oran %34 olarak saptanmıştır. Fosfor uygulaması ıspanağın kuru madde verimini siltli-tınlı toprakta 4.53 g saksı⁻¹'den 6.06 g saksı⁻¹'ya (%34) yükseltirken kumlu toprakta 3.54 g saksı⁻¹'den 5.32 g saksı⁻¹'ya (%45) yükseltmiştir. Cd ilavesi ıspanağın toprak üstü aksamının Cd içeriğini kumlu toprakta 34 kat, siltli-tınlı toprakta ise 18 kat artırmıştır. Fosfor uygulaması toprak üstü aksamda Cd konsantrasyonunu azaltmış. Cd kapsamındaki bu azalış kumlu toprakta siltli-tınlı toprağa kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Sonuçlar P uygulaması ile Cd toksisitesinin hafifletilebileceğini göstermiştir (Dheri ve ark. 2007).

2.4. Potasyum ile Kadmiyum İlişkisi

Tiritikale ve yazlık kolza bitkileri kullanılarak kireç, kahverengi kömür ve kompost (0, 7.5, 15 ve 22.5 mg Cd kg⁻¹ toprak) uygulamasında Cd'un verim ve kimyasal bileşimine olan etkilerini azaltmadaki rolünü saptamak amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Kireç kullanılmayan ve Cd kontaminasyonu olan muamelede

yazlık tiritikalenin tane, sap ve kök verimi ile kolzanın yeşil aksam veriminde ciddi derecede bir azalma olmuştur. Ortama ilave edilen kahverengi kömür ve özellikle kompost Cd'un negatif etkisini nötralize etmiş ve tiritikalenin sap ve kök verimindeki azalmayı önlemiştir. Cd kontaminasyonuna bağlı olarak kolza bitkisinde verim düşüklüğünün kireçleme ile azaltılabileceği kanıtlanmıştır. Tiritikalenin kök ve tane Cd kapsamı samanındakinin çok üzerinde bulunmuştur. Kadmiyumdan kaynaklanan toprak kirliliği Cd kapsamını tiritikalenin tanesinde 26 kat, kökünde 10 kat ve kolza tohumunda ise 2 kat artırmıştır. Kompost, kahverengi kömür ve çok az bir farkla kireçleme uygulaması tiritikale organlarında Cd kapsamını düşürmüştür. Toprak Cd kontaminasyonu yazlık tiritikalenin N, K, Mg, Ca ve Na kapsamında, yazlık kolzanın toplam N, K ve Mg kapsamında önemli değişikliklere neden olmuştur (Ciecko ve ark. 2001).

Yulaf, mısır, sarı acı bakla ve kırmızı turpta Cd'un (10, 20, 30 ve 40 mg kg⁻¹ toprak) K alımına etkisini ve toprağa kompost, kahverengi kömür, kireç ve bentonit uygulayarak ve hiç uygulama yapmayarak organik maddenin Cd immobilizasyonu üzerine etkisini incelemek amacıyla Ciecko ve ark. (2004a) tarafından bir dizi deneme yürütülmüştür. Kadmiyum kontaminasyonu ile bitkinin K içeriği verim, makro ve mikro besin element kapsamı arasındaki korelasyonlar saptanarak bitki çeşitleri ve organlarında K alımı ve K alımına Cd'un etkisi araştırılmıştır. Yapay Cd kontaminasyonu yulafın tanesinde ve toprak üstü aksamında, sarı acı bakla ve kırmızı turpun köklerinde K içeriğini düşürmüştür. Yulaf sapı ve kökü ile mısır kökünde ise zıt bir etki göstererek K içeriğini artırmıştır. Toprağa kompost, kahverengi kömür, kireç ve bentonit uygulaması deneme bitkilerinin belli organlarında K kapsamını düşürmüştür. Bitki verimi ve makro besin element içeriği ile bazı mikro besin element içerikleri arasında pozitif korelasyonlar sağlanmıştır. Kadmiyumun bitkide makro besin elementlerine etkisi henüz tam olarak açıklanamamıştır.

Potasyumlu gübre formu ve toprağın kirlenme seviyesine bağlı olarak kışlık (Jawa, Mikon, Olcha ve Wilga) ve yazlık buğday (Eta, Hera, Igna ve Sigma) varyetelerinin Cd alımındaki farklılıkları tespit etmek amacıyla Grabinski ve Stuczynski (2004) tarafından yürütülen saksı denemesinde potasyumlu gübre KCl, K₂SO₄ ve KH₂PO₄ formlarında uygulanmıştır. Kontamine olmamış toprakta ve 4 mg

Cd kg^{-1} (CdSO_4) uygulanmış toprakta iki bağımsız deneme planlanmıştır. Her bir saksıya N, P, K gübre dozları sırasıyla 2.4, 0.9, 2.4 g olarak uygulanmıştır. Sonuçlar yazlık ve kışlık buğday tanelerindeki Cd birikiminin potasyumlu gübre formuna bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Kontamine olmamış toprakta yetişen ve KCl uygulaması yapılan yazlık buğday tanesinin Cd içeriği K_2SO_4 ve KH_2PO_4 gübre uygulamalarının 2 katı olarak tespit edilirken CdSO_4 uygulaması yapılan toprakta yetişen tanelerin Cd içeriği; K_2SO_4 ve KCl uygulaması yapılan topraklarda aynı, fakat KH_2PO_4 uygulaması yapılan topraklardakinden daha yüksek bulunmuştur. Cd birikimi açısından buğday varyeteleri arasında oldukça büyük farklılıklar saptanmıştır. Kontamine olmamış toprakta potasyumlu gübre formundan bağımsız olarak Eta ve Sigma çeşitlerinde yüksek düzeyde Cd içeriği saptanırken, varyete ve potasyumlu gübre formları arasında da önemli ölçüde interaksiyon bulunmuştur. Örneğin Eta ve Sigma çeşitleri KCl uygulamasında Hera ve Igna çeşitlerinden daha yüksek düzeyde Cd biriktirmişlerdir.

Zhao ve ark. (2004).değişik form ve dozda potasyumlu gübrenin iki ekmeklik buğday çeşidinin (Brookton ve Krichauff) Cd alımına etkilerini araştırmak amacıyla serada bir saksı denemesi yürütmüşlerdir. Potasyumlu gübreler (KNO_3 , KCl, K_2SO_4) dört farklı dozda (0, 55, 110 ve 166 mg K kg^{-1} toprak) uygulanmış, Cd ise CdCl_2 formunda 15 mg Cd kg^{-1} toprak dozunda toprağa ilave edilmiştir. KCl ve K_2SO_4 denemelerinde potasyumlu gübre ilavesi her iki çeşitte de yeşil aksam kuru madde ağırlığını önemli ölçüde azaltmış, fakat N denemesinde belirgin bir değişiklik yapmamıştır. Toprak üstü aksam ve bitkinin bütününde Cd konsantrasyonu K dozlarının artmasıyla Brookton çeşidinde 37.5'den 81.4 mg kg^{-1} 'a, Krichauff çeşidinde ise 42.9'dan 86.8 mg kg^{-1} 'a ($P < 0.01$) yükselmiştir. Bununla birlikte N denemelerinde en yüksek K seviyesi (K3) hariç net bir etki gözlemlenmemiştir. K3 denemesinde ise en düşük Cd seviyesi ile kıyaslandığında çok keskin bir artış söz konusu olmuştur. Potasyumlu gübre formu bitkinin toprak üstü aksam ve kökünde Cd konsantrasyonunu önemli ölçüde ($P < 0.01$) etkilemiş, fakat KCl ve K_2SO_4 denemeleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Bu çalışma Cl^- ve SO_4^{2-} anyonlarının bitkinin Cd alımını artırdığını göstermiştir. Söz konusu iyonların Cd ile kolaylıkla kompleks yapması ve bu nedenle Cd'un topraktaki bio-yarayırlılığının artmasıyla açıklanmıştır. Potasyumun tek başına bitkinin Cd alımına etkisi de

gözlemlenmiştir. Cd ile kirlenmiş topraklara potasyumlu gübre uygularken gübre dozu ve K formunun göz önüne alınması önerilmiştir.

2.5. Çinko ile Kadmiyum İlişkisi

Smilde ve ark'nın. (1992).Zn ve Cd uygulamalarının bitkinin Zn ve Cd kapsamına etkisini araştırmak amacıyla ardışık 5 yıl boyunca doğal toprakta ve Zn ve Cd uygulanmış toprakta marul, ıspanak, yazlık buğday, acı marul ve mısır bitkileri yetiştirerek yürüttükleri saksı denemelerinde etkileşim modeli antagonistik çıkmıştır. Zn, bitkilerin Cd alımını düşürmüştü, fakat etki çok yüksek düzeyde olmamıştır. Sadece tınlı toprakta bazı alanlarda Cd uygulamasıyla bitki Zn alımı artarak sinerjik etki göstermiştir.

Buğday tanesinin Cd akümülyasyonu üzerine Zn'nun etkisini araştırmak amacıyla Güney Avustralya'da dokuz farklı alanda yürütölen çalışmalar sonucunda çok şiddetli Zn eksikliği olan alanlarda çok düşük düzeyde Zn'lu gübre uygulaması (5 kg Zn ha⁻¹'a kadar) ile yetişen buğday tanesinde Cd konsantrasyonunda belirgin derecede bir düşüş görölmüştür. Yüksek oranda Zn uygulandığında da tane Cd konsantrasyonunda önemli bir azalma olmamıştır. Yeni ve bakiye çinkolu gübre uygulaması (5 kg ha⁻¹'a kadar) ile tane Cd konsantrasyonu azalmıştır. Toprak analizlerinin tane Cd konsantrasyonunun Zn uygulaması ile yararlı bir şekilde azaltılması açısından kullanışlı bir rehber olabileceği ifade edilmiştir (Oliver ve ark. 1994).

İki makarnalık buğday çeşidinin bitki dokularındaki Cd ve Zn konsantrasyonları üzerine Zn'nun etkisini belirlemek amacıyla Choudhary ve ark'nın. (1995) yaptıkları bir araştırmada, toprağa Zn uygulamasının buğdayda tane, yaprak, sap ve kökteki Cd konsantrasyonunu azalttığı saptanmıştır. Çinko toprağa 10-30 mg kg⁻¹, yaprağa 500-1500 mg kg⁻¹ dozlarında uygulanmış, yapraktan yapılan gübrelemede yeşil aksamda Zn kapsamında artış olmuş fakat Cd konsantrasyonu azalmasıdaki etkisi topraktan uygulamadaki kadar olmamıştır. Topraktan uygulamada bitki organlarında Cd birikimi sırası kök>yaprak>gövde>tane şeklinde olmuştur. Azot + fosfor gübrelemesi yapılmış toprağa Zn uygulaması, dokulardaki

Zn konsantrasyonunu yeterli seviyeye yükseltmiş ve bitkideki Cd konsantrasyonunu düşürmüştür.

Çinko eksikliği dünya tarım topraklarında önemli bir problem iken, Zn eksikliği olan topraklarda bitkinin daha fazla Cd absorbe ettiği yaygın bir şekilde kabul edilmektedir. Adiloğlu (2002).bazı tahıl çeşitlerinde Cd uygulamalarının (0 ve 15 mg kg⁻¹) büyüme ve Cd konsantrasyonu üzerine etkisini, artan Zn uygulamalarıyla (0 ve 15 mg kg⁻¹) araştırmıştır. Deneme Zn eksikliği olan topraklarda sera koşullarında yürütülmüştür. Sonuçlara göre artan Cd uygulamaları bitkinin kuru madde miktarını önemli ölçüde düşürmüştür. Kuru madde miktarındaki azalışlar; buğday > yulaf > mısır > arpa sırasına göre olmuştur. Bu azalışlar istatistiksel olarak önemli (P < 0.01) bulunmuştur. Tahıl çeşitlerindeki Cd konsantrasyonu artan Cd uygulaması ile artmış, benzer trend tahılların kuru madde miktarlarında da görülmüştür. Artan Zn uygulamaları ile bitkinin kuru madde üretimi artmış, Cd konsantrasyonu azalmıştır. Bu sonuçlar Zn eksikliği gösteren topraklarda bitkinin daha fazla Cd biriktirdiğini göstermiştir. Zn uygulaması ile bitkide Cd birikimi belli ölçüde engellenmiştir.

Nan ve ark. (2002) Çin'in Baiyin Bölgesi'nde paslanmaz demir maden işletmesi yakınlarındaki kireçli bir topraktan Cd ve Zn'nun yazlık buğday ve mısır bitkisine geçişini ve bu iki metal arasındaki interaksiyonu araştırmak amacıyla tarla koşullarında bir araştırma yürütmüşlerdir. Toprak ve bitki örnekleri 1998 yılı hasat döneminde Baiyin Bölgesi'nden rastgele seçilmiştir. Toprak metal içeriği göstermiştir ki sabanla toprak işleme toprağın metal içeriği açısından kirlenmesine neden olmuş (ortalama değer: Cd için 3.16 mg kg⁻¹; Zn için 146.78 mg kg⁻¹) ve bölgedeki kontaminasyon aralığı (Cd: 0.14–19.3 mg kg⁻¹; Zn: 43.5–565.0 mg kg⁻¹) önemli varyasyona neden olmuştur. Bu bölgede iki metalin topraktan bitki bölümlerine transfer oranı oldukça düşük ve bitki bölümlerine element transfer sırası kök > gövde > tane olarak gerçekleşmiştir. Cd'un transfer oranı Zn'nunkinden daha düşük bulunmuştur. Mısır tanesindeki Cd içeriği ile toprak Cd içeriği arasındaki lineer ilişki hariç modeller genellikle non-lineer bulunmuştur. Cd-Zn mekanizmasının analizi bu iki metalin birbirleriyle tarla koşullarında sinerjik etkileşim içinde olduğunu göstermiştir. Cd içeriğinin toprakta artmasıyla birlikte iki bitkide de Zn ve Cd konsantrasyonu artmıştır.

Yirmi çeltik çeşidinin değişik genotiplerinin Cd stresi altında köklerinde ve yapraklarında Cd^{+2} , Fe^{+3} , Zn^{+2} , Mn^{+2} , Cu^{+2} ve Mg^{+2} alımı ve birikimi Liu ve ark. (2003) tarafından yürütülen bir saksı denemesi ile araştırılmış ve elde edilen sonuçlar, kök ve yaprakların altı mineral element içeriğinde hem kök, hem de yapraklarda salkım oluşturma ve olgunlaşma periyodunda çeltik çeşitleri arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. İstatiksel analizler bu elementlerin her iki periyotta da kökteki Cd^{+2} ile Fe^{+3} , Cd^{+2} ile Zn^{+2} , Cd^{+2} ile Mn^{+2} ve Cd^{+2} ile Cu^{+2} içerikleri arasında önemli pozitif ilişkiler olduğunu, fakat Cd^{+2} ile Mg^{+2} içerikleri arasında korelasyon olmadığını ortaya koymuştur. Aynı zamanda yapraklarda her iki periyotta da; Cd^{+2} ile Fe^{+3} , Zn^{+2} ile Cu^{+2} arasında önemli ölçüde pozitif ilişki bulunurken, salkım oluşturma döneminde; Mn^{+2} ile negatif korelasyon bulunmuş, Mg^{+2} ile ise ilişki bulunmamıştır. Olgunlaşma periyodunda ise; Mg^{+2} ile önemli pozitif korelasyon bulunurken Mn^{+2} ile ilişki bulunmamıştır. Elde edilen sonuçlar çeltikte Cd^{+2} ile Fe^{+3} , Zn^{+2} , Mn^{+2} , Cu^{+2} ve Mg^{+2} arasında absorpsiyon işbirliği olduğunu göstermiştir.

Arpa bitkisinde ontogenez dönemi boyunca Cd ve dört mikro besin elementi (Zn, Cu, Fe, Mn) arasındaki interaksiyon, bitkinin element alımı ve organlar arası dağılımı ile genotipik farklılıkları incelemek amacıyla serada su kültüründe yürütülen denemede toprağa orta düzeyde ilave edilen Cd bütün bitkilerin organlarında Zn kapsamını azalttığı gibi kökten toprak üstü aksama Zn transferini engelleyerek kök/yeşil aksam Zn oranının yüksek olmasına neden olmuştur. Cd ilavesi aynı zamanda tane, kök ve yeşil aksamda Mn konsantrasyonunu ve tane ile toprak üstü aksamda Fe konsantrasyonunu azaltmıştır. Bitkinin değişik organlarında Cd ile Zn, Cu ve Mn arasında önemli düzeyde negatif korelasyon bulunmuştur. Ayrıca buğday genotipleri arasında da Cd ve dört mikro besin elementinin alınımı ve diğer organlara transferi açısından önemli derecede farklılıklar bulunmuştur. Cd ile kirlenmiş topraklarda Cd alımını azaltmak için Mn, Cu ve Zn gübrelmesi önerilmiştir (Wu ve ark. 2003).

Köleli ve ark. (2004) ekmeçlik ve makarnalık buğday çeşitlerinde artan dozlarda Zn ve Cd uygulamasının yeşil aksam kuru ağırlığı ile Zn ve Cd konsantrasyonu üzerine etkisini araştırmışlardır. Bitkiler şiddetli Zn eksikliği olan kireçli topraklarda artan dozlarda Zn (0 ve 10 mg kg⁻¹) ve Cd (0, 10 ve 25 mg kg⁻¹)

uygulamasıyla sera koşullarında 35 ve 65 gün süreyle yetiştirildikten sonra hasat edilmiştir. Zn gübrelemesi yapılmayan bitkilerde toprak üstü aksam gelişiminde ciddi stresler görülmüştür. Özellikle makarnalık buğdayda ve yüksek Cd dozlarında her iki buğday çeşidinde de dipte ve en yaşlı yaprakların kın kısmında hızlı nekrotik lekeler oluşmuştur. Fakat semptomlar Zn eksikliği koşullarında makarnalık buğdaylarda daha şiddetli olmuştur. Artan Cd uygulaması ile yeşil aksam kuru ağırlığındaki azalışlar Zn eksikliği olan bitkilerde daha şiddetli olmuştur. Makarnalık ve ekmeklik buğdayda değişik Zn uygulamalarında Cd toksisite semptomlarının şiddeti toprak üstü aksam Cd konsantrasyonu ile herhangi bir ilişki göstermemiştir. Zn eksikliği olan bitkilere Cd uygulamasının Zn eksikliği olan bitkilerde Zn konsantrasyonunu azaltmaya neden olduğu görülmüştür. Halbuki yeterli Zn'ya sahip bitkilerde Zn konsantrasyonu hem etkilenmemiş, hem de Cd uygulaması ile artmıştır. Sonuçlar ekmeklik buğdayla kıyaslandığında makarnalık buğdayın Zn eksikliği ve Cd toksisitesine karşı daha hassas olduğunu göstermiştir. Toprak üstü aksamda Cd toksisitesi Zn uygulaması ile azaltılmış, fakat bu yeşil aksam Cd konsantrasyonunu azaltmamıştır. Araştırma sonuçları Zn'nun enzimler, membran proteini ve yağlar gibi kritik hücre bileşenlerine bağlanmak için Cd ile rekabete girmesi hipotezi ile uyumlu çıkmıştır.

Adiloğlu ve ark'nın. (2005) artan dozlarda Zn ve Cd uygulamalarının mısır bitkisinin kuru madde verimi ve Cd ile Zn konsantrasyonu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada, Zn eksikliği olan bir toprağa sera koşullarında artan oranlarda Zn (0 ve 10 mg kg⁻¹) ve Cd (0, 10 ve 20 mg kg⁻¹) uygulanarak mısır bitkisi yetiştirilmiş ve 45 günlük büyüme periyodu sonunda hasat edilmiştir. Deneme sonunda bitkinin kuru madde verimi; artan Cd dozlarına bağlı olarak azalmış, artan Zn dozlarına bağlı olarak da artmıştır. Zn eksikliği olan bitkilerde artan Cd uygulaması Zn konsantrasyonunu azaltırken, yeterli çinkoya sahip bitkilerde Cd uygulaması artışına paralel olarak bitkinin Zn konsantrasyonu da artmıştır.

Değişik ortamlarda birbirine kimyasal olarak çok benzeyen Zn ve Cd'un iz element akümüasyonu üzerine etkilerini araştırmak amacıyla substrata artan dozlarda Zn, Cd ve kombine olarak her ikisi birlikte uygulanarak kumlu toprak ve humuslu bahçe toprağında saksılarda sarı papatya yetiştirilmiştir. Denemeler hem yaz hem de bahar olmak üzere iki mevsimde gerçekleştirilmiştir. Toprağa Cd

uygulaması ile (3 mg kg^{-1}) sarıpapatyada Cd konsantrasyonu 19 mg kg^{-1} 'a ulaşmıştır. Bu nedenle sarı papatya Cd akümüle eden bir bitki olarak tanımlanmıştır. Kumlu toprakta yetişen bitkiler humuslu bahçe toprağında yetişen bitkilerden çok daha fazla Cd akümüle etmişlerdir. Halbuki bahçe toprağında yazın yetişen bitkilerin Zn içerikleri daha yüksek bulunmuştur. Toprağa Zn ilavesi Cd'un yeşil aksam taşınımını baskı altına alsa da daha yüksek düzeyde Zn uygulaması bitkideki Cd birikimini ileri derecede düşürememiştir. Diğer yandan Cd uygulaması Zn birikimini etkilememiştir. Böylece yeterli düzeyde Zn uygulaması Cd birikimini azaltabilir, fakat tamamıyla önleyemez. Toprağa Cd ve Zn ilavesinin bitkinin Cu ve Mn konsantrasyonuna etkileri çok az olmuştur (Ulrike ve Remigius 2005).

Tuzlu toprak çözeltisinde farklı buğday genotiplerinde Cd ve Zn konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla dört ekmeklik buğday genotipi (Ruhsan, Kavir, Cross ve Falat) ve bir makarnalık buğday (Durum) çeşidinde dört farklı tuzluluk seviyesindeki (0, 60, 120 ve 180 mM NaCl) sulama sularıyla, üç tekerrürlü olarak yürütülen denemede, beş günlük büyüme süresi sonunda toprak üstü aksam hasat edilip, Zn ve Cd konsantrasyonları saptanmıştır. Saturasyon ekstraktında Zn ve Cd türleri MİNTEQ A2 kullanılarak modellenmiş, Amberlite reçinesi kullanılarak analiz edilmiş ve önemli derecede ($P < 0.05$) korelasyon bulunmuştur. MİNTEQA2 modeli ile toprak solüsyonunda hesaplanan Cd ve Zn türü tuzluluktan etkilenmiş fakat buğday genotiplerinden etkilenmemiştir. Yine bu modelle toprak solüsyonunda hesaplanan en temel Cd türü Cd^{+2} , CdCl^+ ve CdSO_4^0 olmuş ve tuzlulukla birlikte artmıştır. Bütün tuzluluk uygulamalarında Zn^{+2} en dominant Zn türü olmuş ve tuzluluk arttıkça artmıştır. Artan tuzluluk yeşil aksam Cd konsantrasyonunda önemli artış sağlarken, Zn konsantrasyonunda önemli derecede azalışa neden olmuş, ancak genotipler üzerinde etkili olmamıştır. Durum ve Kavir genotiplerinin Cd konsantrasyonlarının en iyi tahmini toprak çözeltisindeki CdCl^+ konsantrasyonu ile olmuştur. Aksine toprak çözeltisinde MİNTEQA2 modeli ile hesaplanan serbest Zn^{+2} iyon konsantrasyonu Zn-etkin genotipler içinde yeşil aksam Zn konsantrasyonu ile en iyi ilişkiyi vermiştir. Tuzlu koşullar altında biyoyararışlılık üzerine Zn ve Cd çeşitlerinin etkileri hem bitki genotipine, hem de ilgili metale bağlı olmuştur (Khoshgofarmanesh ve ark 2006).

Akay ve Köleli (2007).kadmium (0, 1, 2, 4 ve 6 kg da⁻¹) ve Zn (0, 1.5 ve 3 kg da⁻¹) arasındaki interaksyonu araştırmak amacıyla çiçeklenme döneminde tek ve kombine metal uygulamaları yaparak, tarla koşullarında Karatay-94 çeşidi arpa yetiştirmişlerdir. Cd uygulamaları tane verimine etki etmemiş, artan Cd uygulamasıyla birlikte tane ve bayrak yaprak Cd konsantrasyonu artmış, fakat artan Zn uygulamaları ile azalmıştır. Cd ve Zn uygulamaları arpanın N ve K kapsamlarında önemli bir değişiklik yapmamıştır. Fakat P kapsamı özellikle Zn-0 dozunda artan Cd uygulamalarına bağlı olarak azalmıştır. Farklı Cd ve Zn dozlarının arpa tane Cd kapsamına etkisi önemli bulunmuş, artan Cd dozu genellikle tanenin Zn kapsamını düşürmüştür.

Düşük düzeyde Cd biriktiren genotipleri seçmek amacıyla yapılan bir çalışmada, aynı tarla koşullarında yetişen 600 arpa genotipi arasında tane Cd konsantrasyonlarındaki değişimler araştırılmıştır. Sonuçlara göre, tane örneklerinde Cd konsantrasyonu 0.00-1.21 mg kg⁻¹ arasında değişmiş (ortalama 0.16 mg kg⁻¹) ve tane örneklerinin %47.2'sinde Cd konsantrasyonunun tahıl taneleri için belirlenen maksimum izin verilebilir sınırı aştığı ve ayrıca arpa tanelerinde Cd konsantrasyonu açısından büyük ölçüde genotipik varyasyonlar olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan iki yıl boyunca genotipler arası farklılıklar oldukça tutarlı bulunup, 2. hasat döneminde Beitalys ve Shang 98-128 genotipleri en düşük düzeyde tane Cd konsantrasyonuna sahip olmuşlar ve en yüksek düzeyde Cd konsantrasyonuna sahip iki genotip olan E-barley 6 ve Zhenong 8'den %97.5 daha düşük düzeyde Cd akümüle etmişlerdir. Genotipler arasında Cd konsantrasyonundaki bu muazzam farklılık tane Cd konsantrasyonunun maksimum izin verilebilir limiti aştığı alanlarda yetiştirilecek arpa çeşitlerinde düşük düzeyde Cd akümüle eden çeşitler seçilerek arpada tane Cd konsantrasyonunun düşürülebileceğini göstermiştir. Araştırmada arpa çeşitleri arasında mikro besin element kapsamaları açısından da genotipik farklılıklar bulunmuştur. Korelasyon analizleri Cd ile Zn, Cu ve Fe arasında düşük düzeyde pozitif ilişki görülmesine rağmen sadece Mn akümüasyonu ile Cd arasında sinerjik etkileşim olduğunu göstermiştir (Chen ve ark. 2007).

2.6. Kadmiyum ve Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Chang ve ark.'nın (1982) metal içeriklerinin arıtma çamuru uygulamalarıyla zenginleştirildiği (20 ve 100 t ha⁻¹) üç farklı toprakta (pH = 7.8 Domino tınlı toprağı, pH = 7.1 Greenfield toprağı ve pH = 6.0 Romano kumlu tınlı toprağı) dört arpa çeşidinin (Barsoy, Briggs, Florida 103 ve Larker) Cd ve Zn birikimlerini kıyaslamak amacıyla serada yürüttükleri çalışmadan elde edilen sonuçlar, her iki uygulama dozu ve kontrol muamelesinde de arpa çeşitleri arasında metal alımı açısından önemli fark çıkmadığını ortaya koymuştur. Fakat uygulama dozları, toprak pH'sı ve toprak tekstürü arasında önemli farklılıklar bulunmuştur. Arpanın metal alımı pH'sı 7.8 olan Domino tınlı toprağında, pH'sı 7.8 olan Greenfield ve pH'sı 6.0 olan Romano kumlu tınlı toprağında daha düşük bulunmuştur. Sap Cd kapsamları tane Cd kapsamlarının çok üzerinde olmuştur.

Kanalizasyon atıklarıyla kirletilmiş sekiz Ontario toprağında, Cd, Ni ve Zn'nun kimyasal davranışlarını ve bitkilere yarayışlılığını araştırmak için yapılan bir çalışmada, toprak örnekleri çözünebilir + değişebilir metaller için 1 M amonyum asetat, kompleksleştirilmiş metaller için 0.125 M Cu (II) asetat ve kimyasal tutulmuş metaller, oksitler ve karbonatlar gibi çökelekler için 1 M HNO₃ ile arka arkaya ekstraksiyonlara tabi tutulmuşlardır. Bu ekstraksiyonların her biri ile toplam değerlerini kullanarak doğrusal regresyon analizleri yapan araştırmacılar, mısırın metal alımının tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir. Bitkideki Cd tahmininde en iyi sonucu HNO₃ ile, çözünebilir Zn tahmininde ise Cu(OAc)₂ ile çözünebilir metallerin verdiği; Cd ve Zn'daki değişimlerin önemli bir kısmının pH'daki değişimlerle açıklanabileceğini ve pH'daki artış ile ağır metallerin bitkilere olan yarayışlılığının azaldığını; Cd'un kirli ve temiz topraklardaki tutulmasına katyon değişimlerinin Zn ve Ni metallerinden daha önemli bir rol oynadığını rapor eden araştırmacılar; bitkinin sap + yapraklarındaki Cd içeriklerinin 0.13-1.29 mg kg⁻¹, Zn konsantrasyonlarının 15-219 mg kg⁻¹ ve Ni derişimlerinin ise 0.5-3.1 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini bildirmişlerdir (Soon ve Bates 1982).

Lijbben ve Sauerbeck (1991). yazlık buğdayın ağır metal alımını araştırmak amacıyla uzun dönem arıtma çamuru uygulanmış kumlu tınlı iki toprak türünü (Luvisol; pH = 6.5 ve Cambisol; pH = 5.5) değişik düzeylerde metal kirliliğine maruz bırakmışlardır. Denemeler dört tekerrürlü saksı denemesi şeklinde kurulmuştur. Araştırmaya toprağın pH değerinin kireçle yükseltilmesi ve S ile

düşürülmesi şeklinde iki deneme konusu daha ilave edilmiştir. Elde edilen bulgular Cd içeriğinin bitkinin generatif organlarında vejetatif organlarına göre daha düşük olduğunu ve Cd içeriğinin tane, kabuk, sap ve kök sırasına göre arttığını ortaya koymuştur. Topraktan taneye taşınma faktörü 0.1'den 1.0'e kadar değişerek göreceli olarak düşük bulunmuş, fakat tane Cd içeriği çoğunlukla yiyecekler için verilen sınır değer üzerinde çıkmıştır. Sadece pH değerinin 5.7'nin üzerinde olduğu ve toprak Cd içeriğinin 0.5 mg kg^{-1} 'in altında kaldığı topraklarda buğday yetiştirilmesinin mümkün olabileceği görülmüştür. Toprağın kirlilik derecesinden bağımsız olarak toplam absorbe edilen Cd'un sadece %10'u taneye taşınmış olup büyük bir kısmı sap içinde kalmaktadır. Zn için ise bitkinin üreme ve vejetatif organlarında dağılımı ile ilgili benzer şekilde muntazam ve belirgin bir tablo bulunamamış, kontamine olmamış kontrol konusunda tane Zn içeriği, sap Zn içeriğinden oldukça yüksek çıkmıştır. Absorbe edilen Zn'nun yaklaşık %60'ı tanede birikmiştir. Asidik Cambisol topraklarda tanenin Zn içeriği yaklaşık %20 oranında azalmış ve belirgin bir şekilde kökteki Zn miktarı artmıştır (2270 mg kg^{-1}). Toprakların Zn ve Ni içerikleri %50 farklı olmasına ve diğer metallerin %100 farklılığına rağmen, pH'sı 6.5 olan kirlenmemiş ve kirlenmiş toprakta, buğday tanesinin Zn, Cu, Ni ve Pb içerikleri birbirinden önemli ölçüde farklılık göstermemiştir. Bununla birlikte genellikle topraktaki içerikleri arttığında daha mobil elementler olan Cd, Zn ve Ni tanede belirgin bir yükseliş göstermiş, pH değeri düştüğünde tane metal içerikleri toprak kirliliğinde bir artış olduğundan daha fazla artmıştır. pH değeri 5.7'nin altında ve toprak Cd içeriği 0.5 mg kg^{-1} 'in üstünde olduğunda tane Cd içeriğinin yönetmelikte verilen sınırı aştığının göz ardı edilmemesi gerekliliği sonucuna ulaşılmıştır.

Malan ve Farrant (1998) sera denemesinde yetiştirilen soya fasulyesinin gelişimine Cd ve Ni'in etkilerini araştırmışlar ve her iki ağır metalin de bitki gelişimine ve üründe azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. Metal birikimi daha çok köklerde olmuştur. Ni'in Cd'dan daha hareketli olduğu ve bitkinin bütün bölümlerinde yüksek seviyeye ulaştığı belirtilmiştir. Kontrol saksısında yetiştirilen soya fasulyesinde kök, yaprak, kabuk ve tanede Cd konsantrasyonu kuru ağırlıkça sırasıyla 1.31, 0.43, 0.48 ve 0.12 mg kg^{-1} olarak bulunurken, uygulama saksılarında ise Cd konsantrasyonu aynı sıra ile 130.09, 3.80, 0.78 ve 0.96 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Kontrol parselinde yetiştirilen soya fasulyesinde kök, yaprak, kabuk ve

tanede Ni konsantrasyonu kuru ağırlıkça sırasıyla 3.1, eseri, eseri ve 0.2 mg kg⁻¹ olarak bulunurken uygulama parselinde ise Ni konsantrasyonu aynı sıra ile 1100, 48.1, 12.5 ve 49.1 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur.

Tarımsal ürünlerin Cd konsantrasyonunu hem toprak faktörleri hem de bitki faktörleri etkilemektedir. Tarımsal ürünlerin Cd konsantrasyonuna etki eden toprak faktörleri; pH, organik madde, KDK, toprağın metal sorbsiyon kapasitesi, Fe ve Mn oksitler, Zn, Cu ve Mn gibi diğer mikro elementler, NH₄, PO₄, K ve Ca gibi diğer makro elementler, sıcaklık, nem, havalanma ve Cd içeren fosforlu gübrelerdir. Benzer şekilde tarımsal ürünlerin Cd konsantrasyonuna etki eden bitkisel faktörler ise; bitki türü ve çeşiti, bitki organları, yaprak yaşı ve hücre zarındaki metal interaksyonudur (McLaughlin ve ark. 1999).

Norwell ve ark. (2000).tarafından Kuzey Dakota'da 124 adet Munich çeşidi makarnalık buğday örneği ve bu buğdayın yetiştiği tarladan alınan toprak örnekleri ve tane Cd kapsamı ile toprak pH ve tuzluluk dağılımı dikkate alınarak yapılan değerlendirmede, tanede Cd konsantrasyonunun 0.025-0.359 mg kg⁻¹ arasında değiştiği bulunmuştur. Tanede Cd akümüasyonu güçlü ve pozitif bir şekilde toprak tuzluluğu ile ilişkilendirilmiştir. Tuzlulukta dikkate alınan parametreler çözünebilir Cl⁻, çözünebilir SO₄⁻² veya ekstrakte edilebilir Na ve şelatla ekstrakte edilebilir Cd'dur. Tanedeki Cd ile suda ekstrakte edilebilir toprak Cl⁻ arasında da yakın bir ilişki bulunmuştur. Şelatla ekstrakte edilebilir Cd ve suda ekstrakte edilebilir toprak Cl⁻'ne dayandırılarak elde edilen tahmini bir modele göre buğday tanelerinde Cd içeriğindeki değişkenlik %66 önemli bulunmuştur. Dolayısıyla makarnalık buğday tanesindeki Cd birikiminin topraktaki Cl⁻ tarafından artırıldığı düşünülebilir. Buna rağmen mekanizma net değildir. Muhtemelen toprak Cd'unun çözünürlüğünün artışı toprak çözeltilisindeki Cl⁻ komplekslerinin oluşumundan kaynaklanmaktadır.

Arısoy ve Zengin (2001), Konya Ovası ana tahliye kanalı civarı ve Çumra yöresinde yaptıkları bir çalışmada, toprak ve bitki örneklerinde insan ve hayvan sağlığı açısından Cd birikiminin önemli boyutlarda olmadığını belirlemişlerdir. Kadmiyum ortalamaları toprakta 10.85 µg kg⁻¹, yaprakta 31.27 µg kg⁻¹ ve tanede ise 21.28 µg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Toprağın Cd içeriği ile organik madde, EC ve

kireç kapsamı arasında önemli negatif, pH ve silt muhtevası arasında ise önemli pozitif ilişkiler saptanmıştır.

Bitki Cd konsantrasyonunu etkileyen toprak faktörlerini araştırmak ve tarım ürünlerindeki Cd konsantrasyonu azaltmak maksadıyla değişik kireç dozlarında patates yumrusu, tahıl tane ve sapında Cd kapsamı ve verimlerine etkisi dört farklı lokasyonda tarla denemeleri ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla ürün Cd kapsamı ile kireçleme, toprak faktörleri, toprak çözeltisindeki Cd türleri arasındaki korelasyonlar değerlendirilmiştir. Ürün Cd konsantrasyonlarındaki farklılığın değişik toprak uygulamaları ve çeşitten çok bölgeler arasındaki farklılıklardan oluştuğu, tane Cd konsantrasyonu ile toprak pH'sı arasında negatif ilişki olduğu ve Cd^{+2} 'nin çözünürlüğünün başlıca toprak pH'sı tarafından kontrol edildiği, yüksek pH seviyesinde eklenen kirecin saturasyon ekstraktında Cd çözünürlüğüne etki yapmadığı, ürünlerdeki Cd seviyesinin yüksek olduğu durumlarda kireçlemenin ürün Cd konsantrasyonunu düşürdüğü ve Cd alınabilirliğini bitki faktörleri yanında toprak faktörlerinin de etkilediğini göstermiştir (Jansson 2002).

İngiltere'de toprak özellikleri ile buğday ve arpa tanesindeki Cd konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi tarla koşullarında belirlemek amacıyla toprak tipi, coğrafya ve iklimsel değişkenleri kapsayan oldukça geniş bir alandan; 162 buğday 215 arpa tane örneği ve bunların yetiştiği alanlardan toprak örnekleri ve ayrıca uzun dönem yürütülen arıtma çamuru deneme alanlarından buğday ve arpa örnekleri alınarak analiz edilmişlerdir. Araştırma sonucunda toprakların toplam Cd konsantrasyonları arpa yetiştirilen alanlarda $0.02-2.31 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişirken, buğday yetiştirilen toprakların Cd konsantrasyonu $0.035-33.8 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmiştir. Üç hasat dönemini kapsayan çalışmada (1998-2000) toplanan buğday tane örneklerinde Cd konsantrasyonu geniş bir aralığa yayılmış olup, $0.01-0.620 \text{ mg kg}^{-1}$ kuru madde arasında değişmektedir. Ağırlıklı ve aritmetik ortalama tane Cd konsantrasyonu sırasıyla $0.056-0.077 \text{ mg kg}^{-1}$ bulunmuştur. 1998 yılında hiçbir örnek $0.235 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ kuru madde olan maksimum izin verilebilir limit değerini geçmezken, 1999 ve 2000 yıllarında alınan örneklerin yaklaşık %6'sı bu sınırı aşmıştır. Karşılaştırılabilir toprak şartları altında arpa tanesindeki Cd konsantrasyonu buğday tanesindeki Cd konsantrasyonundan daha düşük çıkmıştır. Çoklu regresyon analizi toptaktaki toplam Cd ve toprak pH'sının, tane Cd konsantrasyonunu etkileyen

en önemli faktörler olduğunu göstermiştir. Hem buğday hem de arpada Cd alımında çeşit farklılığına bağlı olarak önemli varyasyonlar gözlenmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda $\text{Log (tane Cd) = a+b log (toprak Cd)-c (toprak pH)}$ modeli kullanılarak toplam toprak Cd konsantrasyonu ve pH'sından %53 uyumsuzlukla buğday tanesindeki Cd konsantrasyonu makul bir şekilde tahmini olarak hesaplanmıştır. Bitki ve toprak eşleşmesi ile yapılan survey çalışmasından ve uzun süreli arıtma çamuru denemelerinden elde edilen verilerden hesaplanan katsayı benzer çıkmıştır. Tane Cd konsantrasyonunun tahmininde arpa için geliştirilen model daha az tatminkar bulunmuştur. Bu model özellikle tarım alanlarına arıtma çamuru uygulaması başta olmak üzere, değişik toprak şartlarında AB gıda yönetmeliğine göre buğday tanesinin maksimum izin verilebilir Cd konsantrasyonunu aşma olasılığını tahmin etmek için kullanılabilir (Adams ve ark. 2004).

Smilde (1981), ağır metallerin bitki gelişimine etkileri ve metal alımlarını araştırmak amacıyla anaerobik olarak parçalanmış kanalizasyon atığında (pH 6.7) çeşitli düzeylerde Cd, Cr, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metalleri tek tek ve kombine olarak uygulayarak kavak, yulaf, mısır, İngiliz çimi, marul ve ıspanak yetiştirmiştir. Verimde %20 azalmaya neden olan metal düzeylerini temel alan araştırmacı, Cd'un en toksik metal olduğunu, en düşük (100 mg kg^{-1} atık) uygulama düzeyinde bile ıspanak gibi duyarlı bitkilerin verimini azalttığını, söz konusu ağır metalleri kanalizasyon atığında fitotoksik etkinlik sıralarına göre en toksik elementten en az toksige doğru $\text{Cd} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Pb}$ şeklinde sıralamıştır. Kanalizasyon atığında bitkilere toksik olan metal düzeylerinin topraklardan daha yüksek olduğunu bildiren araştırmacı bunu kanalizasyon atıklarının bağlama yüzeyleri ve pH nedeniyle metal yararışlılığı üzerine olan ters etkilerine bağlamıştır. Araştırmacı, bitkilerin ağır metallere karşı gösterdiği dayanıklılığın bitki çeşidi, metal türü ve metal kombinasyonuna göre değiştiğini, bununla birlikte mısırın oldukça dayanıklı, ıspanak ve kavağın en az dayanıklı olduğunu; tahılların Zn toksisitesine karşı yapraklı sebzelere göre oldukça hassas olduğunu belirten kaynakların doğrulanmadığını, aşırı Cu, Ni ve Zn metallerine karşı marulun daha duyarlı olduğuna dair olan literatürlerin ise doğrulandığını bildirmiştir. Kritik yaprak konsantrasyonu ağır metallerin kombine uygulandığı durumlarda, tek tek uygulandığı durumlara göre daha düşük, ancak toksisite etkisi kombine metallerde daha yüksek bulunmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Survey çalışması, Deneme-1 ve Deneme-2 olmak üzere üç aşamada yürütülen araştırmada survey çalışmasının materyalini 2006 yılı yazında Nevşehir yöresinde yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğdaylar ile arpa varyetelerinin tane örnekleri ve yetiştirildikleri topraklar oluşturmuştur (Çizelge 3.1). Survey çalışmasında yöre çiftçisinin ağırlıklı olarak Bezostaja-1 ve Gerek-79 ekmeklik buğday çeşitlerini tercih ettiğinden çeşit örneklemeleri sınırlı kalmıştır. Ayrıca arpa örneklerinin çeşit adı da belirlenememiştir. Deneme-1 ve Deneme-2’de ise yoğun fosforlu gübre kullanılan, kireçsiz ve asidik özelliklerinden dolayı Cd’un bitkilerce alınabilirliği yüksek olan Nevşehir yöresi tarım arazilerinden 0-20 cm derinlikten alınan toprak örnekleri kullanılmıştır (Çizelge 3.2). Kadmiyum klorür ($CdCl_2 \cdot H_2O$) formunda Cd uygulanmış 2 kg’lık saksılardaki toprak örneklerinde ise bitki olarak yörede yetiştirilen çeşitler de dikkate alınarak Deneme-1 için 10 ekmeklik buğday (Bezostaja-1, Gerek-79, Kınacı-79, Göksu-99, Sultan-95, Konya-2002, Ekiz, Bağcı-2002, Gün-91 ve Yıldız-98) ve 10 makarnalık buğday çeşidi (Meram-2002, Kunduru-1149, Yelken-2000, Selçuklu-97, Kümbet-2002, Kızıltan-91, Altıntaş-99, Ç-1252, Ankara-98 ve Yılmaz-98) ile 10 arpa çeşidi (Aydan Hanım, Kalaycı, İnce, Bülbül, Tokat, Beyşehir-99, Avcı, Tarm-92, Kral-97 ve Konevi-99) kullanılmıştır. Survey ve Deneme-1’den edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda Deneme-2’de dört ekmeklik (Bezostaja-1, Gerek-79, Ekiz ve Kınacı-79) ve dört makarnalık buğday çeşidi (Meram-2002, Selçuklu-97, Kızıltan-91 ve Ç-1252) ile dört arpa çeşidi (Kral-97, Kalaycı, Bülbül ve Avcı) test edilmiştir. Ekim sırasında Gerek-79 ekmeklik buğday çeşidi yerine sehven başka bir çeşit tohumu ekildiğinden bu çeşit değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Araştırmada toprağa Cd kaynağı olarak molekül ağırlığı $201.41 \text{ g mol}^{-1}$ olan kadmiyum klorür ($CdCl_2 \cdot H_2O$) tuzu uygulanmıştır.

Sera denemesinde kullanılan saksılar (No: 6) taban çapı 13-15 cm, ağız çapı 17-20 cm ve yüksekliği 16-18 cm olan beyaz renkli plastik ve konik saksılardır.

Çizelge 3.1. Nevşehir Yöresinde Yapılan Survey Çalışmasına Ait Bilgiler

Sıra	İlçe	Köy	Tahıl çeşidi	Kuru/Sulu
1	Merkez	Boğazköy	Bezostaja-1	S
2	Merkez	Boğazköy	Bezostaja-1	S
3	Merkez	Boğazköy	Konya 2002 ve Gerek-79	K
4	Merkez	Taş Ocağı Karşısı	Bezostaja-1	S
5	Merkez	Özyayla	Bezostaja-1	S
6	Merkez	Özyayla	İki Sıralı Arpa	K
7	Merkez	Özyayla	Bezostaja-1	-
8	Merkez	Özyayla	Kırgız95 ve Gerek-79	K
9	Merkez	Özyayla	Gerek-79	K
10	Merkez	Özyayla	Bezostaja-1	S
11	Merkez	İcik Yolu	İki Sıralı Arpa	K
12	Merkez	İcik Gölet Yanı Ali İnci	Bezostaja-1	S
13	Acıgöl	Kefir Topaç Çıkışı	Gerek-79	K
14	Acıgöl	Topaç Yazısı	Karışık (çeşitler belirlenemedi)	K
15	Acıgöl	Topaç Yazısı	Gerek-79	K
16	Acıgöl	Topaç Kepez	Bezostaja-1	K
17	Acıgöl	Karapınar-Acıgöl Arkası	Bezostaja-1	S
18	Acıgöl	Anayol Üzeri -Karacaören	Bezostaja-1	K
19	Merkez	Boğazköy	Bezostaja-1	K
20	Merkez	Boğazköy	Gerek-79	K
21	Merkez	Boğazköy	İki Sıralı Arpa	K
22	Merkez	Boğazköy	Bezostaja-1	K
23	Merkez	Çardak-İğdecik	Bezostaja-1	S
24	Merkez	Çardak-İğdecik	Bezostaja-1	K
25	Merkez	Çardak-İğdecik	Bezostaja-1	S
26	Kaymaklı	Çardak-İğdecik	Bezostaja-1	K
27	Kaymaklı	Avşar	Bezostaja-1	S
28	Kaymaklı	Avşar	Gerek-79	K
29	Kaymaklı	Avşar	İki Sıralı Arpa	S
30	Kaymaklı	Avşar	Bezostaja-1	S
31	Kaymaklı	Dokuz Dere	Bezostaja-1	K
32	Kaymaklı	Dokuz Dere	İki Sıralı Arpa	K
33	Kaymaklı	Dokuz Dere	Bezostaja-1	S
34	Kaymaklı	Dokuz Dere	Bezostaja-1	S
35	Kaymaklı	Dokuz Dere	İki Sıralı Arpa	S
36	Kaymaklı	Dokuz Dere	Bezostaja-1	S
37	Kaymaklı	Dokuz Dere	Katia ve Ukrayna	K
38	Kaymaklı	Dokuz Dere	Konya 2002	K
39	Derinkuyu	Karlan Yolu	Bezostaja-1	S
40	Derinkuyu	Karlan Yolu	Karışık (çeşitler belirlenemedi)	S
41	Derinkuyu	Orta Korlan	Bezostaja-1	S
42	Derinkuyu	Gölcük Yolu	Bezostaja-1	S
43	Derinkuyu	Niğde Yolu	Katia ve Ukrayna	K
44	Derinkuyu	Niğde Yolu	Gerek79	K
45	Derinkuyu	Derinkuyu Çıkışı	Bezostaja-1	S
46	Derinkuyu	Derinkuyu Çıkışı	İki Sıralı Arpa	S
47	Derinkuyu	Satutaş Karşısı	Bezostaja-1	K
48	Kaymaklı	Kaymaklı Girişi	Bezostaja-1	S
49	Kaymaklı	Kaymaklı Girişi	İki Sıralı Arpa	K
51	Kaymaklı	Kaymaklı Girişi	Bezostaja-1	K
52	Kaymaklı	Kaymaklı Girişi	Bezostaja-1	K

Çizelge 3.2. Sera Denemelerinde Kullanılan Toprağın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

pH	EC $\mu\text{S cm}^{-1}$	O.M. %	Kireç %	Kil %	Silt %	Kum %	T.K. %	S.N. %
4.7	260	1.58	2.36	9.0	8.1	82.9	14.2	5.7
Doyg. %	Alınblr. P mg kg^{-1}	Değ. K mg kg^{-1}	Elv. Fe mg kg^{-1}	Elv. Zn mg kg^{-1}	Elv. Cu mg kg^{-1}	Elv. Mn mg kg^{-1}	Topl. Zn mg kg^{-1}	Topl. Cd mg kg^{-1}
35	25.23	298	17.98	0.42	0.76	6.04	86.60	0.29

Araştırmada kullanılan tahıl materyallerinin genel özellikleri ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir (Anonymous 2008).

Ekmeklik buğday çeşitleri

Kınacı-97: Başağı beyaz, tanesi kırmızı, uzun boylu, kılçıklı, soğuğa dayanıklı, kurağa hassas, yüksek verimli, Zn noksanlığı ve B fazlalığına orta derecede toleranslı, kışlık bölgelerin sulanan ya da yüksek yağış alan yerlerinde yetiştirilebilen bir çeşittir. Tane kalitesinin ikinci sınıf ekmeklik olması geniş alanlarda ekimini sınırlandırmaktadır.

Konya-2002: Başağı beyaz, tanesi kırmızı, uzun boylu, kılçıklı, soğuğa dayanıklı, kurağa hassas, yüksek verim kapasiteli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına orta derecede toleranslı, kışlık bölgelerin sulanan ya da yüksek yağış alan yerlerinde yetiştirilebilen bir çeşittir. Tane kalitesinin iyi ve veriminin yüksekliği nedeniyle ekim alanları hızla genişlemektedir.

Göksu-99: Başağı ve tanesi beyaz, uzun boylu, kılçıklı, soğuğa dayanıklı, kurağa yüksek oranda hassas, çok yüksek verim kapasiteli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına orta derecede toleranslı, kışlık bölgelerin sulanan yerlerinde yetiştirilebilen bir çeşittir. Tane kalitesinin ikinci sınıf ekmeklik olması geniş alanlarda ekimini sınırlandırmaktadır.

Bağcı-2002: Başağı beyaz, tanesi kırmızı, uzun boylu, kılçıklı, soğuğa orta dayanıklı, kurağa hassas, verimli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına hassas, kışlık bölgelerin sulanan ya da yüksek yağış alan yerlerinde yetiştirilebilen bir çeşittir. Tane kalitesi bakımından ikinci sınıf bir çeşittir.

Ekiz: Başağı beyaz, tanesi kırmızı, orta boylu, kılçıklı soğuşa dayanıklı, kurağa hassas, yüksek verim kapasiteli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına orta derecede toleranslı, kışlık bölgelerin sulanan yerlerinde yetiştirilebilen bir çeşittir.

Bezostaja-1: Başağı beyaz ve tanesi kırmızı, uzun boylu, kılçiksız, soğuşa mutlak derecede dayanıklı, kurağa hassasiyet gösteren iyi derecede verimli, çinko noksanlığına orta hassasiyet ve bor fazlalığına orta dereceli tolerans gösterebilen, kışlık bölgelerde sulanan ya da iyi yağış alan koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir. Oldukça kaliteli olan taneleri un işlemeye son derece elverişli ve verimin yüksekliği nedeniyle çok geniş alanlarda sulu ve kuru olarak ekim alanı bulabilmektedir.

Gerek-79: Başağı kahverengi, tanesi beyaz, orta boylu, kılçıklı, soğuk ve kurağa çok dayanıklı, verimli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına toleranslı, kışlık bölgelerde kıraç koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir. Kendi sınıfında kalitesinin problem olmayışı, un işlemeye elverişli ve stabil veriminden dolayı çok geniş alanlarda ekimi yapılmaktadır.

Sultan-95: Başağı ve tanesi beyaz, orta boylu, kılçıklı, soğuşa dayanıklı, kurağa çok hassas, yüksek verim potansiyelli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına orta derecede toleranslı, kışlık bölgelerde sulanan alanlarda yetiştirilebilen bir çeşittir. İkinci sınıf ekmeklik olması geniş alanlarda ekimini engellemektedir.

Yıldız-98: Başağı ve tanesi beyaz, orta boylu, kılçıklı, soğuşa dayanıklı, kurağa hassas, verimli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına orta düzeyde toleranslı, kışlık bölgelerde sulanan koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir.

Gün-91: Başağı beyaz, tanesi kırmızı, orta boylu, kılçıklı, soğuşa dayanıklı, kurağa orta hassas, verimli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına orta seviyede toleranslı, kışlık bölgelerde sulanan ya da yüksek yağış alan koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir. Kalitesi yüksektir. Ekim alanı bulabilen bir çeşittir.

Makarnalık buğday çeşitleri

Kızıltan-91: Başağı kahverengi, tanesi amber, orta boylu, kılçıklı, soğuşa orta dayanıklı, kurağa az hassas, yüksek verimli, çinko noksanlığına ve bor fazlalığına hassas, kışlık bölgelerde, taban arazilerde ya da sulanan koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir. Oldukça geniş ekim alanına sahiptir.

Ç-1252: Başağı kahverengi, tanesi amber, orta boylu, kılçıklı, soğuga az dayanıklı, kurağa orta hassas, yüksek verimli, çinko noksanlığına ve bor fazlalığına son derece hassas, kışlık bölgelerde, taban arazilerde yüksek yağışla birlikte ya da sulanan koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir. Oldukça geniş ekim alanına sahiptir.

Yılmaz-98: Başağı kahverengi, tanesi amber, uzun boylu, kılçıklı, soğuga orta dayanıklı, kurağa az hassas, yüksek verimli, kışlık bölgelerde taban arazilerde ya da sulanan koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir.

Ankara-98: Başağı beyaz, tanesi amber, orta boylu, kılçıklı, soğuga ve kurağa orta hassas, verimli, kışlık bölgelerde taban arazilerde ya da sulanan koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir.

Kunduru-1149: Başağı kahverengi, tanesi kehribar, uzun boylu, kılçıklı, soğuk ve kurağa dayanıklı, verimli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına hassas, kışlık bölgelerde taban ve yarı taban koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir. Kendi sınıfında çok kaliteli fakat veriminin az olması nedeniyle ekim alanları gittikçe azalmaktadır.

Altıntaş-95: Başağı kahverengi, tanesi kehribar, uzun boylu, kılçıklı, soğuk ve kurağa dayanıklı, verimli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına hassas, kışlık bölgelerde taban ve yarı taban koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir.

Yelken-2000: Başağı beyaz, tanesi amber, orta boylu, kılçıklı, soğuga dayanıklı kurağa orta dayanıklı, iyi verimli, kışlık bölgelerde taban ve yarı taban koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir.

Kümbet-2000: Başağı kahverengi, tanesi amber, orta boylu, kılçıklı, soğuga dayanıklı, kurağa orta dayanıklı, iyi verimli, kışlık bölgelerde taban ve yarı taban koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir.

Selçuklu-97: Başağı kahverengi, tanesi amber, orta boylu, kılçıklı, soğuga orta dayanıklı, kurağa hassas, yüksek verimli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına orta derecede toleranslı, kışlık bölgelerde taban, yüksek yağış alan ya da sulanabilen koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir. Kalitesindeki problem nedeniyle geniş ekim alanı bulamamıştır.

Meram-2002: Başağı beyaz, tanesi amber, orta boylu, kılçıklı, soğuk ve kurağa orta dayanıklı, yüksek verimli, çinko noksanlığı ve bor fazlalığına orta

seviyede toleranslı, kışlık bölgelerde taban, yüksek yağış alan yada sulanabilen koşullarda yetiştirilebilen bir çeşittir.

Arpa çeşitleri

Aydan Hanım: İki sıralı, beyaz taneli ve uzun boyludur. Optimum yetiştirme şartlarında yüksek verimli ve iri tanelidir. Orta Anadolu ve Geçit Bölgesi'nin taban ve yarı taban alanları ile sulanan alanlar için tavsiye edilmektedir. Kuraklığa karşı orta hassasiyette olup, mikro element noksanlığı ve fazlalığına dayanamayan maltlık bir arpa çeşididir.

Kalaycı: İki sıralı, beyaz taneli ve orta boyludur. Verimli ve iri tanelidir. Orta Anadolu ve Geçit Bölgesi'nin taban ve yarı taban alanları için tavsiye edilmektedir.

İnce-04: İki sıralı, beyaz taneli ve orta boyludur. Verimli ve iri tanelidir. Orta Anadolu ve Geçit Bölgesi'nin taban ve yarı taban alanları için tavsiye edilmektedir.

Bülbül: İki sıralı, beyaz taneli ve orta boyludur. Orta Anadolu ve Geçit Bölgesi'nin 350 mm ve daha fazla yağışlı alanlarında edilmektedir. Kuraklığa karşı orta hassasiyette olup bor fazlalığına ve çinko noksanlığına hassastır.

Tokak-157/37: İki sıralı, beyaz taneli ve orta boyludur. Orta Anadolu ve Geçit Bölgesi'ne tavsiye edilmektedir. Kuraklığa, bor fazlalığı ve çinko noksanlığına dayanıklı bir çeşittir.

Beyşehir-98: İki sıralı, beyaz taneli ve uzun boyludur. Orta Anadolu ve Geçit Bölgesi'nin taban alanlarına tavsiye edilmektedir. Kuraklığa karşı hassastır.

Avcı-2002: Altı sıralı, beyaz taneli ve orta boyludur. Orta Anadolu ve Geçit Bölgesi'nin 350 mm ve daha yüksek yağışlı alanlarında tavsiye edilmektedir. Suya ve azota tepkisi iyi, İç Anadolu, Geçit ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nin yüksek yörelerinin taban, yarı taban ve sulanan alanlarına tavsiye edilmektedir.

Tarm-92: İki sıralı, beyaz taneli ve orta boyludur. Orta Anadolu ve Geçit Bölgesi'nin kıraç ve yarı taban alanlarına tavsiye edilmektedir. Kuraklığa, bor fazlalığına ve çinko noksanlığına toleranslıdır.

Kral-97: Altı sıralı, beyaz taneli ve kısa boyludur. Orta Anadolu ve Geçit Bölgesi'nin sulanabilen alanlarına tavsiye edilmektedir. Kuraklığa karşı hassastır.

Konevi-98: İki sıralı, beyaz taneli ve uzun boyludur. Orta Anadolu ve Geçit Bölgesi'nin taban alanlarına tavsiye edilmektedir. Kuraklığa karşı hassastır (Anonymous 2008).

3.2. Metot

Araştırma Survey çalışması, Deneme-1 ve Deneme-2 olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür:

1. Survey Çalışması: İlk aşama olan survey çalışmasında 19/07/2006 tarihinde Nevşehir'e gidilerek iki gün süreyle buğday ve arpa çeşitlerinin yetiştirildiği tarlalarda tane örnekleme ve bu tarlalardan 0-20 cm derinlikten toprak örnekleme yapılmıştır. Alınan topraklarda pH, EC, organik madde, kireç, tekstür, saturasyon, alınabilir P, değişebilir K, DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn ve Cd, toplam P, K, Zn ve Cd analizleri yapılmıştır. Toplanan buğday ve arpa tane örneklerinde ise toplam P, K, Zn ve Cd analizleri gerçekleştirilmiştir.

2. Deneme-1: İkinci aşama olan Deneme-1 safhasında (2006-2007 yetiştirme dönemi) ise az, orta ve yüksek düzeyde Cd biriktiren çeşitleri seçebilmek amacıyla deneme kurulması için 22/09/2006 tarihinde tekrar Nevşehir'e gidilerek, Kaymaklı Yöresinden pH'sı 4.5 civarında olan tarım toprağından, 0-20 cm derinlikten alınan toprak örneği bez çuvalarla S.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Otomatik Kontrollü Araştırma Serasına nakledilmiştir. Söz konusu toprak, serada hava kurusu ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra 4 mm'lik elekten geçirilmiş ve 2 kg'lık saksılara doldurulmuştur. Yörede yetiştirilen çeşitler de dikkate alınarak 10 ekmeclik buğday, 10 makarnalık buğday ve 10 arpa çeşidi kullanılarak 0 ve 5 mg Cd kg⁻¹ dozlarında tesadüf parsellerinde faktoriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak Deneme-1 kurulmuştur. Denemede 1 toprak x 2 doz x 30 çeşit x 4 tekerrür olmak üzere toplam 240 saksı kullanılmıştır.

3. Deneme-2: Üçüncü ve son aşamada survey çalışmasından elde edilen veriler ve Deneme-1 çalışmasında çeşitlerin Cd'a tepkileri değerlendirilerek 4 ekmeclik Buğday, 4 makarnalık buğday ve 4 arpa çeşidi belirlenerek, 0, 1, 3 ve 9 mg Cd kg⁻¹ dozlarında tesadüf parsellerinde faktoriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü

olarak Deneme-2 yürütülmüştür. İkinci yılda 1 toprak x 4 doz x 12 çeşit x 4 tekerrür olmak üzere toplam 192 saksı kullanılmıştır.

3.2.1. Toprak örneklerinin alınması, analizlere hazırlanması ve sera denemelerinin kurulması

Survey çalışması ile elde edilen ve sera denemesinde kullanılan toprak örnekleri Jackson (1958) tarafından bildirildiği şekilde 0-20 cm derinlikten, Cd içermeyen çelik bir kürekle alınmış ve bez torbalarla S.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Tam Kontrollü Araştırma Serasına nakledilmişlerdir. Söz konusu örnekler laboratuarda ön işlemlerden sonra 2 mm'lik elekten geçirilerek fiziksel ve kimyasal analizlere hazır hale getirilmişlerdir.

Sera denemesinin kurulması amacıyla alınan toprak örnekleri ise serada temiz beton üzerine serilerek içindeki taş ve bitki artıkları ayıklanıp kurumaya bırakılmışlardır. Kuruyan topraklar 4 mm'lik elekten geçirilerek saksılara konacak duruma getirilmiştir. Bu topraklardan bir miktar ayrılıp 2 mm'lik elekten elendikten sonra fiziksel ve kimyasal analizlerde kullanılmak üzere muhafaza edilmişlerdir.

Sera denemelerinin kurulması

Deneme-1: Sera denemesi için hazırlanan topraktan hava kurusu olarak 2'şer kg tartılıp saksılara konulmuştur. Deneme-1'de 0 mg Cd kg⁻¹ (kontrol) ve 5 mg Cd kg⁻¹ olmak üzere 2 dozda uygulama yapılmıştır. Önce 5 mg kg⁻¹ uygulaması yapılacak saksılar seçilip; CdCl₂.H₂O kullanılarak 5 mg Cd/10 ml çözelti hazırlanarak her bir saksıya 10 ml ilave edilmiştir. Daha sonra bu saksı temiz bir naylon üzerine boşaltılarak tahta bir kaşık ile çözelti toprağa homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Yapılan toprak analiz sonuçlarına göre saksı yüzey alanı baz alınarak 0.082 g DAP saksı⁻¹ (7.4 mg kg⁻¹ N ve 19 mg kg⁻¹ P₂O₅) ve 0.127 g Amonyum Nitrat (%33 N) saksı⁻¹ (21 mg kg⁻¹ N) olacak şekilde çözelti hazırlanarak saksılara uygulanmış ve her bir saksıya 10'ar tohum ekilmiştir. Saf su ile yapılan sulamalar tarla kapasitesine göre sezon boyunca damla sulama ile uygulanmıştır.

Deneme-2: Sera denemesi için hazırlanan topraktan hava kurusu olarak 2'şer kg tartılıp saksılara doldurulmuştur. 0, 1, 3 ve 9 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenen dozlar için CdCl₂.H₂O tuzu kullanılarak verilen derişimleri 10 ml saf suda sağlayacak şekilde Cd çözeltileri hazırlanarak balonlara doldurulmuştur. Daha sonra deneme

planına göre saksılara bu çözeltilerden 10'ar ml ilave edilmiştir. Yapılan toprak analizi sonuçlarına göre CAN, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $MnSO_4 \cdot H_2O$ ve $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ bileşikleri kullanılarak konsantrasyonları 10 ml suda 60 mg N kg^{-1} , 50 mg Mg kg^{-1} , 10 mg Fe kg^{-1} , 5 mg Zn kg^{-1} , 10 mg Mn kg^{-1} ve 1 mg Cu kg^{-1} olacak şekilde karışık çözelti hazırlanıp her bir saksıya 10'ar ml verildikten sonra üzerlerine 200 ml saf su ilave edilmiştir. Uygulamadan 3 gün sonra saksılar temiz bir naylon üzerine boşaltılıp tahta bir kaşıkla homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. Toprak bu şekilde ekime hazır hale getirildikten sonra her saksıya 13 tohum olacak şekilde eşit aralıklarla ekim yapılmış ve toprak tarla kapasitesine gelecek şekilde saf su verilmiştir. Yaklaşık 15 gün sonra tüm çıkışlar tamamlanmış ve saksılardaki bitki sayısı 10'a düşürülerek seyreltme yapılmıştır. Sezon boyunca sulamalar tarla kapasitesine göre damla sulama sistemi ile devam etmiştir.

Denemeler esnasında ilk çıkışlar, çimlenme yüzdeleri, gelişimler gözlemlenmiş ve ilgili notlar kaydedilmiştir.

3.2.2. Toprak analiz metotları

pH: Jackson (1958) tarafından bildirildiği şekilde toprağa doyuncaya kadar saf su ilave edilip 1 gece bekletildikten sonra oluşan su süspansiyonunda cam elektrotlu pH-metre kullanılarak tayin edilmiştir.

EC: Richards (1954) tarafından bildirildiği şekilde toprağa doyuncaya kadar saf su ilave edilip 1 gece bekletildikten sonra oluşan su süspansiyonunda iletkenlik aletiyle ölçülerek bulunmuştur.

Organik madde: Modifiye Walkley-Black yöntemine göre tayin edilmiştir (Walkley 1947).

Kireç: Scheibler Kalsimetresinde seyreltik HCl ile muamele edilen topraktan çıkan CO_2 hacminin ölçülerek toprağın karbonat içeriğinin hesaplanması esasına göre tayin edilmiştir (Allison ve Moodie 1965).

Tekstür: Toprağı meydana getiren taneciklerin birbirleri ile bağlantılarını ortadan kaldırarak teksel hale getirmek suretiyle taneciklerin % oranlarının bulunması esasına dayalı Bouyoucus Hidrometre Metodu ile tayin edilmiştir (Bouyoucus 1951).

Alınabilir P: 0.5 M NaHCO₃ (pH 8.5) ekstraksiyon çözeltisinde spektrofotometre cihazı ile belirlenmiştir (Olsen ve ark. 1954).

Değişebilir K: 1 N NH₄OAc (pH 7) ekstraksiyon çözeltisinde ICP-AES cihazı ile saptanmıştır (Knudsen ve ark. 1982).

Elverişli Fe, Zn, Cu, Mn ve ekstrakte edilebilir Cd: Ekstraksiyon çözeltisi olarak 0.005 M DTPA, 0.01M TEA ve 0.01 M CaCl₂ kullanılarak toprak örneklerinin 120 devir dk⁻¹ hızla çalkalanıp süzüğün ICP-AES cihazında okunması suretiyle bulunmuştur (Lindsay ve Norvell 1978, Soltanpour ve Workman 1981).

Toplam P, K, Zn, Cd: Toprak örnekleri 0.2 mm lik elekten elendikten sonra 0.5 gr tartılıp üzerine 15 ml HNO₃-5 ml HClO₄ ilave edilerek çeker ocakta yaş yakıldıktan sonra çözeltiler saf su ile 100 ml'ye tamamlanmış ve filtre kağıdından süzöldükten sonra ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer) cihazında toplam P, K, Zn ve Cd tayinleri yapılmıştır (Soltanpour ve Workman 1981).

Su ile doygunluk: Toprağa doyuncaya kadar saf su ilave edilmek suretiyle tayin edilmiştir (Richards 1954).

Tarla kapasitesi: Toprakların 1/3 atmosfer basınç altında tutabildikleri su miktarı seramik levha kullanılarak tayin edilmiştir (Richards 1954).

Solma noktası: Toprakların 15 atmosfer basınç altında tutabildikleri su miktarı seramik levha kullanılarak tayin edilmiştir (Richards 1954).

3.2.3. Hasat ve bitki örneklerinin analize hazırlanmaları

Bitkiler 45 günlük dönemde iken, her bir saksıdan 6'şar bitki çelik bir makasla toprak hizasından kesilerek her bir saksıda 4'er bitki bırakılmıştır. Kesilen yeşil aksam önce çeşme suyu, sonra 0.1 N HCl ve daha sonra 2 defa saf su ile yıkanarak fazla suları kağıt havlu üzerinde uçurulmuştur. Ardından kese kağıtlarına konulup 70 °C iç sıcaklığa sahip kurutma dolabında 48 saat süreyle kurutulmuşlardır. Kurutulan örnekler paslanmaz çelik değirmende öğütöldükten sonra plastik kaplara konularak tekrar 70 °C'de 24 saat süreyle kurutularak analize hazır hale getirilmişlerdir.

Tahıllar hasat olgunluğuna geldiklerinde bitkiler toprak hizasından elik makasla kesilerek kese kağıtlarında laboratuara nakledilmişlerdir. Bitkilerin başakları kesildikten sonra, geriye kalan sap ağırlıkları hassas terazide tartıldıktan sonra değirmende tlp, 70  C'de 2 gün süreyle etüvde kurutularak analize hazır hale getirilmiştir.

Taneler başaklardan ayrıldıktan sonra ağırlıkları kaydedilmiş ve değirmende tlp 70  C'de 2 gün süreyle etüvde kurutularak analize hazır hale getirilmiştir (Kacar 1972).

3.2.4. Bitki analiz metotları

Yukarıda anlatıldığı şekilde analize hazırlanan yeşil aksam, tane ve sap örnekleri 5 ml HNO₃-2 ml H₂O₂ ile mikro dalga sistemde (CEM-Mars-5 model) yaş yakıldıktan sonra ozeltiler saf su ile 25 ml'ye tamamlanmış ve filtre kağıdından szldkten sonra ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer) cihazında toplam P, K, Zn ve Cd tayinleri yapılmıştır (Soltanpour ve Workman 1981).

3.2.5. İstatistiksel analiz metotları

Bitkilerin 45 günlük gelişme dönemlerinde yapılan yeşil aksam örneklemelerinde, hasat sonrası yapılan tane ve sap örneklemelerinde; yeşilaksam, tane ve sap verimi ile yeşil aksam, tane ve sapta toplam P, K, Zn ve Cd analizleri yapılarak artan Cd dozlarına bağlı olarak korelasyonlar araştırılmıştır. Uygulanan Cd dozlarına bağlı olarak çeşit, doz ve 'çeşit x doz' interaksiyonunun bitki parametrelerine etkileri Minitab Paket Proğramında varyans analizine tabi tutulmuş ortalamalar arası farklılıklar ise M-STAT Proğramında Duncan Testi'ne göre belirlenmiştir (Yurtsever 1984).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Survey Çalışması Sonuçları

Arpa ve buğday tarlalarından alınan tane örnekleri ve yetiştirildikleri tarlalardan 0-20 cm derinlikten alınan toprak örneklerinin analiz sonuçları Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.

4.1.1. Toprak analiz sonuçları

Yöre topraklarının pH değerleri 4.6 ile 7.7 arasında değişmekte, ortalaması 5.9 olup genellikle asidik karakterlidirler (Çizelge 4.1). Yöre toprakları tuzsuz özellikte olup tuz değerleri %0.007 ile 0.084 arasında değişmekte ve ortalama tuz değeri ise %0.028’dir. Toprak örneklerinin organik madde kapsamı,%0.32 ile 2.32 arasında değişmekte ve ortalaması %1.40 olup, organik madde bakımından zayıftır Topraklar az kireçli olup kireç değerleri %3.29 ile 9.22 arasında değişmekte ve ortalaması %5.15’dir. Toprakların alınabilir fosfor değerleri 4.58 ile 23.66 mg kg⁻¹ arasında değişmekte (ortalama 14.81 mg kg⁻¹) olup iyi düzeydedir. Toprakların değişebilir potasyum değerleri 93.92 ile 641.44 mg kg⁻¹ arasında olup ortalaması 299.73 mg kg⁻¹’dır. Ortalama değere göre K yeterli düzeydedir. Yöre topraklarının kum değerleri yüksek olup, çoğunlukla kumlu tınlı tekstüre sahiptir.

Nevşehir yöresi topraklarının toplam P içeriği 85 ile 328 mg kg⁻¹ arasında değişmekte olup, ortalaması 182 mg kg⁻¹’dır. Aynı şekilde toplam K içeriği 1700 ile 6710 mg kg⁻¹ arasında tespit edilmiş olup ortalaması 3555 mg kg⁻¹’dır (Çizelge 4.2).

Yapılan survey çalışmasında örneklenen toprakların toplam Zn değerleri 17.55 ile 56.07 mg kg⁻¹ arasında belirlenmiş olup, ortalaması 30.94 mg kg⁻¹’dır. Genel olarak toprakların toplam Zn konsantrasyonu 10-300 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir (Kacar 1998) dolayısıyla yöre topraklarının toplam Zn kapsamı normal sınırlar içerisindedir. Yöre topraklarının toplam Cd değerleri ise 0.402 ile 1.124 mg kg⁻¹ (ortalama 0.683 mg kg⁻¹) arasındadır (Çizelge 4.2). Adriano’nun (2001) bildirdiğine göre kirlenmemiş alanlarda dünya toprakların normal Cd kapsamı 0.01-2 mg kg⁻¹ arasında değişmekte ve ortalama 0.35mg kg⁻¹ dir. Buna göre topraklarının Cd kapsamının yüksek olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.1. Survey Çalışması Toprak Analiz Sonuçları

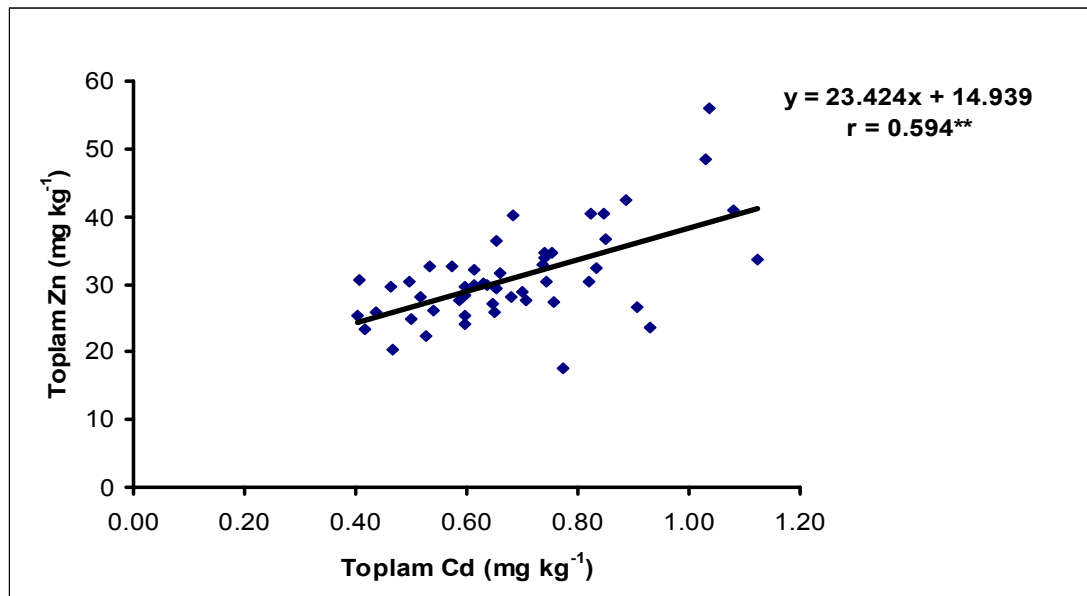
Sıra	pH	Tuz (%)	O.M. (%)	Kireç (%)	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Tekstür Sınıfı	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
1	5.3	0.023	1.29	5.27	13.0	22.0	65.0	SL	20.78	310.22
2	6.1	0.013	1.29	3.95	9.0	16.0	75.0	SL	23.66	269.07
3	6.6	0.031	1.29	3.95	9.0	18.0	73.0	SL	22.70	249.66
4	6.6	0.013	0.97	3.95	7.0	12.0	81.0	LS	18.90	153.49
5	5.0	0.023	0.97	3.95	11.0	18.0	71.0	SL	16.98	236.80
6	5.7	0.035	1.29	3.29	15.0	24.0	61.0	SL	18.90	393.69
7	5.0	0.032	0.97	3.95	19.0	16.0	65.0	SL	19.87	255.80
8	5.4	0.035	1.61	3.95	21.0	24.0	55.0	SCL	14.15	354.70
9	5.5	0.051	1.61	3.29	23.0	28.0	49.0	SCL	11.26	483.80
10	5.0	0.048	1.94	3.95	9.0	42.0	49.0	SL	18.90	317.78
11	4.6	0.014	0.97	3.29	7.0	18.0	75.0	LS	21.74	230.66
12	5.8	0.007	0.65	3.29	13.0	6.0	81.0	LS	16.98	136.82
13	5.2	0.013	0.32	3.29	11.0	18.0	71.0	SL	18.90	255.80
14	5.6	0.015	0.97	3.95	11.0	26.0	63.0	SL	16.98	303.09
15	5.2	0.013	0.97	3.95	11.0	16.0	73.0	SL	16.98	243.02
16	5.4	0.013	0.97	3.29	9.0	12.0	79.0	SL	16.02	230.66
17	7.0	0.011	0.97	3.95	11.0	14.0	75.0	SL	15.06	131.34
18	7.4	0.015	0.65	4.61	13.0	16.0	71.0	SL	4.58	120.47
19	5.4	0.032	1.29	5.92	20.4	20.6	59.0	SCL	18.90	627.25
20	5.8	0.042	1.29	5.27	22.4	20.6	57.0	SCL	14.15	464.80
21	5.5	0.045	1.29	4.61	28.4	24.6	47.0	SCL	9.34	385.89
22	5.4	0.038	1.45	5.27	26.4	22.6	51.0	SCL	10.30	483.80
23	5.8	0.023	2.03	5.92	14.4	18.6	67.0	SL	14.15	249.66
24	5.0	0.022	1.74	5.92	10.4	16.6	73.0	SL	14.15	217.88
25	5.2	0.015	1.74	5.27	14.4	12.6	73.0	SL	11.26	224.52
26	6.5	0.074	2.03	5.92	12.4	24.6	63.0	SL	16.98	354.70
27	5.5	0.017	2.03	5.27	12.4	24.6	63.0	SL	15.06	331.96
28	5.4	0.018	1.74	5.92	18.4	22.6	59.0	SL	14.15	262.27
29	7.0	0.018	1.45	5.27	14.4	20.6	65.0	SL	13.19	243.02
30	7.7	0.026	1.74	7.24	18.4	18.6	63.0	SL	18.90	393.69
31	7.5	0.036	1.16	7.24	22.4	20.6	57.0	SCL	11.26	641.44
32	6.4	0.043	1.74	5.27	24.4	18.6	57.0	SCL	14.15	483.80
33	6.1	0.035	2.03	5.27	24.4	22.6	53.0	SCL	14.15	436.75
34	6.2	0.032	1.45	4.61	20.4	20.6	59.0	SCL	12.22	474.09
35	5.4	0.035	1.16	4.61	26.4	22.6	51.0	SCL	13.19	347.15
36	7.5	0.027	2.03	5.27	10.4	18.6	71.0	SL	16.98	410.87
37	6.3	0.023	1.74	5.92	9.0	10.0	81.0	LS	16.98	303.09
38	5.7	0.028	1.16	5.27	13.0	12.0	75.0	SL	15.06	269.07
39	5.0	0.018	1.45	5.27	5.0	6.0	89.0	S	15.06	249.66
40	5.4	0.015	1.74	5.27	5.0	6.0	89.0	S	13.19	93.92
41	5.3	0.015	2.32	5.27	7.0	6.0	87.0	LS	16.02	104.46
42	5.6	0.018	2.03	5.27	11.0	10.0	79.0	SL	15.06	109.69
43	6.1	0.023	1.45	4.61	11.0	8.0	81.0	SL	12.22	142.29
44	5.3	0.023	1.16	5.92	9.0	10.0	81.0	LS	11.26	187.76
45	5.9	0.020	1.16	5.92	9.0	10.0	81.0	LS	9.34	159.14
46	6.2	0.084	1.16	5.27	9.0	8.0	83.0	LS	14.15	125.87
47	6.5	0.079	1.16	9.22	11.0	10.0	79.0	SLSL	7.47	262.27
48	7.3	0.026	1.45	9.22	11.0	8.0	81.0	SL	15.06	410.87
49	7.5	0.020	1.45	9.22	9.0	10.0	81.0	LS	11.26	93.92
51	5.6	0.020	1.16	6.58	11.0	8.0	81.0	SL	9.34	641.44
52	5.9	0.023	1.45	5.27	13.0	10.0	77.0	SL	9.34	297.28

Çizelge 4.1. (Devam)

	pH	Tuz (%)	O.M. (%)	Kireç (%)	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Tekstür Sınıfı	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
Min.	4.6	0.007	0.32	3.29	5.0	6	47	-	4.58	93.92
Maks.	7.7	0.084	2.32	9.22	28.4	42	89	-	23.66	641.44
Ort.	5.9	0.028	1.40	5.15	13.95	16.92	69.45	-	14.81	299.73

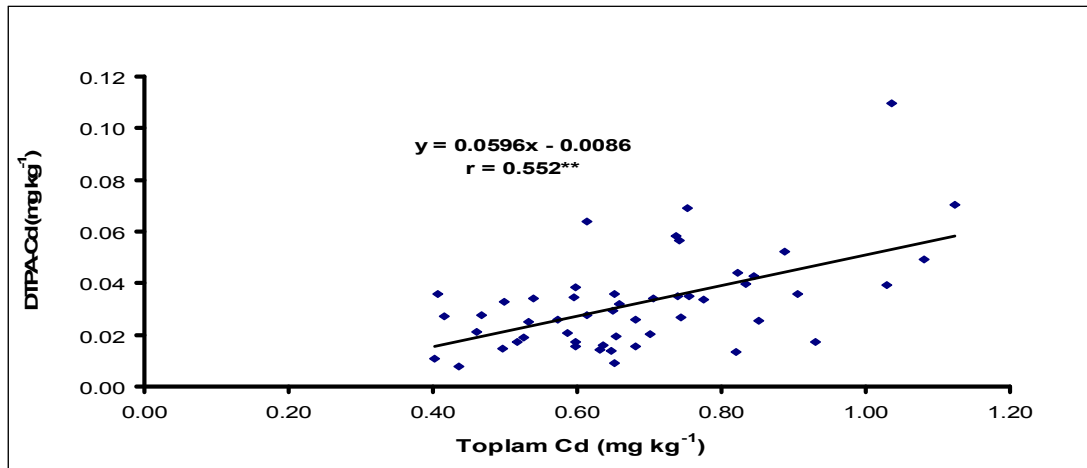
Toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn içerikleri 0.335 ile 1.216 mg kg¹ arasında belirlenmiş olup ortalaması 0.865 mg kg⁻¹'dir. Topraklarda DTPA-Zn kapsamı 0.2-0.7 mg kg¹ arası az, 0.7-2.4 mg kg¹ arası yeterli olarak belirtilmektedir (FAO 1990). Bu durumda yöre topraklarının ekstrakteedilebilir Zn kapsamı yeterli düzeyin alt sınırında görülmektedir. Yine DTPA-Cd kapsamaları ise 0.0079 ile 0.1097 mg kg⁻¹ arasında olup ortalaması 0.0321 mg kg⁻¹'dir (Çizelge 4.2).

Toprakların toplam Zn kapsamı ile toplam Cd kapsamı arasındaki ilişki Şekil 4.1'de gösterilmiştir. İki elementin topraktaki toplam miktarları arasında önemli pozitif bir ilişki ($r = 0.594^{**}$) bulunmuştur. Söz konusu ilişkiye ait regresyon eşitliği ise $y = 23.424X + 14.439$ olarak saptanmıştır (Şekil 4.1). İyonik yapıları ve elektronegatiflikleri birbirine benzer olan Cd ve Zn doğal jeokimyasal yapılarda bir arada bulunurlar (Alloway 1995). Dolayısıyla elde edilen sonuç bu durumu da desteklemektedir.



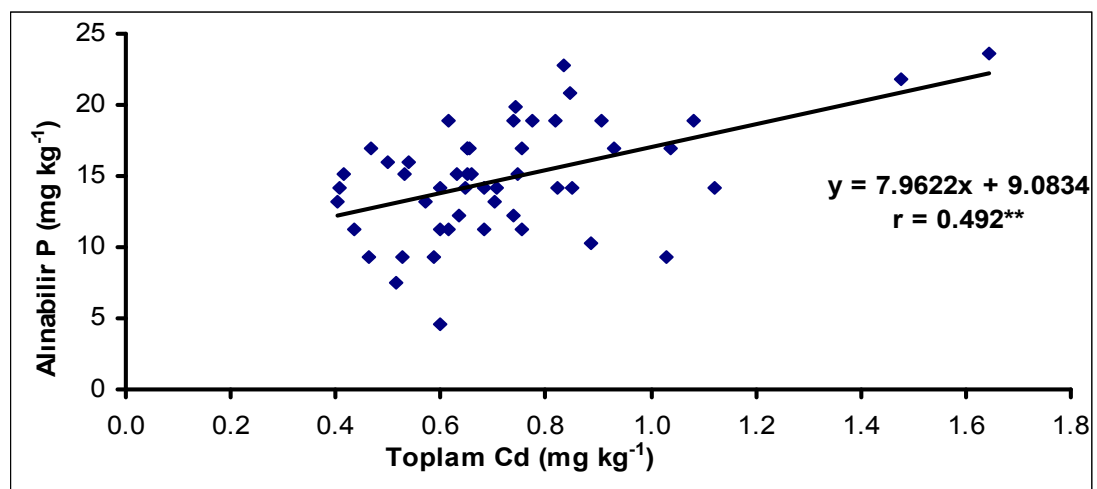
Şekil 4.1. Toprakların toplam Zn ve Cd kapsamaları arasındaki ilişki

Survey topraklarının toplam Cd kapsamı arttıkça DTPA ile ekstrakte denebilir Cd kapsamı da artmıştır ($r = 0.552^{**}$). İlgili regresyon eşitliği $y = 0.0596X - 0.0086$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.2). Toprakların toplam-Cd ve DTPA-Cd kapsamları arasındaki pozitif lineer ilişki Gedikoğlu ve ark. (1998) ile Bidwell ve Dowdy (1987)'nin sonuçlarıyla oldukça uyumludur.



Şekil 4.2. Toprakların toplam Cd ve DTPA-Cd kapsamı arasındaki ilişki

Toprakların alınabilir P kapsamlarındaki artışa paralel olarak toplam Cd kapsamları da artmıştır ($r = 0.492^{**}$). Bu ilişkiye ait regresyon eşitliği $y = 7.9622X + 9.0834$ olarak bulunmuştur. (Şekil 4.3) Bu sonuç topraklara Cd girişinde fosforlu gübrelerin önemli faktörlerden biri olduğu fikrini desteklemektedir. Nitekim Derici ve ark'nın (2002) yaptıkları çalışmada da Nevşehir yöresi patates ekim alanı topraklarında alınabilir P ile DTPA-Cd arasında önemli pozitif ilişki bulunmuştur.



Şekil 4.3. Toprakların toplam Cd kapsamı ile alınabilir P kapsamı arasındaki ilişki

Çizelge 4.2. Survey Çalışmasında Toprak ve Tane Örneklerinin Elementel Analiz Sonuçları

Sıra	Toplam/Toprak				DTPA/Toprak		Toplam/Tane			
	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	P %	K %	Cd (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
1	182	4650	0.846	40.49	0.0428	0.335	0.376	0.404	0.0240	19.27
2	136	2740	0.595	24.09	0.0345	0.623	0.298	0.349	0.0079	17.93
3	283	4110	0.834	32.27	0.0396	0.369	0.368	0.389	0.0131	21.01
4	133	1740	0.774	17.55	0.0336	0.483	0.391	0.367	0.0110	19.23
5	150	4030	1.036	56.07	0.1097	0.634	0.354	0.391	0.0103	20.17
6	242	3520	0.737	32.95	0.0583	0.691	0.374	0.558	0.0128	20.82
7	189	3670	0.741	33.89	0.0565	0.572	0.265	0.359	0.0250	28.16
8	161	4120	1.124	33.54	0.0702	0.613	0.246	0.434	0.0252	23.26
9	185	4660	0.753	34.70	0.0689	0.627	0.266	0.392	0.0131	22.17
10	180	3640	0.614	29.94	0.0638	0.640	0.260	0.360	0.0153	17.94
11	259	2170	0.499	24.86	0.0326	0.654	0.428	0.580	0.0000	32.93
12	201	1700	0.929	23.63	0.0172	0.668	0.381	0.460	0.0092	27.49
13	142	2760	0.907	26.69	0.0356	0.681	0.359	0.510	0.0188	22.34
14	139	3380	0.755	27.29	0.0349	0.695	0.347	0.443	0.0202	20.41
15	111	2720	0.652	25.79	0.0360	0.709	0.168	0.212	0.0061	9.61
16	112	2860	0.540	26.16	0.0341	0.723	0.373	0.379	0.0108	25.06
17	115	1860	0.415	23.32	0.0271	0.736	0.265	0.491	0.0068	16.60
18	085	1710	0.597	25.45	0.0153	0.764	0.378	0.441	0.0041	23.46
19	159	5310	1.081	40.97	0.0490	0.777	0.345	0.412	0.0236	18.50
20	162	5940	0.822	40.40	0.0442	0.791	0.346	0.488	0.0046	12.97
21	149	6710	1.030	48.51	0.0395	0.805	0.338	0.534	0.0000	18.75
22	206	5960	0.887	42.33	0.0523	0.819	0.375	0.435	0.0163	27.73
23	151	2760	0.597	28.49	0.0383	0.832	0.338	0.419	0.0122	16.24
24	114	2460	0.406	30.67	0.0360	0.846	0.272	0.363	0.0072	21.50
25	109	2890	0.614	32.21	0.0275	0.860	0.337	0.399	0.0158	24.80
26	226	2880	0.467	20.37	0.0277	0.873	0.338	0.420	0.0056	28.62
27	250	3980	0.658	31.65	0.0318	0.887	0.360	0.395	0.0000	21.52
28	191	2850	0.682	28.17	0.0258	0.901	0.356	0.501	0.0103	21.22
29	206	3290	0.572	32.53	0.0261	0.915	0.369	0.435	0.0012	19.05
30	231	4920	0.819	30.42	0.0136	0.928	0.368	0.414	0.0258	17.65
31	245	4440	0.682	40.18	0.0155	0.942	0.298	0.378	0.0000	32.60
32	141	4640	0.851	36.65	0.0255	0.956	0.325	0.516	0.0016	20.00
33	165	4300	0.706	27.64	0.0343	0.969	0.373	0.417	0.0051	22.55
34	231	4830	0.740	34.58	0.0349	0.983	0.372	0.399	0.0025	14.52
35	145	4120	0.701	28.89	0.0205	0.997	0.301	0.494	0.0187	25.56
36	198	5000	0.653	36.32	0.0196	1.010	0.317	0.395	0.0142	15.14
37	215	3580	0.650	29.66	0.0293	1.024	0.391	0.500	0.0158	27.40
38	281	3980	0.744	30.33	0.0268	1.038	0.300	0.400	0.0130	17.74
39	164	2480	0.631	30.24	0.0143	1.052	0.416	0.423	0.0192	26.96
40	111	1900	0.402	25.45	0.0109	1.065	0.367	0.461	0.0263	32.87
41	195	2120	0.497	30.26	0.0148	1.079	0.347	0.557	0.0006	24.81
42	132	2150	0.652	29.26	0.0092	1.093	0.353	0.462	0.0091	25.91
43	127	3040	0.635	29.98	0.0160	1.106	0.354	0.443	0.0128	23.85
44	120	3630	0.597	29.50	0.0172	1.120	0.297	0.414	0.0074	29.97
45	246	2380	0.588	27.64	0.0207	1.134	0.372	0.436	0.0165	43.46
46	151	2630	0.648	27.22	0.0136	1.148	0.322	0.505	0.0128	28.44
47	328	4300	0.517	28.19	0.0173	1.161	0.253	0.361	0.0064	20.39
48	328	3980	0.532	32.70	0.0249	1.175	0.263	0.386	0.0007	28.59
49	227	3930	0.435	25.89	0.0079	1.189	0.304	0.520	0.0000	22.00
51	194	3380	0.462	29.54	0.0211	1.202	0.418	0.482	0.0105	31.24

Çizelge 4.2. (Devam)

Sıra	Toplam/Toprak				DTPA/Toprak		Toplam/Tane			
	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	P %	K %	Cd (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
52	141	3190	0.526	22.22	0.0190	1.216	0.348	0.397	0.0056	25.61
Min.	85	1700	0.402	17.55	0.0079	0.335	0.168	0.212	0.0000	9.61
Maks.	328	6710	1.124	56.07	0.1097	1.216	0.428	0.580	0.0263	43.46
Ort.	182	3555	0.683	30.94	0.0321	0.865	0.336	0.433	0.0109	23.06

4.1.2. Tane analiz sonuçları

Survey çalışmasında toplanan 8 adet arpa örneğinde tanelerin ortalama Cd, Zn, P ve K içerikleri sırasıyla 0.0059 mg Cd kg⁻¹, 23.44 mg Zn kg⁻¹, %0.345 P ve %0.518 K olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Survey çalışmasıyla 6 adet Gerek-79 çeşidi buğday örnekleme yapılmıştır. Çeşidin ortalama Cd, Zn, P ve K içerikleri sırasıyla 0.010 mg Cd kg⁻¹, 19.71 mg Zn kg⁻¹, %0.298 P ve %0.419 K olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Survey çalışmasında 1 adet Konya 2002 çeşidi buğday örnekleme yapılmıştır. Çeşidin ortalama Cd, Zn, P ve K içerikleri sırasıyla 0.013 mg Cd kg⁻¹, 17.74 mg Zn kg⁻¹, %0.30 P ve %0.40 K olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2).

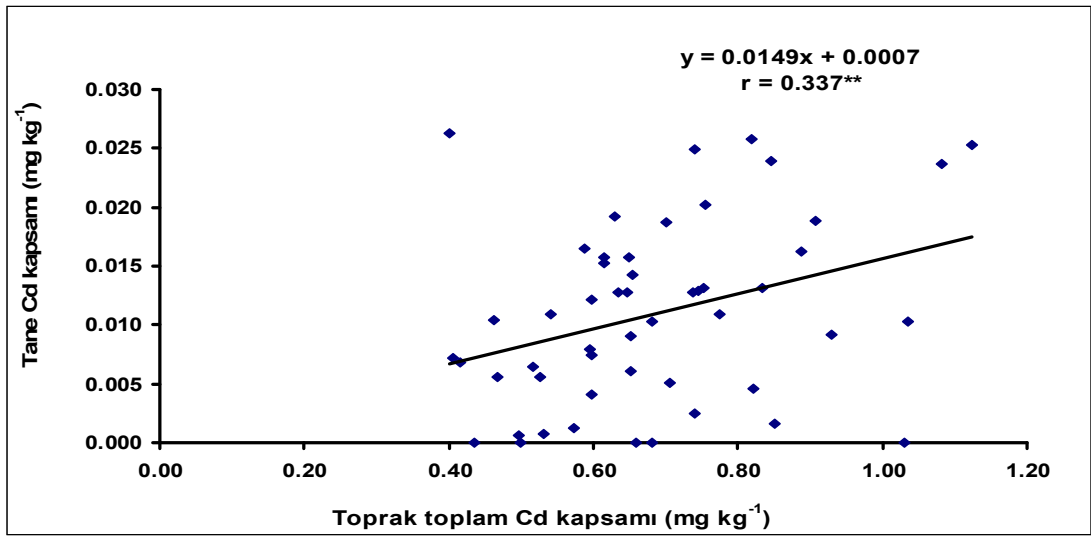
Survey çalışmasıyla 30 adet Bezostaja-1 çeşidi buğday örnekleme yapılmıştır. Çeşidin ortalama Cd, Zn, P ve K içerikleri sırasıyla 0.0107 mg Cd kg⁻¹, 23.46 mg Zn kg⁻¹, %0.340 P ve %0.412 K olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Bazı çiftçiler iki çeşidi karıştırarak ekim yapmışlardır. Bu şekilde karışık ekim yapılan tarlalardan 6 adet numune toplanmıştır. Karışık çeşitlerin Cd, Zn, P ve K içerikleri ise sırasıyla 0.0201 mg Cd kg⁻¹, 25.56 mg Zn kg⁻¹, %0.341 P ve %0.456 K olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Değerlerin incelenmesinden de anlaşıldığı gibi, arpa en düşük düzeyde (0.0059 mg Cd kg⁻¹) Cd akümüle etmiştir. Arpayı sırasıyla Gerek-79 (0.0100 mg Cd kg⁻¹), Bezostaja-1 (0.0107 mg Cd kg⁻¹), Konya-2002 (0.0130 mg Cd kg⁻¹) ve karışık çeşitler (0.0189 mg Cd kg⁻¹) izlemiştir (Çizelge 4.2). Adams ve ark. (2001)'nin İngiltere'de yaptıkları survey çalışmasında da buğday ve arpa tanelerinin ortalama Cd kapsamı sırasıyla 0.063 ve 0.022 mg kg⁻¹ olarak saptanmış olup arpanın Cd

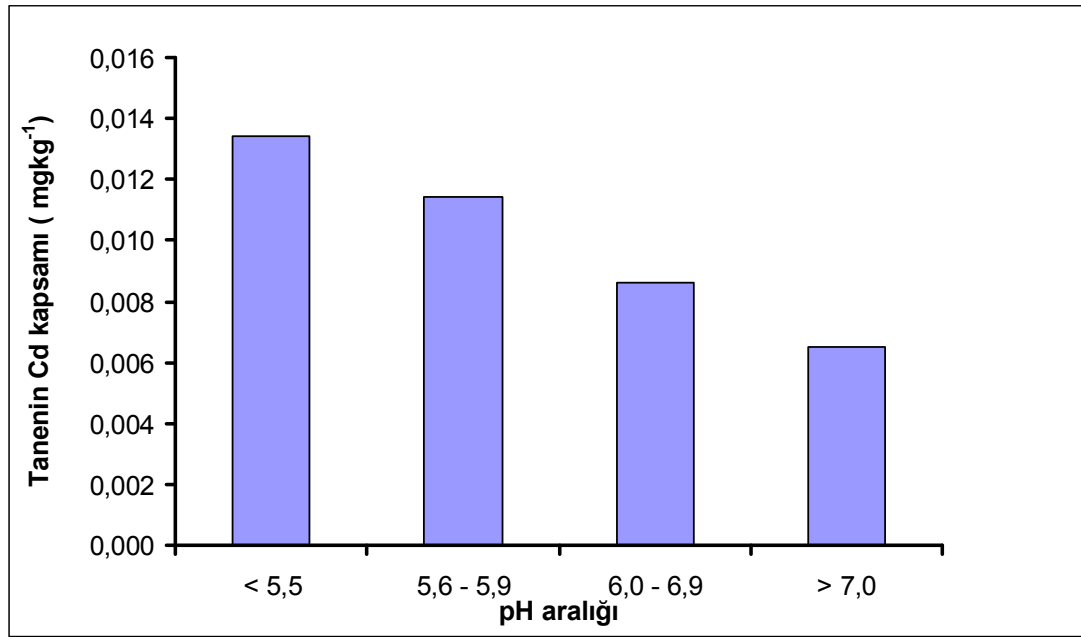
kapsamı buğdayın Cd kapsamından daha düşük bulunmuştur. Wojciechowska ve ark. (1994) tarafından Polonya’da yapılan bir survey çalışmasında da buğday tane Cd konsantrasyonu 0.048-0.080 mg kg⁻¹ arasında belirlenmiştir.

Toprakların toplam Cd kapsamlarındaki artışa paralel olarak tanenin Cd konsantrasyonu da artmıştır (R = 0.337*) ve aralarındaki regresyon eşitliği $y = 0.0149X + 0.0007$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.4). Adams ve ark. (2004) ve Page ve ark. (1987), bitki Cd’ünü etkileyen en temel iki faktörün toprak pH’sı ve toprak Cd’u olduğunu bildirmişlerdir. Sonuçlarımız ilgili literatürlerle uyumludur.



Şekil 4.4. Toprağın toplam Cd kapsamı ile tanenin Cd kapsamı arasındaki

Toplanan tüm numuneler dikkate alınarak pH’sı 5.5’den düşük olan topraklarda yetiştirilen bitkilerdeki tane Cd konsantrasyonu 0.0134 mg Cd kg⁻¹, pH’sı 5.5-6 arası topraklarda yetiştirilenlerin ortalama tane Cd konsantrasyonu 0.0114 mg Cd kg⁻¹, pH’sı 6.0-7.0 arası topraklarda yetişen ürünlerdeki tane Cd konsantrasyonu 0.0086 mg Cd kg⁻¹ ve pH’sı 7.0 ve üstündeki topraklarda yetişen ürünlerin ortalama tane Cd konsantrasyonu ise 0.0065 mg Cd kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Değerler göstermektedir ki toprakta pH değeri arttıkça tanedeki Cd konsantrasyonu azalmaktadır (Şekil 4.5). Toprak pH’sı ile bitkinin Cd kapsamı arasında lineer negatif bir ilişkinin olduğu birçok araştırmacı tarafından da (Arısoy ve Zengin 2001, Chang ve ark. 1982, Jansson 2002, Lijbben ve Sauerbeck 1991, McLaughlin ve ark. 1999, Soon ve Bates 1982) rapor edilmiştir.



Şekil 4.5. Toprak pH'sının tanenin Cd kapsamına etkisi.

4.2. Deneme-1 Analiz Sonuçları

Farklı buğday ve arpa varyetelerinin Cd'a tepkilerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmada; ekmeklik buğday, makarnalık buğday ve arpa çeşitlerinde Cd uygulaması ile elde edilen sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Uygulanan 5 mg kg⁻¹ Cd dozu tahıl çeşitlerinin tane Cd kapsamını artırmıştır. Ekmeklik buğday çeşitlerinden Ekiz en yüksek düzeyde Cd akümüle eden (0.833 mg kg⁻¹) çeşit olmuştur. Göksu-99 (0.481 mg kg⁻¹), Gerek-79 (0.447 mg kg⁻¹), Bağcı-2002 (0.431 mg kg⁻¹), Bezostaja-1 (0.422 mg kg⁻¹) ise orta düzeyde Cd akümüle etmişlerdir. Yıldız-98 en düşük düzeyde Cd akümüle ederken (0.247 mg kg⁻¹) bunu sırasıyla Kınacı-79 (0.312 mg kg⁻¹), Gün-91 (0.329 mg kg⁻¹), Konya-2002 (0.355 mg kg⁻¹) ve Sultan-95 (0.361 mg kg⁻¹) izlemiş ve düşük düzeyde Cd akümüle eden grubu oluşturmuşlardır. Makarnalık buğday çeşitlerinden Selçuklu-97 çeşiti 2.035 mg kg⁻¹ Cd akümülesyonu ile en fazla Cd akümüle eden çeşit olurken bunu Kümbet-2002 (1.737 mg kg⁻¹), Altıntaş-99 (1.639 mg kg⁻¹) ve Kızıltan-91 (1.075 mg kg⁻¹) izlemiştir. Yılmaz-98 (0.896 mg kg⁻¹), Kunduru-1149 (0.684 mg kg⁻¹) ve Meram-2002 (0.566 mg kg⁻¹) orta düzeyde Cd akümüle ederken Ankara-98 (0.469 mg kg⁻¹), Çeşit-1252 (0.439 mg kg⁻¹) ve Yelken-2002 (0.243 mg kg⁻¹) ise düşük düzeyde Cd

Çizelge 4.3. Deneme-1’de Uygulanan Cd’un Makarnalık ve Ekmeklik Buğday ile Arpa Tanelerinin Cd Kapsamlarına (mg kg^{-1}) Etkileri

Tahıl	Çeşit	Uygulanan Cd dozu	
		0 mg kg^{-1}	5 mg kg^{-1}
Ekmeklik buğday	Bezostaja-1	0.117	0.422
	Gerek-79	0.010	0.447
	Kınacı-79	0.015	0.312
	Göksu-99	0.028	0.481
	Sultan-95	0.050	0.361
	Konya-2002	0.033	0.355
	Ekiz	0.023	0.833
	Bağcı-2002	0.054	0.431
	Gün-91	0.034	0.329
	Yıldız-98	0.035	0.247
Makarnalık buğday	Meram-2002	0.026	0.566
	Kunduru-1149	0.044	0.684
	Yelken-2000	0.027	0.243
	Selçuklu-97	0.109	2.035
	Kümbet-2002	0.100	1.737
	Kızıltan-91	0.033	1.075
	Altıntaş-99	0.088	1.639
	Ç-1252	0.016	0.439
	Ankara-98	0.018	0.469
	Yılmaz-98	0.060	0.896
Arpa	Aydan hanım	0.010	0.056
	Kalaycı	0.012	0.415
	İnce	0.111	0.211
	Bülbül	0.007	0.092
	Tokak-157/37	0.015	0.113
	Beyşehir	0.004	0.009
	Avcı	0.011	0.445
	Tarm	0.010	0.150
	Kral-97	0.009	0.158
	Konevi-99	0.145	0.198

akümüle etmişlerdir. Arpa çeşitleri arasında Avcı (0.445 mg kg⁻¹) ve Kalaycı (0.415 mg kg⁻¹) yüksek, İnce (0.211 mg kg⁻¹), Konevi (0.198 mg kg⁻¹), Kral-97 (0.158 mg kg⁻¹) ve Tarm (0.150 mg kg⁻¹) orta, Tokak-157/37 (0.113 mg kg⁻¹), Bülbül (0.092 mg kg⁻¹), Aydan Hanım (0.056 mg kg⁻¹) ve Beyşehir (0.009 mg kg⁻¹) ise düşük düzeyde Cd biriktirmişlerdir. Değerlerin incelenmesinden de görüleceği gibi tahıl grupları arasında Cd akümüülasyonunda farklılık olduğu gibi aynı grup içindeki çeşitlerin de Cd'a tepkileri farklı olmuştur.

4.3. Deneme-2 Sonuçları

4.3.1. Kadmiyum uygulamalarının ekmeklik buğdayda bazı özelliklere etkileri

Kadmiyum uygulamalarının ekmeklik buğday çeşitlerinde yeşil aksam verimi, yeşil aksamda P, K, Zn ve Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre tahıl çeşitlerinin P, K, Zn ve Cd, uygulama dozlarının P, Zn, Cd ve 'çesit x doz' interaksyonunun ise yeşil aksam verim, P, K, Zn ve Cd kapsamlarına etkileri istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$ veya $P < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Kadmiyum Uygulamalarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması				
		Y. Aksam Verimi	P	K	Zn	Cd
Çesit (Ç)	2	0.9307	0.0040694**	0.45402**	588.48**	84.61**
Doz (D)	3	0.6366	0.0005128*	0.08670	77.81**	318.78**
Ç x D	6	2.4386*	0.0011652**	1.27751**	34.86*	34.91**
Hata	36	0.8029	0.0001529	0.07087	11.77	1.18
CV		8.98	12.49	9.46	20.79	46.95

**($P < 0.01$), *($P < 0.05$)

Toprağa artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının ekmeklik buğday çeşitlerinde yeşil aksamın bazı özelliklerine etkileri ve Duncan grupları Çizelge

4.5’de verilmiştir. Söz konusu Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, ekmeklik buğdaylarda yeşil aksam verimi 1.94 g saksı⁻¹ (Ekiz, 0 mg kg⁻¹ Cd) ile 4.35 g saksı⁻¹ (Ekiz, 3 mg kg⁻¹ Cd) arasında değişmiştir. Çeşitlerin Cd’a tepkileri farklı olup, örneğin Bezostaja-1’de yeşil aksam verimi artan Cd dozları ile azalırken, Ekiz’de 3 mg kg⁻¹ Cd dozuna kadar artıp sonra azalmıştır. Kınacı-79’da kontrol dozuna göre 1 mg kg⁻¹ Cd dozunda yeşil aksam verimi daha fazla olup, sonraki artan dozlarda verim azalmıştır. Ancak hem Bezostaja-1, hem de Kınacı-79’da Duncan Testi’ne göre uygulamalar arasındaki fark önemsiz olup aynı grupta yer almışlardır. Ekiz çeşidinde ise 3 mg kg⁻¹ Cd dozu en yüksek etkiyi gösterirken, diğer dozlar aynı grupta kalmışlardır. Sonuç olarak özellikle yüksek Cd dozları (9 mg kg⁻¹ Cd) kimi çeşitlerin (Bezostaja-1 ve Kınacı-79) yeşil aksam verimini düşürürken, düşük Cd dozları (1 mg kg⁻¹ Cd) yeşil aksam verimini artırmıştır (Ekiz ve Kınacı-79). Topraktaki yüksek Cd konsantrasyonu fotosentez, solunum ve azot prosesine bağlı zayıf gelişim ve düşük biyo-kütle gibi metabolik fonksiyonların azalmasına neden olmaktadır. Cd uygulanmış denemelerdeki gelişme geriliği yüksek düzeyde Cd akümülyasyonuna bağlı olarak bitki metabolizmasının bozulmasına ve diğer bitki besin elementlerinin yeterince alınamamasına neden olmuş olabilir. Cd toksisitesine bağlı yeşil aksamın kuru madde miktarındaki düşüş direk fotosentez olayının engellenmesinin bir sonucu da olabilir. Bitki genotipleri dikkate alındığında Cd toksikliğine karşı büyüme karakteristikleri açısından kimilerinde gelişim geriliği daha az, kimilerinde daha fazladır. Çeşitler arasındaki verim azalmasındaki farklılığın nedeni Cd elementine karşı toleranslarıyla ilişkili olabilir. Nitekim Cd’un verim düşüşüne neden olduğu birçok araştırmacının (Smilde 1981, Zhang ve ark. 2000, Zhang ve ark. 2002b, Adiloğlu 2002, Öztürk ve ark. 2003, Cieccko ve ark. 2004, Köleli ve ark. 2004, Adiloğlu ve ark. 2005, Khan ve ark. 2006, Dheri ve ark. 2007) raporlarında da belirtilmiştir. Düşük Cd dozlarında görülen verim artışı çeşitin Cd’a toleranslı olduğunu düşündürse de kesin bir şey söyleyebilmek için daha ileri düzeyde fizyolojik araştırmalara ihtiyaç vardır. Bununla birlikte düşük Cd dozlarında Cd un büyüme teşvik ettiği ve kuru madde miktarını artırdığı ile ilgili araştırma sonuçları bulunmaktadır. Khan ve ark. (2006) kimi araştırmacılara (Gussarson 1994 ve Narwall ve ark. 1990) atfen topraktaki düşük Cd konsantrasyonunda *Betula Pendata* bitkisinde ilk gelişim döneminde büyüme hızında ve mısır bitkisinin yeşil

aksamının kuru madde miktarında bir artış gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Goncalves (2009) iki farklı büyüme ortamında yetiştirilen patatesin yapay büyüme ortamında (in vitro) kök ve toprak üstü yeşil aksam kuru madde miktarının, düşük Cd konsantrasyonunda arttığını, yüksek Cd konsantrasyonunda ise azaldığını saptamışlardır.

Çizelge 4.5. Kadmiyum Dozlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları

Buğday çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Y.Aks. Verimi (g saksı ⁻¹)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
Bezostaja-1	0	3.32 ab	0.112 c	2.10 ab	25.97 def	0.14 f
	1	2.94 bc	0.113 c	1.96 ab	20.17 f	1.78 e
	3	2.51 bc	0.161 a	1.55 cd	22.55 dg	2.49 e
	9	2.63 bc	0.143 b	1.03 ef	24.90 efg	4.99 d
Ekiz	0	1.94 c	0.137 b	0.97 f	25.97 def	0.22 f
	1	2.29 bc	0.146 b	1.36 de	26.07 def	2.58 e
	3	4.35 a	0.139 b	2.19 ab	28.25 de	6.85 c
	9	2.60 bc	0.138 b	2.33 a	34.27 bc	17.65 a
Kınacı-79	0	2.47 bc	0.117 c	2.01 ab	30.40 cd	0.09 f
	1	2.83 bc	0.116 c	2.01 ab	36.92 ab	2.22 e
	3	2.15 bc	0.111 c	1.95 ab	35.05 abc	6.56 c
	9	2.18 bc	0.093 d	1.91 bc	39.60 a	13.19 b
LSD (P < 0.05)		1.285	0.01774	0.3818	4.920	1.558

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Ekmeklik buğday çeşitlerinde yeşil aksamın P kapsamaları %0.093 (Kınacı-79; 9 mg Cd kg⁻¹) ile %0.161 (Bezostaja-1; 3 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Çeşitlerin artan dozlarda uygulanan Cd'a karşı tepkileri de farklı olmuştur. Uygulanan Cd miktarının artmasıyla çeşitlerin P kapsamaları artmış, en yüksek P içeriği Bezostaja-1 çeşidinde 3 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında görülmüş ve kontrole göre P içeriği %43.75 artarak 1. grubu oluşturmuştur. Bu çeşitte 9 mg Cd kg⁻¹ dozu %0.143 P içeriği ile 2. gruba girerken, kontrol dozu ile 1 mg Cd kg⁻¹ dozu arasında istatistiksel fark önemli bulunmamış ve her iki doz da 3. gruba girmişlerdir. Kınacı-79 çeşidinde ise artan Cd uygulamaları tamamen zıt bir etki göstermiş ve Cd dozlarındaki artışa paralel olarak çeşidin P kapsamaları azalmıştır. En düşük P içeriği

Kınacı-79 çeşidinde 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda görülmüş ve kontrole göre P içeriği %20.5 azalarak en son grubu meydana getirmiştir. Kınacı çeşidinde 0, 1 ve 3 mg Cd kg⁻¹ dozları arasında istatistiksel bakımdan önemli bir fark bulunmamış ve bu dozlar bitkinin P kapsamı açısından aynı grupta yer almışlardır. Ekiz çeşidinde ise P kapsamı yönünden dozlar arasında istatistiksel anlamda bir fark çıkmayıp, hepsi de 2. gruba girmişlerdir (Çizelge 4.5). Artan dozda Cd uygulamalarının ekmeçlik buğday çeşitlerinin yeşil aksam P kapsamlarına etkisi çeşite bağlı olarak değişmiştir. Bitki büyüme ve gelişimine ağır metalin etkisi; genetik özellikler ile ilişkilidir. Bu genetik özellikler bitki çeşidinin ve o bitki çeşidine ait genotipin ayırt edici özelliklerini ortaya koyar. Bu tür genetik özellikler bitki organizmalarının kendi ürettikleri doğal organik maddelere karşı direncini etkiler. Toprakta belli miktardaki ağır metal hassas bitkilerde büyük oranda verim azalmasına ve kimyasal bileşiminde değişikliklere neden olabiliyorken, dirençli bitkileri etkilemeyebilir. Bitkinin belli organları tarafından kimyasal element alımı sırasında böyle sistemler antagonizm ve sinerjizm etkileri ile ilişkili kompleks mekanizmalar göstermektedir. Cd'un P kapsamına etkisi değişken olup; bitki çeşidi, bitki organı ve uygulanan Cd miktarı tarafından belirlenmektedir. Bitki P içeriğinin özellikle Na, Ca, B, N, K ve Mg gibi birçok makro ve mikro element içeriği ile de ilişkili olduğu söylenebilir. Das ve ark. (1998)'na göre topraktaki Cd kontaminasyonu bitkinin P, K, Mg ve Ca gibi elementleri alımı, diğer organlara transferi ve bitki içinde kullanımı açısından değişiklik yaratmaktadır. Araştırma sonuçlarımız da diğer bazı araştırmacıların (Ciecko ve ark. 1995, 1998 ve 2001) bulguları ile benzerlik göstermektedir. Onların araştırma sonuçlarında Cd uygulaması ile yulaf ve mısırın toprak üstü aksamı ile tiritikalenin tanesinde P içeriğinde bir artış görülürken aksine sapının P içeriğinde bir düşüş görülmüştür. Ciecko ve ark. (2000) ve Narval ve ark. (1995) tarafından mısır bitkisi ile yapılan çalışmalarda ise topraktaki yüksek Cd konsantrasyonu bitkinin toprak üstü aksamında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Simon (1998) ayçiçeğinde Cd'un P alımı üzerine herhangi bir etkisini bulamamıştır. Görüldüğü gibi Cd'un P alımına etkisi bitki çeşidinden bitki çeşidine değişiklik göstermektedir. Bu tez Hlusek ve Richter (1992)'in patates yumrusundaki bulguları ile desteklenmektedir. Araştırmacılar bu metalin etkisinin değişken olduğunu

bildirmişlerdir. Navarro-Pedreno ve ark. (1997) patates yapraklarında Cd'un benzer etkisini gözlemlemişlerdir.

Ekmeklik buğday çeşitlerinde yeşil aksamın K kapsamı %0.97 (Ekiz, 0 mg Cd kg⁻¹) ile %2.33 (Ekiz, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Ekiz çeşidinde 9 mg Cd kg⁻¹ dozu en yüksek K kapsamı ile 1. grubu oluştururken 0 mg Cd kg⁻¹ dozu ise en düşük K kapsamı ile en son grubu oluşturmuştur. Artan miktarlarda uygulanan Cd gerek çeşit, gerekse 'çeşit x doz' interaksyonu açısından K içeriğinde farklılıklar yaratmıştır. Örneğin Bezostaja-1 çeşidinde artan miktarlarda Cd uygulaması ile birlikte çeşidin K kapsamı önemli miktarlarda azalmış, 9 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında K kapsamı aynı çeşidin kontrol konusuna kıyasla %51 oranında düşmüştür. Ekiz çeşidinde ise tam tersi bir durum gözlenmiş, K içeriği 9 mg Cd kg⁻¹ uygulama dozunda, kontrole göre %140 artmıştır. Kınacı-79 çeşidinde ise artan Cd dozları karşısında yeşil aksamın K kapsamı istatistiksel olarak önemli bulunmamakla birlikte hafif bir düşüş trendi göstermiştir (Çizelge 4.5). Cd uygulamalarının ekmeklik buğday çeşitlerinin yeşil aksam K kapsamına etkisi P kapsamına etkisine benzer olup, çeşite bağlı olarak değişmiştir. Bitki hücreindeki bileşenlerin miktarı; bitki cinsi, genotipi ve organları gibi birçok faktör tarafından belirlenir. Ağır metal kontaminasyonu olan topraklarda yetiştirilen bitkiler kendilerinin sadece ağır metal içeriklerini değil aynı zamanda K gibi diğer makro element içeriklerini de değiştirmeye yatkındırlar (Das ve ark. 1998). Bitkinin belirli organlarının Cd alımı muhtemelen diğer kimyasal elementler tarafından belirlenmektedir. Bu durum sinerjik ve antagonistik etki ile ilişkilidir. Kirlenmiş topraklarda bu seyir normal kirlenmemiş topraklardan daha farklı olabilir. Kadmiyum ile kontamine olmuş toprakların bitki çeşitlerinin ve organlarının K kapsamına oldukça güçlü etkisi Ciećko ve ark. (2001) ve Obata ve Umabayashi (1997) tarafından da rapor edilmiştir. Narwal ve ark. (1995)'na göre ise toprakta yüksek düzeydeki Cd'un mısır kökünün K kapsamına etkisi negatif bulunmuştur. Toprak üstü aksama olan etkisi ise toprak kalitesi ile ilişkilendirilmiştir. Araştırmamızda artan Cd uygulamaları Bezostaja-1 çeşidinde K düşüşüne neden olurken Ekiz çeşidinde artışa neden olmuştur. Sonuçlarımız ayrıca Ciećko (2004a)'nın bulgularıyla da uyumludur.

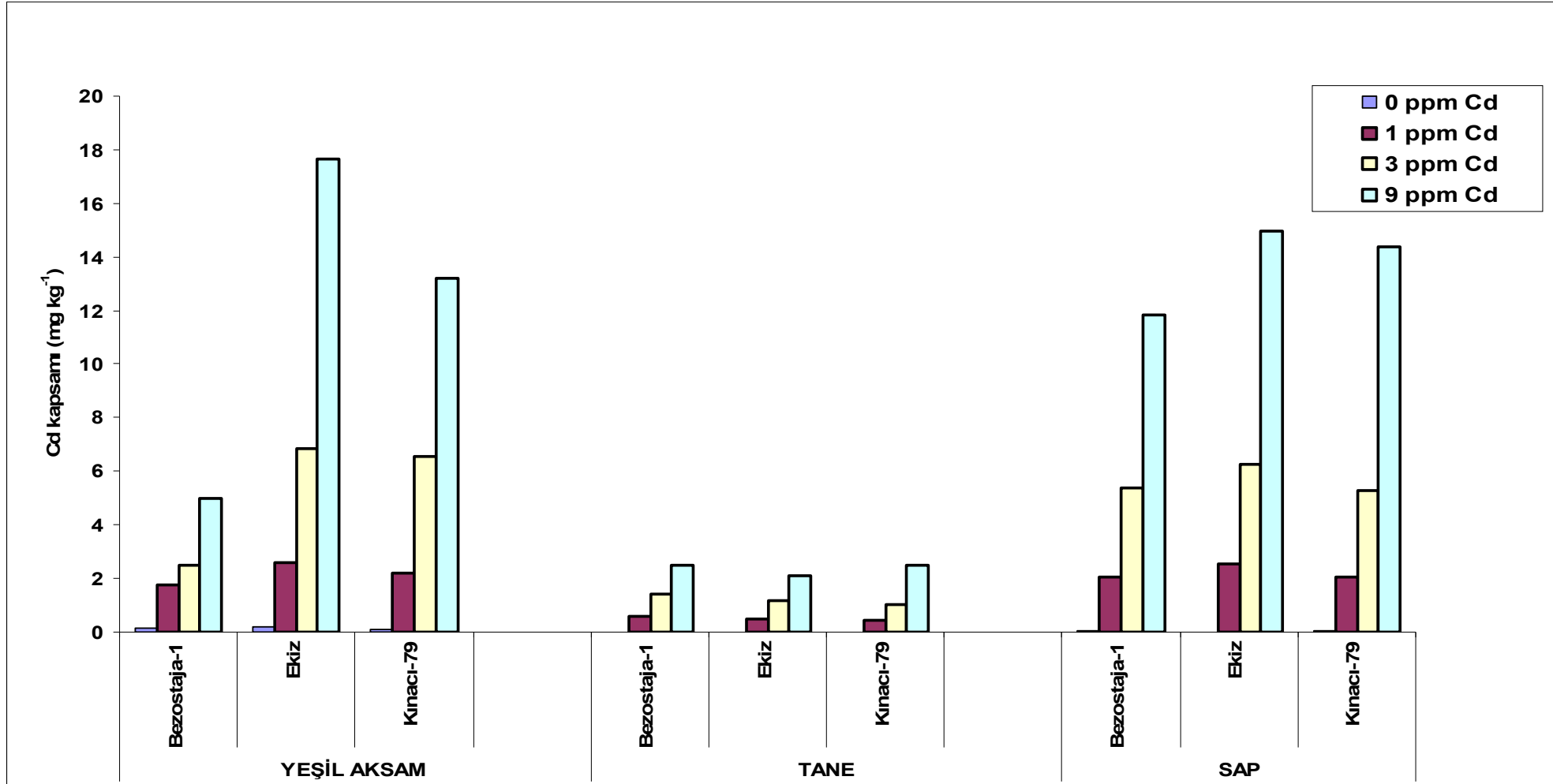
Ekmeklik buğday çeşitlerinde yeşil aksamın Zn kapsamı 20.17 mg kg⁻¹ (Bezostaja-1, 1 mg Cd kg⁻¹) ile 39.60 mg kg⁻¹ (Kınacı-79, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında

değişmiştir. Kınacı-79 çeşidinin 9 mg Cd kg⁻¹ dozu en yüksek Zn içeriği ile (39.60 mg kg⁻¹) 1. grubu oluştururken; bu çeşidin 3 ve 1 mg Cd kg⁻¹ dozlarıyla da aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bezostaja-1 çeşidinin yeşil aksam Zn kapsamı, 1 mg Cd kg⁻¹ dozunda kontrol konusuna kıyasla ciddi bir düşüş (%22.3) göstererek en son grubu oluşturmuş, aynı çeşidin 3 ve 9 mg Cd kg⁻¹ dozlarında da Zn kapsamında düşüş olmakla beraber 1 mg kg⁻¹ dozunda meydana gelen düşüşten daha az olmuştur. Ekiz ve Kınacı-79 çeşitlerinin yeşil aksam Zn kapsamı, uygulanan Cd dozlarındaki artışa paralel olarak önemli ölçüde artmıştır. Ekiz'de 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda yeşil aksamın Zn kapsamı kontrole göre %31.9 artarken, Kınacı-79'da aynı dozda Zn kapsamı kontrole göre %30.2 oranında artmıştır (Çizelge 4.5). Kadmiyum uygulamaları genel olarak ekmeklik buğday çeşitlerinde yeşil aksamın Zn içeriğini artırmıştır. Cd alımını etkileyen faktörler ve bitkideki Cd toksikliğinin açıklaması ile ilgili olarak Zn'ya bağlı bitki beslenmesi durumu en çok çalışılan konuların başında gelmektedir. Zn uygulamasının bitkideki Cd alımı ve birikimi üzerine etkisi ile ilgili çalışmalar tutarlı değildir. Kimi araştırmacılar (Adiloğlu ve ark. 2005, Liu ve ark. 2003, Nan ve ark. 2002, Choudhary ve ark. 1995, Smilde ve ark. 1992) artan Cd uygulamasının buğday bitkisinde Zn konsantrasyonunu artırdığını rapor ederek Zn ve Cd arasında sinerjik bir etki olduğunu belirtirken, kimi araştırmacılar (Akay ve Köleli 2007, Wu ve ark. 2003, Oliver ve ark. 1994) ise aksine Zn ve Cd arasında antagonistik bir etkileşim olduğunu rapor etmişlerdir. Köleli ve ark. (2004), Adiloğlu ve ark. (2005) ve Ulrike ve Remigius (2005) araştırma sonuçlarında Zn noksanlığına maruz kalan bitkiler için artan Cd uygulaması bitkinin Zn konsantrasyonunu azalttığını, aksine bitkiye yeterli düzeyde Zn sağlandığında artan Cd uygulamasının Zn konsantrasyonunu artırdığını belirtmişlerdir. Bizim çalışmamızda toprağa Zn gübrelemesi yapıldığı için eksiklik söz konusu olmamış ve Cd uygulaması ile birlikte Zn konsantrasyonları da artmıştır. Ayrıca asidik toprak koşulları Zn'nun bitki tarafından alınabilirliğini artıran en önemli etkenlerden biridir (Kacar 1998).

Ekmeklik Buğday çeşitlerinin yeşil aksamında Cd kapsamı 0.09 mg kg⁻¹ (Kınacı-79, 0 mg Cd kg⁻¹) ile 17.65 mg kg⁻¹ (Ekiz, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Toprağa artan dozlarda uygulanan Cd bütün çeşitlerde yeşil aksamın Cd kapsamını önemli bir şekilde artırırken (Şekil 4.6) çeşitlerin Cd'a tepkileri de farklı

olmuştur. En yüksek Cd kapsamı 17.65 mg kg^{-1} ile Ekiz çeşidine ait 9 mg Cd kg^{-1} uygulamasında görülmüş ve bu doz en yüksek düzeyde Cd akümüle eden 1. grubu oluşturmuştur. Bunu Kınacı-79 çeşidinin 9 mg Cd kg^{-1} dozu (13.19 mg kg^{-1}) takip etmiş ve 2. grubu oluşturmuştur. En düşük Cd kapsamı Kınacı-79 çeşidinin kontrol konusunda (0.09 mg kg^{-1}) görülmekle beraber, her üç çeşidin de kontrol konuları en son grubu oluşturmuştur. Toprağa uygulanan Cd artışına bağlı olarak yeşil aksamın Cd akümüasyonu Bezostaja-1 çeşidinde diğer iki çeşide kıyasla daha düşük olmuştur (Çizelge 4.5). Sonuçta artan dozda Cd uygulamaları ekmeklik buğday çeşitlerinde yeşil aksamın Cd kapsamını çeşite bağlı olarak farklı oranlarda artırmıştır. Bitkide Cd birikimini; toprağın pH'sı, toplam Cd kapsamı, organik madde içeriği, tuzluluğu, diğer makro ve mikro elementler, bitki türü ve organı gibi birçok faktör etkilemektedir. Toprağın pH'sı ve Cd kapsamı bunlar içinde en temel olanlarıdır (Page 1987). Bitkinin daha fazla Cd alımı genellikle asidik toprak koşullarında olur. Daha yüksek pH ise genellikle Cd'un mineral ve organik yüzeyler üzerindeki adsorbsiyonunu artırarak çözünürlüğünü azaltır. Senn ve Mihalm (2000) aşırı kumlu, asidik ve düşük organik maddeli topraklarda Cd'un bitkiler tarafından alınabilirliğinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Toprak tuzluluğu da bitkinin Cd alımını artırması bakımından belirgin bir diğer etkendir. Çünkü Cl ile kompleks oluşumu Cd'un hareketliliğini ve bitki tarafından alımını artırmaktadır (Smolders ve McLaughlin 1996). Araştırmamızda da asidik pH, düşük organik madde ve kireç, kumlu tekstür, koşulları ve toprağa ilave edilen Cd bitkinin Cd alımının artışında etken olmuştur.

Bitki büyüme ve gelişimine ağır metalin etkisi genetik özellikler ile ilişkilidir. Cd'un köklerden filizlere taşınmasında türler arasında olduğu gibi aynı türün değişik çeşitleri arasında da farklılıklar olduğu rapor edilmiştir (Hart ve ark. 1998). Düşük düzeyde Cd akümüle eden çeşitler muhtemelen Cd birikimini önleyen bir mekanizmaya sahiptirler ve bu mekanizma henüz tam anlamıyla açıklanabilmiş değildir. Çalışmamızda da genotipler arasında Cd akümüasyonu açısından farklılıklar çıkmıştır. Genotipler arası Cd alımında farklılıklar olduğu birçok araştırmacının (Cheng ve ark. 2006, Dunbar ve ark. 2003, Greger ve Löfstedt 2004, Hassan ve ark. 2006, He ve ark. 2006, McLaughlin ve ark. 1994 ve Wu 2005) raporlarında da belirtilmiştir.



Şekil 4.6. Kadmiyum uygulamalarının ekmeklik buğday çeşitlerinde yeşil aksam, tane ve sapın Cd kapsamlarına etkileri

Kadmiyum uygulamalarının ekmeklik buğday çeşitlerinde tane verimi, tanede P, K, Zn ve Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre çeşidin P, K, Zn ve Cd, uygulama dozlarının Zn ve Cd, 'çeşit x doz' interaksyonunun ise P, K ve Cd kapsamlarına etkileri istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$ veya $P < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Kadmiyum Uygulamalarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması				
		Tane Verimi	P	K	Zn	Cd
Çeşit (Ç)	2	0.47890	0.0027201*	0.0030708**	259.58**	0.1411**
Doz (D)	3	2.821394	0.0016530	0.0006602	215.94**	12.5124**
Ç x D	6	2.07939	0.0026727**	0.0010240*	14.65	0.0751**
Hata	36	1.73087	0.006676	0.0004335	11.93	0.0140
CV		1.54	3.40	5.11	11.32	9.23

**($P < 0.01$), *($P < 0.05$)

Cd uygulamalarının ekmeklik buğday çeşitlerinde bazı tane özelliklerine ait değerler ve Duncan grupları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Söz konusu Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, uygulanan Cd dozlarına bağlı olarak tanenin P kapsamı arasında istatistiksel anlamda bir fark bulunmazken, çeşit ve 'çeşit x doz' interaksyonuna bağlı olarak tanelerin P içerikleri arasındaki fark önemli çıkmıştır. Çeşitlerin P içerikleri %0.226 (Ekiz, 0 mg Cd kg⁻¹) ile %0.312 (Bezostaja-1, 0 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Ayrıca çeşitlerin artan dozlarda uygulanan Cd'a karşı tepkileri de farklı olmuştur. Örneğin, Bezostaja-1 çeşidinde toprağa uygulanan Cd miktarı arttıkça buğday tanelerinde P içerikleri azalmıştır. Söz konusu çeşidin 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda P içeriği aynı çeşidin en yüksek P içeriğine sahip kontrol konusuna (%0.312) kıyasla %25.3 oranında düşmüştür. Kınacı-79 çeşidinde de Cd uygulamaları ile birlikte 3 mg Cd kg⁻¹ dozuna kadar tane P kapsamında bir düşüş trendi (%14) görülürken, 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda tekrar artış eğilimine girilmiştir. Ekiz çeşidinde ise artan dozlarda uygulanan Cd tanenin P kapsamını artırırken, en fazla artış 3 mg Cd kg⁻¹ dozunda kontrole kıyasla %12.8 oranında olmuştur. Bütün bu tepkilere rağmen çeşitler tüm dozlar bakımından aynı grupta yer almıştır. Sonuç

olarak Cd'un P alımı üzerine etkisinin çeşitten çeşite farklılık gösterdiği söylenebilir. Ağır metalle kontamine olmuş topraklar bitkinin belli organları tarafından kimyasal element alımı sırasında antagonizm ve sinerjizm etkileri ile ilişkili kompleks mekanizmalar göstermektedir. Das ve ark'na (1998) göre toprakta Cd kirliliği bitkinin P, K, Mg ve Ca gibi elementleri alımı, diğer organlara transferi ve bitki içinde kullanımı açısından değişiklik yaratmaktadır. Çeşitli araştırmacıların (Ciećko ve ark. 2004b, Dheri ve ark. 2007, Grant ve Bailey 1996 ve Zhao ve ark. 2005) yaptığı çalışmalar göstermiştir ki Cd, bitki P kapsamını artırdığı veya azalttığı gibi etkisiz de kalabilmektedir. Bu anlamda sonuçlarımız söz konusu araştırmalarla uyumludur.

Çizelge 4.7. Kadmiyum Dozlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları

Buğday çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Tane Verimi (g saksı ⁻¹)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
Bezostaja-1	0	12.36	0.312 a	0.440 a	39.90	0.000 g
	1	11.22	0.278 a	0.417 bcd	39.92	0.609 e
	3	12.23	0.244 a	0.391 d	39.35	1.402 c
	9	9.67	0.233 a	0.424 abc	45.00	2.476 a
Ekiz	0	11.26	0.226 a	0.441 a	28.40	0.000 g
	1	11.92	0.236 a	0.423 abc	32.70d	0.471 ef
	3	12.15	0.255 a	0.439 ab	35.27	1.171 d
	9	11.52	0.247 a	0.420 abc	41.22	2.118 b
Kınacı-79	0	11.71	0.272 a	0.394 d	28.30	0.020 g
	1	11.80	0.264 a	0.405 cd	31.75 d	0.433 f
	3	11.49	0.233 a	0.394 d	33.35	1.015 d
	9	11.39	0.264 a	0.420 abc	40.10	2.495 a
<i>LSD (P < 0.05)</i>		-	0.1172	0.02991	4.953	0.1697

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Ekmeklik buğday çeşitlerinde Cd uygulamasına bağlı olarak tanenin K içeriği açısından fark olmamakla birlikte çeşit ve 'çeşit x doz' interaksyonuna bağlı olarak tanenin K içerikleri arasındaki fark önemli çıkmıştır. Ekmeklik buğday çeşitlerinde tanenin K kapsamı %0.441 (Ekiz, 0 mg Cd kg⁻¹) ile %0.391 (Bezostaja-1, 3 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Ekiz ve Bezostaja-1'in 0 mg Cd kg⁻¹ dozları yüksek K

içerikleriyle (sırasıyla %0.441 ve %0.440) 1. grubu oluştururken, Bezostaja-1'in 3 mg Cd kg⁻¹ dozu ile Kınacı-79'un 0 ve 3 mg Cd kg⁻¹ dozları ise en düşük K kapsamları ile (sırasıyla %0.391, %0.394 ve %0.394) en son grubu oluşturmuşlardır. Bezostaja-1 ve Ekiz çeşidinde uygulama dozlarında K kapsamları kontrol konusunun K kapsamının altında seyrederken, Kınacı-79 çeşidinde 3 mg Cd kg⁻¹ dozu kontrol ile aynı değere sahip olmakla beraber 1 ve 9 mg Cd kg⁻¹ dozlarındaki K içeriğinin altında kalmıştır. Artan Cd uygulamalarının ekmeklik buğday çeşitlerinin tane Cd kapsamlarına etkisi çeşite bağlı olarak farklılık göstermiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi Cd ile kontamine olmuş topraklarda bitkilerin K kapsamları organa ve varyeteye bağlı olarak farklılık arz etmektedir. Kirilenmiş topraklarda bu seyir normal kirilenmemiş topraklardan çok daha farklı olabilmektedir. Ciećko ve ark. (2001) Cd uygulanmış saksı denemesinde tiritikale ve yulaf tanesinin K kapsamlarında bir azalış, sapın K kapsamlarında ise bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı araştırmacılar yulafın toprak üstü aksamında K kapsamları açısından bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Hlusek ve Richter (1992) Cd'un patatesin yumru aksamının K içeriğine etkisini pozitif bulurken, patates yapraklarının K kapsamına bir etki bulamamışlardır. Keza Navarro-Pedreno ve ark. (1997) domates yaprağında ve Simon (1998) ayçiçeğinde yaptığı çalışmada toprak Cd kapsamının bitkilerin K kapsamları üzerine herhangi bir etkisini bulamamışlardır. Görüldüğü gibi sonuçlarımız bu araştırma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Ekmeklik buğday çeşitlerinin tane Cd kapsamları 0.000 mg kg⁻¹ (Bezostaja-1; 0 mg kg⁻¹ ve Ekiz; 0 mg kg⁻¹) ile 2.495 mg kg⁻¹ (Kınacı-79, 9 mg kg⁻¹) arasında değişmiştir. Uygulanan Cd dozlarına paralel olarak bütün çeşitlerin tane Cd kapsamları önemli bir biçimde artmıştır (Şekil 4.6). Uygulama dozlarına bağlı olarak tanenin Cd içeriğindeki artışlar çeşitler arasında da önemli farklılıklar göstermiştir. Kınacı-79 ve Bezostaja-1 çeşitlerinin 9 mg Cd kg⁻¹ dozları en yüksek düzeyde Cd akümüle ederek (sırasıyla 2.495 mg kg⁻¹ ve 2.476 mg kg⁻¹) 1. grubu oluşturmuşlardır. Bunları Ekiz çeşidinin 9 mg kg⁻¹ Cd dozu (2.118 mg kg⁻¹) takip ederek 2. grubu oluşturmuştur. Bezostaja-1 çeşidinin 3 mg kg⁻¹ Cd dozu 1.402 mg kg⁻¹ Cd akümüasyonu ile 3. grubu oluştururken bunu Ekiz ve Kınacı-79 çeşitlerinin 3 mg Cd kg⁻¹ dozları (sırasıyla 1.171 mg Cd kg⁻¹ ve 1.015 mg Cd kg⁻¹) takip etmiştir. Bütün çeşitlerin kontrol konularının Cd kapsamları çok düşük düzeyde olup hepsi de en son

gruba girmişlerdir. Tane Cd kapsamını artıran en temel etkenler; toprağın asidik pH'sı, toprak bünyesinin kumlu olması ve uygulanan Cd miktarıdır. Nitekim Lijbben ve Sauerbeck (1991) buğday tanesinin Cd kapsamını toprak pH'sındaki düşüşün topraktaki metal miktarının artışından daha fazla etkilediğini bildirmişlerdir. Chaudri ve ark. (2007) arıtma çamuru ve metal tuzları uygulamalarının buğday tanesinin Cd akümülyasyonuna etkisini araştırmışlar ve toprak pH'sı organik maddesi ve toprağın toplam Cd kapsamının tane Cd kapsamını etkileyen önemli değişkenler ($P < 0.001$) olduğunu rapor etmişlerdir. Jansson (2002) tane Cd konsantrasyonu ile toprak pH'sı arasında negatif bir ilişki olduğunu ve Cd^{+2} çözünürlüğünün başlıca toprak pH'sı tarafından kontrol edildiğini belirtmiştir. Bunun yanında buğday türleri arasında tanede Cd birikimi açısından bulunan farklı sonuçların sebebi rizosfer özelliklerindeki farklılıklar olabilir. Nitekim Mench ve Martin (1991) ve Murányi ve ark. (1994) buğday çeşitleri arasında, toprak kolloidlerinden metali serbest bırakması açısından köklerinin farklı kapasiteye sahip olabileceği, bunun da toprak solüsyonunda Cd konsantrasyonunda farklılıklara neden olabileceği ve buna bağlı olarak bitkinin Cd alımının etkileneceğini, ayrıca bu tür mekanizmaların H^+ iyonlarını serbest bırakarak rizosfer bölgesinde pH'nın düşmesine veya organik asitlerin salgılanmasına neden olabileceğini belirtmişlerdir. Görülüyor ki düşük düzeyde Cd biriktiren çeşitler tanede Cd akümülyasyonunu engelleyen henüz tam olarak tanımlanmamış bir mekanizmaya sahip olabilirler.

Artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının ekmeklik buğday çeşitlerinde tanenin Zn kapsamlarına etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Söz konusu Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, uygulanan Cd miktarları ekmeklik buğdayların hem çeşit bazında, hem de doz bazında Zn içeriklerine etki etmiştir. Bezostaja-1 çeşidi 40.80 mg kg^{-1} Zn kapsamı ile en yüksek Zn içeriğine sahip olup 1. grubu oluştururken, bunu 34.38 mg kg^{-1} Zn kapsamı ile Ekiz çeşidi ve 33.37 mg kg^{-1} Zn kapsamı ile Kınacı-79 çeşidi takip etmiş ve her iki çeşit de 2. gruba girmişlerdir. Buğday genotiplerinde kök morfolojisini inceleyen Dong ve ark. (1995), Zn'ca etkin olanların, etkin olmayanlara göre daha çok sayıda ince köklere sahip olduklarını belirleyerek; Zn'ca etkin buğday genotiplerinin uzun ve ince kökleri sayesinde toprakla daha iyi temas ederek topraktaki Zn'dan daha etkin yararlanabileceğini bildirmişlerdir. Çakmak ve ark. (1998) ise etiketli çinko (Zn^{65})

uygulayarak, çavdarda, ekmeklik ve makarnalık buğdaya göre kökten gövdeye Zn taşınımı ve alımının daha çok olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmamızda çeşitlerin Zn alımındaki farklılıklar anılan nedenlerden dolayı olabilir. Diğer taraftan uygulanan Cd dozları çeşitlerin Zn kapsamlarına önemli ölçüde etki etmiş olup uygulanan Cd miktarı artıkça çeşitlerin Zn kapsamları da buna paralel olarak, artmıştır. Araştırma da, 9 mg Cd kg⁻¹ dozu en yüksek Zn kapsamı (42.11 mg kg⁻¹) ile 1. grubu oluştururken, bunu 35.99 mg kg⁻¹ Zn içeriği ile 3 mg Cd kg⁻¹ dozu takip etmiştir. 1 mg Cd kg⁻¹ dozu ile 3 mg Cd kg⁻¹ dozu arasındaki fark istatistiksel anlamda önemli bulunmazken, kontrol konusu 32.20 mg kg⁻¹ Zn kapsamı ile en son grubu oluşturmuştur. Topraktaki Zn'nun bitkilerin Cd alımı üzerine etkileri yaygın şekilde araştırma konusu yapılırsa da, literatürlerde bu iki elementin interaksyonuyla ilgili olarak ortak bir görüşe varılamamıştır. Smilde ve ark. (1992), Choudhary ve ark. (1995), Nan ve ark. (2002), Liu ve ark. (2003), Köleli ve ark. (2004) ve Adiloğlu ve ark. (2005) Zn ve Cd arasında sinerjik bir etkileşim olduğunu belirtirken, Oliver ve ark. (1994) ile Wu ve ark. (2003) ise Zn ve Cd arasında antagonistik bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir. Zn noksanlığına maruz kalan bitkiler için artan Cd uygulaması bitkinin Zn kapsamını azaltırken, bitkiye yeterli düzeyde Zn uygulandığında artan Cd uygulaması Zn kapsamı üzerine herhangi bir etkide bulunmamıştır. Araştırmamızda da temel gübreleme olarak toprağa Zn uygulandığı için eksiklik söz konusu olmamış ve Cd uygulaması ile birlikte Zn konsantrasyonları da artmıştır. Araştırma sonuçlarımız ayrıca Welch ve ark. (1999) ile Chen ve ark. (2007)'nin sonuçlarıyla da benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.8. Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin ve Kadmiyum Dozlarının Tane Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Çeşit	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Bezostaja-1	40.80 a	0	32.20 c
Ekiz	34.38 b	1	34.46 bc
Kınacı-79	33.37 b	3	35.98 b
		9	42.11 a
<i>LSD (P < 0.05)</i>	2.477		<i>LSD (P < 0.05)</i> 2.860

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Kadmiyum uygulamalarının ekmeklik buğday çeşitlerinde sap verimi, sapta P, K, Zn ve Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre çeşidin Cd, uygulama dozlarının K, Zn ve Cd ve 'çeşit x doz' interaksyonunun ise Cd kapsamlarına etkileri istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$ veya $P < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Kadmiyum Uygulamalarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri İle İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması				
		Sap Verimi	P	K	Zn	Cd
Çeşit (Ç)	2	9.081	0.0001791	0.04479	53.14	4.98**
Doz (D)	3	1.9578	0.0000119	0.08422*	155.21**	433.63**
Ç x D	6	1.452	0.0001085	0.05919	18.84	2.47*
Hata	36	3.238	0.0001294	0.02724	26.36	0.94
CV		3.19	12.50	3.48	11.57	10.31

**($P < 0.01$), *($P < 0.05$)

Ayrıca artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının ekmeklik buğday çeşitlerinde sapın bazı özelliklerine etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.10'de verilmiştir. Söz konusu Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, ekmeklik buğday çeşitlerinde sapın Cd kapsamları 0.020 mg kg^{-1} (Ekiz, 0 mg Cd kg^{-1}) ile $14.961 \text{ mg kg}^{-1}$ (Ekiz, 9 mg Cd kg^{-1}) arasında değişmiştir. Uygulanan Cd miktarı arttıkça ekmeklik buğday çeşitlerinin hepsinde de sapın Cd kapsamları belirgin bir derecede artmıştır (Şekil 4.6). Ekiz ve Kınacı çeşitlerinin 9 mg Cd kg^{-1} dozları en yüksek düzeyde Cd akümüasyonu (sırasıyla 14.96 ve $14.385 \text{ mg kg}^{-1}$) ile ilk grubu oluştururken, Bezostaja-1 çeşidinin 9 mg Cd kg^{-1} dozu ($11.848 \text{ mg kg}^{-1}$) 2. grubu oluşturmuştur. Bu grubu sırasıyla yine her 3 çeşidin 3 mg Cd kg^{-1} , 1 mg Cd kg^{-1} ve kontrol konuları izlemiştir. Ekiz çeşidi kontrol hariç 3 dozda da diğer çeşitlerden daha fazla Cd akümülemiştir. Bitkiler ağır metalleri tolere etme, absorblama ve bünyelerinde biriktirme açısından birbirlerinden farklılık gösterirler. Bitki çeşitleri, hatta aynı bitkinin genotipleri arasında metal absorpsiyonu açısından ortaya çıkan farklılıklar organların genetiği, bitki çeşitleri arasında morfolojik ve anatomik farklılıklar, iyon değiştirme mekanizmalarının fizyolojisi gibi birçok faktör

sorumludur (Verloo 1996). Söz edilen nedenlerden dolayı ekmeklik buğday çeşitlerinde sapın Cd konsantrasyonu bakımından farklılık bulunmuş olabilir. Bulgularımız Ciećko ve ark'nın (2001, 2004c) yulaf ve tirtikale bitkisi ve Singh ve ark'nın. (1989) buğday bitkisi ile yaptıkları çalışmada: Cd kontaminasyonunun bitkilerin saman Cd kapsanlarını artırdığı yönündeki sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.10. Kadmiyum Dozlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları

Buğday çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Sap Verimi (g saksı ⁻¹)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
Bezostaja-1	0	24.21	0.034	1.753	16.35	0.034 e
	1	23.10	0.022	1.535	12.77	2.059 d
	3	25.63	0.034	1.358	19.22	5.391 c
	9	24.25	0.032	1.387	20.25	11.848 b
Ekiz	0	22.84	0.023	1.537	13.12	0.020 e
	1	22.59	0.024	1.466	15.77	2.550 d
	3	22.74	0.026	1.488	15.72	6.258 c
	9	23.03	0.023	1.514	21.72	14.961a
Kınacı-79	0	23.83	0.023	1.568	11.12	0.025 e
	1	23.72	0.031	1.713	11.22	2.076 d
	3	23.97	0.021	1.424	11.60	5.297 c
	9	23.21	0.028	1.680	21.05	14.385a
LSD (P < 0.05)		-	-	-	-	1.390

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının ekmeklik buğday çeşitlerinde sapın K ve Zn kapsamlarına etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, uygulanan Cd miktarı arttıkça ekmeklik buğdayların K kapsamları azalmıştır. K kapsamları açısından 0 ve 1 mg Cd kg⁻¹ dozu (sırasıyla %1.619 ve %1.571) 1. grubu oluştururken, 9 mg Cd kg⁻¹ dozu ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Denemede 3 mg Cd kg⁻¹ dozu ise %1.423 K kapsamı ile 2. grubu oluşturmuştur. K kapsamında kontrole kıyasla en fazla düşüş (%12.11) 3 mg Cd kg⁻¹ dozunda olmuştur. Uygulanan Cd

dozları ekmeklik buğdayda sapın Zn kapsamına, potasyuma yaptığı etkinin tersi bir etki yapmıştır. Nitekim toprağa uygulanan Cd miktarı arttıkça sapın Zn kapsamı da artmıştır. Zn kapsamı açısından 9 mg Cd kg⁻¹ dozu 1. grubu oluştururken, diğer üç doz 2. gruba girmiştir. Araştırmada 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda kontrole kıyasla artış %55.28 olmuştur. Cd ile kirlenmiş topraklarda bitkinin K kapsamı ve değişim trendi esas olarak bitki çeşidi ve organları tarafından etkilenmektedir. Topraktaki Cd kontaminasyonu bitkinin çeşidi ve organına bağlı olarak K içeriğinde bir artış veya azalışa sebep olmaktadır. Ciećko ve ark (2001)'nin çalışmalarında artan Cd uygulamaları tiritikalenin N, K, Mg, Ca ve Na ile yazlık kolzanın toplam N, K ve Mg kapsamlarında önemli modifikasyonlara neden olmuştur. Artan dozlarda Cd uygulaması toprakta yeterli düzeyde Zn bulunması ve asidik pH koşulları olması nedeniyle ekmeklik buğdayda sapın Zn kapsamını artırmış olabilir. Sonuçlar Smilde ve ark. (1992), Nan ve ark. (2002) ve Köleli ve ark. (2004)'nin toprakta yeterli Zn bulunduğu koşullarda Cd ve Zn arasında antagonistik etkileşim olduğuna dair bulgularıyla benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.11. Kadmiyum Dozlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Sapın Potasyum ve Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Cd dozu (mg kg ⁻¹)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)
0	1.619 a	13.53 b
1	1.571 a	13.25 b
3	1.423 b	15.52 b
9	1.527 ab	21.01 a
<i>LSD (P < 0.05)</i>	<i>0.1367</i>	<i>4.251</i>

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

4.3.2. Kadmiyum uygulamalarının makarnalık buğdayda bazı özelliklere etkileri

Kadmiyum uygulamalarının makarnalık buğday çeşitlerinde yeşil aksam verimi, yeşil aksamda P, K, Zn ve Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre çeşidin Zn ve Cd, uygulama dozlarının P, Zn ve Cd ve 'çeşit x doz' interaksiyonunun ise P ve Cd kapsamına etkileri istatistiksel olarak önemli (P < 0.05 veya P < 0.01) bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Kadmiyum Uygulamalarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması				
		Y. Aksam Verimi	P	K	Zn	Cd
Çeşit (Ç)	3	0.4602	0.0002730	0.03741	194.81**	380.15**
Doz (D)	3	0.2168	0.0004172*	0.03248	428.48**	2387.66**
Ç x D	9	0.1352	0.0004558**	0.04384	37.82	108.90**
Hata	48	0.2233	0.0001049	0.02263	21.01	4.40
CV		9.33	4.25	2,14	7.42	44.31

**($P < 0.01$), *($P < 0.05$)

Cd dozlarında makarnalık buğday çeşitlerinde yeşil aksamın bazı özelliklerine ait değerler ve Duncan grupları Çizelge 4.13’de verilmiştir. Makarnalık buğday çeşitlerinde yeşil aksamın P kapsamı %0.078 (Meram-2002, 9 mg Cd kg⁻¹) ile %0.118 (Ç-1252, 0 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Çeşitlerin artan oranlarda uygulanan Cd dozlarına tepkileri farklı olmuştur.

Meram-2002 ve Ç-1252’de artan Cd uygulamaları yeşil aksamın P kapsamını azaltırken, Selçuklu-97 ve Kızıltan-91’de artırmıştır. Ç-1252’nin kontrol (0 mg Cd kg⁻¹) konusu en yüksek P kapsamıyla (%0.118) 1. grubu oluştururken artan Cd uygulamaları ile P kapsamı düşmüş, kontrole kıyasla en fazla düşüş 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda (%22) olmuştur. Araştırmada 9 mg Cd kg⁻¹ dozu ile 3 mg Cd kg⁻¹ dozu arasında istatistiksel olarak fark çıkmadığı gibi, diğer çeşitlerin çoğu konuları ile de bunların arasında istatistiksel olarak fark çıkmamıştır. Meram-2002 çeşidinde artan dozda Cd’a karşı yeşil aksamın P kapsamı azalmış, kontrol konusuna kıyasla en fazla düşüş (%26.4) en son grubu oluşturan 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda görülmüş ve diğer iki doz (1 ve 3 mg Cd kg⁻¹) ile arasındaki fark da istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Selçuklu-97 çeşidinde artan Cd uygulamaları yeşil aksamın Cd kapsamını artırmış, en fazla artış (%26.13) 1 mg Cd kg⁻¹ dozunda saptanarak 1. gruba girmiştir. Söz konusu çeşidin 3 ve 9 mg Cd kg dozlarındaki artışlar ise daha az olmuş ve bu iki konu arasında ve diğer çeşitlerin çoğu konuları arasında istatistiksel olarak fark çıkmamıştır. Kızıltan-91 çeşidinde ise 3 mg Cd kg dozunda yeşil aksamın

P kapsamı kontrole göre %17.85 oranında artmakla birlikte, 1 ve 9 mg kg dozları ile aralarında fark çıkmamıştır. Cd uygulamalarının makarnalık buğday çeşitlerinde yeşil aksamın P kapsamı üzerine etkisi çeşite bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Fosfor içeriğinin birçok makro ve mikro element içeriği ile özellikle Na, Ca, B, N, K ve Mg içeriği ile ilişkili olduğu söylenebilir. Bitkilerin Cd toleransları genotipe ve organa bağlı olarak da değişmektedir. Dolayısıyla bu tip sistemlerde antagonistik ve sinerjik karmaşık mekanizmalar gelişebilmektedir. Bazı araştırmacılar da (Hlusek ve Richter 1992, Navarro-Pedreno ve ark. 1997, Cieccko ve ark. 2001 ve Zhao ve ark. 2005) Cd uygulaması ile bitkilerin P alımlarının çeşite ve organa bağlı olarak değiştiğini ve bu iki element arasındaki interaksiyonun karmaşık olduğunu rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.13. Kadmiyum Dozlarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları

Buğday çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Y. Aks Verimi (g saksı ⁻¹)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
Meram-2002	0	2.06	0.106 ab	2.414	49.85	0.191 g
	1	1.52	0.095 bc	2.319	48.95	3.074 fg
	3	1.78	0.096 bc	2.251	50.05	8.356 e
	9	1.94	0.078 d	2.349	56.17	20.132 cd
Selçuklu-97	0	1.85	0.088 cd	2.097	46.27	0.651 g
	1	1.99	0.110 a	2.334	46.35	8.198 e
	3	2.23	0.093 bc	2.309	44.02	18.208 d
	9	1.77	0.092 bc	2.251	55.05	46.056 a
Kızıltan-91	0	1.43	0.084 cd	2.141	42.77	0.479 g
	1	1.66	0.091 bc	2.155	46.77	3.857 f
	3	1.68	0.099 bc	2.259	40.65	9.835 e
	9	1.52	0.095 bc	2.330	54.67	21.711bc
Ç-1252	0	1.68	0.118 a	2.321	43.52	0.202 g
	1	1.64	0.107 ab	2.216	45.97	2.874 fg
	3	2.26	0.090 bc	2.086	31.77	7.618 e
	9	1.72	0.093bc	2.384	50.25	24.532 b
LSD (P < 0.05)		-	0.01457	-	-	2.982

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Makarnalık buğday çeşitlerinde yeşil aksamın Cd kapsamı 0.191 mg kg⁻¹ (Meram-2002, 0 mg Cd kg⁻¹) ile 46.056 mg kg⁻¹ (Selçuklu-97, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Uygulanan Cd dozlarındaki artışa paralel olarak bütün çeşitlerin yeşil aksamının Cd kapsamı önemli bir biçimde artmıştır (Şekil 4.7). Uygulama dozlarına bağlı olarak yeşil aksamın Cd kapsamındaki artışlar çeşitten çeşide çok farklı olmuştur. Yeşil aksamın Cd kapsamındaki artış Selçuklu çeşidinde diğer çeşitlerle kıyasla oldukça fazla çıkmıştır. Bu çeşidin 9 mg Cd kg⁻¹ dozu 46.056 mg kg⁻¹ Cd akümüle ederek 1. grubu oluşturmuştur. Bunu 24.532 mg Cd kg⁻¹ akümüle eden Ç-1252'nin 9 mg Cd kg⁻¹ dozu izlemiştir. Bütün çeşitlerin kontrol (0 mg Cd kg⁻¹) konuları en düşük düzeyde Cd biriktirerek en son grubu oluşturmuşlardır. Yukarıdaki bölümlerde detaylı olarak açıklandığı gibi bitkide ağır metal akümüasyonu toprak, bitki ve çevresel faktörler arasında kompleks etkileşimin bir fonksiyonudur. Cd bitkiler için toksik bir element olup bitkinin Cd alımı genetik özellikler ile ilişkilidir. Bitki çeşitleri ve aynı bitkinin genotipleri; Cd alımı, tutulması, transferi ve bağlanması bakımından büyük farklılıklar gösterir. Toprağın Cd kapsamına bağlı olarak bitki Cd kapsamının arttığı ve Cd akümüle etme kabiliyetleri arasında bitki çeşitlerinin farklılık gösterdiği ile ilgili olarak birçok araştırma sonuçları mevcuttur (McLaughlin ve ark. 1994, Dunbar ve ark. 2003, Greger ve Löfstedt 2004, Wu 2005, Cheng ve ark. 2006, Hassan ve ark. 2006, He ve ark. 2006).

Artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının makarnalık buğday çeşitlerinde yeşil aksamın Zn kapsamına etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.14'de verilmiştir. Söz konusu Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, çeşit bazında Meram-2002 51.25 mg Zn kg⁻¹ kapsamı ile en yüksek düzeyde Zn akümüle ederek 1. grubu oluşturmuştur. Bunu Selçuklu-97 (47.92 mg Zn kg⁻¹) ve Kızıltan-91 (46.22 mg Zn kg⁻¹) çeşitleri izlemiş ve her iki çeşit de 2. grubu oluşturmuştur. Ç-1252 42.88 mg Zn kg⁻¹ içeriği ile en son gruba girmiştir. Uygulanan Cd dozlarına bağlı olarak çeşitlerin yeşil aksamında Zn içeriği farklılık göstermiş 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda çeşitler 54.04 mg Zn kg⁻¹ ortalaması ile en yüksek düzeyde Zn kapsamına sahip olup 1. grubu oluşturmuş ve bunu 0 ve 1 mg Cd kg⁻¹ dozları takip ederek 2. grubu oluşturmuşlardır. Araştırmada 3 mg Cd kg⁻¹ dozu da 44.92 mg Zn kg⁻¹

ortalamasıyla 3. grubu oluşturmuştur. Tahılların Zn akümülyasyonu açısından da türler arasında olduğu gibi aynı tür içerisinde yer alan farklı genotiplerinde çinkoya olan tepkilerinin farklı olduğu belirlenmiştir. Söz konusu bu farklılığın esas temelini; türlerin ve aynı tür içerisinde bazı çeşitlerin topraktaki kullanılamaz haldeki çinkoyu yararlı hale dönüştürmek için toprağa (rizosfere) fitosideroforlar denilen amino asit yapısındaki bazı organik bileşikler salgılamaları, daha kuvvetli kök sistemine sahip olmaları ve fizyolojik olaylarda mevcut çinkoyu daha etkin kullanabilmeleri gibi faktörler oluşturmaktadır (Çakmak 1996a ve 1996b). Bitkinin Zn alımı üzerine Cd'un etkisi ile ilgili çalışmalar ise tutarlı değildir. Kimi araştırmacılar etkinin antagonistik olduğunu belirtirken, kimileri ise sinerjik olduğunu rapor etmişlerdir (Smilde ve ark. 1992, Oliver ve ark. 1994, Nan ve ark. 2002, Liu ve ark. 2003 ve Köleli ve ark. 2004). Sonuç olarak araştırmacılar arasında bu konudaki genel görüş 'toprakta yeterli Zn var ise Cd'un etkisi sinerjik, eğer toprakta Zn yeterli düzeyde değilse etkisi antagonistiktir' şeklindedir. Çalışmamızda toprağa temel gübreleme olarak Zn uygulandığından eksiklik söz konusu olmadığı için Cd ile birlikte bitkinin Zn kapsamı da artmıştır.

Çizelge 4.14. Makarnalık Buğday Çeşitlerinin ve Kadmiyum Dozlarının Yeşil Aksamın Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Çeşit	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Meram-2002	51.25 a	0	45.61 b
Selçuklu-97	47.92 b	1	47.01 b
Kızıltan-91	46.22 b	3	41.62 c
Ç-1252	42.88 c	9	54.04 a
<i>LSD (P < 0.05)</i>		3.259	

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Kadmiyum uygulamalarının makarnalık buğday çeşitlerinde tane verimi ile tanede P, K, Zn ve Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre çeşidin P, K ve Cd, uygulama dozlarının verim, P, K, Zn ve Cd, 'çeşit x doz' interaksyonunun ise verim, P, K ve Cd kapsamlarına etkileri istatistiksel olarak önemli (P < 0.05 ve P < 0.01) bulunmuştur (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Kadmiyum Uygulamalarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri İle ilgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması				
		Tane Verimi	P	K	Zn	Cd
Çeşit (Ç)	3	1.967	0.010828**	0.007055**	214.07	76.714**
Doz (D)	3	21.201**	0.005017*	0.005211**	456.26**	119.352**
Ç x D	9	13.048**	0.005275**	0.003409*	146.41	17.080**
Hata	48	2.474	0.001683	0.001228	92.79	5.694
CV		4.89	4.25	9.83	6.70	73.18

**($P < 0.01$), *($P < 0.05$)

Diğer taraftan artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının makarnalık buğday çeşitlerinde tanenin bazı özelliklerine etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.16'de verilmiştir.

Makarnalık buğdayda tane verimi $3.45 \text{ g saksı}^{-1}$ (Selçuklu-97, 9 mg Cd kg^{-1}) ile $9.82 \text{ g saksı}^{-1}$ (Selçuklu-97, 1 mg Cd kg^{-1}) arasında değişmiştir. Çeşitlerin artan dozda uygulanan Cd'a karşı tepkileri de birbirinden oldukça farklı olmuştur. Cd uygulamalarına en bariz tepkiyi Selçuklu-97 çeşidi vermiştir. Söz konusu çeşitte 1 mg Cd kg^{-1} dozunda tane verimi kontrolle birlikte 1. grubu oluşturmuş ve diğer çeşitlerin birçok konusu ile aralarında istatistiksel farklılık çıkmamıştır. Fakat 3 ve 9 mg Cd kg^{-1} dozlarında önemli derecede verim düşüşü oluşmuştur. Selçuklu-97'nin verimi kontrol konusuna kıyasla 9 mg Cd kg^{-1} dozunda %64.06 azalarak en son grubu oluştururken, 3 mg Cd kg^{-1} dozunda ise %48.75 oranında azalmış ve 3 mg Cd kg^{-1} dozu ile aralarında istatistiksel farklılık çıkmamıştır. Bu etki deneme süresince de görsel olarak tespit edilmiştir (Resim 4.1). Mera-2002'de artan dozlarda Cd uygulamasının tane verimine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmadığı gibi, diğer çeşitlerin çoğu konuları ile de aralarında istatistiksel farklılık bulunmamıştır. Diğer iki çeşitte (Kızıltan-91 ve Ç-1252) ise 3 mg Cd kg^{-1} dozunda tane verimleri artarken, 9 mg Cd kg^{-1} uygulamasında önemli ölçüde düşüşler görülmüştür. Artan Cd uygulamaları ekmeklik buğday çeşitlerinde yeşil aksam verimi üzerine olduğu gibi makarnalık buğday çeşitlerinin tane verimi üzerine de benzer etki yapmıştır. Özellikle 9 mg Cd kg^{-1} dozunda tüm çeşitlerin tane verimi önemli derecede düşerken,

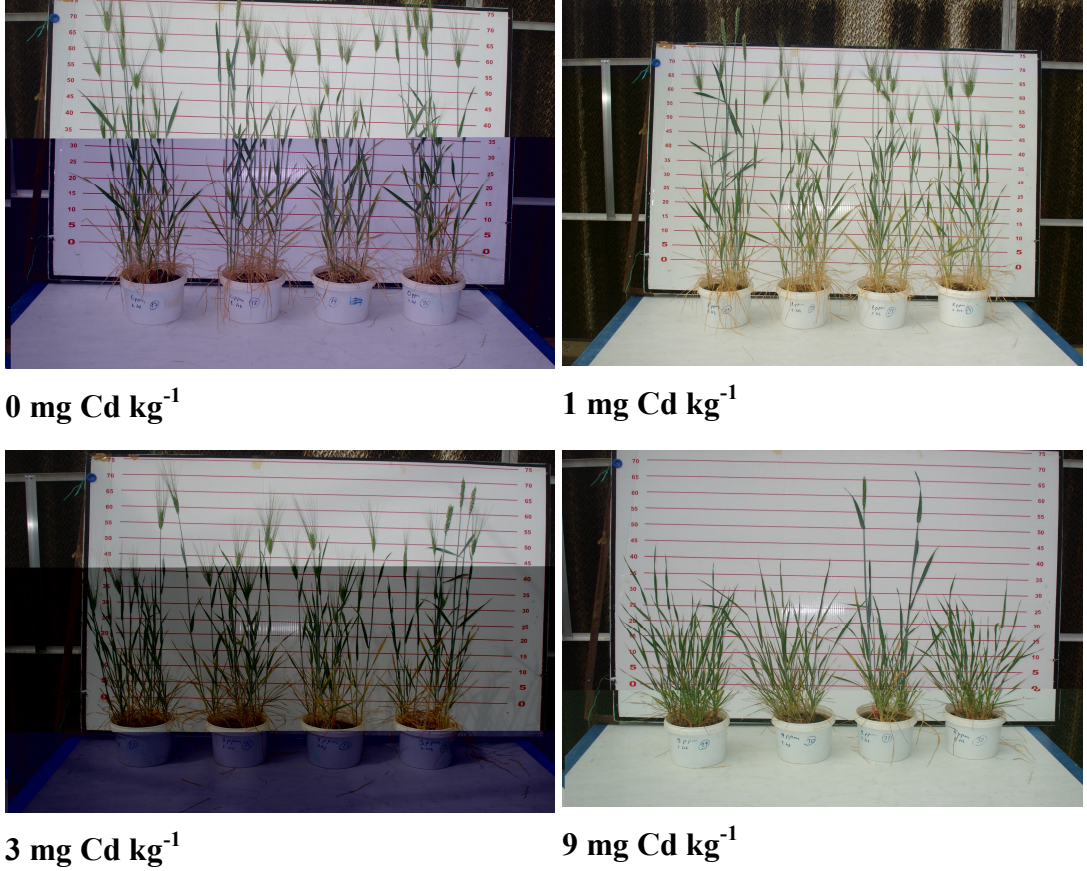
Çizelge 4.16. Kadmiyum Dozlarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları

Buğday çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Tane verimi (g sakı ⁻¹)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
Meram-2002	0	7.01 cdef	0.284 bcd	0.541 a	61.12	0.047 e
	1	7.48 bcde	0.260 cde	0.515 abc	53.65	0.963 de
	3	7.50 bcde	0.208 f	0.480 cde	49.40	1.579 cde
	9	7.34 cde	0.223 ef	0.495 bcd	55.95	3.595 bcd
Selçuklu-97	0	9.60 ab	0.284 bcd	0.493 bcd	50.10	0.180 e
	1	9.82 a	0.255 def	0.476 cde	48.77	2.941 bcde
	3	4.92 fg	0.314 abc	0.533 ab	66.42	10.918 a
	9	3.45 g	0.346 a	0.546 a	70.30	10.950 a
Kızıltan-91	0	7.64 abcde	0.337 ab	0.552 a	49.00	0.057 e
	1	7.70 abcde	0.253 def	0.462 de	44.72	1.098 de
	3	8.67 abc	0.244 def	0.483 cde	46.25	1.997 cde
	9	6.22 def	0.232 def	0.489 cde	59.90	4.506 bc
Ç-1252	0	4.92 fg	0.251 def	0.466 de	55.47	0.061 e
	1	8.69 abc	0.227 ef	0.440 e	50.20	1.003 de
	3	8.07 abcd	0.257 def	0.460 de	50.30	2.222 cde
	9	5.50 efg	0.249 def	0.496 bcd	61.95	5.756 b
LSD (P < 0.05)		2.236	0.05833	0.04982	13.70	3.393

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

genellikle düşük Cd dozlarında (1 ve 3 mg Cd kg⁻¹) tane verimi artmıştır. Makarnalık buğday çeşitlerinde yüksek Cd dozlarında tane verimindeki düşüş, topraktaki yüksek Cd konsantrasyonuna bağlı olarak fotosentez, solunum, azot prosesi gibi metabolik fonksiyonların bozulmasından kaynaklanmış olabilir. Çeşitler arasındaki verim azalmasındaki farklılığın nedeni ise genotipler arası Cd'ü tolere etme kapasitelerinin farklılığından ileri gelmiş olabilir. Ayrıca Cd'un verim azalmasına neden olduğu birçok araştırmacının (Smilde 1981, Zhang ve ark. 2000, Zhang ve ark. 2002b, Adiloğlu 2002, Öztürk ve ark. 2003, Cieccko ve ark. 2004, Köleli ve ark. 2004, Adiloğlu ve ark. 2005, Khan ve ark. 2006, Dheri ve ark. 2007) raporlarında da belirtilmiştir. Düşük Cd dozlarında görülen verim artışı ise çeşitin düşük dozda Cd konsantrasyonuna toleranslı olduğunu düşündürmekle birlikte somut bir açıklama yapılabilmesi için daha detaylı araştırmalara ihtiyaç vardır. Bununla birlikte Cd'un

düşük dozlarda bitki büyümesini teşvik ettiğini belirten kaynaklar da mevcuttur (Khan ve ark. 2006 ve Goncalves 2009).



Resim 4.1. Selçuklu-97 makarnalık buğdayın gelişimine Cd dozlarının etkileri

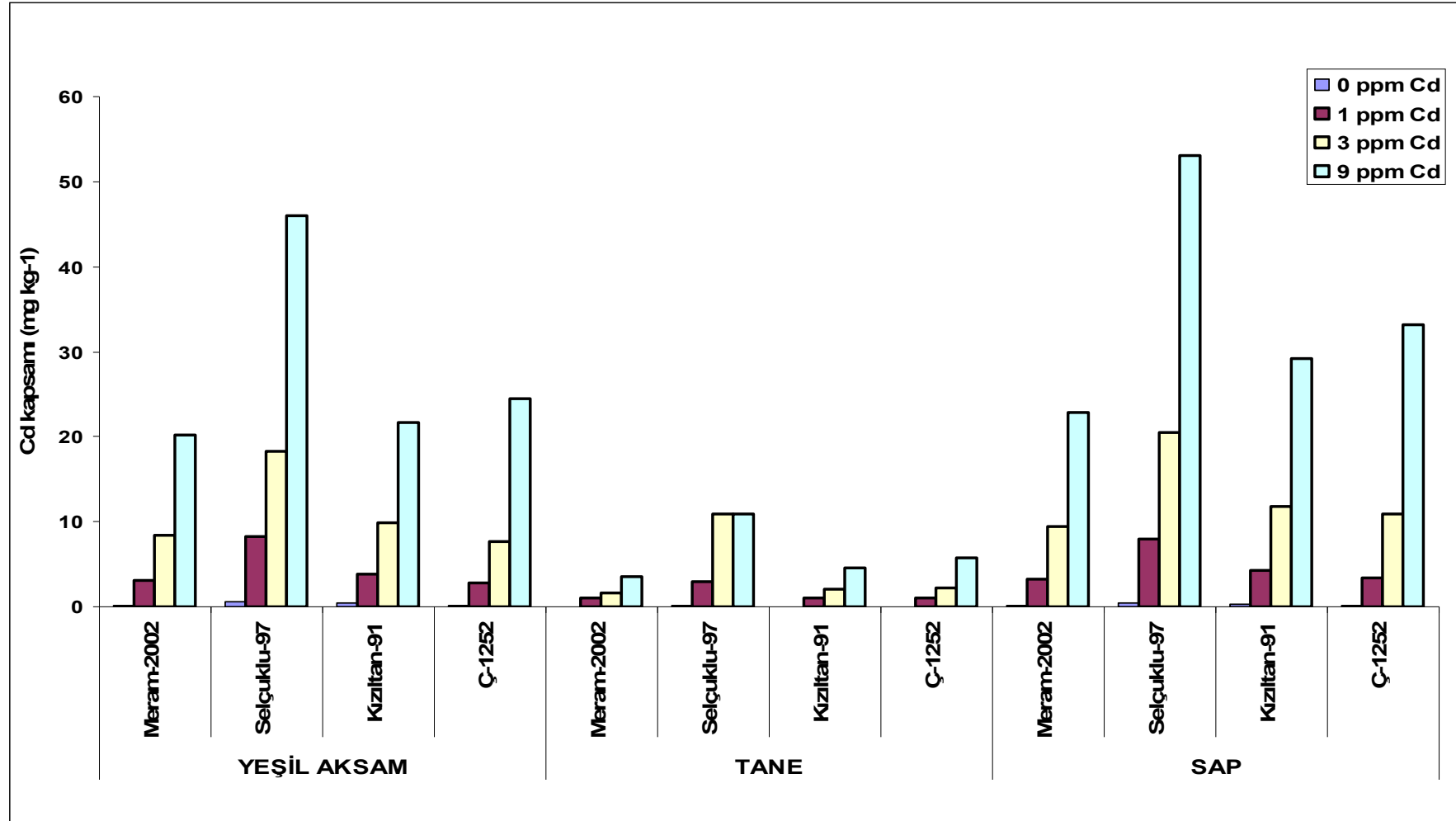
Makarnalık buğday çeşitlerinde tanenin P kapsamı %0.208 (Meram-2002, 3 mg Cd kg⁻¹) ile %0.346 (Selçuklu-97, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Çeşitlerin artan oranlarda uygulanan Cd dozlarına tepkileri farklı olmuştur. Örneğin Meram-2002 ve Kızıltan-91 çeşitlerinde artan dozlarda uygulanan Cd, tanelerin P kapsamını düşürürken, Selçuklu-97’de artırmış, Ç-1252’de ise etki etmemiştir. Meram-2002’nin 3 mg Cd kg⁻¹ ve Kızıltan-91’in 9 mg Cd kg⁻¹ dozlarında P kapsamı kontrole kıyasla sırasıyla %26.7 ve %31.2 oranında azalırken, Selçuklu-97’nin 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda kontrole kıyasla %21.8 oranında artmıştır. Selçuklu-97’nin 9 mg Cd kg⁻¹ konusu en yüksek P kapsamıyla 1. grubu oluştururken, Kızıltan-91’in 0 mg Cd kg⁻¹ konusu ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Meram-2002 çeşidinin 3 mg Cd kg⁻¹ konusu %0.208 P kapsamıyla en son grubu oluşturmuş ve kontrole kıyasla P kapsamının %31.2 oranında azaldığı saptanmıştır.

Makarnalık buğday çeşitlerinde tanenin K içerikleri %0.440 (Ç-1252, 1 mg Cd kg⁻¹) ile %0.552 (Kızıltan-91, 0 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Çeşitlerin artan oranlarda uygulanan Cd dozlarına tepkileri de farklı olmuştur. Örneğin Kızıltan-91 çeşidinin kontrol dozu en yüksek düzeyde K muhtevası (%0.552) ile 1. grubu oluştururken, diğer dozlarda K kapsamı düşmüş ve en önemli düşüş %18 ile 1 mg Cd kg⁻¹ dozunda olmuştur. Meram-2002’de de benzer bir etki görülmüş, artan Cd uygulamaları tanenin K kapsamını azaltmış ve en fazla düşüş %11.3 ile 3 mg Cd kg⁻¹ dozunda görülmüştür. Selçuklu-97 ve Ç-1252 çeşitlerinde artan dozlarda uygulanan Cd, tanelerin potasyum kapsamını 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda artırmıştır. Selçuklu-97’nin 9 mg Cd kg⁻¹ dozu da K kapsamı açısından 1. gruba girmiş ve kontrole kıyasla %10.7 oranında artmıştır. Aynı şekilde Ç-1252’nin 1 mg Cd kg⁻¹ dozunda da K içeriği %6.2 oranında artarken Ç-1252’nin 1 mg Cd kg⁻¹ konusu %0.440 K kapsamıyla en son grubu oluşturmakla birlikte, diğer çeşitlerin çoğu konuları ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Artan dozda Cd uygulamalarının makarnalık buğday çeşitlerinin tane K kapsamlarına etkisi çeşite bağlı olarak değişmiştir. Topraktaki Cd kontaminasyonu toprakta oluşturduğu kompleks mekanizmalardan dolayı bitki çeşidine ve organına bağlı olarak bir artış veya azalışa sebep olabilmektedir. Cieccko ve ark. (2004a)’nın bulgularına göre, toprak Cd kontaminasyonu yulaf sapı ve kökü ile mısır kökünün K kapsamında bir artışa neden olurken yulaf tanesi ile yeşil aksamı ve sarı acı bakla ve kırmızı turpun kökünde bir azalışa neden olmuştur. Ayrıca bitki genotipleri arasında da K kapsamı açısından farklılıklar vardır. Zhang ve ark. (2000) bitki organlarının K kapsamı açısından buğday genotipleri arasında önemli ölçüde farklılık olduğunu belirtmişlerdir. Araştırma sonuçlarımız bu bulgularla büyük ölçüde örtüşmektedir.

Makarnalık buğday çeşitlerinin tane Cd kapsamları 0.047 mg kg⁻¹ (Meram-2002, 0 mg Cd kg⁻¹) ile 10.950 mg kg⁻¹ (Selçuklu-97, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Uygulanan Cd dozlarına paralel olarak bütün çeşitlerin tane Cd içeriği önemli biçimde artmıştır (Şekil 4.7). Uygulama dozlarına bağlı olarak çeşitlerin tane Cd kapsamları arasında da istatistiksel olarak önemli ve farklı çıkmıştır. Makarnalık buğday çeşitlerinde yeşil aksamın Cd kapsamında olduğu gibi uygulanan Cd dozlarına bağlı olarak tane Cd kapsamındaki artış yine Selçuklu-97 çeşidinde diğer çeşitlere kıyasla çok daha fazla olmuştur. Bu çeşidin 9 mg Cd kg⁻¹ dozu 10.950 mg

kg^{-1} Cd akümüle ederek 1. grubu oluşturmuştur. Aynı çeşidin 3 mg Cd kg^{-1} dozu da $10.958 \text{ mg kg}^{-1}$ Cd akümüle ederek aynı grupta yer almıştır. Bunu 5.756 mg kg^{-1} Cd biriktiren Ç-1252'nin 9 mg Cd kg^{-1} dozu izlemiş ve en fazla Cd akümüle eden 2. grubu oluşturmuştur. Her üç çeşide ait kontrol (0 mg Cd kg^{-1}) dozları arasında istatistiksel anlamda bir fark çıkmamış ve en düşük düzeyde Cd akümüle ederek en son grubu oluşturmuşlardır. Topraktaki Cd kapsamı arttıkça bitki organlarındaki Cd kapsamı da buna paralel olarak artmıştır. Bulgularımız bazı araştırmacıların (Chang ve ark. 1982, Lijbben ve Sauerbeck 1991, Adiloğlu 2002, Jansson 2002, Wu 2005 ve Khan ve ark. 2006) benzer bulguları ile örtüşmektedir.

Artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının makarnalık buğday çeşitlerinde tanenin Zn kapsamına etkileri ve Duncan grupları ise Çizelge 4.17'de verilmiştir. Cd uygulamalarına bağlı olarak 1 mg Cd kg^{-1} dozunda çeşitlerin Zn kapsamı bir düşüş (%8.49) göstermiş, 3 mg Cd kg^{-1} dozunda tekrar kontrol konusunun Zn kapsamını yakaladığı gibi 9 mg Cd kg^{-1} dozunda ise çeşitlerin Zn kapsamı kontrole kıyasla %15.55 oranında artmıştır. Araştırmada 9 mg Cd kg^{-1} dozu en yüksek Zn kapsamı ile (62.02 mg kg^{-1}) 1. grubu oluştururken; $0, 1$ ve 3 mg Cd kg^{-1} dozları (sırasıyla 53.92 mg kg^{-1} , 49.34 mg kg^{-1} ve 53.09 mg kg^{-1}) 2. gruba girmiştir. Sonuç olarak artan dozda Cd uygulamaları makarnalık buğdayda tanenin Zn kapsamını artırmıştır. Cd ile kontamine olmuş topraklarda yüksek düzeyde Cd bitkinin metabolik fonksiyonlarını değiştirmektedir. Böyle topraklarda bitkinin Zn kapsamı toprakta Zn seviyesinin yeterli veya eksik olma koşullarına göre değişmektedir. Yeterli Zn koşullarında bitkinin Zn akümüasyonu Cd ile birlikte artmaktadır. Sonuçlarımız diğer bazı araştırmacıların (Smilde ve ark. 1992, Nan ve ark. 2002, Liu ve ark. 2003, Köleli ve ark. 2004, Adiloğlu ve ark. 2005 ve Zhao ve ark. 2005) bu yöndeki bulgularıyla örtüşmektedir.



Şekil 4.7. Kadmiyum uygulamalarının makarnalık buğday çeşitlerinde yeşil aksam, tane ve sapın Cd kapsamlarına etkileri

Çizelge 4.17. Kadmiyum Dozlarının Makarnalık Buğdaylarda Tanenin Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Tanede Zn (mg kg ⁻¹)
0	53.92 b
1	49.34 b
3	53.09 b
9	62.02 a
<i>LSD (P < 0.05)</i>	6.848

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Kadmiyum uygulamalarının makarnalık buğday çeşitlerinde sap verimi, sapta P, K, Zn ve Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre çeşidin; verim, P, K ve Cd, uygulama dozlarının Zn ve Cd, 'çeşit x doz' interaksyonunun ise verim ve Cd kapsamlarına etkileri istatistiksel olarak önemli (P < 0.05 ve P < 0.01) bulunmuştur (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Kadmiyum Uygulamalarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması				
		Sap Verimi	P	K	Zn	Cd
Çeşit (Ç)	3	52.015*	0.0024305**	0.13528**	23.32	407.00**
Doz (D)	3	29.139	0.0010624	0.05562	116.51*	3724.14**
Ç x D	9	39.540*	0.0004031	0.05043	49.40	131.55**
Hata	48	17.112	0.0004398	0.02865	37.55	12.16
CV		9.33	29.87	5.23	4.52	38.28

** (P < 0.01), * (P < 0.05)

Ayrıca artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının makarnalık buğday çeşitlerinde sapın bazı özelliklerine etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.19'da verilmiştir. Makarnalık buğday çeşitlerinde sap verimi 12.81 g saksı⁻¹ (Selçuklu-97, 9 mg Cd kg⁻¹) ile 25.15 g saksı⁻¹ (Kızıltan-91, 3 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Makarnalık buğdaylarda sap verimlerinin uygulanan Cd'a tepkileri farklı olmuştur. Örneğin Kızıltan-91'de 3 mg Cd kg⁻¹ dozu 25.15 g saksı⁻¹ verimiyle 1. grubu oluşturarak verim kontrole göre %28.91 oranında artmıştır. Bu çeşitte 9 mg Cd kg⁻¹

Çizelge 4.19. Kadmiyum Dozlarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları

Buğday Çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Verim (g saksı ⁻¹)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
Meram-2002	0	18.35 cde	0.080	1.701	27.00	0.092 f
	1	19.51 abcd	0.050	1.581	24.85	3.176 ef
	3	24.36 ab	0.056	1.52	27.25	9.498 d
	9	19.78 abcd	0.034	1.776	25.80	22.854 c
Selçuklu-97	0	21.26 abcd	0.033	1.786	22.72	0.376 f
	1	20.84 abcd	0.045	1.841	23.67	7.903 de
	3	15.48 de	0.033	1.911	22.97	20.489c
	9	12.81 e	0.034	1.940	35.27	53.134 a
Kızıltan-91	0	19.51 abcd	0.028	1.609	22.22	0.224 f
	1	17.74 cde	0.024	1.868	23.32	4.330 ef
	3	25.15 a	0.032	1.706	28.32	11.720d
	9	22.37 abc	0.023	1.658	30.07	29.171 b
Ç-1252	0	17.12 cde	0.058	1.740	31.45	0.195 f
	1	19.06 bcd	0.053	1.613	26.87	3.425 ef
	3	19.33 abcd	0.047	1.822	24.15	10.972 d
	9	16.27 de	0.030	1.992	31.65	33.221 b
LSD (P < 0.05)		5.881	-	-	-	4.958

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

dozunda verim 3 mg Cd kg⁻¹ dozundaki verimin biraz altına düşmüş, ama yine de kontrol konusunun üstünde (%14.60) bir verim sağlanmıştır. Selçuklu-97 çeşidi diğer parametrelerde olduğu gibi verimde de artan Cd uygulamalarına karşı en bariz tepkiyi göstermiş artan Cd ile sap verimi de azalmıştır. En fazla azalma (%39.74) en son grubu oluşturan 9 mg Cd kg⁻¹ konusunda görülmüştür. Deneme süresince gelişim bozukluğu görsel olarak da tespit edilmiştir. Meram-2002 çeşidinde de artan Cd uygulamaları ile verimde 3 mg Cd kg⁻¹ dozuna kadar artmış (%32.75), 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda tekrar 1 mg Cd kg⁻¹ dozu seviyesine düşmüştür. Ç-1252’de ise verim kontrole göre 3 ve 9 mg Cd kg⁻¹ dozlarında artmış, 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda ise kontrolün bir miktar altına düşmüş, fakat yine de kontrol konusuyla aynı gruba girmiştir. Yüksek dozda Cd uygulaması (9 mg kg⁻¹ Cd) makarnalık buğday çeşitlerinin sap verimini düşürürken daha düşük dozlarda (1 ve 3 mg Cd kg⁻¹) sap

verimini artırmıştır. Yüksek Cd konsantrasyonuna bağlı olarak metabolik fonksiyonların bozulması sonucunda verimde düşme ve genotipler arası Cd'ü tolere etme kapasitelerinin farklılığından dolayı da genotipler arası verim düşüşlerinde farklılıklar olabilmektedir. Sanita di Toppi ve Gabbrielli (1999) ve Zhang'ın (2002b) bulguları da bu yöndedir. Düşük Cd dozlarında görülen verim artışı ise çeşitin düşük Cd dozlarına toleranslı olabileceğine işaret etmekle birlikte net bir açıklama yapabilmek için daha detaylı araştırmalara ihtiyaç vardır. Bununla birlikte Khan ve ark. (2006) ve Goncalves (2009) Cd'un düşük dozlarda bitki büyümesini teşvik ettiğini bildirmişlerdir.

Çeşitler arasındaki sap verimi farklılığının nedeni genotiplerin Cd elementine karşı toleranslarıyla ilişkili olabilir. Nitekim elde edilen sonuçlar bazı araştırmacıların (Ciećko ve ark. 2004c, Ciećko ve ark. 2001, Dudka ve ark. 2004, He ve ark. 2006, Khan ve ark. 2006, Lijbben ve Sauerbeck 1991 ve Singh ve ark. 1989) bu yöndeki sonuçlarıyla uyumludur.

Makarnalık buğday çeşitlerinde sapın Cd kapsamı 0.092 mg kg⁻¹ (Meram-2002, 0 mg Cd kg⁻¹) ile 53.134 mg kg⁻¹ (Selçuklu-97, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Uygulanan Cd dozlarındaki artışa bağlı olarak bütün çeşitlerde sapın Cd kapsamı önemli şekilde artmakla birlikte Cd birikimi açısından çeşitler arasında da önemli farklılıklar görülmüştür (Şekil 4.7). Uygulanan Cd dozlarına bağlı olarak sapın Cd kapsamındaki artış aynen yeşil aksam ve tanede olduğu gibi Selçuklu-97 çeşidinde diğer çeşitlere kıyasla çok daha fazla olmuştur. Bu çeşit 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda 53.134 mg kg⁻¹ Cd akümüle ederek 1. grubu oluşturmuştur. Bunu 33.221 mg kg⁻¹ Cd akümüle eden Ç-1252'nin 9 mg Cd kg⁻¹ dozu izlemiş ve en fazla Cd biriktiren 2. grubu oluşturmuştur. Meram-2002 çeşidinin 0 mg Cd kg⁻¹ (kontrol) dozu en düşük düzeyde Cd akümüle ederek diğer çeşitlerin kontrol dozlarıyla birlikte en son grubu oluşturmuştur. Yukarıda açıklandığı gibi aynı eğilim makarnalık buğdayın yeşil aksam ve tane Cd akümülesyonunda da görülmüştü. Bitkiler ağır metalleri tolere etme, absorblama ve bünyelerinde biriktirme açısından birbirlerinden farklılık göstermektedirler. Bitki çeşitleri ve aynı bitkinin genotipleri arasında metal absorpsiyonu açısından ortaya çıkan farklılıklar organların genetiği, bitki çeşitleri arasında morfolojik ve anatomik farklılıklar, iyon değiştirme mekanizmasının fizyolojisi gibi birçok faktör sorumludur (Verloo 1996). Anılan nedenlerden dolayı

ekmeklik buğday çeşitlerinde sapın Cd kapsamı farklılık göstermiş olabilir. Sonuçlarımız Lijben ve Sauerbeck (1991), Singh ve ark. (1989), Ciećko ve ark. (2001), Ciećko ve ark. (2004c), Dudka ve ark. (2004) ve He ve ark. (2006)'nın buğday ve arpa da dahil çeşitli test bitkileri ile yürüttükleri çalışmalarda bitki çeşitlerinin farklı düzeyde Cd akümüle ettikleri ve artan Cd dozlarının samanda Cd kapsamını artırdığı yönündeki sonuçlarıyla uyumludur.

Artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının makarnalık buğday çeşitlerinde sapın bazı özelliklerine etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.20'de verilmiştir. Toprağa artan miktarlarda uygulanan Cd, makarnalık buğday çeşitlerinde sapın P ve K kapsamında istatistiksel olarak farklılık yaratmıştır. Meram-2002 çeşidi en yüksek P içeriği ile ilk grubu oluştururken, Ç-1252 ile aralarında istatistiksel anlamda fark çıkmamıştır. Kızıltan-91 çeşidi ise %0.027 P içeriği ile en son grubu oluşturmuştur. Selçuklu-97 çeşidinin Kızıltan-91 ve Ç-1252 ile aralarındaki fark da istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır. Potasyum içerikleri açısından ise Selçuklu-97 %1.869 K kapsamıyla 1. grubu oluştururken, Ç-1252 ile aralarındaki fark istatistiksel bakımdan önemli bulunmamıştır. Meram-2002 %1.660 K kapsamı ile en son grubu oluşturmuş ve Kızıltan-91 ile aralarındaki fark istatistiksel bakımdan önemli bulunmamıştır. Bitkilerin K ve P kullanım etkinlikleri bitkinin çeşidi, genotipi ve organlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çeşitler arası farklılığın nedeni de bu olabilir. Iqbal ve ark. (2001) P kullanım etkinliği açısından da genotipler arasında önemli derecede farklılık olduğunu saptamışlardır. Guoping ve ark. (1999) tarafından yazlık buğdayda K alımı ve kullanım etkinliğinin genotipik farklılıklarını araştırmak amacıyla yürütülen tarla denemesinde genotipler arası K alımı, konsantrasyonu ve K kullanım etkinliği açısından farklılık olduğu gibi bitki organları arasında da belirtilen özelliklerde farklılık olduğu tespit edilmiştir. Dessougi (2002) yazlık buğday, yazlık arpa ve şeker pancarının K etkinliğini belirlemek amacıyla kontrollü şartlar altında kumlu-killi topraklarda yürüttüğü çalışmasında, bitki çeşitleri arasında K etkinliklerinin farklı olduğunu, buğdayın arpa ve şeker pancarından daha yüksek agronomik K etkinliğine sahip olduğunu ve toprak çözeltisinde düşük düzeyde K olduğunda her iki tahılda da K akışımının eksiklik belirtilerine tepki geliştirerek zamanla arttığını rapor etmiştir.

Çizelge 4.20. Buğday Çeşidi ve Kadmiyum Dozlarının Sapın Fosfor, Potasyum ve Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Çeşit	P (%)	K (%)	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Meram-2002	0.055 a	1.660 c	0	25.85 b
Selçuklu-97	0.036 bc	1.869 a	1	24.68 b
Kızıltan-91	0.027 c	1.711 bc	3	25.67 b
Ç-1252	0.046 ab	1.792 ab	9	30.70 a
<i>LSD (P < 0.05)</i>	<i>0.01491</i>	<i>0.1203</i>	<i>LSD (P < 0.05)</i>	<i>4.356</i>

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Toprağa uygulanan Cd dozları makarnalık buğday çeşitlerinde sapının Zn kapsamlarını istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemiş ve 9 mg Cd kg dozu 30.70 mg kg⁻¹ Zn içeriği ile 1. grubu oluştururken, 0, 1 ve 3 mg kg⁻¹ Cd dozları (sırasıyla 25.85 mg kg⁻¹, 24.68 mg kg⁻¹ ve 25.67 mg kg⁻¹) 2. gruba girmişlerdir. Toprakta yeterli düzeyde Zn olduğundan Cd uygulaması bitki Zn alımını artırmıştır.

4.3.3. Kadmiyum uygulamalarının arpada bazı özelliklere etkileri

Kadmiyum uygulamalarının arpa çeşitlerinde yeşil aksam verimi ile yeşil aksamın P, K, Zn ve Cd içeriklerine etkileri ile ilgili varyans analiz sonuçlarına göre; çeşitin verim, P, K, Zn, Cd, uygulama dozlarının P, K, Zn ve Cd, 'çeşit x doz' interaksyonunun ise P, Zn ve Cd kapsamlarına etkileri istatistiksel olarak önemli (P < 0.05 veya P < 0.01) bulunmuştur (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21 Kadmiyum Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması				
		Y.Aksam Verimi	P	K	Zn	Cd
Çeşit (Ç)	3	2.0216**	0.00196062**	0.08678*	338.30**	21.81**
Doz (D)	3	0.3872	0.0016693**	0.20534**	956.71**	1550.67**
Ç x D	9	0.3854	0.0021998**	0.02402	109.75**	7.48**
Hata	48	0.3319	0.0002085	0.02427	22.28	1.16
CV		15.45	8.47	2.90	11.80	13.08

** (P < 0.01), * (P < 0.05)

Öbür taraftan artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının arpa çeşitlerinde yeşil aksamın bazı özelliklerine etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.22’de verilmiştir. Arpa çeşitlerinde yeşil aksamının P kapsamı %0.107 (Kalaycı, 9 mg Cd kg⁻¹) ile %0.202 (Avcı, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Çeşitlerin Cd tozlarına tepkileri farklı olmuştur. Burada en önemli tepki Avcı’da görülmüş olup, artan Cd dozlarına karşı yeşil aksamın P kapsamı da paralel bir şekilde artmıştır. Avcı’nın 1. grubu oluşturan 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda yeşil aksamın P kapsamı kontrol konusuna (%0.202) kıyasla %74.1 oranında artmıştır. Fakat 0, 1 ve 3 mg Cd kg⁻¹ dozları arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmadığı gibi diğer çeşitlerin çoğu konularıyla da bu konu arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kral-97 ve Bülbül’de 1 mg Cd kg⁻¹ uygulama dozunda yeşil aksamın P kapsamı bir miktar düşüş göstermiş, 3 ve 9 mg Cd kg⁻¹ dozlarında ise tekrar bir miktar artmıştır. Kalaycı’da ise 1 ve 9 mg Cd kg⁻¹ dozlarında yeşil aksamın P kapsamı artarken 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda ise önemli bir düşüş görülmüş ve bu doz en son grubu oluşturmuştur. Cheng ve ark. (2006) kimi araştırmacılara (Rulkens ve ark. 1998, Seregin ve Ivanov 2001, Verma ve Dubey 2001, Zhang ve ark. 2002, Wang ve ark. 2003) atfen bitkide ağır metal akümülyasyonunun toprak, bitki ve çevresel faktörler arasında kompleks interaksiyonun bir fonksiyonu olduğunu, yüksek bitkilerde ağır metallerin oksidatif strese neden olarak, bitki pigment veya enzimleri içinde diğer gerekli elementlerle yer değiştirerek, bu moleküllerin ve bir çok metabolik proseslerin fonksiyonlarını bozup toksikliğe neden olarak büyüme ve verimi azalttıklarını bildirmişlerdir. Bitkinin belli organları tarafından mineral element alımı sırasında böyle sistemler antagonizm ve sinerjizm etkileri ile ilişkili kompleks mekanizmalar göstermektedir. Cd’un P kapsamına etkisi değişken olup, bitki çeşidi ve bitki organı tarafından belirlenmektedir. Nitekim Cieccko (2004b) ve Zhao (2005) yulaf ve buğday bitkileriyle yaptıkları çalışmalarda, Cd’un P alımı üzerine etkisinin bitki ve organa göre değişerek karmaşık bir interaksiyon sergilediklerini rapor etmişlerdir. Görüldüğü gibi, araştırma sonuçlarımız bu bulgular ile uyumludur.

Arpa çeşitlerinin yeşil aksamında Zn kapsamı 28.35 mg kg⁻¹ (Avcı, 0 mg Cd kg⁻¹) ile 61.45 mg kg⁻¹ (Bülbül, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Artan dozlarda uygulanan Cd arpa bitkisinde yeşil aksamın Zn kapsamını genellikle farklı oranlarda artırmakla birlikte, en yüksek artışlar bütün çeşitlerin 9 mg Cd kg⁻¹ dozlarında

Çizelge 4.22. Kadmiyum Dozlarının Arpa Çeşitlerinde Yeşil Aksam Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları

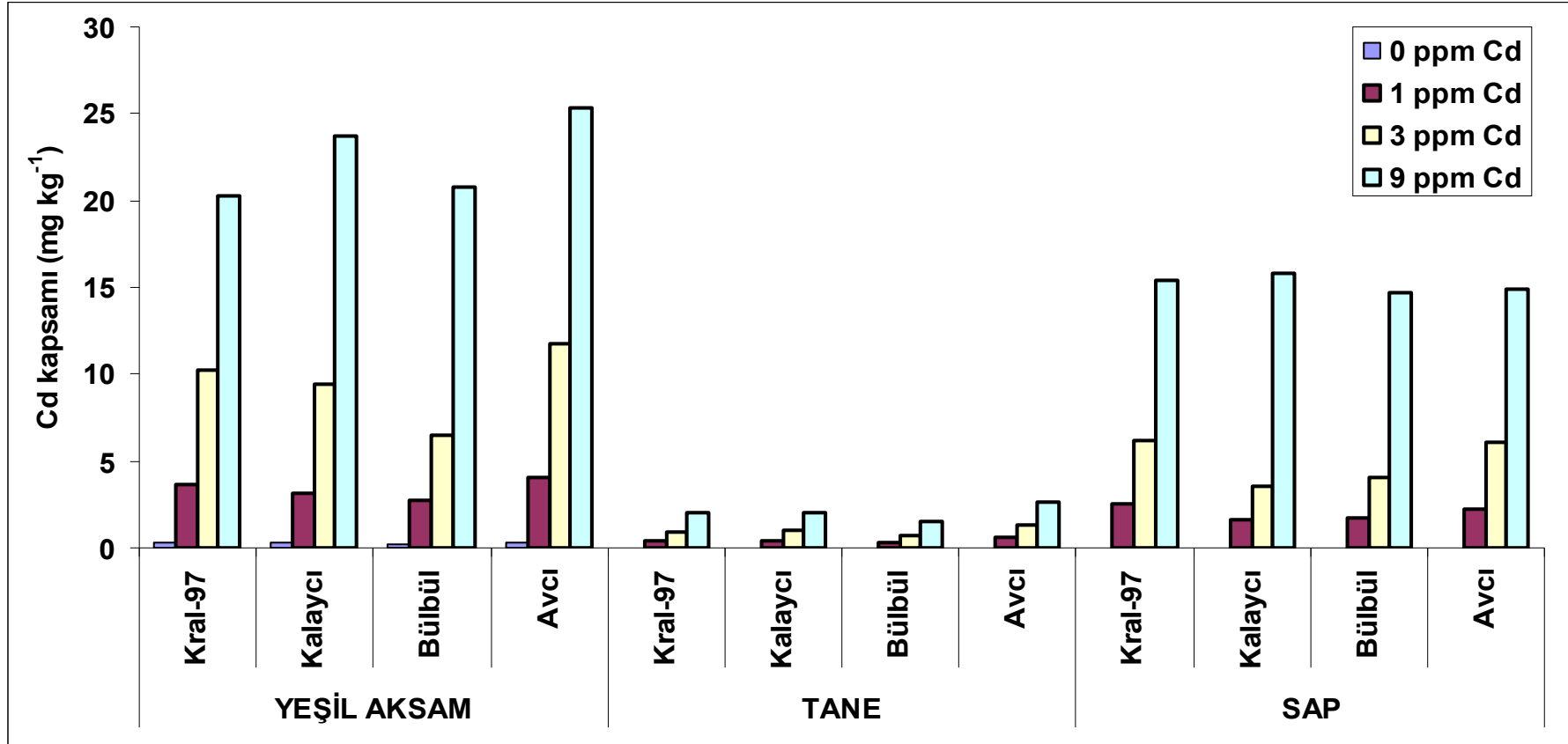
Arpa çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Y.AksVerimi (g saksı ⁻¹)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
Kral	0	2.08	0.117 cd	2.588	41.02 cde	0.340 h
	1	1.81	0.112 cd	2.587	38.67 def	3.649 g
	3	2.1b	0.127 bcd	2.573	42.50 cd	10.275 de
	9	1.71	0.113 cd	2.720	52.90 b	20.311 c
Kalaycı	0	2.57	0.120 bcd	2.485	35.95 defgh	0.349 h
	1	2.93	0.129 bcd	2.456	33.42 fghij	3.133 g
	3	2.76	0.147 b	2.592	42.20 cd	9.469 e
	9	2.61	0.107 d	2.772	47.35 bc	23.736 b
Bülbül	0	2.62	0.130 bc	2.376	30.00 hij	0.199 h
	1	2.52	0.108 d	2.296	31.35 ghij	2.703 g
	3	2.63	0.133 bc	2.374	35.27 efghi	6.486 f
	9	2.04	0.132 bc	2.749	61.45 a	20.730 c
Avcı	0	1.75	0.116 cd	2.465	28.35 j	0.254 h
	1	1.61	0.121 bcd	2.486	28.62 ij	4.040 g
	3	2.61	0.133 bc	2.530	36.22 defgh	11.726 d
	9	2.41	0.202 a	2.579	37.55 defg	25.337 a
<i>LSD (P < 0.05) -</i>			<i>0.02050</i>	<i>0.2215</i>	<i>6.711</i>	<i>1.531</i>

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

görülmüştür. Bu artış en fazla Bülbül çeşidinde tespit edilmiştir. Örneğin Bülbül'ün 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda Zn içeriği (61.45 mg kg⁻¹) 1. grubu oluşturmuş ve kontrole kıyasla Zn kapsamı %51.17 oranında artmıştır. Aynı çeşidin 0, 1 ve 3 mg Cd kg⁻¹ dozları arasında da istatistiksel olarak fark çıkmamıştır. Kral çeşidi de artan dozlarda Cd'a karşı ciddi tepki vermiş ve 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda 52.9 mg Zn kg⁻¹ kapsamı ile 2. grubu oluşturmuş ve kontrole kıyasla Zn kapsamındaki artış %29 olarak saptanmıştır. Bu çeşitte de yeşil aksam Zn kapsamı açısından 0 ve 3 mg Cd kg⁻¹ uygulamaları aynı gruba girmiş ve 1 mg Cd kg⁻¹ dozunun bu grupla aralarında istatistiksel fark çıkmamıştır. Avcı'nın Zn kapsamı diğer çeşitlerden daha düşük bulunmuş kontrol konusu en düşük Zn kapsamı (28.35 mg kg⁻¹) ile en son grubu oluştururken, 9 mg kg⁻¹ dozunda Zn kapsamı diğer konulardan daha yüksek olup

kontrole kıyasla artış %32.45 olarak belirlenmiştir. Kalaycı'da da yine 9 mg Cd kg⁻¹ dozu ile Zn kapsamı en yüksek seviyeye ulaşmış ve kontrole kıyasla %24.26 oranında artmıştır. Bitkiye/toprağa yeterli düzeyde Zn verildiğinde Cd uygulamasının Zn konsantrasyonu üzerine etkisi sinerjiktir (Nan 2002, Köleli 2004 ve Chan 2007). Ayrıca düşük toprak pH'sı bitki Zn kapsamını artırmış olabilir. Çeşitler arası Zn kapsamlarındaki farklılık ise genotiplerin Zn etkinliğinin birbirinden farklı olmasından kaynaklanmış olabilir (Çakmak 1996a ve 1996b).

Arpa çeşitlerinin yeşil aksamının Cd kapsamaları 0.199 mg kg⁻¹ (Bülbül, 0 mg Cd kg⁻¹) ile 25.337 mg kg⁻¹ (Avcı, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Artan Cd dozlarına paralel olarak tüm arpa çeşitlerinde yeşil aksamın Cd kapsamaları artmış ve bu artış çeşitten çeşide farklılık göstermiştir (Şekil 4.8). Uygulanan Cd dozlarına bağlı olarak arpanın yeşil aksamında en fazla Cd akümüasyonu (25.337 mg kg⁻¹) Avcı'nın 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda bulunmuş ve 1. grubu oluşturmuştur. Bunu Kalaycı'nın (23.736 mg kg⁻¹) 9 mg Cd kg⁻¹ dozu izlemiş ve 2. grubu meydana getirmiştir. Kral (20.31 mg kg⁻¹) ve Bülbül (20.730 mg kg⁻¹) çeşitlerinin 9 mg Cd kg⁻¹ dozları ise en fazla Cd akümüle eden 3. gruba girmişlerdir. Bunları 11.726 mg kg⁻¹ ile Avcı'nın 3 mg Cd kg⁻¹ dozu takip etmiş ve 4. grubu oluşturmuş ve Kral-97'nin 3 mg Cd kg⁻¹ dozu ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bütün çeşitlerin kontrol (0 mg Cd kg⁻¹) konuları en düşük düzeyde Cd akümüle ederek (Kral: 0.340 mg kg⁻¹, Kalaycı: 0.349 mg kg⁻¹, Bülbül: 0.199 mg kg⁻¹ ve Avcı: 0.245 mg kg⁻¹) en son grubu oluşturmuşlardır. Toprakta Cd kapsamının artışı bitkinin Cd kapsamını artırmaktadır. Araştırmamızda düşük toprak pH'sı ve toprağa Cd ilavesi bitkide Cd artışına neden olmuştur. Arpa bitkisinin yeşil aksamında çeşitler arası Cd kapsamı açısından farklılık ise bitki çeşitlerinin ve aynı çeşide ait genotiplerin Cd'u bünyelerine alma, biriktirme ve tolere etmelerinden kaynaklanmış olabilir.



Şekil 4.8. Kadmiyum uygulamalarının arpa çeşitlerinde yeşil aksam, tane ve sapın Cd kapsamına etkileri

Artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının arpa çeşitlerinde yeşil aksamın verim ve K kapsamlarına etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.23’de verilmiştir. Toprağa artan miktarlarda uygulanan Cd, çeşitlerin yeşil aksam verimlerinde istatistiksel olarak önemli bir farklılık meydana getirmiştir. Kalaycı 2.720 g saksı⁻¹ verimle 1. grubu oluştururken Bülbül (2.450 g saksı⁻¹) ile aralarındaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. Kral ise 1.927 g saksı⁻¹ verimle en son grubu oluşturmuş ve Avcı (2.099 g saksı⁻¹) çeşidi ile de aralarındaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır.

Çizelge 4.23. Arpa Çeşidi ve Kadmiyum Dozlarının Yeşil Aksam Verimi ile Potasyum Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Çeşit	Verim (g saksı ⁻¹)	K (%)	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	K (%)
Kral	1.927 c	2.617 a	0	2.478 b
Kalaycı	2.720 a	2.578 a	1	2.456 b
Bülbül	2.453 ab	2.449 b	3	2.518 b
Avcı	2.099 bc	2.515 ab	9	2.705 a
LSD (P < 0.05)	0.4095	0.1107	LSD (P < 0.05)	0.1107

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Artan miktarlarda toprağa uygulanan Cd arpa çeşitlerinde yeşil aksamın K kapsamlarına gerek çeşit gerekse doz açısından önemli ölçüde etki etmiştir. Örneğin K kapsamları açısından Kral (%2.617) ve Kalaycı (%2.578) çeşitleri ilk grubu oluştururken, bu grubun Avcı (%2.515) çeşidi ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bülbül çeşidi ise %2.449 K içeriği ile 2. grupta yer almıştır. Arpa bitkisinin K kapsamlarına doz bazında bakıldığında ise, Cd dozları arttıkça yeşil aksamın K kapsamı da artmıştır. 9 mg Cd kg⁻¹ dozu %2.705 K kapsamı ile 1. grubu oluştururken, 0, 1, 3 ve 9 mg Cd kg⁻¹ dozları sırasıyla %2.478, %2.456 ve %2.518 K içerikleri ile 2. gruba girmişlerdir. Cd bakımından kirli topraklarda bitkinin K kapsamı bitki çeşidi ve organlarına göre değişmektedir. Ayrıca K kullanım etkinliği açısından bitki çeşidi, genotipi ve organları arasında da fark bulunmaktadır (Guoping ve ark. 1999 ve Dessougi ve ark. 2002). Görüldüğü gibi araştırma sonuçlarımız bu bilgilerle uyumludur.

Kadmiyum uygulamalarının arpa çeşitlerinde tane verimi, tanede P, K, Zn ve Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre çeşidin

verim, K, Zn ve Cd, uygulama dozlarının verim Zn ve Cd ve 'çeşit x doz' interaksyonunun ise verim, K ve Cd kapsamına etkileri istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$ veya $P < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Kadmiyum Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması				
		Tane Verimi	P	K	Zn	Cd
Çeşit (Ç)	3	11.6008**	0.0008346	0.006872**	100.804**	0.7074**
Doz (D)	3	5.1563**	0.0007464	0.000567	66.351**	12.5153**
Ç x D	9	3.4789**	0.000502	0.002603*	14.3	0.1449**
Hata	48	0.7228	0.0005820	0.001045	9.401	0.0087
CV		7.83	4.08	3.55	8.59	24.15

**($P < 0.01$), *($P < 0.05$)

Diğer taraftan Cd dozlarının arpa çeşitlerinde tanenin bazı özelliklerine etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.25'de verilmiştir. Arpada tane verimi $8.78 \text{ g saksı}^{-1}$ (Avcı, 9 mg Cd kg^{-1}) ile $12.60 \text{ g saksı}^{-1}$ (Kalaycı, 0 mg Cd kg^{-1}) arasında değişmiştir. Arpanın gerek çeşit bazında gerekse uygulanan doz bazında Cd'a tepkileri farklılık göstermiştir. Kral-97 çeşidinde artan Cd dozları ile birlikte verimde de bir artış görülmüş, 3 mg Cd kg^{-1} dozunda verim kontrole kıyasla %14 oranında artmıştır. Diğer taraftan Kalaycı çeşidinde artan miktarlardaki Cd uygulamalarına paralel olarak tane verimi azalmıştır. Denenede 9 mg Cd kg^{-1} dozunda tane veriminde azalış 1. grubu oluşturan kontrole kıyasla %19.8 civarında bulunmuştur. Bülbül çeşidinde ise tane verimi 1 ve 3 mg Cd kg^{-1} dozlarında artarken, 9 mg Cd kg^{-1} dozunda azalmıştır. Bu çeşitin de 1 mg Cd kg^{-1} dozu $12.53 \text{ g saksı}^{-1}$ tane verimiyle 1. gruba dahil olmuştur. Bülbül çeşidine benzer bir trendin Avcı çeşidinde de gözlemlenmesi yanında en ciddi verim düşüşü Avcı çeşidinin 9 mg Cd kg^{-1} dozunda görülmüş (%21.2) ve bu doz en son grubu oluşturmuştur.

Çizelge 4.25. Kadmiyum Dozlarının Arpa Çeşitlerinde Tane Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları

Arpa çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Tane Verimi (g saksı ⁻¹)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
Kral	0	9.04 fg	0.195	0.512 cd	26.52	0.007 ı
	1	9.81 efg	0.210	0.503 d	27.97	0.414 h
	3	10.30 de	0.237	0.564 ab	32.37	0.896 f
	9	10.15 def	0.204	0.513 cd	30.10	2.059 b
Kalaycı	0	12.60 a	0.207	0.529 bcd	30.00	0.010 ı
	1	11.31 bcd	0.198	0.487 de	30.97	0.416 h
	3	10.26 de	0.214	0.499 de	31.37	1.044 e
	9	10.11 def	0.207	0.491 de	35.05	2.033 b
Bülbül	0	11.62 abc	0.193	0.458 e	26.2	0.001 ı
	1	12.29 ab	0.205	0.484 de	28.02	0.294 h
	3	12.53 a	0.189	0.480 de	29.25	0.685 g
	9	11.06 cd	0.195	0.503 d	32.25	1.516 c
Avcı	0	11.14 bcd	0.183	0.512 cd	25.27	0.018 ı
	1	11.00 bcde	0.212	0.593 a	26.17	0.618 g
	3	11.91 abc	0.201	0.499 de	24.90	1.301 d
	9	8.78 g	0.201	0.553 abc	26.80	2.612 a
LSD (P < 0.05)		1.209	-	0.04596	-	0.1326

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Arpa çeşitlerinde tanenin K kapsamı %0.458 (Bülbül, 0 mg Cd kg⁻¹) ile %0.594 (Avcı, 3 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Uygulanan Cd dozlarına bağlı olarak çeşitlerin K kapsamı arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz çıkmakla birlikte çeşit ve “çeşit x doz” interaksyonuna bağlı K kapsamı arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bütün çeşitlerde en belirgin etki 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda görülmüş, artan dozlarda uygulanan Cd Kalaycı çeşidinde tanenin K içeriğini azaltırken, diğer çeşitlerde artırmıştır. Kral, Bülbül ve Avcı çeşitlerinin 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda tanenin K kapsamı sırasıyla %10.15, %10.04 ve %8.00 oranlarında artarken, Kalaycı çeşidinin 3 mg Cd kg⁻¹ dozunda %7.35 oranında azalmıştır. Avcı çeşidinin 1 mg Cd kg⁻¹ dozu en yüksek K kapsamı (%0.593) ile 1. grubu oluştururken, Bülbül çeşidinin kontrol konusu en düşük K muhtevası (%0.458) ile en son grubu oluşturmuştur. Kadmiyum ile kontamine olmuş topraklarda

bitkilerin makro ve mikro element alım mekanizmaları etkilenmektedir. Bu nedenle topraktaki Cd kontaminasyonu bitkinin çeşidi ve organına bağlı olarak K kapsamlarında bir artış veya azalışa sebep olabilmektedir.

Arpa çeşitlerinin tanesinde Cd kapsamları 0.001 mg kg^{-1} (Bülbül, 0 mg Cd kg^{-1}) ile 2.612 mg kg^{-1} (Avcı, 9 mg Cd kg^{-1}) arasında değişmiştir. Uygulanan Cd dozları arttıkça arpa çeşitlerinin hepsinde tane Cd kapsamları belirgin derecede artmış ve bu artış çeşitten çeşide farklılık göstermiştir (Şekil 4.8). Uygulanan Cd dozlarına bağlı olarak tanede en fazla Cd akümüasyonu Avcı çeşidinin 9 mg Cd kg^{-1} dozunda (2.612 mg kg^{-1}) görülmüş ve 1. grubu oluşturmuştur. Bunu sırasıyla Kalaycı (2.033 mg kg^{-1}) ve Kral (2.059 mg kg^{-1}) çeşidinin 9 mg kg^{-1} dozları izlemiş ve en fazla Cd akümü eden 2. grubu oluşturmuşlardır. Daha sonra Bülbül çeşidinin 9 mg Cd kg^{-1} dozu (1.516 mg kg^{-1}) ve diğerleri takip etmiştir. Bütün çeşitlerin kontrol (0 mg Cd kg^{-1}) konuları en düşük düzeyde Cd akümü ederek (Kral 0.007 mg kg^{-1} , Kalaycı 0.010 mg kg^{-1} , Bülbül 0.001 mg kg^{-1} ve Avcı 0.018 mg kg^{-1}) en son grubu oluşturmuşlardır.

Topraktaki yüksek düzeyde Cd kontaminasyonu bitkinin metabolik fonksiyonlarını bozmaktadır (Sanità di Toppi ve Gabbrielli 1999). Bitkiler Cd toksisitesinden korunmak için iyon alımında seçici davranmak, bitkinin değişik dokularında depolayarak immobil şekilde tutmak gibi kendilerine has mekanizmalar geliştirirler (Verloo 1996). Bu nedenle bitki çeşitleri ve hatta aynı bitkinin genotipleri Cd'un bitkilerce absorblanması, tutulması, transferi ve bağlanması büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Bulgularımız da bu bilgileri teyit etmektedir.

Artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının arpa çeşitlerinde tanenin Zn kapsamlarına etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.26'da verilmiştir. Artan miktarlarda toprağa uygulanan Cd gerek çeşit gerekse doz bazında arpada Zn kapsamlarını istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemiştir. Kalaycı çeşidi 31.85 mg kg^{-1} Zn kapsamı ile 1. grubu oluştururken Bülbül çeşidi ile arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kral çeşidi 29.24 mg kg^{-1} Zn kapsamı ile 2. grubu oluştururken Avcı çeşidi ise 25.79 mg kg^{-1} Zn kapsamı ile en son grubu oluşturmuştur. Genotipler arası Zn kapsamlarındaki farklılık genotiplerin Zn etkinliğinin birbirinden farklı olmasından kaynaklanmış olabilir (Çakmak 1996a,

Çakmak 1996b). Doz bazında ise 9 mg Cd kg⁻¹ dozu 1. grubu oluştururken 3 mg Cd kg⁻¹ dozu 2. grubu oluşturmuş ve bu grupla 1. mg Cd kg⁻¹ dozu arasındaki fark istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır. Kontrol konusu ise en son grubu oluşturmuştur. Toprakta yeterli miktarda Zn olduğunda Cd uygulamalarının bitkinin Zn kapsamına etkisi sinerjik olduğu birçok araştırmacı (Adiloğlu ve ark. 2005, Dudka ve ark. 2004, Nan ve ark. 2002) tarafından da bildirilmiştir.

Çizelge 4.26. Kadmiyum Dozlarının Arpa Çeşitlerinde Tanenin Çinko Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Çeşit	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Kral	29.24 b	0	27.01 c
Kalaycı	31.85 a	1	28.29 bc
Bülbül	29.69 ab	3	29.47 b
Avcı	25.79 c	9	31.80 a
<i>LSD (P < 0.05)</i>	2.180	<i>LSD (P < 0.05)</i>	2.180

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Kadmiyum uygulamalarının arpa çeşitlerinde sap verimi, sapta P, K, Zn ve Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre çeşidin sap verimi, K ve Zn, uygulama dozlarının sap verimi, Zn ve Cd ve 'çeşit x doz' interaksiyonunun ise verim, P ve K kapsamlarına etkileri istatistiksel olarak önemli (P < 0.05 veya P < 0.01) bulunmuştur (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. Kadmiyum Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması				
		Verim	P	K	Zn	Cd
Çeşit (Ç)	3	89.3606**	0.0003545	0.36039**	748.41**	3.06
Doz (D)	3	16.4246**	0.0002097	0.02341	110.93*	727.21**
Ç x D	9	5.3939*	0.0004091*	0.04339*	46.5	1.99
Hata	48	2.0345	0.0001627	0.01695	29.22	1.83
CV		10.02	15.15	12.95	44.10	7.87

** (P < 0.01), * (P < 0.05)

Ayrıca artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının arpa çeşitlerinde sapın bazı özelliklerine etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.28’de verilmiştir. Arpa çeşitlerinin sap verimi 19.75 g saksı⁻¹ (Kral, 9 mg Cd kg⁻¹) ile 27.62 g saksı⁻¹ (Bülbül, 3 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Artan miktarlarda uygulanan Cd’un arpa bitkisinin sap verimine etkileri de farklı olmuştur. Örneğin Bülbül çeşidinde sap verimi en yüksek verimle 1. grubu oluşturan 3 mg Cd kg⁻¹ dozuna kadar artmış (%7.8), 9 mg Cd kg⁻¹ konusunda ise kontrole kıyasla azalmıştır (%2.65). Bu çeşitte kontrol ve 1 mg Cd kg⁻¹ dozları arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Artan dozlarda Cd uygulamasına karşı sap veriminde en bariz tepkiyi Kalaycı çeşidi vermiştir. Bu çeşidin sap verimi 9 mg Cd kg⁻¹ dozuna kadar sürekli olarak azalmış, bu dozda kontrole kıyasla verim azalması %19.76 olarak saptanmıştır. Bu çeşitte bütün dozlar farklı gruplarda yer almıştır. Kral çeşidinin 9 mg Cd kg⁻¹ dozu en düşük miktarda sap (19.75 g saksı⁻¹) verimi ile en son grubu oluştururken, kontrol ve 1 mg Cd kg⁻¹ dozu da aynı gruba girmiştir. Avcı çeşidinde ise 1 ve 3 mg Cd kg⁻¹ dozunda verim azalmış, 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda bir miktar artsa da kontrol konusunun veriminin altında kalmıştır. Sonuç olarak artan dozda Cd uygulamaları sap verimini kimi çeşitlerde (Kalaycı) önemli derecede düşürmekle birlikte kimi çeşitlere etkisi önemli derecede olmamıştır. Topraktaki yüksek Cd konsantrasyonu fotosentez, solunum ve azot metabolizmasına bağlı zayıf gelişim ve düşük biyo-kütle gibi metabolik fonksiyonların azalmasına neden olmaktadır. Topraktaki belli miktarda ağır metal konsantrasyonu hassas bitkilerde büyük miktarda verim azalmasına ve kimyasal bileşiminde değişikliklere neden olabilirken dirençli bitkileri etkilemeyebilir. Verimdeki farklılıklar bu nedenlerden ötürü olabilir.

Arpa bitkisinde sapın P içerikleri %0.021 (Avcı, 0 mg Cd kg⁻¹) ile %0.060 (Kral, 0 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Kral çeşidinin kontrol (0 mg Cd kg⁻¹) konusu en yüksek K kapsamı ile 1. grubu oluştururken diğer üç doz da 2. gruba girmiştir. Kalaycı ve Bülbül çeşitlerinin P kapsamlarında bir farklılık görülmemiş her iki çeşidin de tüm dozları 3. gruba dahil olmuştur. Avcı çeşidinde artan Cd uygulamaları ile P kapsamı açısından 0 ve 3 mg Cd kg⁻¹ dozları 3. gruba girerken 1 ve 9 mg Cd kg⁻¹ dozları 2. gruba girmiştir. Aralarındaki fark da istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprak Cd kontaminasyonu bitkinin P kapsamını organa

bağlı olarak artırmakta, azaltmakta veya etkilememektedir. Araştırmamızda da bu yönlü bulgular elde edilmiştir.

Çizelge 4.28. Kadmiyum Dozlarının Arpa Çeşitlerinde Sap Verimi ve Bazı Element İçeriklerine Etkileri ve Duncan Grupları

Arpa çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Verim (g saksı ⁻¹)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
Kral	0	20.16 ı	0.060 a	1.467 a	18.90	0.019
	1	20.21 ı	0.029 c	1.427 ab	24.42	2.574
	3	21.49 h	0.024 c	1.369 abc	29.40	6.184
	9	19.75 ı	0.034 bc	1.254 bcde	22.75	15.420
Kalaycı	0	26.66 b	0.032 bc	1.015 g	15.10	0.000
	1	24.95 d	0.024 c	0.986 g	11.87	1.628
	3	22.96 f	0.025 c	0.987 g	19.10	3.591
	9	22.26 g	0.028 c	1.272 bcd	17.45	15.798
Bülbül	0	25.61 c	0.026 c	1.148 defg	10.37	0.000
	1	26.16 bc	0.026 c	1.079 efg	12.25	1.750
	3	27.62 a	0.029 c	1.062 fg	14.62	4.060
	9	24.93d	0.026 c	1.218 cdef	23.42	14.684
Avcı	0	24.95 d	0.021 c	1.058 fg	6.02	0.008
	1	23.88 e	0.040 b	1.168 defg	7.32	2.194
	3	24.33 de	0.028 c	0.999 g	7.65	6.070
	9	24.80 d	0.041 b	1.030 fg	7.52	14.861
LSD (P < 0.05)		0.6395	0.01821	0.1851	-	-

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Arpa çeşitlerinde sapın K kapsamaları %0.985 (Kalaycı, 1 mg Cd kg⁻¹) ile %1.467 (Kral, 0 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Artan dozlarda uygulanan Cd'a karşı K kapsamaları açısından arpa çeşitlerinin tepkileri farklı olmuştur. Kral 97'nin kontrol (0 mg Cd kg⁻¹) konusu en yüksek K kapsamı ile ilk grubu oluştururken artan dozlardaki Cd ile sapın K içeriği de azalmış 9 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında K kapsamındaki azalış %14.5'e ulaşmıştır. Kalaycı çeşidinde ise kontrol, 1 ve 3 mg Cd kg⁻¹ dozları sırasıyla %1.015, %0.986 ve %0.987 K kapsamı ile en son grubu oluştururken, 9 mg Cd kg⁻¹ dozunda K kapsamı kontrole kıyasla %25.3 artmıştır.

Bülbül ve Avcı çeşitlerinde ise K yönüyle dozlar arasında istatistiksel olarak fark çıkmamıştır. Artan Cd uygulamaları arpanın K kapsamını çeşite bağlı olarak farklı düzeylerde etkilemiştir.

Artan Cd dozlarının arpa çeşitlerinde sapın Zn ve Cd kapsamlarına etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.29'da verilmiştir. Artan dozlarda uygulanan Cd arpa çeşitlerinin Zn ve Cd içeriklerinde istatistiksel olarak farklılık meydana getirmiştir. Kral çeşidi ($23.87 \text{ mg Zn kg}^{-1}$) ilk grubu oluştururken, Kalaycı ($15.88 \text{ mg Zn kg}^{-1}$) ve Bülbül ($15.17 \text{ mg Zn kg}^{-1}$) çeşitleri 2. grubu oluşturmuştur. En düşük Zn içeriği ise 7.13 mg kg^{-1} ile Avcı çeşidinde görülmüş ve bu çeşit de 3. grubu meydana getirmiştir. Sonuçta arpa genotiplerinin Zn kapsamaları farklılık göstermiştir. Genotipler arası Zn kapsamlarındaki farklılık genotiplerin Zn etkinliğinin birbirinden farklı olmasından kaynaklanmış olabilir (Çakmak 1996a ve 1996b). Uygulama dozları açısından da bitkinin Zn kapsamaları farklılık göstermiştir. Araştırmada 9 mg Cd kg^{-1} dozu ($15.191 \text{ mg kg}^{-1}$) 1. grubu, 3 mg Cd kg^{-1} dozu (4.976 mg kg^{-1}) 2. grubu ve 1 mg kg^{-1} Cd (0.037 mg kg^{-1}) ve kontrol dozu da (0.007 mg kg^{-1}) en son grubu oluşturmuşlardır. Neticede uygulanan Cd dozunun artışına paralel olarak arpanın Zn kapsamı da artmıştır. Toprakta yeterli miktarda Zn olduğunda Cd uygulamalarının bitkinin Zn kapsamına etkisi sinerjik olduğu birçok araştırmacı (Adiloğlu ve ark. 2005, Dudka ve ark. 2004, Nan ve ark. 2002) tarafından da bildirilmiştir.

Çizelge 4.29. Arpa Çeşidi ve Kadmiyum Dozlarının Sapın Çinko ve Kadmiyum Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Çeşit	Zn (mg kg^{-1})	Cd dozu (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Cd (mg kg^{-1})
Kral	23.87 a	0	12.60 b	0.007 c
Kalaycı	15.88 b	1	13.97 ab	0.037 c
Bülbül	15.17 b	3	17.69 a	4.976 b
Avcı	7.13 c	9	17.79 a	15.191 a
<i>LSD (P < 0.05)</i>	3.843	<i>LSD (P < 0.05)</i>	3.843	0.9616

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Arpa çeşitlerinin sapında Cd içeriği 0.000 ile $15.798 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmiştir. Uygulanan Cd dozları arttıkça arpa çeşitlerinin hepsinde de sapın Cd kapsamı belirgin bir biçimde artmıştır (Şekil 4.8). Cd akümüasyonu bakımından çeşitler arasında istatistiksel anlamda önemli fark yok iken, dozlar arasında önemli

farklılıklar görülmüş Cd dozları arttıkça arpa sapının Cd kapsamı da artmıştır. Araştırmada 9 mg kg⁻¹ Cd dozunda arpa sapı en yüksek düzeyde Cd akümüle etmiş ve bu doz 1. grubu oluşturmuştur. Bunu 4.976 mg kg⁻¹ Cd konsantrasyonu ile 3 mg Cd kg⁻¹ dozu izlemiş ve 2. grubu meydana getirmiştir. Kontrol ve 1 mg kg⁻¹ dozları ise aynı gruba girerek 3. grubu oluşturmuşlardır. Adams ve ark'nın (2001) İngiltere'de survey çalışması sonucu elde ettikleri algoritmaya göre, toprağın toplam Cd içeriği ve pH'sı bitkinin Cd içeriğini belirleyen en önemli etkendir. Ayrıca kumlu toprakta bitki Cd alımının daha fazla olduğu birçok araştırmacı tarafından (Chang ve ark. 1982, Dheri ve ark. 2007, Dudka 1994, Ulrike ve Remigius 2005) rapor edilmiştir. Araştırma toprağımız da bu özellikleri arz ettiğinden bitkinin Cd içeriğindeki artış bu nedenlerden kaynaklanmış olabilir.

4.3.4. Kadmiyum uygulamalarının bitkilerce kaldırılan Cd kapsamına etkileri

Kadmiyum uygulamalarının ekmeklik buğday çeşitlerinde tane ve sap ile kaldırılan Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre, uygulama dozlarının tane ile kaldırılan Cd, çeşit ve 'çeşit x doz' interaksyonunun ise sap ile kaldırılan Cd kapsamlarına etkisi önemli ($P < 0.05$ veya $P < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30. Kadmiyum Uygulamalarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Tane ve Sap ile Kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri İle İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması	
		Tane ile kaldırılan Cd	Sap ile kaldırılan Cd
Çeşit (Ç)	2	2.68	2917*
Doz (D)	3	1461.03**	243165**
Ç x D	6	19.53	1404
Hata	36	9.25	616
CV		5.57	7.11

Ayrıca artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının ekmeklik buğday çeşitlerinin tane ve sap ile kaldırılan Cd kapsamlarına etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.31'de verilmiştir. Cd uygulaması ekmeklik buğday çeşitlerinin sap ile kaldırılan Cd

kapsamına istatistiksel olarak önemli etki etmiştir. Ekiz çeşidi en yüksek düzeyde kaldırdığı Cd miktarı ($140 \mu\text{g saksı}^{-1}$) ile 1. grubu oluştururken, Kınacı-79 ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bezostaja-1 çeşidi ise kaldırdığı Cd miktarı ($113.46 \mu\text{g Cd saksı}^{-1}$) ile 2. grupta yer almıştır. Diğer yandan Cd dozlarının etkisi gerek arpa tanesinin gerekse sapının kaldırdığı Cd kapsamına önemli çıkmıştır. Tane ile kaldırılan Cd kapsamı açısından 9 mg Cd kg^{-1} dozu ($25.455 \mu\text{g saksı}^{-1}$) 1. grubu oluştururken bunu sırasıyla 3, 1 ve 0 mg Cd kg^{-1} dozları izleyerek 2., 3. ve 4. grupları oluşturmuşlardır. Sap ile kaldırılan kadmiyuma da dozların etkisi benzer olmuştur.

Çizelge 4.31. Kadmiyum Dozlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde Tane ve Sap ile Kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Çeşit	Sap ile kaldırılan Cd ($\mu\text{g saksı}^{-1}$)	Cd dozu (mg kg^{-1})	Tane ile kaldırılan Cd ($\mu\text{g saksı}^{-1}$)	Sap ile kaldırılan Cd ($\mu\text{g saksı}^{-1}$)
Bezostaja-1	113.46 b	0	0.081 d	0.640 d
Ekiz	140.44 a	1	5.839 c	51.692 c
Kınacı-79	126.99 ab	3	14.347 b	130.679 b
		9	25.455 a	324.837 a
<i>LSD (P < 0.05)</i>	20.55	<i>LSD (P < 0.05)</i>	2.181	17.80

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

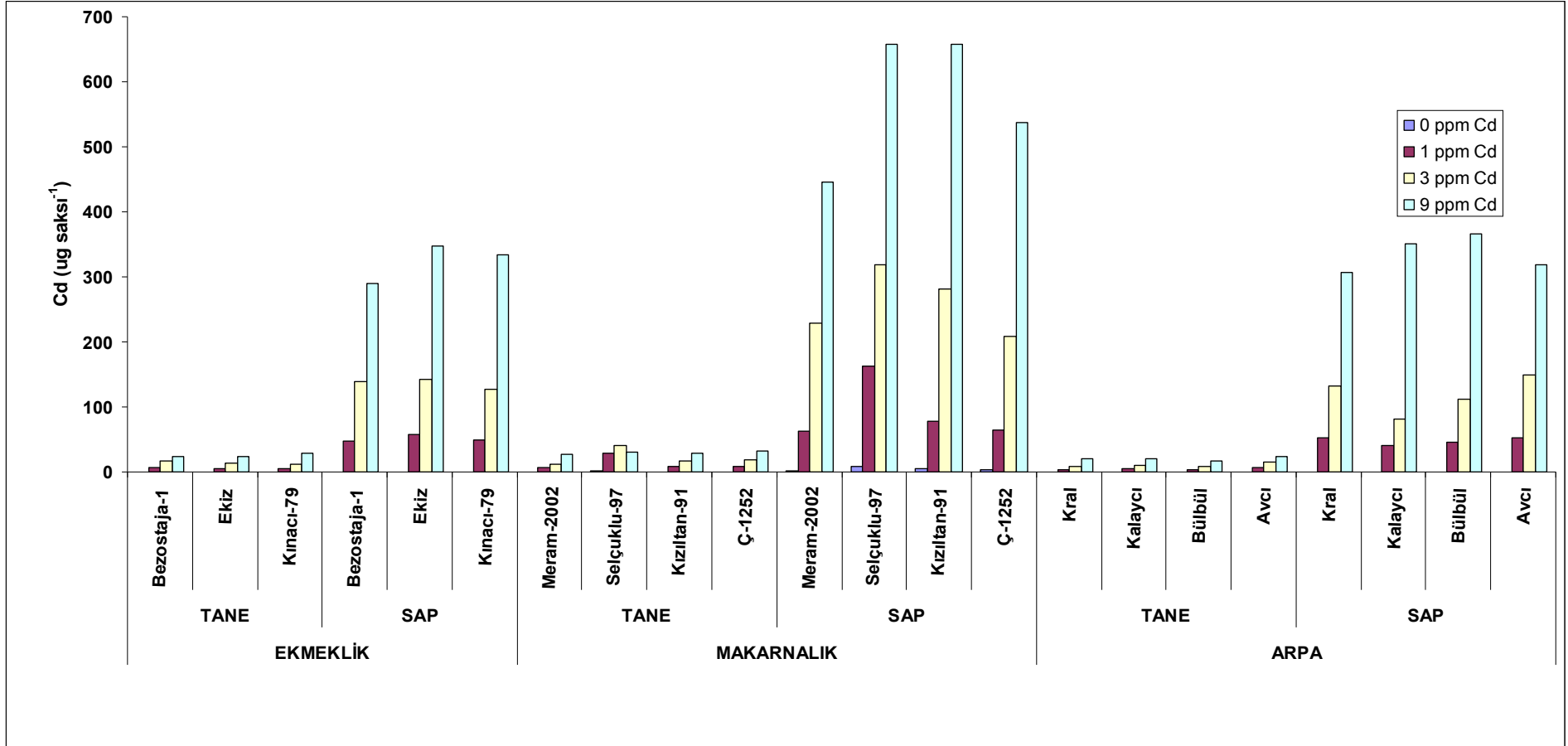
Kadmiyum uygulamalarının makarnalık buğday çeşitlerinde tane ve sap ile kaldırılan Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre çeşidin, uygulama dozlarının ve ‘çeşit x doz’ interaksyonunun tane ile kaldırılan Cd ve sap ile kaldırılan Cd kapsamlarına etkisi önemli ($P < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.32).

Diğer taraftan artan oranlarda uygulanan Cd dozlarının makarnalık buğday çeşitlerinde tane ve sap ile kaldırılan Cd kapsamlarına etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.33’de sunulmuştur. Söz konusu Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, toprağa uygulanan Cd miktarının artışına paralel olarak çeşitlerin tanesinde kaldırılan Cd miktarı da artmış ve tane ile kaldırılan Cd bakımından çeşitler arasında farklılıklar görülmüştür (Şekil 4.8). Selçuklu-97’nin 3 mg Cd kg^{-1} dozu tanede en yüksek düzeyde Cd kaldırarak ($39.97 \mu\text{g saksı}^{-1}$) 1. grubu

oluştururken, aynı çeşidin 9 mg Cd kg⁻¹ (31.25 µg saksı⁻¹) dozu ve diğer çeşitlerin 9 mg Cd kg⁻¹ dozları (Meram-2002, 26.63 µg saksı⁻¹; Kızıltan-91, 28.00 µg saksı⁻¹ ve Ç-1252, 31.59 µg saksı⁻¹) 2. gruba girmiştir. Bu grubu Kızıltan-91 ve Ç-1252 çeşidinin 3 mg Cd kg⁻¹ dozları (sırasıyla 17.22 µg saksı⁻¹ ve 18.12 µg saksı⁻¹) takip etmiş ve 3. grubu oluşturmuşlardır. Bu grupla da Meram-2002'nin 3 mg Cd kg⁻¹ dozu arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Meram-2002 (0.35 µg saksı⁻¹), Kızıltan (0.42 µg saksı⁻¹) ve Ç-1252 (0.29 µg saksı⁻¹) çeşitlerinin kontrol konuları tanede en düşük düzeyde Cd kaldırarak en son gruba girmişler ve bu grupla Selçuklu-97 (1.73 µg saksı⁻¹) çeşidinin kontrol konusu arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.32. Kadmiyum Uygulamalarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Tane ve Sap ile Kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri İle İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması	
		Tane ile kaldırılan Cd	Sap ile kaldırılan Cd
Çeşit (Ç)	3	621.05**	102216**
Doz (D)	3	2417.99**	1209058**
Ç x D	9	149.68**	25968**
Hata	48	26.17	6554
CV		38.23	21.05



Şekil 4.9. Kadmiyum uygulamalarının tahıl çeşitlerinin tane ve sap ile kaldırdıkları Cd kapsamlarına etkileri

Çizelge 4.33. Kadmiyum Dozlarının Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Tane ve Sap ile Kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Buğday çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Tane ile kaldırılan Cd (µg saksı ⁻¹)	Sap ile kaldırılan Cd (µg saksı ⁻¹)
Meram-2002	0	0.35 f	1.69 f
	1	7.18 def	61.87 ef
	3	11.91 cd	228.10 cd
	9	26.63 b	445.81 b
Selçuklu-97	0	1.73 ef	7.94 f
	1	28.79 b	162.69 de
	3	39.97 a	318.15 c
	9	31.25 b	678.96 a
Kızıltan-91	0	0.42 f	4.54 f
	1	8.66 de	77.26 ef
	3	17.22 c	280.79 c
	9	28.00 b	657.1 4a
Ç-1252	0	0.29 f	2.90 f
	1	8.62 de	63.99 ef
	3	18.12 c	205.29 cd
	9	31.59 b	537.87 b
LSD (P < 0.05)		7.273	115.1

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Benzer şekilde toprağa uygulanan Cd miktarının artışına paralel olarak çeşitlerin sap ile kaldırılan Cd miktarı da artmış ve sap ile kaldırılan Cd bakımından çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar görülmüştür. Sap ile kaldırılan Cd kapsamları 1.69 µg saksı⁻¹ (Meram-2002, 0 mg Cd kg⁻¹) ile 678.96 µg saksı⁻¹ (Selçuklu-97, 9 mg Cd kg⁻¹) arasında değişmiştir. Selçuklu-97 ve Kızıltan-91 çeşitlerinin 9 mg Cd kg⁻¹ dozları saptan en yüksek düzeyde Cd kaldırarak (sırasıyla 678.96 ve 657.14 µg saksı⁻¹) 1. grubu oluşturmuşlardır. Bu grubu Meram-2002 ve Ç-1252 çeşidinin 9 mg Cd kg⁻¹ dozları (sırasıyla 445.81 ve 537.87 µg saksı⁻¹) takip etmiş ve 2. grubu oluşturmuşlardır. Sap ile topraktan kaldırılan Cd açısından yine bütün çeşitlerin 3 mg Cd kg⁻¹ dozları 3. grubu oluştururken, bu 4 çeşidin kontrol dozlarının sap ile kaldırdığı Cd miktarı 1.69 ve 7.94 µg saksı⁻¹ arasında değişmiş ve hepsi de en son gruba girmişlerdir.

Kadmiyum uygulamalarının arpa çeşitlerinde tane ve sap ile kaldırılan Cd içeriklerine etkileri ile ilgili verilerin varyans analiz sonuçlarına göre; çeşidin, uygulama dozlarının ve 'çeşit x doz' interaksyonunun tane ile kaldırılan Cd ve sap ile kaldırılan Cd kapsamlarına etkisi istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34. Kadmiyum Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinde Tane ve Sap ile kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri İle İlgili Varyans Analiz Sonuçları

Varyans kaynağı	SD	Kareler ortalaması	
		Tane ile kaldırılan Cd	Sap ile kaldırılan Cd
Çeşit (Ç)	3	59.26**	20.232**
Doz (D)	3	1185.05**	305026**
Ç x D	9	15.16**	28424**
Hata	48	1.45	863
CV		18.78	4.81

Diğer taraftan artan oranlarda toprağa uygulanan Cd dozlarının arpa çeşitlerinde tane ve sap ile kaldırılan Cd kapsamlarına etkileri ve Duncan grupları Çizelge 4.35'da verilmiştir. Toprağa uygulanan Cd miktarının artmasıyla birlikte arpa çeşitlerinin tane ile kaldırılan Cd kapsamı da artmış ve tane ile kaldırılan Cd açısından çeşitler arasında da farklılıklar görülmüştür (Şeki 4.9). Tane ile kaldırılan Cd kapsamları $22.89 \mu\text{g saksı}^{-1}$ (Avcı, 9 mg Cd kg^{-1}) ile $0.01 \mu\text{g saksı}^{-1}$ (Bülbül, 0 mg Cd kg^{-1}) arasında değişmiştir. Avcı çeşidinin 9 mg Cd kg^{-1} dozu topraktan en yüksek düzeyde Cd kaldırarak 1. grubu oluştururken, Kral ve Kalaycı çeşitlerinin 9 mg Cd kg^{-1} dozları topraktan kaldırılan Cd miktarı açısından (sırasıyla 20.93 ve $20.55 \mu\text{g saksı}^{-1}$) 2. grubu oluşturmuştur. Bütün çeşitlerin kontrol dozlarının taneleri topraktan en düşük düzeyde Cd kaldırarak en son grubu oluşturmuşlardır.

Toprağa uygulanan Cd miktarının artmasıyla birlikte arpa çeşitlerinin sap ile kaldırılan Cd kapsamı da artmış ve sap ile kaldırılan Cd açısından çeşitler arasında da farklılık görülmüştür. Sap ile kaldırılan Cd kapsamları $365.58 \mu\text{g saksı}^{-1}$ (Bülbül, 9 mg Cd kg^{-1}) ile $0.00 \mu\text{g saksı}^{-1}$ (Bülbül ve Kalaycı, 0 mg Cd kg^{-1}) arasında

değişmiştir. Bülbül çeşidinin 9 mg Cd kg⁻¹ (365.58 µg saksı⁻¹) konusu topraktan en yüksek düzeyde Cd kaldırarak 1. grubu oluştururken, Kalaycı çeşitlerinin 9 mg Cd kg⁻¹ dozu (350.68 µg saksı⁻¹) ile aralarındaki fark istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır. Kral, Bülbül ve Avcı çeşitlerinin 1 mg Cd kg⁻¹ dozları (sırasıyla 52.13, 45.56 ve 52.46 µg saksı⁻¹) arpa sapında birbirlerine yakın düzeyde Cd kaldırarak aynı gruba girmişler ve Kalaycı çeşidinin 1 mg Cd kg⁻¹ dozu (40.46 µg saksı⁻¹) ile de aralarında istatistiksel farklılık bulunmamıştır. Bütün çeşitlerin sapının kontrol dozları topraktan en düşük düzeyde Cd kaldırarak en son grubu oluşturmuşlardır.

Çizelge 4.35. Kadmiyum Dozlarının Arpa Çeşitlerinde Tane ve Sap ile Kaldırılan Cd Kapsamlarına Etkileri ve Duncan Grupları

Arpa çeşidi	Cd dozu (mg kg ⁻¹)	Tane ile kaldırılan Cd (µg saksı ⁻¹)	Sap ile kaldırılan Cd (µg saksı ⁻¹)
Kral	0	0.06h	0.37g
	1	4.07g	52.13f
	3	9.10de	132.72d
	9	20.93b	306.58c
Kalaycı	0	0.13h	0.00g
	1	4.70g	40.46fg
	3	10.75d	81.45ef
	9	20.55b	350.68ab
Bülbül	0	0.01h	0.00g
	1	3.64g	45.56f
	3	8.62e	112.07de
	9	16.79c	365.58a
Avcı	0	0.20h	0.19g
	1	6.79f	52.46f
	3	15.45c	148.82d
	9	22.89a	314.84bc
LSD (P < 0.05)		1.712	41.77

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

4.4. Kadmiyum Uygulamalarının Tahıl Çeşitlerinin Kadmiyum Kapsamlarına Etkisinin Karşılaştırılması

Duncan gruplamasına göre, tahıl gruplarında en yüksek tane Cd akümüasyonu ile 1. grupta yer alan ekmeklik buğdayda Kınacı-79/9 mg Cd kg⁻¹, makarnalık buğdayda Selçuklu-97/9 mg Cd kg⁻¹ ve arpada ise Avcı/9 mg Cd kg⁻¹ konuları sırasıyla 2.49, 10.95 ve 2.61 mg kg⁻¹ Cd akümüle etmişlerdir. Bu konuların birbirlerinden farklı olup olmadığını kıyaslamak amacıyla yapılan t testi sonuçları Çizelge 4.36'de verilmiştir. Ekmeklik buğday ve arpa çeşitlerinde 1. grupta yer alan çeşitler arasında (Kınacı-79/9 mg Cd kg⁻¹ ve Avcı/9 mg Cd kg⁻¹) fark bulunmamış, ancak makarnalık buğdayın 1. grubu (Selçuklu-97/9 mg kg⁻¹) ile ekmeklik buğday ve arpa çeşitlerinin 1. grupları (sırasıyla Kınacı-79/9 mg kg⁻¹ ve Avcı/9 mg kg⁻¹) arasındaki fark önemli (P < 0.05) bulunmuştur.

Çizelge 4.36. Tahıl Gruplarının Tanede En Yüksek Düzeyde Cd Akümüle Eden 1. Gruplarının Karşılaştırılması

Birinci gruplar	N	Ort.	St. sapma	Ort. st. hata	t	p
Ekm. buğday (Kınacı-79/9 mg kg ⁻¹)	4	2.49	0.226	0.11		
Mak. buğday (Selçuklu-97/9 mg kg ⁻¹)	4	10.95	4.61	2.30	3.66	0.035*
Ekm. buğday (Kınacı-79/9 mg kg ⁻¹)	4	2.49	0.226	0.11	-0.96	0.93
Arpa (Avcı/9 mg kg ⁻¹)	4	2.61	0.94	0.047		
Mak. buğday (Selçuklu-97/9 mg kg ⁻¹)	4	10.95	4.61	2.30	3.62	0.036*
Arpa (Avcı/9 mg kg ⁻¹)	4	2.61	0.094	0.047		

Duncan gruplamasına göre tahıl gruplarında en yüksek tane Cd akümüasyonu ile 2. gruba giren ekmeklik buğday çeşitlerinden Ekiz/9 mg Cd kg⁻¹, makarnalık buğday çeşitlerinden Kızıltan-91/9 mg Cd kg⁻¹ ve arpa çeşitlerinden Kral/9 mg Cd kg⁻¹ konuları sırasıyla 2.12, 5.76 ve 2.06 mg kg⁻¹ Cd akümüle etmişlerdir. Bu konuların t testi sonuçları Çizelge 4.37'de verilmiştir. Ekmeklik buğday ve arpa çeşitlerinde 2. grupta yer alan çeşitler arasında (Ekiz/9 mg Cd kg⁻¹ ve Kral/9 mg Cd kg⁻¹) istatistiksel anlamda farklılık bulunmamış, ancak makarnalık buğdayın 1. grubu (Ç-1252/9 mg kg⁻¹) ile ekmeklik buğday ve arpa çeşitlerinin 1.

grupları (sırasıyla Ekiz/9 mg kg⁻¹ ve Kral/9 mg kg⁻¹) arasındaki fark önemli (p < 0.01) bulunmuştur.

Çizelge 4.37. Tahıl Gruplarının Tanede En Yüksek Düzeyde Cd Akümüle Eden 2. Gruplarının Karşılaştırılması

İkinci gruplar	N	Ort.	St. Sapma	Ort. st. hata	t	p
Ekm. buğday (Ekiz/9 mg kg ⁻¹)	4	2.12	0.203	0.10	-12.22	0.001**
Mak. buğday (Ç-1252/9 mg kg ⁻¹)	4	5.76	0.560	0.28		
Ekm. buğday (Ekiz/9 mg kg ⁻¹)	4	2.12	0.203	0.10	0.47	0.661
Arpa (Kral/9 mg kg ⁻¹)	4	2.06	0.162	0.081		
Mak. buğday (Ç-1252/9 mg kg ⁻¹)	4	5.76	0.560	0.28	12.69	0.001**
Arpa (Kral/9 mg kg ⁻¹)	4	2.06	0.162	0.081		

Duncan gruplamasına göre tahıl grupları içinde en yüksek tane Cd akümüasyonu ile 3. gruba giren ekmeklik buğday çeşitlerinden Bezostaja-1/3 mg Cd kg⁻¹, makarnalık buğday çeşitlerinden Kızıltan-91/9 mg Cd kg⁻¹ ve arpa çeşitlerinden ise Bülbül/9 mg Cd kg⁻¹ konuları sırasıyla 1.40, 4.51 ve 2.03 mg kg⁻¹ Cd akümüle etmişlerdir. Bu konuların t testi sonuçları Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Tahıl Gruplarının Tanede En Yüksek Düzeyde Cd Akümüle Eden 3. Gruplarının Karşılaştırılması

Üçüncü gruplar	N	Ort.	St. Sapma	Ort. st. hata	t	p
Ekm. buğday (Bezostaja-1/3 mg kg ⁻¹)	4	1.40	0.131	0.066	-40.30	0.000
Mak. buğday (Kızıltan-91/9 mg kg ⁻¹)	4	4.51	0.081	0.040		
Ekm. buğday (Bezostaja-1/9 mg kg ⁻¹)	4	2.12	1.40	0.131	0.066	-8.11
Arpa (Bülbül/9 mg kg ⁻¹)	4	2.06	2.03	0.084	0.042	
Mak. buğday (Kızıltan-91/9 mg kg ⁻¹)	4	4.51	0.081	0.040	42.41	0.000
Arpa (Bülbül/9 mg kg ⁻¹)	4	2.03	0.0840	0.042		

Söz konusu Çizelgeden de anlaşılacağı gibi, ekmeklik buğday ve arpa çeşitlerinde 3. grupta yer alan çeşitler arasında (Bezostaja-1/3 mg Cd kg⁻¹ ve

Bülbül/9 mg Cd kg⁻¹) istatistiksel olarak fark çıkmamış, ancak makarnalık buğdayın 1. grubu (Kızıltan-91/9 mg kg⁻¹) ile ekmeklik buğday ve arpa çeşitlerinin 1. grubu (Bezostaja-1/3 mg Cd kg⁻¹ ve Bülbül/9 mg Cd) arasındaki fark önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur.

Tahıl gruplarının t testi sonuçlarına göre tahıl çeşitleri içinde makarnalık buğday en yüksek düzeyde Cd akümüle ederken ekmeklik buğday ve arpa çeşitleri ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$ veya $P < 0.01$) bulunmuştur. Bunun yanında Cd akümüasyonu açısından ekmeklik buğday ile arpa arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır. Tahıl grupları arasında tane Cd akümüülasyonunun makarnalık buğdayda ekmeklik buğdaydan daha fazla olduğu bildirilse de mekanizma hakkında verilen değerlendirmeler net değildir. Greger ve Löfstedt (2004) makarnalık buğdayların ekmeklik buğdaylardan daha fazla Cd akümüle ettiğini tane Cd akümüülasyonu arasında bulunan farklılığın kökteki Cd alımından ziyade Cd'un kökten toprak üstü aksama ve toprak üstü aksam içindeki taşınımındaki farklılıkla ilgili olabileceğini bildirmişlerdir. Hart ve ark. (1998) ekmeklik buğdayla kıyaslandığında; makarnalık buğdayda tanedeki daha fazla Cd birikiminin, kök içinde farklı Cd akış oranının bir sonucu olmadığını bildirmiştir. Mench ve Martin (1991) ve Murányi ve ark. (1994) ise buğday türleri arasında tane Cd akümüülasyonu açısından bulunan farklı sonuçların sebebinin kök-toprak interaksiyonunun olmaması ve rizosfer mekanizmasından ileri gelen bir sonuç olabileceğini belirtmişler ve birçok buğday türünün köklerinin toprak kolloidlerinden metali serbest bırakması açısından farklı kapasiteye sahip olabileceklerini, bunun da toprak solusyonunda Cd konsantrasyonunda artışa neden olabileceğini ve buna bağlı olarak bitkinin Cd alımının etkileneceğini bildirmiştir. Buğday tanelerinde kökten taneye Cd akışını düzenleyen birçok proses olabilmekle beraber bu prosesin arkasındaki birçok mekanizma hala tam aydınlatılamamıştır.

4.5. Buğday Çeşitlerinin Değişik Organlarında Bitkinin Bazı Özellikleri Arasındaki Korelasyon Matrisleri

Ekmeklik buğday çeşitlerinin değişik organlarında bitkinin bazı özellikleri arasındaki Pearson Korelasyon Matrisleri Çizelge 4.39'da verilmiştir. İlgili

Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, ekmeçlik buğday çeşitlerinin hepsinde bütün organların Cd kapsamı ile ugulanan Cd dozu arasında yüksek düzeyde pozitif bir korelasyon saptanmıştır ($P < 0.01$). Bezostaja-1 çeşidinde Cd ve P arasındaki ilişkiyi bitki organları açısından değerlendirecek olursak bu iki element arasında yeşil aksamda pozitif ($P < 0.01$), tanede ise negatif ($P < 0.01$) korelasyon görülürken, sapta herhangi bir ilişki bulunmamıştır. Bitki organlarında Cd ve K kapsamaları arasındaki ilişki değerlendirilecek olursa, yeşil aksamda önemli negatif bir korelasyon ($P < 0.01$) görülürken, tane ve sapta iki element arasındaki korelasyon istatistiksel olarak önemli bulunmasa da Cd kapsamındaki artışla birlikte, özellikle sap K kapsamındaki göreceli azalış dikkat çekicidir. Ekmeçlik buğdayda Cd ve Zn ilişkisine bakıldığında üç aksamda da istatistiksel anlamda önemli korelasyon bulunmamakla birlikte tane ve sapın Cd kapsamlarında artışa paralel olarak aynı organların Zn kapsamında da kayda değer artışlar söz konusudur (Çizelge 4.39).

Ekiz çeşidinin hiçbir organında Cd ve P kapsamaları arasında önemli bir korelasyon bulunmazken, yeşil aksamda Cd ve K kapsamaları arasında önemli pozitif bir korelasyon ($P < 0.01$) tespit edilmiştir. Bitkinin her üç organında da Cd kapsamı arttıkça bitkinin Zn kapsamaları da oldukça önemli ($P < 0.01$) ölçüde artmıştır.

Kınacı-79 çeşidinde Cd ve P arasında yeşil aksamda önemli negatif korelasyon ($P < 0.05$) bulunurken, diğer organlarda herhangi bir ilişki bulunmamıştır. Yine aynı çeşitin tanesinde Cd ve K kapsamaları arasında önemli düzeyde pozitif bir ilişki ($P < 0.01$) saptanırken, diğer organlarda aynı elementler arasında bir ilişki belirlenememiştir. Cd ile Zn kapsamı arasındaki korelasyon ise aynen Ekiz çeşidinde olduğu gibi her üç organda da önemli ve pozitif (yeşil aksam ve tanede $P < 0.01$ ve sapta $P < 0.05$) bulunmuştur.

Çizelge 4.39. Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Bazı Özelliklerine Ait Pearson Korelasyon Matrisleri

BEZOSTAJA-1		Cd dozu	Verim	P	K	Zn
	Verim	-0.408				
	P	0.643**	-0.421			
Yeşil aksam	K	-0.900**	0.287	-0.680**		
	Zn	-0.023	0.174	0.176	-0.147	
	Cd	0.967**	-0.323	0.499*	-0.877**	-0.012
	Verim	-0.374				
	P	-0.777**	0.285			
Tane	K	-0.226	0.002	0.682**		
	Zn	0.365	-0.692**	-0.012	0.408	
	Cd	0.986**	-0.453	-0.759**	-0.233	0.435
	Verim	0.127				
	P	0.040	-0.220			
Sap	K	-0.582*	-0.211	-0.080		
	Zn	0.450	0.242	0.583*	-0.418	
	Cd	0.946**	0.141	0.017	-0.380	0.381
EKİZ		Cd dozu	Verim	P	K	Zn
	Verim	0.336				
	P	-0.032	0.219			
Yeşil aksam	K	0.840**	0.545*	0.104		
	Zn	0.718**	0.083	0.181	0.625**	
	Cd	0.939**	0.162	-0.029	0.758**	0.824**
	Verim	0.161				
	P	0.319	-0.215			
Tane	K	-0.292	-0.498*	0.523*		
	Zn	0.901**	0.116	0.535*	-0.100	
	Cd	0.981**	0.079	0.335	-0.266	0.917**
	Verim	0.054				
	P	0.008	-0.118			
Sap	K	-0.049	0.047	0.289		
	Zn	0.633**	0.100	0.059	0.133	
	Cd	0.948**	0.183	-0.067	0.069	0.719**

Çizelge 4.39. (Devam)

KINACI-79		Cd dozu	Verim	P	K	Zn
	Verim	-0.231				
	P	-0.602*	-0.033			
Yeşil aksam	K	-0.237	-0.428	0.634**		
	Zn	0.685*	-0.177	-0.320	0.276	
	Cd	0.938**	-0.309	-0.589*	-0.121	0.674**
	Verim	-0.284				
	P	-0.307	0.331			
Tane	K	0.477	-0.158	0.209		
	Zn	0.851**	0.057	-0.069	0.608*	
	Cd	0.949**	-0.255	-0.148	0.535*	0.877**
	Verim	-0.246				
	P	0.070	0.347			
Sap	K	0.032	-0.123	0.539*		
	Zn	0.458	-0.350	0.136	0.050	
	Cd	0.936**	-0.277	0.119	0.181	0.503*

Makarnalık buğday çeşitlerinin bazı özelliklerinin Pearson korelasyon matrisleri Çizelge 4.40'de verilmiştir. Aynen ekmeklik buğday çeşitlerinde olduğu gibi, makarnalık buğday çeşitlerinde de bitkinin tüm organlarının Cd kapsamı uygulanan Cd dozlarındaki artışa paralel olarak artmıştır ($P < 0.01$). Meram-2002 çeşidinde Cd ve P kapsamı arasında yeşil aksam ($P < 0.01$) ve tanede ($P < 0.05$) önemli negatif korelasyon saptanırken, aynı elementlerin sap kapsamında bu iki element arasındaki korelasyon önemsiz negatif çıkmıştır. Bitkide Cd ve K birikimine bakıldığında, ikisi arasında tanede önemli negatif korelasyon ($P < 0.05$) saptanırken, sapta istatistiksel olarak önemsiz pozitif bir ilişki bulunmuştur. Yeşil aksamın Cd kapsamı arttıkça Zn kapsamı da önemli ölçüde ($P < 0.05$) artmıştır. Fakat tane ve sapta Cd ve Zn arasında istatistik olarak önemli bir ilişki bulunmamıştır.

Selçuklu-97 çeşidinde Cd ve P arasındaki korelasyon tanede önemli ve pozitif bulunurken ($P < 0.05$), yeşil aksam ve saptaki kapsamı arasında önemli bir ilişki bulunmamıştır. Aynı durum Cd ve K kapsamı arasında da söz konusudur. Tanede

Çizelge 4.40. Makarnalık Buğday Çeşitlerinin Bazı Özelliklerine Ait Pearson Korelasyon Matrisleri

MERAM-2002	Cd dozu	Verim	P	K	Zn	
	Verim	-0.127				
	P	-0.751**	-0.070			
Yeşil aksam	K	-0.208	0.209	0.363		
	Zn	0.420	-0.113	-0.015	0.620*	
	Cd	0.952**	-0.009	-0.760**	-0.053	0.527*
	Verim	0.078				
	P	-0.655**	0.287			
Tane	K	-0.603**	-0.223	0.679**		
	Zn	-0.354	-0.304	0.447	0.628**	
	Cd	0.956**	0.093	-0.521*	-0.482*	-0.198
	Verim	0.269				
	P	-0.539*	0.043			
Sap	K	0.159	-0.422	-0.202		
	Zn	-0.023	-0.036	0.232	0.367	
	Cd	0.923**	0.054	-0.470	0.408	0.179
SELÇUKLU-97	Cd dozu	Verim	P	K	Zn	
	Verim	0.00				
	P	-0.042	0.263			
Yeşil aksam	K	0.352	0.440	0.578*		
	Zn	0.504*	-0.012	0.069	0.067	
	Cd	0.942**	-0.029	-0.089	0.234	0.684**
	Verim	-0.824**				
	P	0.504*	-0.597*			
Tane	K	0.475	-0.822**	0.678**		
	Zn	0.517*	0.802**	0.540*	0.901**	
	Cd	0.713**	-0.897**	0.548*	0.831**	0.899**
	Verim	-0.831**				
	P	-0.125	0.474			
Sap	K	0.395	-0.272	0.279		
	Zn	0.573*	-0.525*	0.058	0.340	
	Cd	0.920**	-0.858**	-0.226	0.358	0.749**

Çizelge 4.40. (Devam)

KIZILTAN-91	Cd dozu	Verim	P	K	Zn
	Verim	0.078			
	P	0.484*	0.119		
Yeşil aksam	K	0.462	0.069	0.546*	
	Zn	0.466	-0.250	0.257	0.226
	Cd	0.924**	-0.090	0.427	0.398
	Verim	-0.242			
	P	-0.609*	0.122		
Tane	K	0.463	0.052	0.333	
	Zn	0.422	-0.383	0.106	-0.095
	Cd	0.959**	-0.356	-0.498*	-0.476
	Verim	0.278			
	P	-0.038	-0.031		
Sap	K	-0.009	-0.256	0.127	
	Zn	0.485*	-0.077	0.681**	0.285
	Cd	0.938**	0.200	-0.056	-0.096
	Verim	0.176			
	P	-0.671**	-0.215		
Yeşil aksam	K	0.036	-0.719**	0.282	
	Zn	0.090	-0.517*	0.062	0.406
	Cd	0.908**	0.004	-0.536*	0.249
	Verim	0.060			
	P	0.084	0.127		
Tane	K	0.444	-0.400	0.441	
	Zn	0.353	-0.703**	0.221	0.734**
	Cd	0.939**	-0.158	0.134	0.616**
	Verim	-0.102			
	P	-0.390	-0.189		
Sap	K	0.493*	-0.694**	-0.017	
	Zn	-0.037	0.817**	0.355	0.433
	Cd	0.915**	-0.336	-0.412	0.636**
	Verim	0.195			
	P				
	K				
	Zn				
	Cd				

Cd ve K etkileşimi önemli ($P < 0.01$) ve pozitif çıkarken, yeşil aksam ve sapta önemli bir ilişki elde edilmemiştir. Selçuklu-97 çeşidinin her üç organında da Cd-Zn etkileşimi önemli ($P < 0.01$) ve pozitif çıkmıştır.

Kızıltan-91 çeşidinde tanenin Cd ve P kapsamları arasında önemli ($P < 0.05$) negatif bir ilişki saptanmış, diğer organlardaki iki element arasındaki etkileşim ise önemsiz pozitif çıkmıştır. Cd ve K kapsamları açısından her üç organda da etkileşim önemli bulunmamıştır. Selçuklu-97 çeşidinde olduğu gibi Kızıltan-91'in tüm aksamlarında da Cd ve Zn arasında önemli (yeşil aksamda ve sapta $p < 0.01$ ve tanede $p < 0.05$) pozitif korelasyonlar bulunmuştur.

Ç-1252'nin araştırılan tüm aksamlarında Cd ve P kapsamları arasında önemli ilişkiler bulunmamıştır. Yeşil aksam hariç, tane ve sapta Cd ve K kapsamları arasında önemli ($P < 0.01$) pozitif bir korelasyon bulunmuştur. Cd ve Zn arasındaki korelasyona bakıldığında ise, tanede önemli pozitif korelasyon ($P < 0.1$) sağlanırken, diğer aksamalarda önemli bir ilişki bulunmamıştır.

Arpa çeşitlerinin bazı özelliklerinin Pearson korelasyon değerleri Çizelge 4.41'de sunulmuştur. Aynen ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinde olduğu gibi, arpa çeşitlerinde de bitkinin incelenen tüm aksamlarının Cd kapsamı uygulanan Cd dozlarındaki artışa paralel olarak artmıştır ($P < 0.01$). Kral çeşidinin tüm organlarında Cd ve P kapsamları arasındaki ilişki önemsiz bulunmuştur. Cd ve K kapsamları arasındaki korelasyon ise yeşil aksamda önemli ($P < 0.05$) ve pozitif iken tane ve sapta önemsiz çıkmıştır. Cd ve Zn arasında da sadece yeşil aksamda pozitif bir korelasyon elde edilmiştir ($P < 0.01$).

Kalaycı çeşidinde Cd ve P arasında hiçbir aksamda önemli bir korelasyon bulunmamış, yeşil aksam ve sapta Cd ve K kapsamları arasındaki korelasyon ($P < 0.01$) ve yeşil aksam ve tanede Cd ve Zn kapsamları arasındaki korelasyon ($P < 0.05$) önemli ve pozitif bulunmuştur.

Çizelge 4.41. Arpa Çeşitlerinin Bazı Özelliklerine Ait Pearson Korelasyon Matrisleri

KRAL		Cd dozu	Verim	P	K	Zn
	Verim	-0.211				
	P	0.013	0.405			
Yeşil aksam	K	0.386	-0.403	-0.066		
	Zn	0.568*	-0.246	0.051	0.604*	
	Cd	0.962**	-0.269	-0.104	0.526*	0.685**
	Verim	0.419				
	P	0.181	-0.029			
Tane	K	0.175	-0.018	0.516*		
	Zn	0.376	-0.204	0.821**	0.653**	
	Cd	0.955**	0.309	0.116	0.087	0.378
	Verim	0.008				
	P	-0.452	-0.412			
Sap	K	-0.519*	0.426	-0.250		
	Zn	0.234	0.373	-0.242	-0.031	
	Cd	0.938**	-0.074	-0.328	-0.419	0.105
KALAYCI		Cd dozu	Verim	P	K	Zn
	Verim	-0.007				
	P	-0.108	0.351			
Yeşil aksam	K	0.553*	-0.081	0.024		
	Zn	0.752**	0.140	0.054	0.580*	
	Cd	0.942**	-0.051	-0.312	0.614**	0.793**
	Verim	-0.780**				
	P	0.136	-0.029			
Tane	K	-0.443	0.521*	0.466		
	Zn	0.667**	-0.445	0.156	-0.122	
	Cd	0.978**	-0.712**	0.137	-0.367	0.737**
	Verim	-0.720**				
	P	-0.095	0.426			
Sap	K	0.518*	-0.277	0.288		
	Zn	0.318	-0.122	0.228	-0.076	
	Cd	0.865**	-0.600*	0.000	0.782**	0.190

Çizelge 4.41. (Devam)

BÜLBÜL		Cd dozu	Verim	P	K	Zn
Yeşil aksam	Verim	-0.261				
	P	0.194	0.488*			
	K	0.616**	0.049	0.592*		
	Zn	0.818**	-0.268	0.334	0.847**	
	Cd	0.917**	0.291	0.262	0.791**	0.950**
Tane	Verim	-0.174				
	P	-0.045	0.399			
	K	0.410	-0.022	0.480		
	Zn	0.776**	0.020	0.261	0.475	
	Cd	0.966**	-0.287	-0.040	0.417	0.834**
Sap	Verim	-0.037				
	P	0.051	0.571*			
	K	0.156	0.023	0.477		
	Zn	0.701**	0.131	0.225	0.267	
	Cd	0.897**	-0.273	-0.020	0.309	0.754**
AVCI		Cd dozu	Verim	P	K	Zn
Yeşil aksam	Verim	0.568*				
	P	0.848**	0.436			
	K	0.278	0.540*	0.414		
	Zn	0.765**	0.823**	0.658**	0.631**	
	Cd	0.963**	0.566*	0.938**	0.316	0.771**
Tane	Verim	-0.527*				
	P	0.318	-0.032			
	K	0.284	-0.572*	0.477		
	Zn	0.165	-0.373	0.218	0.149	
	Cd	0.977**	-0.699**	0.246	0.350	0.250
Sap	Verim	0.732**				
	P	0.374	-0.271			
	K	-0.284	0.063	0.559		
	Zn	0.334	-0.022	0.595	0.304	
	Cd	0.933**	-0.765**	0.393	-0.211	0.409

Bülbül çeşidinde Cd ve P kapsamaları arasında hiçbir aksamda önemli korelasyon bulunmazken yeşil aksamda Cd ve K kapsamaları arasındaki korelasyon ($P < 0.01$) ve tüm bitki organlarında Cd ve Zn kapsamaları arasındaki korelasyon ($P < 0.01$) önemli bulunmuştur. Avcı çeşidinde ise Cd ve P arasında yeşil aksamda oldukça önemli ($P < 0.01$) derecede pozitif korelasyon saptanırken, Cd ve K arasında hiçbir aksamda önemli bir korelasyon bulunmamış, Cd ve Zn kapsamaları arasındaki korelasyon sadece yeşil aksamda önemli ($P < 0.01$) ve pozitif bulunmuştur.

Topraktaki Cd'un bitkinin P, K, Ca ve Mg gibi elementleri alımı, diğer organlara transferi ve kullanımı açısından değişiklik yarattığı birçok araştırmacı (Ciecko ve ark. 1995, 1998, 2000, 2001, 2004a, 2004b, 2004c, Das ve ark. 1998, Hlusek ve Richter 1992, Navarro-Pedreno ve ark. 1997 ve Obata ve Umebayashi 1997) tarafından rapor edilmiştir. Topraktaki Cd bitkinin çeşidi ve organına bağlı olarak K ve P kapsamalarında bir artış veya azalışa sebep olmaktadır. Bu konuda günümüze kadar yapılan çalışmalarda bitkide ağır metal akümüasyonu ve diğer makro ve mikroelement alımına etkileri tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Bu konuda daha ileri düzeyde araştırmalara ihtiyaç vardır.

Kadmiyum alımını etkileyen faktörler açısından Zn'ya bağlı bitki beslenme durumu da en çok çalışılan konuların başında gelmektedir. Zn uygulamasının bitkinin Cd alımı ve akümüasyonu üzerine etkisi ile ilgili çalışmalar benzer sonuçları yansıtmamaktadır. Kimi araştırmacılar (Adiloğlu ve ark. 2005, Köleli ve ark. 2004, Liu ve ark. 2003, Nan ve ark. 2002, Smilde ve ark. 1992) artan Cd uygulamasının buğday bitkisinde Zn konsantrasyonunu artırdığını rapor ederek Zn ve Cd arasında sinerjik bir etki olduğunu belirtirken, bazı araştırmacılar (Wu ve ark. 2003, Oliver ve ark. 1994) ise aksine Zn ve Cd arasında antagonistik bir etkileşim olduğunu rapor etmişlerdir. Çoğu araştırmacının birleştiği ortak nokta ise Zn noksanlığına maruz kalan bitkiler için artan Cd uygulaması bitkinin Zn konsantrasyonunu azalttığı, aksine bitkiye yeterli düzeyde Zn uygulandığında ise artan Cd uygulamasının Zn konsantrasyonu üzerine etkisiz kaldığı veya artırdığı yönündedir. Her ne kadar çalışmamızda ikinci yorum yönünde sonuçlar elde edilse de Cd-Zn etkileşiminin bu derece kompleks olmasının sebebi toprak özellikleri, bitki çeşidi, ve Zn/Cd oranı gibi bilinen faktörlerin yanında belki de ortamda bulunan diğer makro ve mikroelementler de önemli bir faktör olabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarımsal üretimi artırmak amacıyla aşırı derecede fosfatlı gübre kullanımı ve arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımına bağlı olarak dünya tarım topraklarının bir kısmı az ya da orta düzeyde Cd kirliliği ile karşı karşıyadır. Toprak-bitki sisteminde diğer ağır metallere kıyasla daha mobil olması nedeniyle Cd kolaylıkla besin zincirine girebilmekte ve insan ve çevre sağlığı açısından risk oluşturabilmektedir. Cd'un insan vücuduna girmesinde ana yol yiyeceklerimizdir. Kadmiyum kapsamı diğer gıdalara göre nispeten daha düşük olsa da günlük besin bileşenleri içerisinde payı çok yüksek olduğu için vücuda alınan Cd un %42' si tahıllardan kaynaklanmaktadır. (Ysart ve Möler 2000) Son AB Yönetmeliği ve Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği'ne göre buğday tanesinde maksimum izin verilebilir Cd konsantrasyonu 0.2 mg kg^{-1} 'dir. Birçok ülke gıda güvenliğini sağlamak için toprağa ilave edilen Cd miktarını azaltmak amacıyla gerek fosforlu gübrelerdeki Cd kapsamına gerekse toprağa ilave edilecek arıtma çamurlarının ağır metal kapsamına sınırlandırmalar getiren yasal düzenlemeler yapmaktadır.

Ülkemiz gerek tarımsal arazi varlığı gerekse iklim çeşitliliği bakımından sahip olduğu büyük tarım potansiyelinden dolayı dünya tarımında önemli bir paya sahiptir. Ülkemizin sahip olduğu bu avantajlara rağmen özellikle Orta Anadolu Bölgesi'nde aşırı derecede fosforlu gübre kullanımı topraklarda P birikimi ve Cd kirliliğine neden olmaktadır. Orta Anadolu Bölgesi'nde dekara 20-40 kg saf fosfor kullanılmakta olup toprakların %62'sinde fosfor birikimi ve Niğde-Nevşehir yöresi topraklarının %60'ında Cd biriktirme problemi olduğu bildirilmektedir (Anonymous 2005b). Kara ve ark. (2004) tarafından Niğde'nin Misli ve Altınhisar Ovaları patates ekim alanlarında yapılan survey çalışmasında kirlenmemiş alanların Cd kapsamı yaklaşık 1 mg kg^{-1} 'in altında tahmin edilirken survey yapılan alanların ortalama Cd kapsamı Misli Ovasında 1.83 mg kg^{-1} , Altınhisar Ovasında ise 1.67 mg kg^{-1} olarak saptanmış ve. Araştırmacılar bu kirliliğin nedenini uzun periyotta kullanılan ağır metal içerikli gübrelerle bağlamışlardır. Benzer şekilde Derici ve ark. (2002) tarafından Türkiye'de Cd kirlenmesinin boyutunu araştırmak amacıyla değişik yöreleri kapsayan bir dizi çalışmanın sonuçlarına göre; Nevşehir-Niğde yöresi

patates yetiştirme alanlarında toprakların Cd konsantrasyonu oldukça farklılık göstermiş alınabilir P ile DTPA-Cd arasında önemli pozitif ilişki saptanmıştır. Örneklenen patateslerin 1999 yılında %69'unun, 2000 yılında ise %32'sinin maksimum izin verilebilir Cd limitini aştığı belirlenmiştir. Araştırmacılar bunun nedenini toprak ve iklim faktörleri yanında kullanılan fosforlu gübrelere bağlamışlardır.

Türkiye'de gıda tüketiminin çoğunlukla tahıla dayalı olması ve tahıl üretiminde de ciddi bir potansiyele sahip olması nedeniyle gerek insanlarımızın gıda güvenliği gerekse dünya piyasalarında yer etmek adına bir takım önlemlerin önceden alınması gerekmektedir. Türkiye'de de özellikle Cd ile ilgili bilimsel çalışmalar oldukça sınırlıdır. Sonuç olarak Cd ile kirlenmiş tarım topraklarının yönetimi için birçok strateji önerilmektedir. Bunlardan birisi ise düşük düzeyde Cd kirliliği olan tarım alanlarında Cd akümüasyonu düşük olan bitki yetiştirmektir. Bitki çeşitleri içinde düşük düzeyde Cd akümü eden çeşitleri belirlemek için ise bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır.

Son yıllarda Nevşehir-Niğde yöresinde patatete çıkan kanser hastalığı nedeniyle bu bölgede çoğu alanlarda patates ekimi yasaklandığından dolayı çiftçilerin alternatif olarak tahıl üretimine yöneleceği düşüncesinden hareketle bu yörede düşük düzeyde Cd akümü eden tahıl çeşitlerinin belirlenmesi amacıyla bu çalışma yürütülmüştür.

Nevşehir yöresinde yapılan survey çalışması sonuçlarına göre, yöre topraklarının genellikle asidik karakterli, tuzsuz, zayıf organik maddeli, düşük kireçli, kumlu tekstüre sahip ve P ile K kapsamı açısından yeterli oldukları saptanmıştır. Toprakların toplam Cd ve Zn kapsamı arasındaki ilişki ($r = 0.594^{**}$) ve toplam Cd kapsamı ile DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd kapsamı arasındaki ilişki ($r = 0.552^{**}$) önemli pozitif ve lineer bulunmuştur. Toprakların alınabilir P kapsamındaki artışa paralel olarak toplam Cd kapsamı da artmıştır ($r = 0.492^{**}$). Bu sonuç topraklara Cd girdisinde fosforlu gübrelere önemli payı olduğunu göstermektedir. Ayrıca toprakların toplam Cd kapsamındaki artışa paralel olarak buğday ve arpada tanenin Cd konsantrasyonu da artmıştır ($r = 0.337^{*}$). Fakat tane Cd kapsamı Türk Gıda Kodeksi yönetmeliği'nde belirlenen sınır

değerini aşmamıştır. Tane Cd kapsamının büyük ölçüde toprak pH'sı ile negatif ilişkili olduğu görülmektedir. Toprakta pH değeri arttıkça tanedeki Cd konsantrasyonu azalmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre, toprağa artan dozlarda uygulanan Cd ekmeklik ve makarnalık buğday ile arpa çeşitlerinin hepsinde de yeşil aksam, tane ve sapın Cd kapsamını önemli ($P < 0.01$) derecede artırırken, artış oranı tahıl grubuna çeşide ve bitki organına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Bitki aksamlarının Cd kapsamına bakıldığında ise tane < yeşil aksam < sap şeklinde bir sıra izlediği görülmüştür. Tanenin Cd akümüasyonu açısından değerlendirildiğinde Ekiz (ekmeklik), Meram-2002 (makarnalık) ve Bülbül (arpa) en düşük düzeyde Cd akümü ederken, Selçuklu-97 (makarnalık) ve Avcı (arpa) çok yüksek düzeyde Cd akümü etmişlerdir. Tahıl çeşitlerinden ekmeklik buğday ile arpa arasında tane Cd kapsamı açısından fark çıkmamakla birlikte makarnalık buğday tanede en yüksek düzeyde Cd akümü ederek hem ekmeklik buğday hem de arpa ile arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur..

Artan Cd uygulamaları tahılların yeşil aksam, tane ve sap verimini genellikle düşürmüştür. Bu düşüş Cd'a toleranslı çeşitlerde daha az ve istatistiksel anlamda önemsiz çıkmakla beraber Cd'a toleranssız çeşitlerde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Özellikle makarnalık buğday çeşitlerinden Selçuklu-97 ($P < 0.01$) ve arpa çeşitlerinden Kalaycı ve Avcı'nın tane ve sap verimi önemli ($P < 0.01$) ölçüde düşmüştür.

Artan dozlarda uygulanan Cd'un ekmeklik ve makarnalık buğdaylar ile arpa çeşitlerinin P ve K kapsamlarına etkisi varyeteye ve bitki aksamına bağlı olarak farklılık göstermiştir.

Artan dozlarda Cd uygulamaları araştırılan tahılların her üç aksamında da Zn kapsamalarında bir artışa sebep olmuştur. Topraklarda yeterli düzeyde Zn bulunmasına bağlı olarak Cd artışıyla birlikte bitkilerin Zn kapsamaları da artmıştır.

Hava ve su ile kıyaslandığında çevresel bileşenler içinde toprak son derece karmaşık bir sistemdir. Bu, toprak özelliklerinin olağanüstü bir çeşitliliğe sahip olması yanında fiziksel, kimyasal ve biyolojik sistem şartlarıyla ilişkilidir. Bu çalışmada çeşitlerin Cd akümüasyonunda başlıca etken Cd uygulamaları ve toprak

pH'sı olmakla birlikte organik madde ve kireç kapsamının düşük ve kumlu tekstürlü olması, kirletici kaynağı olarak $CdCl_2 \cdot H_2O$ tuzunun kullanılması ve toprağa uygulanan temel gübre formlarının sülfatlı olması gibi birçok faktör rol oynamış olabilir. Bu anlamda bitkinin Cd alımını azaltmak için aşağıdaki gibi bir yönetim planı önerilebilir.

1. Öncelikle çiftçiler çeşit seçimi konusunda bilinçlendirilmeli ve düşük düzeyde Cd akümüle eden tahıl varyeteleri tercih edilmelidir. Nevşehir yöresinde özellikle düşük pH ya sahip tarım alanlarında ekmeklik buğday çeşitlerinden Ekiz, makarnalık buğday çeşitlerinden Meram-2002 ve Arpa çeşitlerinden Avcı tanede diğer çeşitlere kıyasla daha düşük düzeyde Cd akümüle ettiği için önerilebilir Bunun yanında makarnalık buğday çeşitlerinden Selçuklu-97 ve arpa çeşitlerinden Avcı diğer çeşitlere kıyasla tanede çok yüksek düzeyde Cd biriktirdikleri için insan sağlığı açısından risk oluşturabileceği gözden uzak tutulmamalıdır. Bu yüzden özellikle düşük pH ve kumlu tekstüre sahip topraklarda kullanılmamalı ancak Cd alımının sınırlandırıldığı pH'sı 7 nin üzerinde olan organik madde kapsamı yüksek ağır bünyeli topraklarda ancak kontrollü olarak ekimi önerilebilir

2. Fosfatlı gübre kullanımı tarım alanlarına Cd girdisini artıran en önemli faktördür. Üreticiler spesifik gübrelerdeki Cd ile ilgili olarak bilinçlendirilmeli ve düşük Cd içerikli gübre kullanmaları sağlanmalıdır. Köleli ve Kantar'ın (2005) Türkiye'de fosforlu gübre üretimi yapan özel ve kamu gübre fabrikalarının ağır metal içeriğinin değerlendirildiği çalışmalarında ham fosfat kayasından üretilen fosforlu gübrelerin Cd kapsamlarının ithal edildikleri ülkelere göre değişmekle birlikte çok yüksek olduğu bunun yanında fosforik asitten üretilen fosforlu gübrelerin Cd kapsamının daha düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca tarım topraklarında verimi artırmak amacıyla Türkiye'de üretilen DAP, TSP ve kompoze gübrelerin % 87 sinde Japonya ve Çin'in gübreler için belirlediği limit Cd değerine (8 mg kg^{-1} gübre) çok yakın ya da çok üstünde olduğu saptanmıştır (Köleli ve Kantar 2005). Fakat Türkiye'de bu konuyla ilgili yasal düzenlemeler henüz yapılmamıştır. Avrupa Birliğine girmeye çalıştığımız şu günlerde üye ülkelerle uyum sağlanabilmesi için hem yurtdışından ithal edilen ham ve ara ürünler için hem de ülkemizde üretimi yapılan fosforlu gübreler için Cd konsantrasyonu açısından yasal bir sınırlandırma getirilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Adams, M.N., Zhao, F.J., Mcgrath, S.P., Nicholson, F.A., Chalmers, A., Chambers, B.J. and Sinclair, A.H., 2001. Cadmium and Lead British Wheat and Barley: Survey Results and Factoring Affecting Their Concentration in Grain. Project Report No: 265. HGCA. November, 2001.
- Adams, M.L., Zhao, F.J., Mcgrath, S.P., Nicholson, F.A. and Chambers, B.J., 2004. Predicting Cadmium Concentrations in Wheat and Barley Grain Using Soil Properties. *J. Environ. Qual.* 33: 532-541.
- Adriano, D.C., 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals (2nd Ed.).
- Adiloğlu, A., 2002. The effect of Zinc (Zn) Application on Uptake of Cadmium (Cd) in Some Cereal Species: *Agronomy and Soil Science*, 48: 553–556.
- Adiloğlu, A., Adiloğlu, S., Gönülsüz, E. ve Öner, N., 2005. Effect of Zinc Application on Cadmium Uptake of Maize Grown in Zinc Deficient Soil. *Pakistan J. of Biological Sci.* 8(1): 10-12.
- Akay, A. ve Köleli, N., 2007. Interaction Between Cadmium and Zinc in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Grown under Field Conditions. *Bangladesh J. Bot.* 36(1): 13-19.
- Allison, L.E. and Moodie, C.D. 1965. Carbonate. In: C.A. Black et al. (Eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy* 9: 1379-1400. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Alloway, B.J., 1995. Heavy Metal in Soil Geochemical Origin of Heavy Metals. Second Edition. Page: 122, Blackie Academic & Professional.
- Anonymous, 1986. Bundesgesundheitsamt. 1986. Richtwerte'86 Für Blei Cadmium und Quecksilber in und auf Lebensmitteln. *Bundesgesundheitsblatt* 29: 22-23.
- Anonymous, 1993. National Food Authority food Standards Code. Aust. Gov. Print. Serv., Canberra, Australia.
- Anonymous, 1997. Australia and New Zealand Food Authority, 1997. Food Standards Code. Amendment 35. ANZFA, Canberra, Australia.

- Anonymous, 1999. Australia and New Zealand Food Authority, 1999. Contaminants in Food. Metals Proposal P157. ANZFA, Canberra, Australia.
- Anonymous, 2001. Ulusal Gıda ve Beslenme Stratejisi Çalışma Grubu Raporu. D.P.T. Müsteşarlığı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Gn. Md.lüğü, Ankara.
- Anonymous, 2005a. T.C. Resmi Gazete. 31 Mayıs 2005. Sayı: 25831.
- Anonymous, 2005b. Patatesteki Tehlike. Radikal Gazetesi. 14 Mart 2005.
- Anonymous, 2008. Çeşit Katoloğu. Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü, Ankara.
- Anonymous, 2008a. Amending Regulation (EC) No 1881/2006 Setting Maximum Levels for Certain Contaminants in Foodstuff. Official Journal of the European Union. COMMISSION REGULATION (EC) No: 629/2008.
- Anonymous, 2008b. Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğ Yetki Kanunu. Türk Gıda Kodeksi. Resmi Gazete: 17.05.2008-26879, Tebliğ No: 2008/26, Ek-4, Tablo 4.2.
- Arısoy, R.Z. ve Zengin, M., 2001. Konya Ovası Ana Tahliye Kanalı Civarı ve Çumra Yöresindeki Hububat Alanlarında Kadmiyum Birikimi. S.Ü. Ziraat Fak. Derg., 15 (28): 1-12, Konya.
- Bidwell, A.M. and Dowdy, R.H., 1987. Cadmium and Zinc Availability to Corn Following Termination of Sewage Sludge Application. J. Environ. Qual., 16 (4).
- Bouyoucouc, G.D., 1951. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of the soil. Agronomy J., 43: 434-438.
- CEC, 1986. Commission of the European Communities. Council Directive (86/278/EEC) on the Protection of the Environment, and in Particular of the Soil, when Sewage Sludge is Used in Agriculture. Official J. of the European Communities, 181: 6-12.
- Chang, A.C., Page, A.L., Foster, K.W. and Jones, T.E., 1982. A Comparison of Cd and Zinc Accumulation by Four Cultivars of Barley Grown in Sludge-Amended Soils. J. Environ Qual., 11(3).

- Chaudri, A.M., Zhao, F.J., McGrath, S.P. and Crosland, A.R., 1995: The Cadmium Content of British Wheat Grain. *J. of Env. Qual.*, 24: 850-855.
- Chaudri, A., McGrath, S., Gibbs, P., Chambers, B., Carlton-Smith, C., Godley, A., Bacon, J., Campbell, C. and Aitken, M., 2007. Cadmium Availability Wheat Grain in Soils Treated with Sewage Sludge or Metal Salts. *Chemosphere*, 66(8): 1415-1423.
- Chen, F., Wang, F., Zhang and Wu, F., 2007. Identification of Barley Varieties Tolerant to Cadmium Toxicity. *Bipological Trace Element Res.*, 121(2): 171-179.
- Cheng, W., Zhang, G., Yao, H., Wu, W. and Xu, M., 2006. Genotypic and Environmental Variation in Cadmium, Chromium, Arsenic, Nickel, and Lead Concentrations in Rice Grains. *Cheng et al./J. Zhejiang Univ. SCIENCE B* 2006 7(7): 565-571. ISSN 1673-1581 (Print); ISSN 1862-1783. (Online) www.zju.edu.cn/jzus; www.springerlink.com
- Choudhary, M., Bailey, L.D., Grant, C.A. and Leisle, D., 1995. Effect of Zn on the Concentration of Cd and Zn in Plant Tissue of Two Durum Wheat Lines. *Can. J. Plant. Sci.*, 75 (2): 445-448.
- Ciećko Z., Wyszowski M., Żołnowski A. (1995): Estimation of Effects of Tree Bark and Lime on Yield and Cadmium Uptake by Oats and Maize. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 418: 603–611. (In Polish)
- Ciećko Z., Wyszowski, M., Żolnowski, A., 1998. Cadmium Uptake by Maize in the Conditions of Brown Coal, Compost and Lime Application. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 455, 47, (In Polish).
- Ciećko Z., Wyszowski M., Żołnowski A., Kozon E., 2000. Yield and Chemical Composition of Maize in Relation to Soil Contaminated with Cadmium *Zesz. Nauk. PAN "Człowiek i Środowisko"*, 26, 253-257 (in Polish, with English abstract).
- Ciećko Z., Wyszowski, M., Krajewski, W. and Zabielska J., 2001. Effect of Organic Matter and Liming on the Reduction of Cadmium Uptake from Soil by Triticale and Spring Oilseed Rape. *Sci. Total Environ.* 281(1-3): 37-45.

- Ciećko, Z., Kalembasa, S., Wyszowski, and Rolka, E., 2004a. Effect of Soil Contamination by Cadmium on Potassium Uptake by Plants. *Polish J. of Env. Studies*, 13(3): 333-337.
- Ciećko, Z., Kalembasa, S., Wyszowski, M. and Rolka, E., 2004b. The Effect of Soil Contamination with Cadmium on the Phosphorus Content in Plants. *Electronic J. of Polish Agricultural Univ., Env. Development*, 7(1).
- Ciećko, Z., Kalembasa, S., Wyszowski, M. and Rolka, E., 2004c The Effect of Elevated Cadmium Content in Soil on the Uptake of Nitrogen by Plants. *Plant Soil Environ*, 50(7): 283-294.
- Cieslinski, G., Van Rees, K.C.J., Huang, P.M., Kozak, L.M., Rostad, H.P.W. and Knott, D.R., 1996. Cadmium Uptake and Bioaccumulation in Selected Cultivars of Durum Wheat and Flax as Affected by Soil Type. *Plant and Soil* 182: 5-24.
- Çakmak, İ., Yılmaz, A., Kalaycı, M., Ekiz, H., Torun, B., Erenoğlu, B. and Braun H.J., 1996a. Zinc Deficiency as A Critical Problem in Wheat Production in Central Anatolia. *Plant and Soil*, 180: 165-172.
- Çakmak, İ., Sarı, N., Marschner, H., Ekiz, H., Kalaycı, M., Yılmaz, A. and Braun H.J., 1996b. Phytosiderophore Release in Bread and Durum Wheat Genotypes Differing in Zinc Efficiency. *Plant and Soil*, 180: 183-189.
- Çakmak, İ., Torun, B., Erenoğlu, B., Öztürk, L., Marschner, H., Kalaycı, M., Ekiz, H. and Yılmaz, A., 1998. Morphological and Physiological Differences in Cereals in Response to Zinc Deficiency. *Euphytica*, 100, 349-357.
- Das, P., Samantaray, S. and Rout, R., 1998. Studies on Cadmium Toxicity in Plants: A Review. *Environ. Pollut.* 98 (1): 29-36.
- Derici, R.M., Evliya, H., Ağca, N., Özkutlu, F., Eker, S., Öztürk, L. 2002. Çukurova Bölgesinde Toprak ve Bitkilerde Kadmiyum Konsantrasyonunun Araştırılması ve Bitkilerde Kadmiyum Birikimini Etkileyen Faktörlerin Toprak Analizleri ve Sera Denemeleri ile İncelenmesi TUBİTAK Proje No: Togat/Tarp-2382 Kasım-2002 ADANA

- Dessougi, E.H., Claassen, N., Steingrobe, B., 2002. Potassium Efficiency Mechanisms of Wheat, Barley, and Sugar Beet Grown on a K Fixing Soil Under Controlled Conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. Vol 165, No:6, PP 732-737
- Dheri, G.S., Brar, M.S., Malhi, S.S., 2007. Influence of Phosphorus Application on Growth and Cadmium Uptake of Spinach in Two Cadmium-Contaminated Soils. *J. of Plant Nutrition and Soil Sci.*, 170(4): 495-499.
- Dong, B., Rengel, Z. and Graham, D., 1995. Effects of Herbicide Chlorsulfuron on Growth and Nutrient Uptake Parameters of Wheat Genotypes Differing in Zn-Efficiency. *Plant Soil*, 173: 275-282.
- Dudka, S., Piotrowska, M. and Chlopecka, A., 2004. Effect of Elevated Concentrations of Cd and Zn in Soil on Spring Wheat Yield and the Metal Contents of the Plants. *Water, Air, & Soil Pollution*. 76(3-4): 333-341.
- Dunbar, K.R., Mclaughlin, M.J. and Reid, R.J., 2003. The Uptake and Partitioning of Cadmium in Two Cultivars of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *J. of Exp. Botany*, 54 (381): 349-354.
- EU, 2002. Working Document on Sludge. Directorate General, Environ., Brussels.
- FAO, 2009. <http://faostat.fao.org>
- FAO, 1990. Micronutrient Assessment at the Country Level: An International Study. FAO Soil Bulletin by Sillanpaa. Rome.
- Gartrell, M.J., Craun J.C., Podrebarac, D.S. and Gunderson, E.L., 1986. Pesticides, Selected Elements and Other Chemicals in Adult Total Diet Samples. October 1980-March 1982. *J. Assoc. of Anal. Chem.* 69: 146-161.
- Gedikoğlu, İ., Kalınbacak, K., Yurdakul, İ. ve Yalçıkli, A., 1998. Bazı Ağır Metallerin Toprakten Ekstraksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Buğday Yetiştirilerek Kalibrasyonu. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enst. Müdürlüğü, Ankara.
- Gonçalves, J.F., Antes, F.G., Maldaner, J., Pereira, L.B., Tabaldi, LA., Rauber, R., Rossato, L.V., Bisognin, D.A., Dressler, V.L., Flores, E.M., Nicoloso, F.T.,

2009. Cadmium and Mineral Nutrient Accumulation in Potato Plantlets Grown Under Cadmium Stress in Two Different Experimental Culture Conditions. *Plant Physiol Biochem.*, 47(9): 814-21.
- Grabinski, J. and Stuczynski, T., 2004. Cadmium Uptake of Winter and Spring Wheat Cultivars Depending on the Chemical form of Potassium Fertilizer. *Annales UMCS, Sec. E*, 2004, 59(2): 553-558.
- Gray, C.W., McLaren, R.G. and Roberts, A.H.C., 2001. Cadmium Concentrations in Some New Zealand Wheat Grain. *New Zealand J. of Crop and Hort. Sci.*, 29: 125-136.
- Grant, C.A. and Bailey, L.D. 1996. Effects of Phosphorus and Zinc Fertiliser Management on Cadmium Accumulation in Flaxseed. *J. Sci. Food Agric.* 1997, 73: 307-314.
- Greger, M. and Löfstedt, M., 2004. Comparison of Uptake and Distribution of Cadmium in Different Cultivars of Bread and Durum Wheat. *Crop Science Society of America*, 44: 501-507.
- Guoping, Z., C. Jingxing, and E.A. Tiore. 1999. Genotype Variation for Potassium Uptake and Utilization Efficiency in Wheat. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 54:41-48
- Hart, J.J., Welch, R.M., Norvell, W.A., Sullivan, L.A. and Kochian, L.V., 1998. Characterization of Cadmium Binding, Uptake and Translocation in Intact Seedlings of Bread and Durum Wheat Cultivars. *Plant Physiology*, 116(4): 1413-1420.
- Hassan, M.J., Zhu, Z., Ahmad, B. and Mahmood, Q., 2006. Influence of Cadmium Toxicity on Rice Genotypes as Affected by Zinc, Sulfur and Nitrogen Fertilizers. *Caspian J. Env. Sci.*, 4(1): 1-8.
- He, J., Zhu, C., Ren., Yan, Y. and Jiang, D., 2006. Genotypic Variation in Grain Cadmium Concentration of Lowland Rice. *J. of Plant Nutrition and Soil Sci.* 169(5): 711-716.
- Hellstrand, S. and Landner, L., 1998. Cadmium in Fertilizers, Soil, Crops and Foods- the Swedish Situation. In *Cadmium Exposure in the Swedish Environment.*

KEMI Report No: 1/98.

- Hlusek J. and Richter, R., 1992. Concentration of Major Nutrients in Potatoes Growing in Soil Contaminated with Heavy Metals to which Soil Improvers were Applied. *Rostl. Vyr.* 38(1): 97-106.
- Hutton, M., 1982. Cadmium in the European Community: A Prospective Assessment of Sources, Human Exposure and Environmental Impact. Monitoring and Assessment Res. Centre Tech. Rep. 26. Univ. of London, London, England.
- Iqbal, R.J., Ranjha, A.M., Waheed, T. and Ahmed, I., 2001. Genotypic Differences Among Cotton Genotypes for Phosphorus Use Efficiency and Stress Factor. *Int. J. of Agric. and Biology.* 1560-8530/2001/03-2-186-187. <http://www.ijab.org>
- Ivarsson, K., Oborn, I. and McLaughlin, M., 2000. Cadmium from Plough to Plate. Concluding Remarks How We Can Minimise The Cadmium Transfer into The Food Chain. Report from a Cadmium Seminar on 12 June 2002 in Uppsala, Sweden. Report Food 21, No: 5/2002.
- Jackson, M., 1958. Soil Chemical Analysis. p.1-498. Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Jansson, G., 2002. Cadmium in Arable Crops. The Influence of Soil factors and Liming. Doctorate Thesis. Swedish Univ. of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Jinadasa, N., Milham, P., Hawkins, C., Cornish, P., Williams, P., Kaldor, C. and Conroy, J., 1999. Cadmium Levels in Soils and Vegetables. Rural Industries Research & Development Corporation. RIRDC Publication No: 99/10. RIRDC Project No: UWS-4A.
- Jorhem, L. and Sundström, B., 1993. Levels of Lead, Cadmium, Zinc, Copper, Nickel, Chromium, Manganese and Cobalt in Foods on the Swedish Market 1983-1990. *J. Food Comp. Anal.*, 6: 223-241.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 2001. Trace Elements in Soils and Plants. Third Edition. CRC Press, Boca Raton.
- Kacar, B., 1972. Bitki ve Toprağın kimyasal Analizleri. A.Ü. Ziraat Fak. Yay. No: 468, A.Ü. Basımevi, Ankara.

- Kacar, B. ve Katkat, A.V., 1998. Bitki Besleme. Uludağ Üniv. Güçlendirme Yay. No: 127, VİPAŞ Yay., No: 3, Bursa.
- Kara. E.E., Pırlak, U. and Özdilek, H.G., 2004. Evaluation of Heavy Metals (Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn) Distribution in Sowing Regions of Potato Fields in the Province of Niğde, Turkey. *Water, Air and Soil Pollution*, 153: 173-186. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands
- Khan, N.A., Ahmad, I., Singh, S. and Nazar, R., 2006. Variation in Growth, Photosynthesis and Yield of Five Wheat Cultuvars Exposed to Cd Stres. *Word J. of Agricultural Sci.*, 2(2): 223-226. ISSN 1817-3047.
- Khoshgoftarmanesh, A.H., Shariatmadari, H., Karimian, N., Kalbasi, M. and Van der Zee, M.S.E.A.T., 2006. Cadmium and Zinc in Saline Soil Solutions and Their Concentrations in Wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 582-589.
- Knudsen, D., Peterson, G.A. and Pratt, P.F., 1982. Lithium, Sodium and Potassium. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No: 9 (2nd Ed.) ASA-SSSA. Wisconsin, USA.*
- Köleli, N., Eker, S. and Çakmak, İ., 2004. Effect of Zinc Fertilization on Cadmium Toxicity in Durum and Bread Wheat Grown in Zinc-Deficient Soil. *Enviromental Pollution*, 133(3): 453-459.
- Köleli, N. ve Kantar, Ç., 2005. Fosfat Kayası, Fosforik Asit ve Fosforlu Gübrelerdeki Toksik Ağır Metal (Cd, Pb, Ni, As) Konsantrasyonu. *Ekoloji*, 14(55): 1-5.
- Lijbben, S. and Sauerbeck, D., 1991. The Uptake and Distribution of Heavy Metals by Spring Wheat. *Water, Air, and Soil Pollution*, 57(58): 239-247.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A., 1978. Development of DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Sci. of Amer. Journal*, 42: 421-428.
- Liu, J.G., Liang, J.S., Li, K.Q., Zhang, Z.J., Yu, B.Y., Lu, X.L., Yang, J.C and Zhu, Q.S., 2003. Correlations Between Cadmium and Mineral Nutrients in Absorption and Accumulation in Various Genotypes of Rice under Cadmium Stres. *Environmental and Public Health Management*, 52(9): 1467-1473.
- Malan, L.H. and Farrant, J.M., 1998. Effect of the Metal Pollutants Cadmium and

- Nickel on Soybean Seed Development. *Soil Science Res.*, 8: 445-453.
- McLaughlin, M.J., Williams, C.M.J., McKay, A., Kirkham, R., Gunton, J., Jackson, K.J., Thompson, R., Dowling, B., Partington, D., Smart, M.K. and Tiler, K.G., 1994. Effect of Cultivar on Uptake of Cadmium by Potato Tubers. *Australian J. of Agricultural Res.*, 45(7): 1483-1495.
- McLaughlin, M.J., Parker, D.R. and Clarke, J.M., 1999. Metal and Micronutrients-Food Safety Issues. *Field Crop Res.*, 60: 143-163.
- Mench, M., and E. Martin, 1991. Mobilization of Cadmium and Other Metals from Two Soils by Root Exudates of *Zea mays* L., *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotiana rusticana* L. *Plant Soil*, 132: 187-196.
- Morgan, H., 1988. The Shipham Report. An Investigation into Cadmium Contamination and its Implications for Human Health. *The Science of The Total Environment* 75, 1-10. Elsevier Science Publishing BV. Amsterdam.
- Mortvedt, J.J. and Beaton, J.D., 2001. Heavy Metal and Radionuclide Contaminants in Phosphate Fertilizers. (<http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/6mortvedt.htm>).
- Murányi, A., Seeling, B., Ladewig, E., and Jungk, A., 1994. Acidification in the Rhizosphere of Rape Seedlings and in the Bulk Soil by Nitrification and Ammonium Uptake. *Z. Pflanzennähr. Bodenk.* 157: 61-65.
- Nan, Z., Li, J., Zhang, J. and 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(1-3): 187-195.
- Narwal, R.P., Mahendra, S., Gupta, A.P. and Singh, M., 1995. Influence of Cadmium Enriched Sewage Water on Growth and Nutrient Content of Corn. *Ann. Biol. Ludhiana*, 11(1-2): 158-163.
- Navarro-Pedreno, J., Gomez I., Moral, R., Palacios, G., Mataix, J., 1997. Heavy Metals and Plant Nutrition and Development. *Res. Development Phytochem*, 1: 173-179.

- Norwell, W.A., Wu, J., Hopkins, D.G. and Welch, R.M., 2000. Association of Cadmium in Durum Wheat Grain with Soil Chloride and Chelate-Extractable Soil Cadmium. *Division S-8 Nutrient Management & Soil & Plant Analysis . Soil Science Society of America J.*, 64: 2162-2168.
- Obata H. and Umebayashi, M., 1997. Effects of Cadmium on Mineral Nutrient Concentrations in Plants Differing in Tolerance for Cadmium. *J. Plant Nutr.* 20(1): 97.
- Oliver, D.P., Hannam, R., Tiler, K.G., Wilhelm, N.S., Merry, R.H. and Cozens, G.D., 1994. The Effects of Zinc Fertilization on Cadmium Concentration in Wheat Grain. *J. Environ. Qual.*, 23: 705-711. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711. USA.
- Oliver, D.P., Gartrell, J.W., Tiller, K.G., Correll, G.D., Cozens, G.D. and Youngberg, B.L., 1995. Differential Responses of Australian Wheat Cultivars to Cadmium Concentrations in Wheat Grain. *Australian J. Agric. Res.*, 46: 873-886.
- Olsen, S.V., Cole, F.S., Watanabe, W. and Dean, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. U.S. Dept of Agr. Cir. 939, Washington, D.C.
- Öztürk, L., Eker, S. and Ozkutlu, F., 2003. Effect of Cadmium on Growth and Concentrations of Cadmium, Ascorbic Acid and Sulphydryl Groups in Durum Wheat Cultivars. *Turk J. Agric. For.* 27: 161-168.
- Page, A.L., Chang, A.C. and Amamy, M.E., 1987. Cadmium Levels in Soils and Crops in the United States. Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment Edited by T.C. Hutchinson and K.M. Meema, 1987 SCOPE. Published by John Wiley & Sons Ltd., USA.
- Penner, G.A., Clarke, J., Bezte, L.J. and Leisle, D., 1995. Identification of RAPD Markers Linked to a Gene Governing Cadmium Uptake in Durum Wheat. *Genome*, 38: 543-547.

- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement Saline and Alkaline Soils U.S.D.A. Handbook, 60: 105-106.
- Sanità di Toppi, L. and R. Gabrielli, 1999. Response to Cadmium in Higher Plants. *Environ. Exp. Bot.*, 41: 105-130.
- Senn, A. and Milhalm, P., 2000. Managing Cadmium in Vegetables. Agfact H8. AC.2, Eecond Edition.
- Singh, S.P., Takar, P.N. and Nayyar, V.K., 1989. Effect of Cadmium on Wheat as Influenced by Lime and Manure and its Toxic Level in Plant and Soil. *Int. J. of Env. Studies*. ISSN 0020-7233 CODEN IJEVAW, 1989. 33(1-2): 59-66.
- Simon, L., 1998. Cadmium Accumulation and Distribution in Sunflower Plant. *J. Plant Nutrit.* 21(2): 341-352.
- Smilde, K.W., 1981. Heavy-Metal Accumulation in Crops Grown on Sewage Sludge Amended with Metal Salts. *Plant and Soil*, 62: 3-14.
- Smilde, K.W., Van, L.B. and Van., D.W. 1992. The Extraction by Soil and Absorption by Plants of Applied Zinc and Cadmium. *Plant and Soil*, 143(2): 233-238.
- Smolders, E., and McLaughlin, M.J., 1996. Chloride Increases Cadmium Uptake in Swiss Chard in A Resin-Buffered Nutrient Solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1443-1447.
- Soltanpour, P.N. and Workman, S.M., 1981. Use of Inductively-Coupled Plasma Spectroscopy for the Simultaneous Determination of Macro and Micro Nutrients in NH_4HCO_3 -DTPA Extracts of Soils. In Barnes R.M. (ed). *Developments in Atomic Plasma Analysis, USA*, pp. 673-680.
- Soon, Y.K. and Bates, T.E., 1982. Chemical Pools of Cadmium, Nickel and Zinc in Polluted Soils and Some Preliminary Indications of Their Availability to Plants. *J. Soil Sci.*, 33: 477-488.
- Ulrike, M. and Remigius, C., 2005. Cadmium and Zinc Interactions in Trace Element Accumulation in Chamomile. *J. of Plant Nutrition*. ISSN 0190-4167 CODEN JPNUDS 2005, 28(8): 1383-1396.

- Verloo, N., 1996. Soil Pollution and Soil Protection. Soil-Plant Relationship in Contaminated Soils. University Gent, Faculty Agrucultural and Applied Biologiol Sciences Belgium. Phlo.
- Walkley, A., 1947. A Critical examination of a Rapid Method for Determining Organic Carbon in Soils: Effect of Variations in Digestion Conditions and İnorganic Soil Constituent. Soil. Sci. 63: 251-263.
- Wagner, G.J., Nulty, E. and Lefevre, D.M., 1984. Cadmium in Wheat Grain: Its Nature and Fate after Ingestion. J. of Toxicology and Environmental Health, 13: 979-989.
- Welch, R.M., Hart, J.J., Norvell, W.A., Sullivan, L.A. and Kochian, L.V., 1999. Effects of Nutrient Solution Zinc Activity on Net Uptake, Translocation, and Root Export of Cadmium and Zinc by Separated Sections of Intact Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. Durum) Seedling Roots. Plant and Soil 208: 243–250, 1999.© 1999 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Wu, F., Zhang, G. and Yu, Z., 2003. Interaction of Cadmium and Four Microelements for Uptake and Translocation in Different Barley Genotypes. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 34(13-14): 2003-2020.
- Wu, F., Dong, J., Chen, F., Zhang, G. 2005 Response of Cadmium Uptake in Different Barley Genotypes to Cadmium Level. Journal of Plant Nutrition, Volume 28, Number 12, Number 12/2005, pp. 2201-2209(9)
- Ysart, G. and Mōler, P., 2000. Total Diet Study-Dietary Exposures to Aluminium, Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Lead, Mercury, Nickel, Selenium, Ti and Zinc. Food Additives and Contaminants. 17 (9), 775-786.
- Yurtsever, N., 1984. Deneysel İstatistik Metotlar. (Mülga) Köy Hizmetleri Genel Md.lüğü Toprak ve Gübre Araşt. Enst. Md.lüğü Yay. No: 121, Teknik Yay. No: 56, Ankara.
- Zhang, G., Fukami, M. and Sekimoto, H., 2000. Genotypic Differences in Effects of Cadmium on Growth and Nutrient Compositions in Wheat. J. of Plant Nutrition, ISSN0190-4167, CODENJPNUDS, 23(9): 1337-1350 (1 p 3/4).

- Zhang, G, Fukami, M. and Sekimoto, H., 2002a. Difference between Two Wheat Cultivars in Cd and Mineral Nutrient Uptake under Different Cd Levels. Pub Med, PMD:12222053 [PubMed-indexed for MEDLINE].2002 Apr, 13(4): 454-8.
- Zhang, G., Fukami, M. and Sekimoto, H., 2002b. Influence of Cadmium on Mineral Concentrations and Yield Components in Wheat Genotypes Differing in Cd Tolerance at Seedling Stage. Field Crop Res., 77(2-3): 93-98.
- Zhao, Z.Q., Zhu, Y.G., Li, H.Y., Smith, S.E. and Smith, F.A., 2004. Effects of Forms and Rates of Potassium Fertilizers on Cadmium Uptake by Two Cultivars of Spring Wheat (*Triticum aestivum*, L.). Environmental International, 29(7): 973-978.
- Zhao, Z.Q., Zhu, Y.G., Smith, S.E. and Smith, F.A., 2005. Cadmium Uptake by Winter Wheat Seedlings in Response to Interactions Between Phosphorus and Zinc Supply in Soils. J. of Plant Nutrition, 28(9): 1569-1580.

ÖZGEÇMİŞ



Şengül TONGARLAK

Şengül TONGARLAK 1966 yılında Nevşehir'in Hacıbektaş ilçesine bağlı Köşektaş Köyü'nde doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Kayseri'de, Lise öğrenimini ise Ankara'da tamamladı. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 1989 yılında mezun olduktan sonra 1990 yılında Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Şanlıurfa Araştırma Enstitüsü'nde Laboratuvar Mühendisi olarak göreve başladı. 1995 yılında Köy Hizmetleri Konya Araştırma Enstitüsü'ne atandı. Araştırma Enstitüsü'nde çalıştığı sürede iki kez Türk-İngiliz Kültür Derneği tarafından düzenlenen Bakanlığın açtığı uzun dönem İngilizce eğitim kurslarına katıldı. İngiltere'de Reading Üniversitesi'nde 1996 yılında bir buçuk ay süre ile 'Toprak ve Bitki Analizleri' konusunda kurs gördü. Yine yurt içinde toprak ve su analizleri ile ilgili çeşitli seminer ve kurslara katıldı. 2003-2007 yılları arasında Köy Hizmetleri Konya Bölge Müdürlüğü'nde çalıştı. Halen Devlet Su İşleri IV. Bölge Müdürlüğü Kalite ve Kontrol Şube Müdürlüğü'nde (Konya) çalışan TONGARLAK evli ve iki çocuk annesi olup İngilizce bilmektedir.