



TÜTÜN ÇEŞİTLERİNİN (*Nicotiana tabacum* L.)

KADMIYUM (Cd) TOKSİSİTESİNE

**DAYANIKLILIKLARININ
BELİRLENMESİ**

RAMAZAN YAKAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI
DOÇ.DR. HALİL ERDEM**

Haziran - 2019

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜTÜN ÇEŞİTLERİNİN (*Nicotiana tabacum* L.) KADMİYUM (Cd)
TOKSİSİTESİNE DAYANIKLILIKLARININ
BELİRLENMESİ

RAMAZAN YAKAR

TOKAT
Haziran - 2019

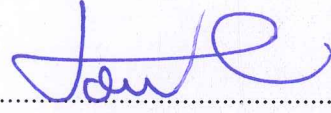
Her hakkı saklıdır

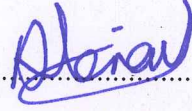
Ramazan YAKAR tarafından hazırlanan "Tütün Çeşitlerinin (*Nicotiana tabacum*) Kadmiyum (Cd) Toksisitesine Dayanıklılıklarının Belirlenmesi" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 20 HAZİRAN 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

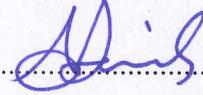
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Halil ERDEM
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Üye
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet KINAY
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Üye
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DEMİRBAŞ
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi







ONAY

Prof. Dr. Çetin ÇEKİÇ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

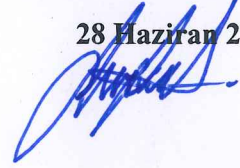


TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Ramazan YAKAR

28 Haziran 2018



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜTÜN ÇEŞİTLERİNİN (*Nicotiana tabacum*) KADMIYUM (Cd) TOKSİSİTESİNE DAYANIKLILIKLARININ BELİRLENMESİ

RAMAZAN YAKAR

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. HALİL ERDEM

Kadmiyum (Cd) biyolojik fonksiyonlar açısından gerekli bir element olmayıp, diğer ağır metallere göre insan, hayvan ve bitkiler için 2-20 kat daha fazla toksik etkiye sahip bir elementtir. Tütün (*Nicotiana tabacum* L.) çok yüksek düzeylerde Cd biriktirebilmektedir. Bununla birlikte, Cd alımındaki tütün çeşitlerinin genotipik farklılıkları ve Cd toksisitesine cevapları net olarak belirlenememiştir. Bu çalışma, sera koşullarında farklı tütün çeşitlerinin (Özbaş, Canik-190/5, Xanthi/81 ve Birlik/124) Cd toksisitesine (0, 5, 10 ve 20 mg Cd kg⁻¹, (CdSO₄)₃.8H₂O formu)) karşı tepkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Tütün çeşitleri kontrollü koşullar altında yetiştirilmiş ve artan Cd dozları ile birlikte gerekli makro (N, P ve K) ve mikro (Fe ve Zn) besinleri denemenin başında toprağa uygulanmıştır. Toprağa artan dozlarda Cd uygulaması ile 4 farklı tütün bitkisinin yeşil aksam kuru madde verimlerinde istatistiksel olarak önemli (p<0.01) düzeyde azalmalara, buna karşın yeşil aksam Cd konsantrasyonu ile içeriğinde ise önemli (p<0.01) artışlara neden olduğu ortaya çıkmıştır. En yüksek Cd uygulaması (Cd20) koşullarında kuru madde veriminde meydana gelen azalma en fazla Özbaş (%58.5 azalma), Birlik/124 (%52.4 azalma) ve Canik (%51.1 azalma) çeşitlerinde, en az ise Xanthi/81(%44.6 azalma) çeşitinde meydana gelmiştir. Bitkilerin topraktan kaldırdıkları Cd bakımından çeşitler arasından önemli farklılıkların olduğu, Cd20 uygulamasında topraktan Cd alımı en fazla Xanthi/81 (395.2 µg Cd plant⁻¹), en az ise Canik (232.6 µg Cd plant⁻¹) çeşitlerinde olmuştur. Toksik Cd uygulamaları çeşitlerin yeşil aksam Zn konsantrasyonlarında azalmaya neden olurken, Cu konsantrasyonlarında önemli artışlara neden olmuş, Fe ve Mn konsantrasyonlarında ise önemli bir değişim olmamıştır. Sonuç olarak, Canik çeşitinin diğer çeşitlerden daha az düzeyde topraktan Cd kaldırdığı, buna karşın Xanthi/81 çeşitinin daha fazla Cd aldığı ve bu çeşitinin diğer tütün çeşitlerine göre Cd toksisitesine karşı daha dayanıklı olduğu ortaya çıkmıştır.

2019, 31 SAYFA

ANAHTAR KELİMELER: Kadmiyum, Cd alımı, Tütün çeşitleri, Verim

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION OF RESISTANCE TO CADMIUM TOXICITY IN TOBACCO VARIETIES (*Nicotiana tabacum* L.)

RAMAZAN YAKAR

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION

SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. HALİL ERDEM

Cadmium (Cd), a heavy metal, is not needed for biological functions and has 2-20 times more toxic impacts for human, animal, and plants compared to the other heavy metals. Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) can accumulate higher concentrations of Cd. However, the genotypic differences of tobacco cultivars (Özbaş, Canik-190/5, Xanthi/81 and Birlik/124) in Cd uptake and the responses to Cd toxicity have not been clearly determined. This study was conducted to determine the resistance of different tobacco cultivars to Cd toxicity under greenhouse conditions. Four different doses of Cd (0, 5, 10 and 20 mg Cd kg⁻¹ soil, (CdSO₄)₃.8H₂O form)) were used to test the resistance of four tobacco cultivars. Macro (N, P and K) and micro (Fe and Zn) nutrients required for tobacco plants were applied to soils. Increasing the Cd application doses significantly (P<0.01) decreased the shoot dry matter yields of 4 different tobacco plants, while shoot Cd concentration and contents significantly (P<0.01) increased. The highest decrease in dry matter yield under the highest Cd (Cd20) treatment was occurred in Özbaş (58.5% reduction), Birlik/124 (52.4% reduction) and Canik (51.1% reduction) cultivars, while the lowest decrease was in Xanthi/81 (44.6% reduction) cultivar. The amount of Cd removed from soil was significantly different among the tobacco cultivars. The highest Cd uptake was obtained in Cd20 treatment, while the lowest was in Xanthi/81 (395.2 g Cd plant⁻¹) and Canik (232.6 g Cd plant⁻¹) cultivars, respectively. Toxic Cd treatments resulted in a significant decrease in the shoot Zn concentrations, in contrast, to increase in Cu concentrations of the cultivars. However, the Fe and Mn concentrations have not significantly varied between cultivars. The results revealed that Canik cultivar removes lower Cd from soil compared to the other cultivars, whereas Cd uptake of Xanthi/81 cultivar is higher, thus is considered more resistant to Cd toxicity than other cultivars.

2019, 31 PAGES

KEYWORDS: Cadmium, Cd uptake, Tobacco cultivar, Yield

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen bilgi ve tecrübeleri ile daima yol gösterici olan saygı değer hocam Doç. Dr. Halil ERDEM'e teşekkür ederim.

Deneme kurulması ve materyal sağlanmasındaki yardımlarından dolayı Dr.Öğr.Üyesi Ahmet KINAY'a teşekkür ederim. Aynı zamanda laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesinden Zir. Yük Müh. Yusuf Tutuş'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında desteğini bir an olsun esirgemeyen her zaman yanımda olan eşim ve değerli aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

Ramazan YAKAR
28 Haziran 2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Toprakta Kadmiyum (Cd).....	4
2.2. Bitkide Kadmiyum	7
2.3. Kadmiyumun İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM	10
3.1. Materyal.....	10
3.1.1. Denemede kullanılan bitki materyali.....	10
3.1.2. Denemede kullanılan toprak materyali.....	10
3.2. Metot.....	11
3.2.1. Denemenin kurulması.....	11
3.2.2. Bitki analizleri	11
3.2.3. Toprak analizleri.....	11
3.2.4. İstatistiksel analizler	12
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	13
4.1. Kadmiyum (Cd) Uygulamalarının Tütün Çeşitlerinin Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi, Cd Konsantrasyonu ve İçeriğine Etkisi.....	13
4.2. Kadmiyum (Cd) Uygulamalarının Tütün Çeşitlerinin Yeşil Aksam Zn, Fe, Mn ve Cu Konsantrasyonlarına Etkisi.	18

4.3. Kadmiyum (Cd) Uygulamalarının Tütün Çeşitlerinin Yeşil Aksam P, K ve Mg Konsantrasyonlarına Etkisi.....	21
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	24
6. KAYNAKLAR	25
7. ÖZGEÇMİŞ	31



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge	Açıklama
-	Eksi
%	Yüzde
/	Bölu
+	Artı
<	Küçüktür
>	Büyüktür
°C	Santigrat derece
μ	Mikro
dS	Desisimens
g	Gram
ha	Hektar
kg	Kilogram
mg	Miligram
mM	Milimolar
ppm	Milyonda bir parça

Kısaltmalar	Açıklama
-SH	Sülhidril Grubu
NH ₃	Amonyak
HNO ₃	Nitrik asit
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
ICP-OES	İndüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektroskopisi
NADH	Nikotinamid adenin di nükleotit
C	Karbon
Fe	Demir
CO ₂	Karbondioksit
Cd	Kadmiyum
Zn	Çinko

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1.	Sera denemesinde kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	10
Çizelge 4.1.	Artan dozlarda Cd uygulamasının 4 farklı tütün çeşitinin kuru madde verimi, yeşil aksam Cd konsantrasyonu ve içeriğine etkisi	16
Çizelge 4.2.	Artan dozlarda Cd uygulamasının 4 farklı tütün çeşitinin yeşil aksam Zn, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonuna etkisi	20
Çizelge 4.3.	Artan dozlarda Cd uygulamasının 4 farklı tütün çeşitinin yeşil aksam P, K ve Mg konsantrasyonuna etkisi	22

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1.	Artan dozlarda Cd uygulamasının 4 farklı tütün çeşitinin gelişimi üzerine etkileri	14
Şekil 4.2.	Cd 20 dozu uygulamasının 4 farklı tütün çeşitinin gelişimi üzerine etkileri	14
Şekil 4.3.	20 mg kg ⁻¹ Cd uygulaması koşullarındaki tütün genotiplerinin Cd içerikleri (µg Cd bitki ⁻¹)	18



1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın başından itibaren hızlı bir şekilde artışa geçen dünya nüfusunun baskısıyla modern tarıma geçilmesi, hızlı sanayileşmeyle birlikte, çevre kirliliği problemleri de ortaya çıkmaya başlamıştır. Yıldan yıla artan dünya nüfusunun beslenmesi, gelişen endüstrilerin ve kentleşmenin bir sonucu olarak günümüzde de giderek artan boyutlarda önemini korumaktadır. Endüstrileşme ve kentleşmeye bağlı ortaya çıkan çevre kirliliği ile birlikte topraklar da kirlenmekte bu da canlılar üzerinde tehlikeli olabilecek boyutlara ulaşmaktadır. Doğrudan ve dolaylı yollardan oluşabilen çevre ve toprak kirliliği probleminden besin zinciri yoluyla bütün organizmaların etkilenmesi, bu problemin büyüklüğünü ve tehlikesini daha da arttırmaktadır. Çevre ve toprak kirliliğine neden olan faktörlerden en önemlisi ağır metallerdir (Yang ve ark., 2018). Günümüzde toprak, su ve hava gibi ortamlarda yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller, dünya yüzeyindeki tüm organizmaların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline almıştır. Ağır metallerin toprak, su ve havaya yayılmasına neden olan etmenlerin başında endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar ile kentsel atıklar gelmektedir (Jarup, 2003).

Ağır metallere biri olan kadmiyum (Cd), günümüzde çeşitli kullanım alanlarıyla ve çevre kirliliğindeki önemli rolü ile gündeme gelmiş oldukça toksik bir metaldir. Kadmiyum ana materyal veya endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübre uygulamaları gibi insan aktiviteleri sonucunda toprağa ulaşmaktadır. İnsan faaliyetleriyle toprağa ulaşan Cd'un %54-58'i fosforlu gübrelerden, %39-41'i atmosferik depolanmadan, %2-5'i ise atık çamur ve çiftlik gübresi uygulamalarından kaynaklanmaktadır (Andresen ve Küpper, 2013; Cheng ve ark., 2014). Kadmiyum diğer metallere göre daha fazla suda çözünür ve hareketliliğe sahip olduğu için bitki tarafından alınabilirliği de fazladır. Bu nedenden dolayı toprakta birikimi en tehlikeli ağır metaldir.

Diğer ağır metallere göre Cd yaklaşık 2 ila 20 kat daha fazla toksik etkiye sahip bir ağır metaldir. Bitkilerin bünyesinde belirlenen Cd'un %90'ını topraktan kökleri vasıtasıyla alırken, %10'unu da atmosferden yaprakları vasıtasıyla alırlar. Endüstri bölgelerinin ve yoğun trafiği olan yolların yakınındaki bitkilerde bulunan Cd'un %40'undan fazlası havadan alınmaktadır. Bitkilerin Cd içeriği genel olarak kuru ağırlık esasına göre <0.5

mg/kg'dır (Özbek ve ark., 1995; Shahid ve ark., 2016). Toksik bir ağır metal olan Cd bitki kökleri tarafından kolayca alınabilmekte ve yeşil aksamına taşınabilmektedir (Marschner, 2008). Bitkilerde kadmiyum birikimi biyokimyasal ve fizyolojik işlemlerde sorunlara yol açmakta ve bunun sonucunda bitki büyümesi ve morfolojisi olumsuz şekilde etkilenmektedir (Hussain ve ark., 2019). Araştırmalar kadmiyumun, tohum çimlenmesini (Jaouani ve ark., 2018) ve bitki büyümesini engellediğini (Sandalio ve ark., 2001) ortaya koymuştur. Bitkilerde kadmiyum birikimine bağlı olarak, fotosentezde (Ciscato ve ark., 1999; Li ve ark., 2015) besin dağılımında (Erdem ve ark., 2012ab; Erdem ve ark., 2017) ve bitki-su ilişkilerinde (Barcelo ve Poschenrieder, 1990) problemler ortaya çıktığı ve bu durumun gözle görülebilir zararlanma belirtilerine, örneğin sararma, büyümede gerileme, kök uçlarında kahverengileşme ve ölümlere neden olduğu bildirilmiştir (Hsu ve Kao, 2007; Anjum ve ark., 2008).

Bitkilerin ağır metal stresinden etkilenme düzeyleri, çevre faktörleri ve bitkinin gelişme dönemine göre farklılık gösterir. Farklı bitki türleri ve tür içerisindeki genotipler farklı duyarlılık göstermektedirler. Örneğin yumru köke sahip ve yaprağı yenen sebzelerin diğer sebzelere (Stolt ve ark., 2003), makarnalık buğdayların ekmeleklik buğdaylara göre (Erdem ve ark., 2012a) daha fazla Cd biriktirdiği gözlemlenmiştir. Patates, mısır, fasulye ve bezelyenin çok az miktarda Cd akümüle ettiği buna karşılık salatalık, ıspanak, kereviz, lahananın ve tütün'ün fazla miktarda Cd'u biriktirebilme özelliğine sahip olduğu açıklanmıştır (Davis ve Calton-Smith, 1980; Bergman, 1992; Erdem ve ark., 2012b). Tütün ile ilgili yapılan bir çok çalışmada, diğer kültür bitkilerine göre tütünlerin topraktan çok daha fazla Cd kaldırdığı bildirilmiştir (Grant ve ark., 1998, Dağhan ve ark., 2012, Erdem ve ark., 2012b, Erdem ve ark., 2017). Bunun yanında tütün Cd ile kirlenmiş sorunlu toprakların fitoekstraksiyon yöntemi ile ıslah çalışmalarında tütün çeşitlerinin kullanıldığı bildirilmiştir (Keller ve ark., 2005; Fassler ve ark., 2010; Dağhan ve ark., 2012). Tütün dumanı, özellikle sigara içen insanlar tarafından Cd alımının ortak mekanizmalarından biri olduğu için (Anttila ve ark., 1988, Willers ve ark., 2005), farklı Cd konsantrasyonlarında yetiştirilen tütünlerin Cd alımı üzerindeki etkisini belirlemek önemlidir.

Bu tez çalışmasının amacı;

- 1) Kadmiyum dozlarının farklı tütün çeşitlerinin büyümesi üzerindeki etkilerini,
- 2) Farklı Cd dozlarında yetiştirilen tütün çeşitlerinin Cd alımları bakımından çeşitler arasındaki farklılıkları, ve
- 3) Kadmiyumun tütün çeşitlerinin Cd, P, K, Mg, Zn, Mn, Fe ve Cu alımına olan etkisini belirlemektir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Toprakta Kadmiyum (Cd)

Toprakta ağır metal kirliliği, günümüzde önemli çevresel sorunlar arasında yer almaktadır (Doumett ve ark., 2008; Nouri ve ark., 2009). Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın hazırladığı rapora göre, ağır metaller 129 öncelikli gruptan çevre kirleticileri arasında en önemli gruplarından birini oluşturmaktadır (Neilson ve ark., 2003). Topraklarda en sık rastlanan metal kirleticiler kurşun (Pb), civa (Hg), arsenik (As), krom (Cr), kadmiyum (Cd), bakır (Cu) ve nikel (Ni)'dir. Toprak sistemi ilişkili olduğu su ve havanın içerdiği kirleticiler için son depolama noktasıdır. Diğer taraftan toprak, karasal ekosistemin taşıyıcı unsuru olup, toprak kalitesindeki değişim, gerek doğal ve gerekse tarım ekosisteminin verimliliğini etkilemektedir. Periyodik çizelgede yoğunluğu 5 g cm^{-3} 'den büyük olan ya da atom ağırlığı 50 ve daha büyük olan elementler ağır metal olarak tanımlanmaktadır (Nagajyoti ve ark., 2010; Dağhan, 2011). Ağır metalleri; bitki gelişimi için mutlak gerekli olanlar demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), mangan (Mn) ve molibden (Mo), bitki gelişimini teşvik edici olanlar vanadyum (V), kobalt (Co), nikel (Ni) ve bitkiye doğrudan toksik etki yapanlar (As, Pb, Cd, Cr ve Hg) olarak üç grup altında toplamak mümkündür. İster mutlak gerekli olsun ister bitki gelişimini teşvik edici olsun, ağır metallerin topraktaki aşırı konsantrasyonları hem bitkiler hem de diğer canlılar üzerinde toksik etki yapmaktadır (Alloway, 2012).

Canlı organizmalar için toksik etkiye sahip olan kadmiyum, ekosistemdeki en tehlikeli ağır metal kirleticilerinden birisidir. Yer kabuğunda ortalama 0.1 mg/kg , topraklarda ise 0.53 mg/kg Cd bulunmaktadır. Toprakta 3 mg/kg 'dan fazla Cd toksik etkilere yol açmaktadır (McLaughlin ve Singh, 1999).

Kadmiyumun topraktaki asıl kaynağı toprak ana materyalidir. Ancak, özellikle son 20-30 yıllık süreçte dünya topraklarının Cd içeriğinin arttığı bildirilmektedir. Kadmiyum içeriğindeki bu artışın en önemli nedeni olarak fosforlu gübre ve arıtma çamurlarının yoğun olarak kullanılması gösterilmektedir (McLaughlin ve Singh, 1999). Örneğin Danimarka topraklarında yukarıda belirtilen yollarla Cd konsantrasyonu her yıl yaklaşık % 0.6'lık bir artış gösterdiği belirlenmiştir (Alloway, 2012). Kadmiyum diğer metallerden daha fazla suda çözünebilirliğe ve hareketliliğe sahip olduğu için bitki

tarafından alınabilirliği de fazladır. Toprak çözeltilisindeki Cd ile toprak katı fazında adsorbe olmuş Cd arasındaki dinamik denge pH' ya, metal formlarının kimyasal yapısına, Cd bileşiklerinin stabilitesine, fonksiyonel grupların bağlanma gücüne, çözeltilerin iyonik gücüne ve Cd ile yarışan diğer iyonlara bağlıdır (Alloway ve Steinnes, 1999). Toprakta bitkiye geçiş oranı yüksek (1-10 cm.) ve toprakta oldukça hareketli olan Cd'un çok düşük konsantrasyonlarda bile özellikle Zn noksanlığında bitkiler tarafından alınması ve bitkinin yenen kısımlarında birikmesi bu metalin çevre sağlığı açısından büyük bir sorun olduğunu göstermektedir (Oliver ve ark., 1994).

Topraklarda ortaya çıkan Cd kirliliğinin 3 önemli nedeni bulunmaktadır. Bunlar;

I) Topraklara ve bitkilere hava ile taşınma (Atmosferik emisyon)

Toprak ve bitkilere atmosferik yollardan giren Cd'un ana antropojenik kaynakları; a) enerji üretimi ve çeşitli sanayi ürünleri; b) atıkların yakılması ve c) metallerin çeşitli kullanımları oluşturmaktadır (Pacyna ve ark., 2009). Atmosferik birikimden dolayı 1850'lerden bu yana Cd'de % 27-55 artışlar gözlenmiştir. Bu, toprak pulluk katmanı Cd konsantrasyonunun 0,7 ila 1,9 $\mu\text{g kg}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ arasında bir artışa karşılığa denk gelmekte ve 1,9–5,4 $\text{g Cd ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ artışa eşdeğerdir (Jones ve ark., 1987). Toprak ve bitkilere miktarı, kırsal alanlardaki tarım arazilerine yakın bölgelerde 0.1-4 ng m^{-3} arasında olurken kentsel/endüstriyel alanlarda bulunan arazilerde ise 2-150 ng m^{-3} düzeyindedir (OECD, 1994). Klor, SO_4 ve SO_3 gibi Cd'un ana formları aerosol-parçacıklar halinde suspanse olarak ıslak veya kuru şekilde toprağın veya bitkinin yüzeyinde birikebilme özelliğine sahiptir. Bu tür özelliklerden dolayı atmosferik Cd konsantrasyonunun, yayıldığı kaynağın uzaklığına bağlı olarak da 1-50 ng m^{-3} arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir (Jones ve ark., 1987). Bu nedenle topraklara atmosferik yollardan Cd girişi, kırsal alanlarda ve endüstriyel kuruluşların yakınındaki arazilerde farklı olmaktadır. Örneğin Avrupa'da atmosferik Cd konsantrasyonunun aralığı kırsal alanlar için 3.6-20 ng m^{-3} ve endüstriyel alanlar için 16.5-54 ng m^{-3} olup, metal işleyen fabrikalara yakın yerlerde bu değerlerin 11000 ng m^{-3} 'e kadar yükseldiği açıklanmıştır (Hutton, 1982). Pfeiffer ve ark (1988), şehir merkezlerinin kenar yerlerinde ve endüstriyel alanlarda atmosferden Cd depozitinin sırasıyla 100 ve 1000 $\text{g ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ düzeyinde olduğunu açıklamıştır.

II) Doğrudan yapılan uygulamalar

Çamur atıkları, kentsel katı atıklar, fosforlu gübreler, fosfojipsler, kömür ve odun bileşimlerinin yanmış atıklarından kaynaklanan topraklara Cd girişi olmaktadır. Kanalizasyon çamur atıkları bileşim yönünden çok farklı atık maddelerden

oluşmaktadır. Atık maddeler, genellikle şehir ve endüstri atıklarından oluşmaktadır. Kanalizasyon arıtma çamurları Cd bakımından çok zengindir (Jamali ve ark., 2009). Kanalizasyon atıklarının tarım topraklarına uygulanması ile bu topraklarda yetiştirilen bitkilerde yüksek düzeyde Cd birikimine neden olmaktadır (McLaughlin ve Singh, 1999). Yapılan bir çalışmada, kanalizasyon çamur atıklarının uygulandığı topraklara minimum <1 ppm ve maksimum 3410 ppm Cd girişi olduğu bildirilmiştir (Alloway, 1995). Toprağa kanalizasyon çamuru uygulanması ile şeker pancarı, ıspanak ve marul bitkilerinin kanalizasyon çamuru uygulanmayan bitkilere göre daha yüksek konsantrasyonlarda Cd biriktiği bildirmiştir (McGrath ve ark., 2000). Ortaya çıkan bu problemlere karşı son yıllarda birçok ülke kanalizasyon çamuru atıklarında bulunması gereken maksimum izin verilebilir Cd konsantrasyonlarını yasal düzenlemeler ile belirlemiştir. Kanalizasyon çamuru atıklarında bulunması gereken maksimum izin verilebilir Cd konsantrasyonları ülkelere göre; Danimarka, Finlandiya ve İsveç: 0.5 ppm; Fransa: 2.0 ppm; Almanya: 1.5 ppm; İspanya: 1.0 ppm; İngiltere: 3.0 ppm ve ABD: 20 ppm olarak belirlemiştir (McLaughlin ve Sings, 1999).

Tarım topraklarına gübre yolu ile Cd girişinin en önemli kaynağı fosforlu gübrelerdir (McLaughlin ve Sings, 1999; Murtaza ve ark., 2015). Fergusson, (1990) yapmış olduğu bir çalışmada, fosforlu gübrelerin 300 mg kg⁻¹ üstünde Cd'a sahip olurken, N ve K'lu gübrelerin ise 9 mg kg⁻¹'dan daha az Cd içerdiğini bildirmiştir. Fosfat kayaları bazı ağır metalleri yüksek konsantrasyonlarda içermekte olup, bunlardan en önemlisi Cd'dur. Genelde fosfat kaya rezervlerinin % 91'nin bileşimde As (arsenik), Cd, Cr (krom), Pb (kurşun), Hg (civa), Ni (nikel) ve Va (Vanadyum) elementlerinin bulunduğu bildirilmiştir (Kpombekou ve Tabatabai, 1994; Murtaza ve ark., 2015). Uzun süre fosfor içeren gübrelerin kullanımıyla sürekli olarak topraklara Cd girişi olduğundan topraklarda belli bir düzeyde Cd birikimine neden olmakta, daha sonra bu topraklarda yetiştirilen bitkilerde yüksek düzeyde Cd konsantrasyonları ortaya çıkmaktadır (He ve Singh, 1994). Fosforlu gübreler yoluyla topraklara ciddi düzeylerde Cd girişi olması ve bu Cd'un insan sağlığını etkilemesi nedeni ile bazı ülkelerde P'lu gübrelerde bulunmasına izin verilebilir maksimum Cd konsantrasyonu belirlenmiştir. Buna göre, fosforlu gübrelerde maksimum izin verilebilir Cd konsantrasyonu (1 kg P başına mg Cd olarak), Danimarka'da 110 ppm, Almanya'da 200 ppm, Japonya'da 340 ppm ve Norveç'te 100 ppm olarak belirlenmiştir (Jinadasa ve ark., 1997).

III) Kaza-kaçak kirlenmeler

Kaza/ kaçak yollar ile topraklarda ortaya çıkan Cd kirliliği genellikle endüstriyel bölgelere yakın arazilerin kirlenmeye maruz kalması, maden atıklarının dere, ırmak, göl veya topraklara boşatılması ve galvanizli metallerin paslanmasıyla etrafa yaydıkları metal kirlenmesinden ileri gelmektedir (Alloway ve Ayres, 1997).

2.2. Bitkide Kadmiyum

Bitkilerde Cd alımı, yaprak ve tanede taşınma ve birikim mekanizmaları net bir şekilde anlaşılammıştır. Son yıllarda bu konuda giderek artan bilgi birikimi olmuştur (Grant ve ark., 1998). Toprakta bulunan elementlerin bitkiler tarafından kullanılabilmesi için bu elementlerin toprak çözeltisi içerisinde bulunması gerekir. Toprak çözeltisinde Cd, Cd⁺² iyonu şeklinde ve metal kompleksi formlarında (CdCl⁻, CdOH⁻, CdHCO₃⁺, CdCl₃⁻ ve Cd(OH)₃⁻) bulunmaktadır (Kabata-Pendias ve ark., 2001). Kök hücre içi ve dışı arasındaki Cd aktivitesindeki elektrokimyasal potansiyel farklılığı Cd absorpsiyonunda önemli rol oynamaktadır. Bu büyük negatif membran potansiyeli tek başına, Cd'un toprak solusyonunda çok düşük aktivitelerinde bile (10⁻⁹ M Cd⁺) Cd⁺ alımının devamı için yeterli miktardan daha çok enerji sağlamaktadır (McLaughlin ve Sings., 1999).

Kadmiyum bitki bünyesinde azot ve karbonhidrat metabolizmalarını değiştirmesi nedeniyle birçok fizyolojik değişikliğe neden olmaktadır. Proteinlerin -SH gruplarındaki enzimleri inaktive etmekte, stomaların kapanmasına, transpirasyon ile su kaybının azalmasına ve klorofil biyosentezinin bozulmasına neden olmaktadır (Sheoran ve ark., 1990). Kadmiyum stresi koşullarında azot metabolizmasının enzimleri olan nitrat redüktaz ve nitrit redüktazın aktiviteleri azalmaktadır. Bu durum bitkilerin nitrat asimilasyonunu azaltmaktadır (Gouia ve ark., 2000). Bitkilerin Cd içeriği genel olarak kuru ağırlık esasına göre <0.5 mg/kg'dır. Hem bitki türleri hem de aynı türün genotipleri ağır metalleri absorbe etme, biriktirme ve tolere etme bakımından farklılıklar göstermektedir. (Grant ve ark., 1998; Hart ve ark., 2002). Kadmiyum, Mn, Zn, Mo ve Se gibi bitki kökleri tarafından alındıktan sonra kolayca yeşil aksama taşınabilmektedir. Toprakta diğer ağır metallere göre daha hareketli olan Cd, toprak-su sistemi içerisinde bitkiye hızlı bir şekilde taşınabilmektedir (Moral ve ark., 2002). Beslenmemizde büyük rol oynayan buğday, mısır, çeltik, marul, bezelye, pancar, turp ve patates Cd'u kolayca absorbe edebilmektedir. Yumru köke sahip ve yaprağı yenen sebzelerde kadmiyum

birikimi diğer bitki türlerine göre daha fazla olmaktadır. Tahıllar içerisinde makarnalık buğdayların ekmeklik buğdaylara göre tanelerinde daha fazla kadmiyum biriktirdiği de çeşitli araştırmalarla saptanmıştır (Clarke ve ark 1997; Hart ve ark., 2002). Patates, mısır, fasulye ve bezelyenin çok az miktarda Cd akümüle ettiği buna karşılık tütün, salatalık, ıspanak, kereviz ve lahananın fazla miktarda Cd'u biriktirebilme özelliğine sahip olduğu açıklanmıştır (Davis ve Calton-Smith, 1980; Bergman, 1992; Jinadsa ve ark., 1997; Erdem ve ark., 2012b). Bitkilerin yenilebilir kısımlarına taşınan Cd miktarı türler arasında önemli düzeyde farklılık göstermektedir. Li ve ark. (1997), çeltik, mısır, ayçiçeği, keten, makarnalık ve ekmeklik buğday ile soya fasülyesinde türler arasındaki Cd konsantrasyonunun yaklaşık 100 kat düzeyinde bir farklılık gösterdiğini saptamıştır. Ayrıca, ayçiçeği ve keten tanesinin mısır ve çeltik tanesine göre daha fazla Cd biriktirdiği bulunmuştur. Mısır ve çeltik bitkisinin Cd'a karşı dayanıklılığın test edildiği diğer bir araştırmada ise, Cd toksisitesine karşı bu iki bitkinin fizyolojik olarak güçlü bir toleransa sahip olmasına rağmen söz konusu bitkilerin tanesine Cd'un kolayca taşındığı tespit edilmiştir (Wang, 2002). Guo ve Marschner (1995), mısır, fasulye, çeltik, keten ve ıspanak bitkilerinde köklerden yeşil aksama taşınan Cd konsantrasyonu bakımından çok geniş düzeyde bir genetik farklılığın olduğunu belirlemiştir. Bu araştırmada Cd alımı bakımından mısırın yeşil aksama daha fazla Cd taşıdığı saptanmıştır. Hocking ve McLaughlin (2000), yaptığı bir tarama çalışmasında keten tohumunda yüksek miktarda Cd'un biriktiğini ve maksimum izin verilebilir sınır değerinin ($250 \mu\text{g kg}^{-1}$) üzerinde Cd birikimine rastlandığını bulmuştur. Aynı araştırmacılar sera koşullarında 17 farklı keten genotipinde tohum Cd konsantrasyonunun genotipler arasında önemli farklılıklar gösterdiğini saptamıştır. Bu denemeden elde edilen bulgulara göre keten tohumlarının Cd konsantrasyonunun 233 ile $545 \mu\text{g kg}^{-1}$ arasında değiştiği ve en yüksek Cd konsantrasyonunun maksimum izin verilebilir sınır değerinden 2.3 kat fazla olduğu belirlenmiştir.

Tütün yapraklarında yüksek konsantrasyonlarda Cd biriktirebilme yeteneğine sahip bir bitkidir. Kadmiyum alımı ve yapraklarda birikimi bakımından ortaya çıkan farklılıkların nedenleri arasında çeşit özellikleri, tarımsal uygulamalar, toprakların Cd konsantrasyonu, iklim koşulları, toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri yer almaktadır (Lugon-Moulin ve ark., 2004).

2.3. Kadmiyumun İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi

Günümüzden 40 yıl kadar önce Japonya'da Cd'un neden olduğu *itai-itai* hastalığı, birçok insanı olumsuz etkilemiş ve çok sayıda insanın ölümüne neden olmuştur. Bu olayı takiben, dünya kamuoyunun dikkatleri bu element üzerine yoğunlaşmıştır. Bu konu ile ilgili yapılan araştırmalarda, Cd'un insanlarda fazlaca biriktiğinde akciğer, karaciğer, böbrek rahatsızlığı gibi çok ciddi sağlık sorunlarına yol açtığı bulunmuştur (İnaba ve ark., 2005). Endüstriyel faaliyetler, sanayi atıkları, arıtma çamuru kullanımı, gübre ve ilaç kullanımı ile toprak, su ve hava ortamlarına yayılan Cd besin zinciri ve solunum yoluyla insan ve hayvanlara ulaşarak etkili olmaktadır (Nagajyoti ve ark., 2010). Kadmiyum ile kirlenmiş topraklarda yetişen bitkiler, bu bitkilerle beslenen hayvanlardan üretilen hayvansal gıdalar ve içme sularına karışan sanayi atıkları aracılığıyla Cd insan bünyesine ulaşmaktadır (Mertz, 2012). İnsan yaşamını etkileyen en önemli Cd kaynakları sigara dumanı (1 adet sigara 1-2 µg Cd içerir), rafine edilmiş yiyecek maddeleri, su boruları, kahve, çay, kömür yakılması, kabuklu deniz ürünleri, gübre kullanımı ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazlarıdır (Aydoğdu ve ark., 2007).

Dünya sağlık örgütünün bildirdiğine göre haftalık 0.4-0.5 mg (60 kg'lık insan için) tolere edilebilir olarak kabul edilmektedir (JECFA, 2004). Vücuda alınan kadmiyumun %3-8'i özellikle ciğer ve böbreklerde birikim gösterir. Bu miktar Cd tüm vücutta bulunan miktarın yaklaşık %50'si kadardır. Kadmiyumun biyolojik yarılanma ömrünün 19-38 yıl kadar uzun bir süre olmasından dolayı insanlarda ciğer ve böbreklerdeki kadmiyum miktarı yaşa bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle yüksek Cd konsantrasyonlarından kaynaklı böbrek rahatsızlıkları genellikle elli yaşın üzerindeki insanlarda ortaya çıkmaktadır (Özbek ve ark., 1995). Günümüzde Cd zehirlenmesinin en bariz örneği olarak; Japonya'nın Toyama kentinde aşırı Cd karışan pirinçler nedeniyle 200 kişide ağır Cd zehirlenmesine bağlı olarak kalıcı kemik ve böbrek rahatsızlıklarının ortaya çıkması gösterilmektedir. Kronik Cd zehirlenmesinde ortaya çıkan en önemli etki akciğer ve prostat kanseridir. Kemik erimesi, kansızlık, diş dökülmesi ve koku duyusunun yitilmesi önemli etkilerindendir (Yağmur ve ark., 2003).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Denemede kullanılan bitki materyali

Denemede 4 farklı (Özbaş, Canik-190/5, Xanthi/81 ve Birlik/124) tütün çeşidi kullanılmıştır. Özbaş orta geççi bir çeşit olup, bitki boyu 60-85 cm, yaprak sayısı 35-40 adet olan iyi tekstürlü nikotin oranı yaklaşık %0.6, şeker oranı ise %14-17 arasındadır. Canik-190/5 erkenci bir çeşit olup, bitki boyu 75-95 cm, yaprak sayısı 32-35 adettir. Nikotin oranı yaklaşık %1.10, şeker ise %6-9 arasında olan yaprak dokusu kalın bir çeşittir. Xanthi/81 orta geççi, bitki boyu 65-105 cm, yaprak sayısı 30-32 olup, nikotin ortalama %2.80, şeker oranı %10-12 olan bir çeşittir. Birlik/124 orta geççi, bitki boyu 85-125 cm, yaprak sayısı 40-44, nikotin oranı %0.65, şeker oranı ise %15-18 arasında olan bir çeşittir (Peksüslü, 1998).

3.1.2. Denemede kullanılan toprak materyali

Sera denemesinde kullanılan toprak Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Arazisinden alınmıştır. Deneme toprağının tekstürü siltli tın, organik maddesi az, kireç içeriği yüksek ve tuzsuz olup, DTPA'da ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonu ise çok düşüktür. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Sera denemesinde kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

pH (1/2.5 H ₂ O)	8.01		P (mg kg ⁻¹)	2.35
Tuz (%)	0.017		K (mg kg ⁻¹)	167
Organik M. (%)	0.89		Zn (mg kg ⁻¹)	0.38
Kireç %	11.8		Fe (mg kg ⁻¹)	6.65
Textür	SL		Cd (mg kg ⁻¹)	0.004

3.2. Metot

3.2.1. Denemenin kurulması

Sera denemesi tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Plastik saksıların kullanıldığı denemede her saksıya 1750 g toprak koyulmuştur. Temel gübreleme olarak tüm saksılara 250 mg kg⁻¹ N, Ca(NO₃)₂, 100 mg kg⁻¹ P ve 125 mg kg⁻¹ K, KH₂PO₄ formunda, 2 mg kg⁻¹ Fe, Fe-EDTA formunda ve 2 mg kg⁻¹ Zn, ZnSO₄·7 H₂O formunda uygulama homojen olarak toprağa yapılmıştır. Denemeye konu olan kadmiyum 4 farklı dozda (0, 5, 10 ve 20 mg Cd kg⁻¹ toprak) ve (CdSO₄)₃·8H₂O formunda uygulanmıştır. Kadmiyum uygulamaları denemenin kurulması esnasında diğer gübreler ile birlikte homojen bir şekilde toprakla karıştırılarak yapılmıştır. Torf ortamında çimlenmeye alınan tütün bitkileri fide haline getirildikten sonra saksı başına 1 adet tütün fidesi dikilmiş, bitkiler günlük olarak su ihtiyaçlarına göre saf su ile sulanmıştır. Bitkiler Cd simptomlarının şiddetine ve yeşil aksamda meydana gelen büyüme gerilemesine bağlı olarak denemenin 42. Gününde (16 ve 17. yapraklar olgunlaştığında) hasat edilmiştir.

3.2.2. Bitki analizleri

Bitkiler Cd simptomlarının şiddetine ve yeşil aksamda meydana gelen büyüme gerilemesine bağlı olarak hasat edildikten sonra, yeşil aksam bitki örnekleri 48 saat boyunca 70 °C'de kurutulmuş, hassas terazi ile kuru madde verimleri belirlendikten sonra agat değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen örneklerden 0.2 gr. tartılarak mikrodalga cihazında (Mars Xpress) yaş yakma metoduna göre H₂O₂-HNO₃ asit karışımında yakılmıştır. Daha sonra bu örneklerde ICP cihazında Cd, P, K, Mg, Zn, Mn, Fe ve Cu okuması yapılmıştır (Kaçar ve İnal, 2008).

3.2.3. Toprak analizleri

Sera denemesinde kullanılan toprağı yukarıda verilen fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki yöntemler kullanılarak belirlenmiştir.

- Toprakta bitkiye yararlı Zn, Fe ve Cd konsantrasyonları Lindsay ve Norvel'e (1978) göre DTPA yöntemine göre belirlenmiştir.

- Topraklarda bitkiye yararılı P miktarı Olsen ve arkadaşları (1954) tarafından geliştirilen yöntemle yapılmıştır.
- Toprakta K analizi amonyum asetat yöntemine göre AAS'de belirlenmiştir (Carson, 1980).
- Toprakta pH ve Tuz Jackson'a göre (1959), saturasyon çamuru oluşturulduktan sonra, dijital pH metreyle belirlenmiştir.
- Toprak organik madde içeriği Walkey-Black yaş yakma metoduyla belirlenmiştir (Jackson, 1959).
- Kum, silt ve kil fraksiyonlarının belirlenmesi Bouyoucus'a (1952) göre, hidrometre yöntemiyle yapılmıştır.
- Toprak kireç içeriği Çağlar'a (1949) göre, Scheibler kalsimetresi ile ölçülerek hesaplanmıştır.

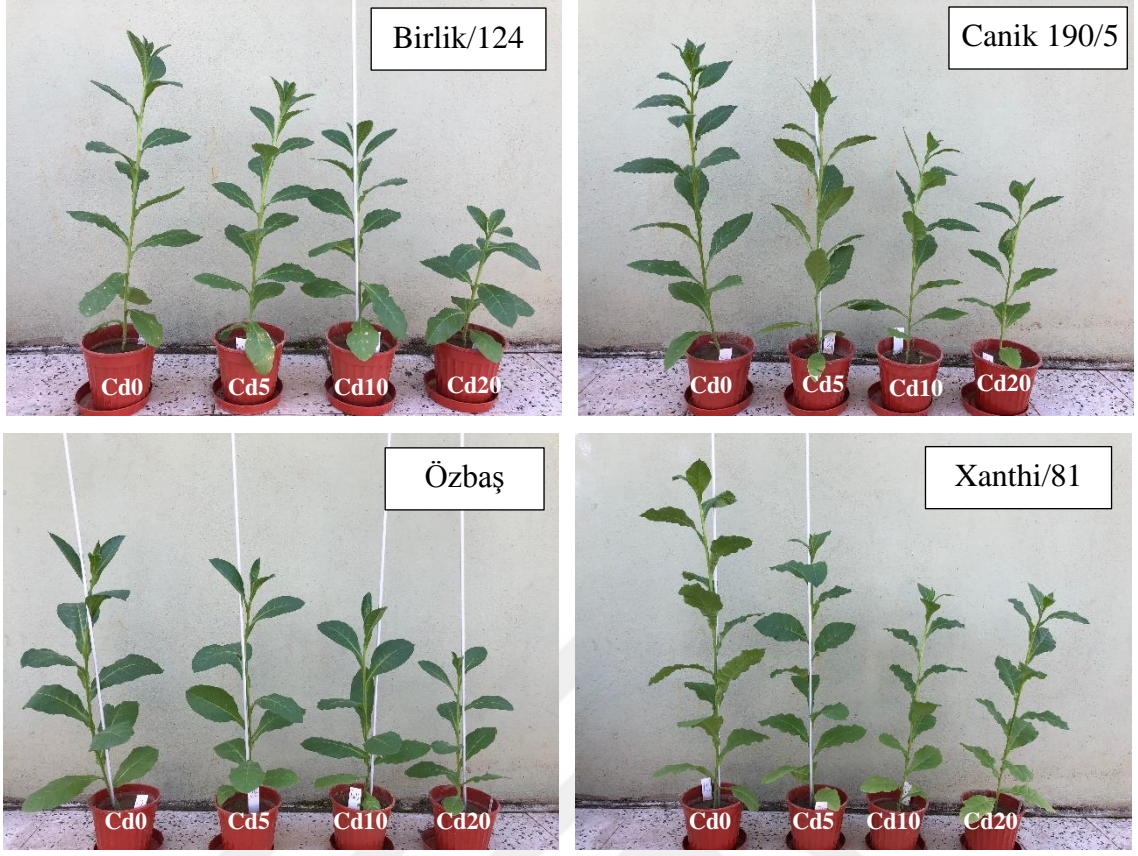
3.2.4. İstatistiksel analizler

Farklı tütün çeşidi ve Cd dozlarının tütün bitkisinin Cd alımına, kuru madde verimi ve yeşil aksam mineral element konsantrasyonlarına etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) testi uygulanarak belirlenmiştir. Dozların etkilerinin homojen gruplara ayrılması işleminde ise DUNCAN testi yapılmıştır. İstatistiksel analizlerde SPSS 21.0 paket programı kullanılmıştır.

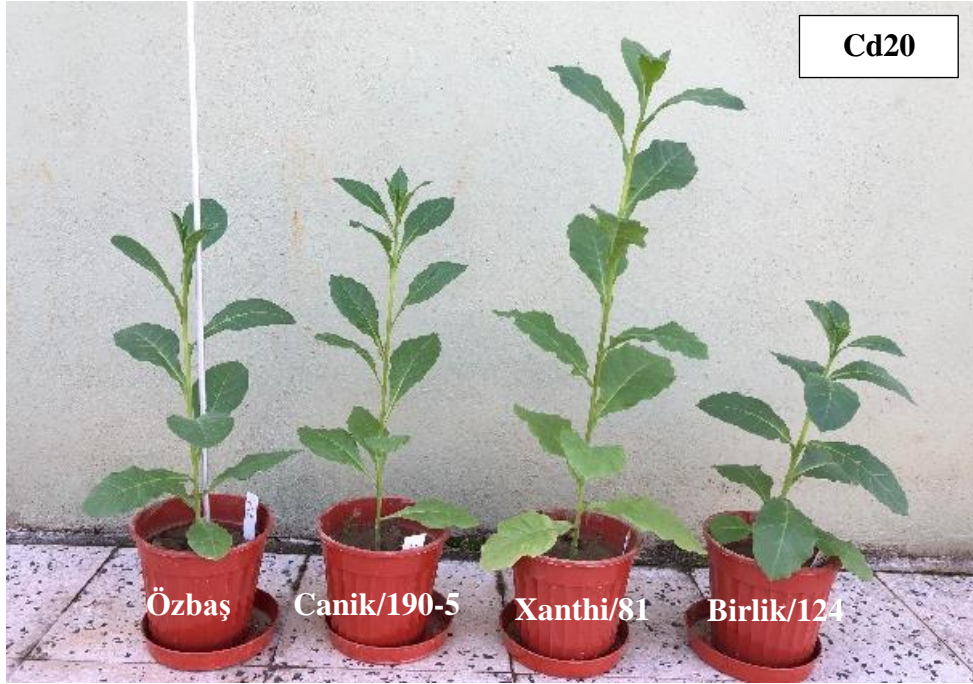
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kadmiyum (Cd) Uygulamalarının Tütün Çeşitlerinin Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi, Cd Konsantrasyonu ve İçeriğine Etkisi.

Toprağa artan dozlarda Cd uygulaması ile 4 farklı tütün bitkisinin yeşil aksam kuru madde verimlerinde istatistiksel olarak önemli ($p < 0.01$) düzeyde azalmaların olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.1). Artan dozlarda Cd uygulaması ile kuru madde veriminde meydana gelen azalma en fazla Özbaş, Birlik/124 ve Canik çeşitlerinde, en az ise Xanthi/81 çeşitinde meydana gelmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.1). Özbaş çeşitinin Cd 0 mg kg⁻¹ dozu (Cd0) uygulamasında 6.90 g bitki⁻¹ olan kuru madde verimi, Cd20 uygulamasında 2.87 g bitki⁻¹'ye (%58.5 azalış) düşmüş, Xanthi/81 çeşitinde ise 7.63 g bitki⁻¹ olan kuru madde verimi Cd20 dozu koşullarında %44.6 düzeyinde azalma ile 4.23 g bitki⁻¹'ye düşmüştür (Çizelge 4.1). Sonuçlardan da görüleceği üzere kuru madde üretimi bakımından Cd toksisitesinden en az etkilenen genotipin Xanthi/81 çeşitinin olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.2). Sera koşullarında 17 farklı tütün çeşidine 0, 100, 200 ve 300 mg L⁻¹ dozlarında Cd uygulamasının yapıldığı bir çalışmada, artan Cd uygulaması ile çeşitlerin kuru madde verimlerinde önemli azalmaların olduğu, ancak bu azalmaların genotipler arasında büyük farklılık yarattığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, Cd uygulaması ile kuru madde veriminde en fazla azalmaların Connecticut (%21 azalma), Drama (%19 azalma) ve Myrodata Agryniou (%18 azalma), buna karşın en az azalmaların ise Katerini 53 (%5 azalma) ve Argyroudis 14A (%9 azalma) çeşitlerinde olduğu bildirilmiştir (Vasiliadou ve Dordas, 2009).



Şekil 4.1 Artan dozlarda Cd uygulamasının 4 farklı tütün çeşitinin gelişimi üzerine etkileri



Şekil 4.2 Cd 20 dozu uygulamasının 4 farklı tütün çeşitinin gelişimi üzerine etkileri

Erdem ve ark., (2017) sera kořullarında tütün bitkisine (Xhanti 2A) artan dozlarda Cd (0, 10 ve 20 mg kg⁻¹ Cd) uygulaması yaptıkları çalıřmada, artan Cd uygulaması ile kuru madde veriminde azalmaların olduđunu, Cd0 kořullarında 2.82 g bitki⁻¹ olan kuru madde veriminin Cd20 dozunda %47.5 azalarak 1.48 g bitki⁻¹'ye dűřtűđűnű bildirmiřlerdir. Mısır bitkisi ile yapılan bir çalıřmada toprađa artan dűzeyde Cd uygulaması ile birlikte yeřil aksam kuru madde miktarının önemli dűzeyde azaldıđı bildirilmiřtir. Arařtırcılar, bu azalmanın toprađa 10 mg kg⁻¹ Cd uygulaması ile verimde % 11.9, 20 mg kg⁻¹ Cd uygulaması ile ise verimde % 23.5 dűzeyinde azalmanın olduđunu bildirmiřlerdir (Khurana ve Jhanji, 2014). Kadmiyum uygulaması ile kuru madde veriminde meydana gelen bu azalmanın temel nedeninin Cd'un fitotoksik etkisinden kaynaklandıđı dűřűnűlmektedir (Yang ve ark., 1996; Pereira ve ark., 2011). Bitkilerde Cd toksitesinin, özellikle de Calvin dngűsűne ve klorofil biyosentezine katılan fotosentetik enzimlerin etkinliklerini engelleyerek fotosentez űzerinde olumsuz etkilere neden olduđu ve sonuç olarakta bitkilerin verimlerinde azalmalara neden olduđu bildirilmiřtir (Chugh ve Sawhney, 1999).

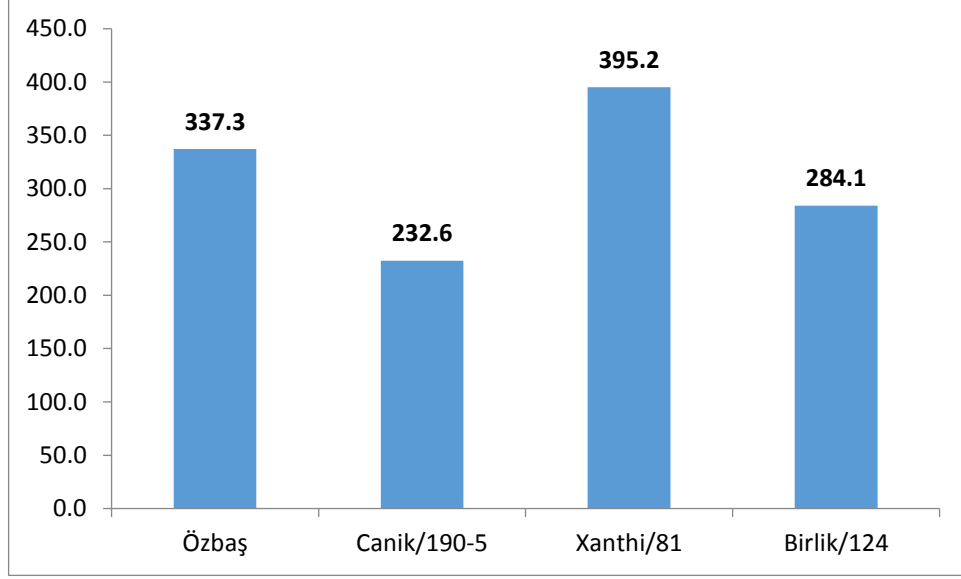
Çizelge 4.1. Artan dozlarda Cd uygulamasının 4 farklı tütün çeşitinin kuru madde verimi, yeşil aksam Cd konsantrasyonu ve içeriğine etkisi

Çeşit	Cd Dozu (mg kg ⁻¹)	Kuru Madde Verimi (g bitki ⁻¹)	Kuru Maddedeki % Azalma	Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)	Yeşil Aksam Cd İçeriği (µg plant ⁻¹)
Özbas	0	6,90 ^a	-	0,39 ^d	2,70 ^c
	5	4,97 ^b	27,9	47,6 ^c	237,3 ^b
	10	4,11 ^{bc}	40,5	65,0 ^b	260,0 ^{ab}
	20	2,87 ^c	58,5	117,5 ^a	337,3 ^a
	Ortalama	4,71^B	-	57,4^B	209,3^{AB}
Canik/190-5	0	5,99 ^a	-	0,34 ^d	2,05 ^b
	5	5,51 ^{ab}	8,0	42,9 ^c	238,5 ^a
	10	4,03 ^{bc}	32,7	55,4 ^b	222,7 ^a
	20	2,93 ^c	51,1	79,8 ^a	232,6 ^a
	Ortalama	4,62^B	-	44,6^D	173,9^B
Xanthi/81	0	7,63 ^a	-	0,35 ^d	2,62 ^c
	5	5,68 ^b	25,6	41,8 ^c	239,1 ^b
	10	4,37 ^b	42,7	71,2 ^b	310,6 ^{ab}
	20	4,23 ^b	44,6	93,4 ^a	395,2 ^a
	Ortalama	5,48^A	-	51,7^C	236,9^A
Birlik/124	0	5,31 ^a	-	0,39 ^d	2,10 ^c
	5	4,71 ^{ab}	11,2	52,1 ^c	243,2 ^b
	10	3,69 ^b	30,5	84,8 ^b	312,9 ^a
	20	2,53 ^c	52,4	112,4 ^a	284,1 ^a
	Ortalama	4,06^B	-	62,4^A	210,6^{AB}
Çeşit*Cd Dozu	ns			**	*

Kadmiyum, bitki kökleri tarafından alındıktan sonra kolayca yeşil aksama taşınabilmektedir. Kadmiyumun topraktaki hareketliliği diğer ağır (Mn, Zn, Mo ve Se) metallere göre daha yüksek olup birçok bitki türleri tarafından kolayca alınabilmektedir. (Moral ve ark., 2002). Bu nedenlerden dolayı toprağa artan dozlarda yapılan Cd uygulaması ile yeşil aksam Cd konsantrasyonu arasında çoğu kez pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Toprağa artan dozlarda Cd uygulaması ile 4 farklı tütün çeşitinin yeşil aksam Cd konsantrasyonu ve içeriğinde istatistiksel açıdan önemli düzeyde ($P < 0.001$) artışlar meydana gelmiştir (Çizelge 4.1). Cd20 dozu koşullarında yeşil aksam Cd konsantrasyonu en düşük olan çeşit Canik (79.8 mg kg⁻¹) olurken, en yüksek Cd konsantrasyonu ise Özbaş (117.5 mg kg⁻¹) çeşitinde olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1). Erdem ve ark., (2017) sera koşullarında bir tütün çeşidine (Katerini) 0, 2.5, 5.0 ve 10 mg kg⁻¹ dozlarında ve (CdSO₄)₃.8H₂O, Cd(NO₃)₂.4H₂O ve CdCl₂.H₂O formlarında kadmiyum uygulaması yapmışlardır. Araştırmacılar farklı form ve artan dozlarda yapılan

Cd uygulaması ile tütün bitkisinin kuru madde verimlerinde önemli azalmalara neden olduğu, bunun yanında tütün bitkisinin yeşil aksam Cd konsantrasyonlarında ise önemli artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada kontrol uygulamalarında göre 10 mg kg⁻¹ Cd uygulaması ile en fazla Cd konsantrasyonu CdCl₂.H₂O (176.3 mg kg⁻¹) ve (CdSO₄)₃.8H₂O (170.47 mg kg⁻¹) formu uygulamalarında, en az ise Cd(NO₃)₂.4H₂O (129.42 mg kg⁻¹) formu uygulamasında olduğu bildirilmiştir.

Kadmiyum alımı ve birikimi bakımından bitki türleri arasında olduğu gibi aynı türün genotipleri arasında da büyük farklılıklar bulunmaktadır (Grant ve ark., 1998). Kadmiyum alımı ve birikimi bakımından bitkiler arasında ortaya çıkan farklılıklar, bitkilerin Cd toksisitesine toleransının belirlenmesinde ana faktörler olarak görülmektedir (Obata and Umabayashi, 1993). Bitki başına topraktan kaldırılan Cd içeriği bakımından değerlendirildiğinde ise, denemede kullanılan çeşitler arasında önemli farklılıkların olduğu ortaya çıkmıştır. Kadmiyumun 20 dozu koşullarında topraktan Cd alımı en fazla Xanthi/81 (395.2 µg bitki⁻¹) çeşitinde, Cd alımı en düşük olan çeşit ise Canik (232.6 µg bitki⁻¹) olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1; Şekil 4.3). Hem yeşil aksam Cd konsantrasyonu hem de Cd içeriği bakımından değerlendirildiğinde Canik çeşitinin diğer çeşitlerden daha az düzeyde topraktan Cd aldığı ortaya çıkmıştır. Buna karşın Xanthi/81 çeşitinin artan Cd uygulaması ile hem kuru madde veriminde ortaya çıkan azalmanın diğer çeşitlerden daha düşük olması, hemde topraktan Cd alımının diğer çeşitlerden daha fazla olması bu çeşitin Cd toksisitesine karşı yüksek düzeyde dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır (Çizelge 4.1, Şekil 4.3). Bu sonuçlar tütün çeşitleri arasında Cd toleransının genetik mekanizmalarının, yani ağır metallerin detoksifikasyonunun varlığı ile açıklanabilir. Birçok literatür bilgilerine göre çoğu bitki türünün yüksek toprak Cd konsantrasyonunu tolere edebilir yetenekte olduğu bildirilmiştir (Cieslinsk ve ark., 1998; Mench ve ark., 1989). Bitkiler yüksek Cd konsantrasyonuna maruz kaldığında farklı düzeylerde doku toleransı geliştirebilmektedir. Khan ve ark. (1984), kadmiyumun hücre duvarında biriktirildiğini bildirmesine karşılık, Vázquez ve ark. (1992), fasulye bitkisi ile yapılan bir çalışmada Cd'un vakuolde biriktiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.3. 20 mg kg⁻¹ Cd uygulaması koşullarındaki tütün genotiplerinin Cd içerikleri (µg Cd bitki⁻¹).

4.2. Kadmiyum (Cd) Uygulamalarının Tütün Çeşitlerinin Yeşil Aksam Zn, Fe, Mn ve Cu Konsantrasyonlarına Etkisi.

Bitkilerde Cd toksisitesinin önemli etkilerinde biride, mineral besin elementleri ile (özellikle mikroelementlerle) etkileşimidir. Toprağa artan dozlarda Cd uygulaması 4 farklı tütün çeşitinin yeşil aksam Zn konsantrasyonlarında azalmaya neden olmuştur (Çizelge 4.2). Bu azalmalar Canik-190/5 ile Birlik/124 çeşitlerinde önemsiz iken, Özbaş ve Xanthi/81 çeşitlerinde önemli ($P < 0.01$) çıkmıştır. Xanthi/81 çeşitinin Cd0 dozunda 108.2 mg kg⁻¹ olan Zn konsantrasyonu Cd5 dozunda 74.5, Cd10 dozunda 68.7 ve Cd20 dozunda ise 66.8 mg kg⁻¹'a düşmüştür. Vasiliadou ve Dordas (2009) 17 farklı tütün çeşidine artan dozlarda Cd uygulaması ile yeşil aksam Zn konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli azalmaların (-0.542^{***}) olduğunu bildirmişlerdir. Artan Cd uygulaması koşullarında Zn konsantrasyonlarında meydana gelen bu azalma Cd*Zn arasında görülen antagonistik ilişkinin bir sonucu olmuş olabilir. Çinko eksikliğinde yetişen bitkilerin daha fazla Cd alması, benzer kimyasal özelliklere sahip olan Zn ve Cd'un membranlar üzerindeki absorpsiyon noktaları için rekabet etmesine (Cakmak ve ark., 2000) ve Zn noksanlığında membran geçirgenliğinin artmasına (Cakmak ve Marschner, 1988) bağlanmaktadır.

Yapılan birçok çalışmada Cd toksisitesinde bitkilerde artan miktarda oksijen radikallerince katalize edilen bir oksidatif zararlanma ortaya çıkmaktadır (Shah ve ark., 2001). Cakmak ve ark. (2000), çinkonun bitkilerde Cd toksisitesinden kaynaklanan hücre zararlanmasını azaltmasının nedenlerinden birinin de Zn'nun bitkileri Cd toksisitesi sonucu ortaya çıkan toksik oksijen radikallerine karşı korumasıyla ilişkili olduğunu bildirmiştir.

Elde ettiğimiz sonuçların aksine, bitkilerde Zn'nun Cd alımı üzerine olan antagonistik etkisine karşı sinergistik etkisi olduğunu gösteren araştırma sonuçları da bulunmaktadır. Örneğin survey amaçlı bir çalışmada buğday ve toprak örneklerinin analizi sonucunda, tarla koşullarında Cd ve Zn elementlerinin yüksek miktarlarda birlikte bulunduğu yerlerde bitkilerde bu elementlerin biriktiği ve Cd-Zn etkileşiminin sinergistik bir süreç içinde olduğu bildirilmiştir (Nan ve ark., 2002). Smilde ve ark (1992), sera koşullarında kumlu ve tınlı topraklarda salatalık, ıspanak, mısır ve yazlık buğday ile yürüttüğü denemelerde Zn ve Cd arasındaki etkileşimin bitki ve toprak özelliklerine bağlı olarak hem antagonistik hem de sinergistik olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.2. Artan dozlarda Cd uygulamasının 4 farklı tütün çeşitinin yeşil aksam Zn, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonuna etkisi.

Çeşit	Cd Dozu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
Özbaş	0	82,5 ^a	71,8	36,9	5,98 ^b
	5	65,9 ^{ab}	58,8	41,0	6,26 ^b
	10	60,5 ^b	58,4	41,3	29,5 ^a
	20	68,7 ^{ab}	62,1	39,5	26,6 ^a
	Ortalama	69,4^{AB}	62,8^{AB}	39,7	17,1
Canik/190-5	0	85,2	64,8 ^a	38,8	6,16 ^b
	5	73,3	55,3 ^b	37,2	4,54 ^b
	10	62,8	54,8 ^b	33,6	28,3 ^a
	20	60,3	57,4 ^{ab}	34,5	27,7 ^a
	Ortalama	70,4^{AB}	58,1^B	36,0	16,7
Xanthi/81	0	108,2 ^a	74,0	38,8	4,92 ^c
	5	74,5 ^b	60,0	34,2	3,92 ^c
	10	68,7 ^b	57,2	39,1	28,7 ^a
	20	66,8 ^b	65,8	36,5	23,6 ^b
	Ortalama	79,6^A	64,2^{AB}	37,1	15,30
Birlik/124	0	66,9	78,3	39,6	6,71 ^b
	5	60,7	59,0	38,2	6,56 ^b
	10	52,9	71,7	35,5	28,7 ^a
	20	58,1	72,9	34,8	25,9 ^a
	Ortalama	59,7^B	70,5^A	37,0	17,0
Çeşit* Cd dozu		ns	ns	ns	ns

Artan dozlarda Cd uygulaması ile 4 farklı tütün çeşitinin yeşil aksam Fe konsantrasyonlarında azalmaya neden olmuş, bu azalma Canik-190/5 çeşitinde önemli iken diğer çeşitlerde önemsiz olmuştur (Çizelge 4.2). Canik-190/5 çeşitinin Cd0 dozunun Fe konsantrasyonu 64.8 mg kg⁻¹ iken, bu durum Cd5 dozunda 55.3, Cd10 dozunda 54.8 ve Cd20 dozunda ise 57.4 mg kg⁻¹'a düşmüştür. Cd uygulaması ile çeşitlerin yeşil aksam Mn konsantrasyonlarında istatistiksel açıdan önemsiz düzeyde artış ve azalışlar meydana gelmiş, buna karşın tüm çeşitlerin yeşil aksam Cu konsantrasyonlarında özellikle Cd10 ve Cd20 dozlarında önemli artışa neden olmuştur (Çizelge 4.2). Örneğin Birlik/124 çeşitinin Cd0 dozunda 6.71 mg kg⁻¹ olan yeşil aksam Cu konsantrasyonu Cd5 dozunda 6.56'ya düşmüş, Cd10 dozunda 28.7'ye, Cd20 dozunda ise 25.9 mg kg⁻¹'a yükselmiştir. Erdem ve ark., (2012), tütün bitkisine artan dozlarda Cd uygulaması ile yeşil aksam Cu konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli (P<0.05) düzeyde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu sonuçlar, Cu

absorpsiyonunun ve / veya sürgünlere translokasyonun, diğer temel mikro besinlerin aksine Cd varlığında tercih edildiğini göstermektedir. Bunun yanında denemede kullanılan tüm çeşitlerin yeşil aksam Cu konsantrasyonlarının Cd5 dozundan etkilenmediği, buna karşın Cd10 ve Cd20 dozundan ise önemli düzeyde etkilendiği ortaya çıkmıştır. Ramos ve ark., (2002) su kültürü koşullarında marul bitkisine artan dozlarda Cd uygulaması ile yeşil aksam Fe, Zn ve Cu konsantrasyonlarında azalmaya, Mn konsantrasyonlarında ise artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda toprağa artan dozlarda Cd uygulaması yapıldığında tütün bitkisinin Zn, Fe ve Mn konsantrasyonlarında genel anlamda bir düşüş meydana gelmiştir. Bu da kadmiyum stresi altında yetişen bitkilerin iyon alımında meydana gelen azalmasının en önemli nedeninin bitki köklerinin Cd toksitesine bağlı olarak zarar görmesi ile beraber kök büyüme ve gelişmesinin engellemesi şeklinde açıklanmaktadır (Salt ve ark., 1995).

4.3. Kadmiyum (Cd) Uygulamalarının Tütün Çeşitlerinin Yeşil Aksam P, K ve Mg Konsantrasyonlarına Etkisi.

Toprağa artan dozlarda Cd uygulamalarının tütün çeşitlerinin yeşil aksam P, K ve Mg konsantrasyonları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Artan dozlarda Cd uygulamaları ile denemede kullanılan tütün çeşitlerinin yeşil aksam P, K ve Mg konsantrasyonlarında istatistiksel açıdan önemsiz artış ve azalışlar olmuştur. Ancak, Xanthi/81 tütün çeşitinin yeşil aksam K konsantrasyonu artan Cd uygulamaları ile istatistiksel açıdan önemli artışa neden olmuştur. Kadmiyum uygulamasının olmadığı koşullarda yeşil aksam K konsantrasyonu %3.09 olan Xanthi/81 tütün çeşitinin Cd5 dozunda K konsantrasyonu %3.52'ye, Cd10 dozunda % 3.48'e ve Cd20 dozunda ise %3.73'e çıkmıştır. Aynı bitki besin maddesi için Cd uygulamalarına yanıt olarak tütün çeşitleri arasında ortaya çıkan farkın nedeni ise çeşitler arasındaki fark kaynaklanmaktadır. Kadmiyum dozu uygulamalarının çeşitler üzerindeki etkisi her üç element içinde istatistiksel açıdan önemsiz çıkmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Artan dozlarda Cd uygulamasının 4 farklı tütün çeşitinin yeşil aksam P, K ve Mg konsantrasyonuna etkisi.

Çeşit	Cd Dozu (mg kg ⁻¹)	P (%)	K (%)	Mg (%)
Özbaş	0	0,17	3,35	0,62
	5	0,16	3,81	0,58
	10	0,17	3,76	0,56
	20	0,18	3,93	0,53
	Ortalama	0,17^A	3,71^B	0,57^A
Canik-190/5	0	0,15	3,24	0,52
	5	0,16	3,49	0,55
	10	0,14	3,34	0,47
	20	0,16	3,39	0,52
	Ortalama	0,15^B	3,37^C	0,51^B
Xanthi/81	0	0,15	3,09 ^b	0,55
	5	0,14	3,52 ^{ab}	0,51
	10	0,14	3,48 ^{ab}	0,51
	20	0,16	3,73 ^a	0,52
	Ortalama	0,15^B	3,46^C	0,52^B
Birlik/124	0	0,17	3,95	0,60
	5	0,16	3,83	0,54
	10	0,18	4,01	0,55
	20	0,20	4,26	0,59
	Ortalama	0,18^A	4,01^A	0,57^A
Çeşit* Cd dozu		ns	ns	ns

Genel olarak Cd, çeşitli elementlerin (Ca, Mg, P ve K) ve suyun bitkilerin alımını, taşınmasını ve kullanılmasını engelleyebilmektedir (Das ve ark., 1998). Gussarsson (1994), Cd uygulamalarının huş ağacının köklerinde P, K, Ca, Mg ve S konsantrasyonlarının azaldığını, ancak bu elementlerin sürgünlerdeki konsantrasyonlarını daha az etkilediğini bildirmiştir. Yüksek düzeyde Cd (1 mM Cd) uygulamasının ekmeklik buğdayın yeşil aksamındaki Mg, Ca ve K konsantrasyonlarında önemli bir düşüşe neden olduğu bildirilmiştir (Ouzounidou ve ark., 1997). Benzer şekilde, Cd uygulamalarının patates bitkisinde Ca, K ve Mg konsantrasyonunu azalttığı bildirilmiştir (Gonçalves ve ark., 2009). Tsadilas (2000), bitkilerde Cd birikimi derecesinin bitki türüne ve çeşidine bağlı olarak değiştirilebileceğini, bu nedenle Cd ile kirlenmiş toprakta yetişen bitkilerde besin maddelerinin miktarının ve dağılımının genotipler içinde büyük ölçüde farklı olduğunu belirtmiştir. Hemen hemen bütün Cd form ve uygulama dozlarında makro besin

elementlerinin kontrol uygulamalarına göre artış ve azalışlara neden olmuştur (Çizelge 4.3). Bunun nedeni, topraktaki yüksek konsantrasyondaki Cd bitki kök sisteminin biomembranlarına zarar verdiği, bitkide Cd'un yer değiştirmesinin veya kontrolsüz şekilde bitkiye alımının arttığını rapor edilmiştir. Bunun sonucu olarak da makro besin elementlerinin kök içerisine alımında aksamaya neden olduğu bildirilmiştir (Marschner, 2008; Dheri ve ark., 2007).



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Topraklarda ortaya çıkan Cd kirliliği, dünya genelinde sürdürülebilir tarım ve insan sağlığı için ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Bu çalışma, toksik Cd dozlarının tütün çeşitlerinin büyümesi, bitkilerin topraktan kaldırdığı Cd miktarı ile Cd'un bitkilerin mikroelement alımına etkisini ortaya koyan yeni bilgiler sunmaktadır. Toprağa artan dozlarda Cd uygulaması ile tütün çeşitlerinin yeşil aksam kuru madde verimlerinde istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) düzeyde azalmaların olduğu, bu azalma en fazla Özbaşı, Birlik/124 ve Canik çeşitlerinde, en az ise Xanthi/81 çeşitinde meydana geldiği belirlenmiştir. Beklenildiği gibi Cd dozu artışı ile birlikte çeşitlerin yeşil aksam Cd konsantrasyonu ve içeriğinde istatistiksel açıdan önemli düzeyde ($p<0.001$) artışlar meydana gelmiş, Cd'un en yüksek dozunda (Cd20) topraktan en fazla Cd alımı yapan çeşit Xanthi/81 olurken, diğer çeşitlere göre daha az Cd alımı yapan ise Canik çeşiti olmuştur. Çalışmada ayrıca Cd uygulaması ile tütün çeşitlerinin Zn ve Fe konsantrasyonlarında azalma, Mn konsantrasyonlarında artış ve azalış meydana gelmiş, Cu konsantrasyonlarında ise özellikle Cd10 ve Cd20 dozunda önemli artışa neden olmuştur. Sonuç olarak, Canik çeşitinin diğer çeşitlerden daha az düzeyde topraktan Cd aldığı, buna karşın Xanthi/81 çeşitinin daha fazla Cd aldığı ve bu çeşitinin diğer tütün çeşitlerine göre Cd toksisitesine karşı daha dayanıklı olduğu ortaya çıkmıştır.

Sonuçlar, denemede kullanılan tüm tütün çeşitlerinin de, Cd ile kirlenmiş topraklarda yetiştirildiğinde bitkinin bünyesinde büyük miktarda Cd biriktirebildiği ve bu Cd'un sigara kullanımı yoluyla insanlara geçme ihtimalini arttırabileceğini ortaya çıkartmıştır.

5. KAYNAKLAR

- Alloway, B. J., 1995. Heavy metals in soils. Blackie, London. pp. 122-152.
- Alloway, B. J. 2012. *Heavy metals in soils: trace metals ve metalloids in soils ve their bioavailability* (Vol. 22). Springer Science ve Business Media.
- Alloway, B., ve Ayres, D. C. 1997. *Chemical principles of environmental pollution*. CRC press.
- Alloway, B. J., ve Steinnes, E. 1999. Anthropogenic additions of cadmium to soils. In *Cadmium in soils ve plants* (pp. 97-123). Springer, Dordrecht.
- Veresen, E. ve Küpper, H., 2013. Cadmium toxicity in plants. In: Sigel A., Sigel, H., Sigel, R. Cadmium: From toxicity to essentiality. Metal Ions in Life Sciences, vol 11. Springer Netherlands. 395-413.
- Anjum, N. A., Umar, S., Ahmad, A., Iqbal, M., ve Khan, N. A. 2008. Ontogenic variation in response of Brassica campestris L. to cadmium toxicity. *Journal of Plant Interactions*, 3(3), 189-198.
- Anttila, S., Kokkonen, P., Paakko, P., Rainio, P., ve Kalliomaki, P.-L. 1988. Cadmium ve chromium markers of smoking in human lung tissue. *Environ. Res.* 49, 197-207.
- Aydoğdu, N., Erbaş, H., Kaymak, K., 2007. Taurin, Melatonin ve N-Asetilsisteinin Kadmiyuma Bağlı Akciğer Hasarındaki Antioksidan Etkileri. *Trakya Üni. Tıp Fak. Dergisi*, 24(1):43-48.
- Barceló, J. U. A. N., ve Poschenrieder, C. 1990. Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. *Journal of plant nutrition*, 13(1), 1-37.
- Bergman, W., 1992. Nutritional Disorders of Plants-Development, Visual ve Analytical Diagnosis. Fischer Verlag, Jena.
- Bouyoucos, G.J., 1952. Hydrometer method improved for making particle size at analysis of soil. *Argon. J.* 54(5): 464-465.
- Cakmak, I., Marschner, H. 1988. Increase in membrane permeability ve exudation in roots of zinc deficient plants. *J. Plant Physiol.* 132. 356-361.
- Cakmak, I., Welch, R.M., Erenoğlu, B., Romheld, V., Norvell, W.A., Kochian, L.V. 2000. Influence of varied zinc supply on re-translocation of cadmium (¹⁰⁹Cd) ve rubidium (⁸⁶Rb) applied on mature leaf of durum wheat seedlings. *Plant ve Soil* 219. 279-284.
- Carson, P.L., 1980. Recommended potassium test. P. 20-21. In: Recommended chemical soil test procedures for the North Central REgion. Rev. Ed. North Central. Regional Publication no. 221. North Dakota Agric. Exp. Stn. North Dakota State University, Fargo USA.
- Cheng, K., Tian, H. Z., Zhao, D., Lu, L., Wang, Y., Chen, J. ve Huang, Z. 2014. Atmospheric emission inventory of cadmium from anthropogenic sources. *International Journal of Environmental Science ve Technology*, 11(3), 605-616.
- Chugh, L.K., Sawhney, S.K. 1999. Photosynthetic activities of Pisum sativum seedlings grown in presence of cadmium. *Plant Physiology ve Biochemistry*, 37(4), 297-303.
- Cieslinsk, G., Van Rees, K.C.J., Szmigielska, A.M., Krishnamurti, G.S.R., Huang, P.M. 1998. Low-molecular-weight organic acids in rhizosphere soils of durum wheat ve their effect on cadmium bioaccumulation. *Plant Soil* 203, 109-117.
- Ciscato, M., Vangronsveld, J., ve Valcke, R. 1999. Effects of heavy metals on the fast chlorophyll fluorescence induction kinetics of photosystem II: a comparative study. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 54(9-10), 735-739.

- Clarke, J. M., Leisle, D., DePauw, R. M., ve Thiessen, L. L. (1997). Registration of five pairs of durum wheat genetic stocks near-isogenic for cadmium concentration. *Crop science*, 37(1), 297-297.
- Çağlar, K.Ö., 1949. Toprak Su Koruma Mühendisliği. Çukurova Univ. Zir. Fak. Yayın No: 108, Adana.
- Dağhan, H., 2011. Doğal kaynaklarda ağır metal kirliliğinin insan sağlığı üzerine etkileri. *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 16(2): 15-25.
- Dağhan, H., Köleli, N., Uygur, V., Arslan, M., Önder, D., Göksun, V. ve Ağca, N., 2012. Kadmiyum İle Kirlenmiş Toprakların Fitoekstraksiyonla Arıtımında Transgenik Tütün Bitkisinin Kullanımının Araştırılması. *Toprak Su Dergisi*, 1 (1): 1-6.
- Das, P., Samantaray, S. ve Rout, R. 1998. Studies on cadmium toxicity in plants: A review. *Environmental Pollution*, 98 (1): 29-36.
- Davis, R.D., ve Calton-Smith, C., 1980. Crops as Indicators of the Significance of Contamination of Soil by Heavy Metals, WRC, Stevenage TR140.
- Dheri, G. S., Singh Brar, M., ve Malhi, S. S. 2007. Influence of phosphorus application on growth ve cadmium uptake of spinach in two cadmium- contaminated soils. *Journal of Plant Nutrition ve Soil Science*, 170(4), 495-499.
- Doumett S., Lamperi L., Checchini L., Azzarello E., Mugnai S., Mancuso S., Petruzzelli G., ve Del Bubba M., 2008. Heavy metal distribution between contaminated soil ve *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. *Chemosphere*, 72, 1481-1490.
- Erdem, H., Tosun, Y.K. ve Öztürk, M., 2012a. Effect of cadmium zinc interactions on growth ve Cd-Zn concentration in durum ve bread wheats. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 21(5): 1046-1051.
- Erdem, H., Kınay, A., Ozturk, M., ve Tutus, Y. 2012b. Effect of cadmium stress on growth ve mineral composition of two tobacco cultivars. *Journal of Food, Agriculture ve Environment*, 10(1), 965-969.
- Erdem, H., Kınay, A., Günal, E., Yaban, H. ve Tutuş, Y., 2017. The effects of biochar application on cadmium uptake of tobacco. *Carpathian Journal of Earth ve Environmental Sciences*, July 2017, Vol. 12, No. 2, p. 447 – 456.
- Fassler, E., Robinson, B.H., Gupta, S.G. ve Schulin, R., 2010. Uptake ve allocation of plant nutrients ve Cd in maize, sunflower ve tobacco growing on contaminated soil ve the effect of soil conditioners under field conditions. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 87:339–352.
- Fergusson, J. E. 1990. Heavy elements: chemistry, environmental impact ve health effects. Pergamon.
- Gonçalves, J.F., Antes, F.G., Maldaner, J., Pereira, L.B., Tabaldi, L.A., Rauber, R., Rossato, L.V., Bisognin, D.A., Dressler, V.L., Flores, E.M. ve Nicoloso, F.T. 2009. Cadmium ve mineral nutrient accumulation in potato plantlets grown under cadmium stress in two different experimental culture conditions. *Plant Physiol. Biochem.* 47 (9): 814-821.
- Gouia, H., Gorbil, M.H. ve Meyer, C., 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase ve on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiology ve Biochemistry*. 38:629-638.
- Grant, C.A., Buckley, W.T., Bailey, L.D. ve Selles, F. 1998. Cadmium accumulation in crops. *Can. J. Plant Sci.* 78: 1-17.
- Guo, Y., ve Marschner, H. (1995). Uptake, distribution, ve binding of cadmium ve nickel in different plant species. *Journal of Plant Nutrition*, 18(12), 2691-2706.

- Gussarsson, M. 1994. Cadmium-induced alterations in nutrient composition ve growth of *Betula pendula* seedlings: The significance of fine roots as a primary target for cadmium toxicity. *J. Plant Nutr.* 17: 2151-2163.
- Hart, J. J., Welch, R. M., Norvell, W. A., ve Kochian, L. V. 2002. Transport interactions between cadmium ve zinc in roots of bread ve durum wheat seedlings. *Physiologia Plantarum*, 116(1), 73-78.
- He, Q. B. ve Singh, B. R. 1994. Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers: I. Yield ve cadmium content. *Water, Air, ve Soil Pollution*, 74(3), 251-265.
- Hocking, P. J., ve McLaughlin, M. J. 2000. Genotypic variation in cadmium accumulation by seed of linseed, ve comparison with seeds of some other crop species. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51(4), 427-433.
- Hsu, Y. T., ve Kao, C. H. 2007. Cadmium-induced oxidative damage in rice leaves is reduced by polyamines. *Plant ve Soil*, 291(1-2), 27-37.
- Hussain, A., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman, M., Yasmeen, T., Hayat, M. T., ... ve Hussain, S. M. 2019. Morphological ve Physiological Responses of Plants to Cadmium Toxicity. In *Cadmium Toxicity ve Tolerance in Plants* (pp. 47-72). Academic Press.
- Hutton, M. 1982. Cadmium in the European Community: a prospective assessment of sources, human exposure ve environmental impact. *Chelsea College. London, MARC Report No. 26,(38823)*, 99.
- Inaba, T., Kobayashi, E., Suwazono, Y., Uetani, M., Oishi, M., Nakagawa, H., ve Nogawa, K. 2005. Estimation of cumulative cadmium intake causing Itai-itai disease. *Toxicology letters*, 159(2), 192-201.
- Jackson, M.L., 1959. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Jamali, M. K., Kazi, T. G., Arain, M. B., Afridi, H. I., Jalbani, N., Kvehro, G. A., ... ve Baig, J. A. 2009. Heavy metal accumulation in different varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in soil amended with domestic sewage sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2-3), 1386-1391.
- Jaouani, K., Karmous, I., Ostrowski, M., El Ferjani, E., Jakubowska, A., ve Chaoui, A. 2018. Cadmium effects on embryo growth of pea seeds during germination: Investigation of the mechanisms of interference of the heavy metal with protein mobilization-related factors. *Journal of plant physiology*, 226, 64-76.
- Järup, L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. *British medical bulletin*, 68(1), 167-182.
- JECFA. 2004. Food ve Agriculture Organization ve World Health Organization (FAO/WHO). Safety evaluation of certain food additives ve contaminants. 61st meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, WHO Food Additives Series 52. International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Jinadasa, K.B.P.N., Milham, P.J., Hawkins, C.A., Cornish, P.S., Williams, P.A., Kaldor, J. ve Conroy, J.P., 1997. Survey of Cd levels in vegetables ve soils of Greater Sydney. Australia. *J. Environ. Qual.* 26: 924-933.
- Jones, K. C., Symon, C. J., ve Johnston, A. E. 1987. Retrospective analysis of an archived soil collection II. Cadmium. *Science of the Total Environment*, 67(1), 75-89.
- Kabata-Pendias, G., Terelak, H., ve Pietruch, C. (2001). Impact of soil factors on Zn ve Cd contents in potato tubers. In *Proceedings of 6th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Guelph, Canada*.
- Kacar, B. ve İnal A., 2008. Bitki Analizleri, Nobel Yayın Dağıtım, ISBN 978-605-395-036-3, Ankara

- Keller, C., Monica Marchetti, M., Rossi, L. Lugon-Moulin, N., 2005. Reduction of cadmium availability to tobacco (*Nicotiana tabacum*) plants using soil amendments in low cadmium-contaminated agricultural soils: a pot experiment. *Plant ve Soil*, 276:69-84.
- Khan, D.H., Duckett, J.G., Franklve, B., Kirkham, J.B. 1984. AnX-ray microanalytical study of the distribution of cadmium inroots of *Zea mays*L. *J. Plant Physiol.* 115, 19–28.
- Khurana M.P.S., Jhanji, S. 2014. Influence of cadmium on dry matter yield, micronutrient content ve its uptake in some crops. *Journal of Environmental Biology*, 35(5).
- Kpombekou- A, K., ve Tabatabai, M. A. 1994. Metal contents of phosphate rocks. *Communications in Soil Science ve Plant Analysis*, 25(17-18), 2871-2882.
- Li, S., Yang, W., Yang, T., Chen, Y., ve Ni, W. 2015. Effects of cadmium stress on leaf chlorophyll fluorescence ve photosynthesis of *Elsholtzia argyi*—a cadmium accumulating plant. *International Journal of Phytoremediation*, 17(1), 85-92.
- Li, Y. M., Chaney, R. L., Schneiter, A. A., Miller, J. F., Elias, E. M., ve Hammond, J. J. 1997. Screening for low grain cadmium phenotypes in sunflower, durum wheat ve flax. *Euphytica*, 94(1), 23-30.
- Lindsay, W.L. ve Norvell, W., A., 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese ve copper. *Soil Sci. Soc. J.*, 42: 421-428.
- Lugon-Moulin, N., Zhang, M., Gadani, F., Rossi, L., Koller, D., Krauss, M., et al., 2004. Critical review of the science ve options for reducing cadmium in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) ve other plants. *Adv. Agron.* 83, 111–180.
- Marschner H., 2008. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, Second Edition. London, UK., 889p.
- McGrath, S. P., Zhao, F. J., Dunham, S. J., Croslove, A. R., ve Coleman, K. 2000. Long-term changes in the extractability ve bioavailability of zinc ve cadmium after sludge application. *Journal of Environmental Quality*, 29(3), 875-883.
- McLaughlin, M. J., ve Singh, B. R. 1999. Cadmium in soils ve plants. In *Cadmium in soils ve plants* (pp. 1-9). Springer, Dordrecht.
- Mench, M., Tancogne, J., Gomez, A., Juste, C. 1989. Cadmium bioavailability to *Nicotiana tabacum* L., *Nicotiana rustica* L., ve *Zea mays* L. grown in soil amended or not amended with cadmium nitrate. *Biology ve fertility of soils*, 8(1), 48-53.
- Mertz, W. 2012. *Trace elements in human ve animal nutrition* (Vol. 2). Elsevier.
- Moral, R., Cortés, A., Gomez, I., ve Mataix-Beneyto, J. 2002. Assessing changes in Cd phytoavailability to tomato in amended calcareous soils. *Bioresource technology*, 85(1), 63-68.
- Murtaza, G., Javed, W., Hussain, A., Wahid, A., Murtaza, B. ve Owens, G. 2015. Metal uptake via phosphate fertilizer ve city sewage in cereal ve legume crops in Pakistan. *Environmental Science ve Pollution Research*, 22(12), 9136-9147.
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., ve Sreekanth, T. V. M. 2010. Heavy metals, occurrence ve toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8(3), 199-216.
- Nan, Z., Li, J., Zhang, J., ve Cheng, G. (2002). Cadmium ve zinc interactions ve their transfer in soil-crop system under actual field conditions. *Science of the Total Environment*, 285(1-3), 187-195.
- Neilson, J.W., Artiola, J.F. ve Maier, R.M., 2003. Characterization of lead removal from contaminatedsoils by non toxic washing agents. *Journal of Environmenal Quality* 32: 899-908.

- Nouri, J., Khorasani, N., Lorestani, B., Karami, M., Hassani, A.H. ve Yousefi, N., 2009. Accumulation of heavymetals in soil ve uptake by plant species withphytoremediation otential.*Environmental EarthScience* **59**(2): 315-323.
- Obata, H., Umebayashi, M. 1993. Production of SH compounds in higher plants of different tolerance to Cd. *Plant ve Soil*, **155**(1), 533-536.
- OECD, 1994. Risk Reduction Monograph No. 5. Cadmium Environvent Directore OECD, Paris.
- Oliver, D. P., Hannam, R., Tiller, K. G., Wilhelm, N. S., Merry, R. H., ve Cozens, G. D. 1994. The effects of zinc fertilization on cadmium concentration in wheat grain. *Journal of Environmental Quality*, **23**(4), 705-711.
- Olsen, S. R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department Of Agriculture; Washington.
- Ouzounidou, G., Moustakas, M. ve Eleftheriou, E.P. 1997. Physiological ve ultrastructural effects of cadmium on wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves.*Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **32**: 154-60.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H., 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, ADANA.
- Pacyna, J. M., Pacyna, E. G., ve Aas, W. 2009. Changes of emissions ve atmospheric deposition of mercury, lead, ve cadmium. *Atmospheric environment*, **43**(1), 117-127.
- Peksüslü A. 1998. Morphological, Physiological ve Biochemical Properties of Some Tobacco Types in İzmir-Bornova Conditions. PhD Thesis. Ege University Science Inst. Bornova, Izmir.
- Pereira, B.F.F., Rozane, D.E., Araújo, S. R., Barth, G., Queiroz, R.J.B., Nogueira, T.A.R. Malavolta, E. 2011. Cadmium availability ve accumulation by lettuce ve rice. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **35**(2), 645-654.
- Pfeiffer, E. M. 1988. Trace elements ve heavy metals in soils ve plants of the Southeast Asian Metropolis Metro Manila ve of some rice cultivation provinces in Luzon, Philippines. Verein zur Förderung d. Bodenkunde in Hamburg.
- Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J.J., Gárate, A. 2002. Cadmiumuptake ve subcellular distribution in plants ofLactucasp. Cd–Mn interaction. *Plant Sci.* **162**, 761–767.
- Salt, D.E., Prince, R.C., Pickering, I.J., Raskin, I. 1995. Mechanisms of cadmium mobility ve accumulation in Indianmustard. *Plant Physiol.* **109**, 1427–1433.
- Svealio, L. M., Dalurzo, H. C., Gomez, M., Romero- Puertas, M. C., ve Del Rio, L. A. 2001. Cadmium- induced changes in the growth ve oxidative metabolism of pea plants. *Journal of experimental botany*, **52**(364), 2115-2126.
- Shah, K., Kumar, R. G., Verma, S., ve Dubey, R. S. 2001. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation ve activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Science*, **161**(6), 1135-1144.
- Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Niazi, N. K., ve Antunes, P. M. 2016. Cadmium bioavailability, uptake, toxicity ve detoxification in soil-plant system. In *Reviews of Environmental Contamination ve Toxicology Volume 241* (pp. 73-137). Springer, Cham.
- Sheoran, I.S., Singal, H.R ve Singh, R., 1990. Effect of cadmium ve nickel on photosynthesis ve enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Photosynthesis Research*, **23**, 345-351.
- Smilde, K. W., Van Luit, B., ve Van Driel, W. (1992). The extraction by soil ve absorption by plants of applied zinc ve cadmium. *Plant ve Soil*, **143**(2), 233-238.

- Stolt J.P., Sneller F.E.C., Bryngelsson T., Lundborg T., Schat H., 2003. Phytochelatin ve Cadmium Accumulation in Wheat. *Environmental ve Experimental Botany*, 49:21-28.
- Tsadilas, C. D. 2000. Soil pH influence on cadmium uptake by tobacco in high cadmium exposure. *J. Plant Nutr.* **23**(8):1167–1178.
- Vasiliadou, S., Dordas, C. 2009. Increased concentration of soil cadmium affects on plant growth, dry matter accumulation, Cd, ve Zn uptake of different tobacco cultivars (*Nicotiana tabacum* L.). *International journal of phytoremediation*, 11(2), 115-130.
- Vázquez, M. D., Poschenrieder, C.H., Barcelo, Y. 1992. Cadmium in bean roots. *New Phytologist*, 120(2), 215-226.
- Wang, K. R. 2002. Tolerance of cultivated plants to cadmium ve their utilization in polluted farmlve soils. *Acta Biotechnologica*, 22(1- 2), 189-198.
- Willers, S., Gerhardsson, L., ve Lundh, T. 2005. Environmental tobacco smoke (ETS) exposure in children with asthma-relation between lead ve cadmium ve cotinine concentrations in urine. *Respir. Med.* 99, 1521–1527.
- Yağmur, B., Hakerlerler, H ve Kılınç, R., 2003. Gübreler ve İnsan Sağlığı. *Çiftçi Dergisi* sayı:2.
- Yang, Q., Li, Z., Lu, X., Duan, Q., Huang, L., ve Bi, J. 2018. A review of soil heavy metal pollution from industrial ve agricultural regions in China: Pollution ve risk assessment. *Science of the total environment*, 642, 690-700.
- Yang, X., Baligar, V.C., Martens, D.C. ve Clark, R.B. 1996. Cadmium effects on influx ve transport of mineral nutrients in plant species. *J. Plant Nutr.*, 19:643-656, 1996.

6. ÖZGEÇMİŞ

10.04.1974 Rize’de Doğdu. Lise öğrenimini Rize Tevfik İleri Endüstri meslek lisesi elektrik bölümünde tamamladı.2000 yılında Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde Lisans eğitimini tamamladı. 2016 yılında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2004 yılından beri Kocaeli İl Tarım ve Orman Müdürlüğünde Ziraat Mühendisi olarak çalışmaktadır.

