



**FARKLI KADMİYUM KAYNAKLARI İLE BİOCHAR
UYGULAMASININ TÛTÜNDEKADMİYUM
ALIMINA ETKİLERİ**

SÛREYYA ÇAĞLAR ESER

**YÛKSEK LİSANS TEZİ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI**

Doç.Dr. Halil ERDEM

Haziran - 2018

Her hakkı saklıdır

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI KADMİYUM KAYNAKLARI İLE BİOCHAR
UYGULAMASININ TÛTÜNDE KADMİYUM ALIMINA ETKİLERİ

SÛREYYA ÇAĞLAR ESER

TOKAT
Haziran - 2018

Her hakkı saklıdır

Süreyya ÇAĞLAR ESER tarafından hazırlanan “Farklı Kadmiyum Kaynakları ile Biochar Uygulamasının Tütünde Kadmiyum Alımına Etkileri” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 28 HAZİRAN 2018 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

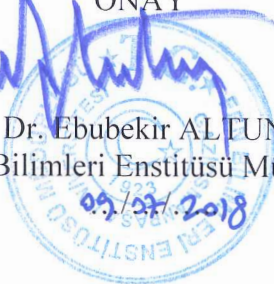
Danışman
Doç. Dr. Halil ERDEM
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Üye
Prof.Dr. Kürşat KORKMAZ
Ordu Üniversitesi
Üye
Dr. Öğr. Üy. Ahmet KINAY
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi


.....

.....

.....

ONAY

Prof. Dr. Ebubekir ALFUNTAŞ
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.

Süreyya ÇAĞLAR ESER

28 Haziran 2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI KADMİYUM KAYNAKLARI İLE BİOCHAR UYGULAMASININ TÜTÜNDE KADMİYUM ALIMINA ETKİLERİ

Süreyya ÇAĞLAR ESER

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: Doç. Dr. Halil ERDEM

Biochar uygulaması toprağın fiziksel kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiği gibi, toprakların ağır metal kirliliğine karşı koruma mekanizması olarak da görev yapmaktadır. Bu tez çalışmasının amacı; farklı kadmiyum (Cd) form ve doz uygulamaları altında tütün bitkisinin Cd alımına biocharın etkisini araştırmaktır. Kadmiyum uygulamaları üç farklı form $\{3(\text{CdSO}_4).8\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2.4\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{CdCl}_2\}$ ve dört farklı dozda (0, 2.5, 5.0 ve 10 mg Cd kg^{-1}) yapılmıştır. Mahlep biocharının kullanıldığı denemede iki farklı dozda (BC0-%0 ve BC1-%1 v/v) biochar uygulaması yapılmıştır. Farklı form ve artan dozlarda yapılan Cd uygulamaları DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonu ile yeşil aksam Cd konsantrasyonunu artırmış ($P<0.01$), buna karşın yeşil aksam kuru madde verimini ($P<0.01$) azaltmıştır. Kadmiyum uygulaması toprak ve bitkide meydana gelen bu artış biochar uygulaması ile Cd'un tüm form ve dozlarında önemli azalmalara neden olmuştur. Biochar uygulaması ile Cd alımındaki ortalama azalma en fazla CdCl_2 (%170 azalma) , en az ise CdNO_3 (%27 azalma) formu uygulamalarında olduğu ortaya çıkmıştır. Biochar uygulamaları aynı zamanda tüm Cd form ve dozlarında da yeşil aksam kuru madde verimini artırmıştır. $3(\text{CdSO}_4).8\text{H}_2\text{O}$ formunun BC0 koşullarında ortalama 4.85 g bitki⁻¹ olan kuru madde verimi BC1 koşullarında ile ortalama 5.86 g bitki⁻¹'ye çıktığı, bu durum $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2.4\text{H}_2\text{O}$ ve CdCl_2 formlarında ise sıra ile; 4.77'den 5.40 g bitki⁻¹'ye, 5.15'den 5.54 g bitki⁻¹'ye çıkmıştır. Sonuç olarak biochar toprakta bulunan farklı formlardaki Cd'un bitki tarafından alımını azaltmaktadır.

2018, 44 SAYFA

ANAHTAR KELİMELER: Biochar, Kadmiyum Form, Tütün, Cd Konsantrasyonu

ABSTRACT

MASTER THESIS

EFFECTS OF DIFFERENT CADMIUM SOURCES AND BIOCHAR APPLICATION ON THE CADMIUM UPTAKE OF TOBACCO PLANT

Süreyya ÇAĞLAR ESER

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

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION

SUPERVISOR: Assoc. Prof. Dr. Halil ERDEM

Biochar amendment improves the physical and chemical properties of soil as well as functions as a protection mechanism for heavy metal pollution of soil. The purpose of this thesis is to investigate the effect of biochar on cadmium (Cd) uptake of tobacco plant under different Cd forms and application rates. Three different cadmium forms { $3(\text{CdSO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ and CdCl_2 } and 4 different cadmium doses (0, 2.5, 5.0 and 10 mg Cd kg^{-1} soil) were applied together with two different mahalep biochar treatments (BC0-%0 and BC1-%1 w/w). Soil DTPA-extractable Cd concentrations and shoot Cd concentrations ($P < 0.01$) were significantly increased with biochar doses, but shoot dry matter yield ($P < 0.01$) was significantly reduced. Soil and plant Cd concentrations were reduced by biochar treatments in all Cd forms and doses. The greatest average reduction in Cd uptake was observed in CdCl_2 (170% reduction) and the least reduction was in CdNO_3 (27% reduction) forms. Biochar treatments resulted in higher shoot dry matter yields in all Cd forms and doses. The average shoot dry matter yield of $3(\text{CdSO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ form was 4.85 g plant^{-1} at BC0 treatment and the value increased to 5.86 g plant^{-1} at BC1 treatment. Such a case was also valid for the other Cd forms. Average dry matter yield of $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ form increased from 4.77 to 5.40 g plant^{-1} and the value of CdCl_2 form increased from 5.15 to 5.54 g plant^{-1} . Regardless of Cd forms, it was concluded that biochar reduced Cd uptake of tobacco plants.

2018, 44 PAGES

KEYWORDS: Biochar, Cadmium Forms, Tobacco, Cd Concentration

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.

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

Süreyya ÇAĞLAR ESER
28 Haziran 2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Kadmiyum (Cd)	5
2.2. Biochar	9
2.3. Biocharın Bitkilerin Cd Alımına Etkisi	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Materyal	13
3.1.1. Denemede kullanılan bitki materyali	13
3.1.2. Denemede kullanılan toprak materyali	13
3.1.3. Denemede kullanılan biochar materyali	13
3.2. Metot	14
3.2.1. Denemenin kurulması	14
3.2.2. Bitki analizleri	15
3.2.3. Toprak analizleri	15
3.2.4. İstatistiksel analizler	16
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	17
4.1. DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Cd Konsantrasyonu, Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi ve Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu	17
4.2. Yeşil Aksam Demir (Fe), Çinko (Zn), Mangan (Mn) ve Bakır (Cu) Konsantrasyonu	22
4.3. Yeşil Aksam Azot (N), Fosfor(P) ve Potasyum (K) Konsantrasyonu	25
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	29
6. KAYNAKLAR	33
7. ÖZGEÇMİŞ	44

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge	Açıklama
-	Eksi
%	Yüzde
/	Bölü
+	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
TK	Tarla Kapasitesi
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>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Sera denemesinde kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	13
Çizelge 3.2. Mahlep biocharının bazı kimyasal özellikleri.....	14
Çizelge 4.1. Biocharlı ve biocharsız koşullar altında farklı Cd form ve dozu uygulamalarının toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonu, yeşil aksam Cd konsantrasyonu ve yeşil aksam kuru madde verimine etkisi.....	18
Çizelge 4.2. Biocharlı ve biocharsız koşullar altında farklı Cd form ve dozu uygulamalarının yeşil aksam Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonuna etkisi	24
Çizelge 4.3. Biocharlı ve biocharsız koşullar altında farklı Cd form ve dozu uygulamalarının yeşil aksam N, P ve K konsantrasyonuna etkisi	27

1. GİRİŞ

Yıldan yıla artış gösteren dünya nüfusu ile birlikte hayvansal ve bitkisel gıda maddelerine olan ihtiyaçlarda buna paralel olarak artış göstermektedir. Aşırı nüfus artışı ile birlikte mevcut doğal kaynakların yanlış kullanılması, değişen yaşam şekilleri ve standartları gibi pek çok etken dünyanın doğal kaynaklar bakımından taşıma kapasitesinin aşılmasına neden olmuştur. Yirminci yüzyılın başından itibaren artan nüfusun baskısıyla modern tarıma geçilmesi ve hızlı sanayileşmeyle birlikte, çevre kirliliği problemleri de ortaya çıkmaya başlamıştır. Hızla artan dünya nüfusunun beslenmesi, gelişen endüstrilerin ve kentleşmenin bir sonucu olarak günümüzde de giderek artan boyutlarda önemini korumaktadır. Endüstrileşme ve kentleşmeye bağlı olarak artan çevre kirliliği ile birlikte toprak kirliliği de ortaya çıkmış ve canlılar üzerinde tehlikeli olabilecek boyutlara ulaşmıştır. Doğrudan ve dolaylı yollardan oluşabilen çevre ve toprak kirliliği probleminden besin zinciri yoluyla bütün organizmaların etkilenmesi, bu problemin büyüklüğünü ve tehlikesini daha da arttırmaktadır. Toprak ve çevre kirliliğine neden olan faktörler arasında en önemlisi ağır metallere (Gall ve ark., 2015). Ekosistemdeki en tehlikeli ağır metal kirleticilerinden birisi olan Cd canlı organizmalar için toksik etkiye sahiptir (Di Toppi ve Gabrielli, 1999). Yumuşak, gümüş beyazı, elektropozitif bir metal olan kadmiyumun (Cd), atomik ağırlığı 112.41 ve özgül ağırlığı 8.642 g cm⁻³'dir. Ticari olarak çinko (Zn) endüstrisinin yan ürünü olarak üretilen Cd'un en önemli kullanım alanı boya, pil üretimi (Ni-Cd pilleri) ve plastik sanayidir (Friberg ve ark., 1974; Hedlund ve ark., 1997). 1960'lı yıllarda Japonya'nın Toyamo kentinde, yüksek dozda Cd içeren bir Zn işletmesine ait akarsuların nehre karışması ve bu nehir suyunun çeltik tarlalarına girişiyle İtai-İtai hastalığı ortaya çıkmış ve çok sayıda çiftçi ailesinde ölümlere varan hastalıklar ortaya çıkmıştır (Kobayashi, 1978; Inaba ve ark., 2005). Bu durum, dünya kamuoyununun özellikle bilim adamlarının dikkatlerini Cd üzerine yoğunlaşmasını sağlamış ve Cd'un toksik etkileri konusunda çok sayıda araştırma yapılmasını hızlandırmıştır. Oldukça düşük miktarlarda olsa da, tarımsal üretim yapılan topraklarda Cd bulunmaktadır. Topraklardaki Cd içeriği doğal koşullarda oldukça düşük olduğu halde çeşitli kaynaklardan toprağa Cd girişi olabilmektedir. 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

gübre uygulamalarından kaynaklanmaktadır (Andresen ve Küpper, 2013; Cheng ve ark., 2014). Toprak pH'sı, toprağın redoks potansiyeli, katyon değişim kapasitesi, organik madde, bitki türü ve gübre uygulamaları gibi birçok toprak ve bitki faktörü Cd alımını etkilemektedir (Chaney ve Hornick, 1978; Clemens ve ark., 2013). Toprakta kadmiyumun bitkiler tarafından alınımında hangi Cd formunun daha etkili olduğu ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Somolders ve McLaughlin (1996) ve Smolders ve ark (1996), toprak çözeltisinde Cd^{+2} iyonunun Cl^- ile $CdCl_n$ -n şeklinde bilinmeyen bir kompleks formu oluşturduğunu ve bu formun bitkilerce alınabildiğini ileri sürmüştür. Yapılan başka bir çalışmada ise, ayçiçeği çekirdeğinde Cd miktarının Cl^- konsantrasyonunun artışıyla arttığı, buna karşın SO_4^{-2} 'in Cd konsantrasyonunu etkilemediği bildirilmiştir (Li ve ark., 1994). McLaughlin ve ark (1998b), toprağa eşit oranda $NaNO_3$ ve Na_2SO_4 tuzlarının uygulanması sonucunda, şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam Cd alımına SO_4^{-2} formunun NO_3 formuna göre etkisinin daha fazla olduğunu saptamıştır.

Kadmiyum diğer metallere göre daha fazla suda çözünabilirliğe ve hareketliliğe sahip olduğu için bitki tarafından alınabilirliği de fazladır. Bu nedenden dolayı toprakta birikimi en tehlikeli ağır metaldir. 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). 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 ekmeclik buğdaylara göre (Erdem ve ark., 2012) 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., 2012). 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., 2012, Erdem ve ark., 2017). Bunun yanında tütün Cd ile kirlenmiş sorunlu toprakların fitoekstraksiyon yöntemi ile ıslah çalışmalarında

kullanıldığı bildirilmiştir (Keller ve ark., 2005; Fasler ve ark., 2010; Dağhan ve ark., 2012).

Kadmiyum toprakta oldukça hareketli bir elementtir. Araştırmacılar toprakta bitkilerin Cd alımını azaltacak en önemli çözümün daha fazla negatif yüzey alanına sahip materyallerin toprağa kazandırılması olduğunu belirtmişlerdir (Büyükkılıç ve ark., 2010, Houben ve ark., 2013; Erdem ve ark., 2017; Demirbaş ve ark., 2017).

Toprakların negatif yük miktarının kil mineralleri ve organik madde düzeyine bağlı olduğundan dolayı, toprağa katkı maddesi olarak uygulanacak kadmiyumsuz organik materyaller toprağın negatif yük miktarını artıracaktır. Bu amaçla, son yıllarda özellikle küresel ısınma ile mücadelede konusunda oldukça fazla kullanılan yüksek karbon içeriğine sahip “biochar” kullanılabilir. Biochar, oksijensiz ortamda organik materyalin ısı müdahale ile bozulmaya uğraması sonrasında elde edilen karbonca zengin materyaldir. Biochar genelde topraklarda ıslah materyali olarak kullanılmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009). Biochar toprak verimliliğini artırmanın yanı sıra diğer ekosistem hizmetlerini geliştirmek ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için karbon depolamada bir araç olarak hizmet etmektedir (Lehmann ve ark., 2006). Biochar üzerine yapılan araştırmalarda öncelikli hedef asitli topraklarda pH artışını sağlamak (Van Zwieten ve ark., 2010) veya katyon değişim yüzeylerinde besin elementi tutunmasını (Liang ve ark., 2006) artırmaktır. Ayrıca, toprağa ilave edilen biochar toprağın strüktür yapısı (Rilling ve Mummey, 2006) ve besin döngüsü (Steiner ve ark., 2008) üzerine de olumlu etkiler yapmaktadır. Dolaylı olarak bu etkiler bitki büyümesini de etkilemektedir (Warnock ve ark., 2007).

Toprağa uygulanan biochar toprağın fiziksel kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiği gibi, toprakların maruz kaldığı ağır metal kirliliğine karşıda koruma mekanizması olarak görev yapmaktadır. Biocharın benzersiz özelliklerinden birisi olan yüksek katyon tutma seviyesi, biyo çeşitliliği artırarak ağır metal stresini azaltmada fonksiyon sağlamaktadır (Zhang ve ark., 2014). Yapılan birçok araştırmada da toprakların kadmiyum stresini önlemede biocharın pozitif etki yaptığı belirtilmektedir. Bu araştırmalarda ilk olarak, biocharın Cd iyonunu fikse ederek etkili bir şekilde bağladığı belirlenmiştir (Lehmann, 2007; Houben ve ark., 2013; Erdem ve ark., 2017; Demirbaş ve ark., 2017). Zhou ve ark. (2008) pamuk sapından elde edilen biocharın kadmiyumla kirlenmiş topraklarda daha fazla kadmiyum tutma yeteneğine sahip

olduğunu rapor etmişlerdir. İkinci olarak, biocharın topraktaki fiziksel stabiliteyi artırması (Cui ve ark., 2004), Cd hareketini engellemesi (Hua ve ark., 2009) ve Cd'un morfolojik yapısını değiştirmesi yoluyla biyolojik etkisini azalttığı belirlenmiştir (Zhang ve ark., 2014).

Toprakların kadmiyum stresini önlemede biocharın pozitif etki yaptığı yukarıda verilen bilgilerden de görölmesine rağmen, biocharın bitkilerin kadmiyum alımında hangi Cd formunda $\{(CdSO_4)_3.8H_2O; Cd(NO_3)_2.4H_2O; CdCl_2.H_2O\}$ daha etkili olduğu ile ilgili bilgi bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı; farklı kadmiyum (Cd) formu uygulamaları altında tütün bitkisinin Cd alımına biocharın etkisini araştırmaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum (Cd) elementi ekosistemde en tehlikeli ağır metal kirleticilerinden biri olup canlı organizmalar için toksiktir. Kadmiyum, atomik ağırlığı 112.41 ve özgül ağırlığı 8.642 g cm⁻³ olup yumuşak, gümüş beyazı, elektropozitif bir metaldir. Ticari olarak çinko (Zn) endüstrisinin yan ürünü olarak üretilen Cd'un en önemli kullanım alanı boya, pil üretimi (Ni-Cd pilleri) ve plastik sanayidir (Friberg ve ark., 1974; Hedlund ve ark., 1997).

Bir toprağın toplam Cd konsantrasyonu ana materyalde bulunan Cd ile insanoğlu tarafından (antropojenik kaynaklardan) yapılan uygulamalar ile gelen Cd'a bağlı olarak değişmektedir. Yer kabuğunun ortalama Cd konsantrasyonunun 0.1 mg kg⁻¹ olduğu tahmin edilmektedir (Bowen, 1979). Kadmiyumun kimyasal yönden Zn ile benzer özelliklere sahip olmasından dolayı Cd'un en zengin kaynakları ZnS minerallerinden olan sfalerit, wurtzit ve simitsonit (ZnCO₃) gibi ikincil minerallerdir. Tüm kayalarda Cd:Zn oranının 1:27-1:7000 arasında değişmekte olup, ortalama 1:500 olduğu, topraklarda ise bu oranın 1:100 düzeyinde olduğu bildirilmiştir (Heinrichs ve ark., 1980; Alloway, 1995). Belçika'da 100 yıldan fazla bir süreyle devam etmekte olan Zn madenciliği endüstrisi sahasının yakınındaki topraklarda atmosferik depozitden dolayı Cd kirlenmesinin olduğu tespit edilmiştir (Degryse ve ark., 2001). Yapılan bir çalışmada dünya tarım topraklarının ortalama Cd konsantrasyonunun 0.53 mg kg⁻¹ olduğu, en düşük değer 0.06 mg Cd kg⁻¹, en yüksek değer ise 1.1 mg Cd kg⁻¹ olduğu açıklanmıştır. Yapılan çalışmada en yüksek Cd konsantrasyonlarının İngiltere'nin tarım yapılan bölgelerinde (ort. 0.41 mg kg⁻¹) olduğu bildirilmiştir (McGrath, S. P., & Loveland, 1992).

Kadmiyum ana materyal veya insan kaynaklı aktiviteler sonucunda topraklarda birikmektedir. Genellikle toprakların Cd ile kirlenmesinde rol oynayan antropojenik kaynaklı en önemli 3 faktör;

- 1) Atmosferik emisyonlar (topraklara ve bitkilere hava ile taşınanlar)

Metal madenciliği, metal işleyen endüstriler, fosfatik gübre üretimleri, kırsal ve endüstri alanındaki emisyonlar, kentsel atıkların yakılması, yollardaki tozlardan ve eksoz gazlarından hava vasıtasıyla toprak ve bitkiye Cd girişi,

2) Doğrudan yapılan uygulamalarla

Fosforlu gübreler, fosfojipsler ve diğer jipsler, kanalisasyon artıkları, kentsel katı atıklar ile kömür ve odun bileşimlerinin yanmış atıklarından kaynaklanan topraklara Cd girişi,

3) Kaza/kaçak kirlenmeler

Endüstriyel bölgelerdeki arazilerin kirlenmeye maruz kalması, maden atıklarının boşatılması ve galvanizli metallerin paslanmasıyla etrafa yaydıkları metal kirlenmesinden kaynaklanan topraklara Cd girişi olmaktadır.

Topraklara atmosferik yollardan giren Cd miktarı, kırsal alanlardaki tarım arazilerine 0.1-4 ng m⁻³ arasında olurken kentsel/endüstriyel alanlarda bulunan arazilerde ise 2-150 ng m⁻³ düzeyindedir (OECD, 1994). Klor, SO₄ ve SO₃ gibi Cd'un ana formları aerosol-parçacıklar halinde suspans 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).

Kanalizasyon çamurları bileşim yönünden çok farklı atık maddelerden oluşmaktadır. Atık maddeler, genellikle şehir ve endüstri atıklarından oluşmaktadır. Kanalizasyon arıtma çamurları genellikle Cd bakımından çok zengindir. Bu atıkların tarım topraklarına uygulanması sonucunda bu alanlarda yetişen bitkilerde yüksek düzeyde Cd birikiminin olması olası görünmektedir. Bu tür atıkların kullanılması ile tarım topraklarına çok yüksek oranlarda Cd girebilmektedir (Smith, 2009). Kanalizasyon atıklarıyla topraklara en az <1 ve en çok 3410 mg kg⁻¹ Cd girişi olabileceği bildirilmiştir (Alloway, 1995). Mc Grath ve ark (2000) yaptığı bir araştırmada, toprağa kanalizasyon

çamurunun uygulanması ile marul, ıspanak ve şeker pancarı bitkisinin kanalizasyon çamuru uygulanmayan bitkilere göre daha yüksek düzeyde Cd biriktiğini bildirmiştir. Birçok ülke, kanalizasyon çamuru atıklarında maksimum izin verilebilir Cd konsantrasyonlarını yasal düzenlemelerle belirlemiştir. Ülkelere göre söz konusu sınır değerleri (mg Cd kg⁻¹ kuru madde olarak); Danimarka, Finlandiya ve İsveç: 0.5; Fransa: 2.0; Almanya: 1.5; İspanya: 1.0; İngiltere: 3.0 ve ABD: 20 olarak belirlemiştir (McLaughlin ve Sings. 1999).

Tarım topraklarına gübre yolu ile Cd girişinin en önemli kaynağı fosforlu gübrelerdir (McLaughlin ve ark., 1996; Murtaza ve ark., 2015). Fosforlu gübreler 300 mg kg⁻¹ üstünde Cd'a sahip olurken, N ve K'lu gübreler ise genellikle 9 mg kg⁻¹'dan daha az Cd içermektedirler (Fergusson, 1990). Fosfat kayaları yüksek miktarlarda bazı ağır metalleri 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 (Kongshaug ve ark., 1992; Murtaza ve ark., 2015). Gübrelerdeki P'un Cd alımına etkisi çoğunlukla uzun yıllar sonra ortaya çıkmaktadır. Uzun süre fosforlu gübrelerin kullanımıyla sürekli olarak topraklara Cd girişi olduğundan topraklarda belli bir düzeyde Cd birikimi olmakta ve daha sonra bu alanlarda yetişen bitkiler Cd'u kolaylıkla absorbe etmektedir (He ve Singh, 1994). Rothbaum ve ark. (1986), Rothamsted'de ve Yeni Zelanda'da uzun süreli gübre denemeleriyle topraklara Cd girişini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre Rothamsted'de 95 yıl süreyle yılda hektara 5 g Cd ve Yeni Zelanda'da ise 30 yıl boyunca topraklara yılda hektara 20 g Cd girişinin olduğunu bildirmişlerdir. Fosforlu gübreler yoluyla topraklara ciddi düzeylerde Cd girişi olması ve bu Cd'un insan sağlığını etkilemesi nedeni ile bazı ülkelerde P'lu gübrelerin içerebileceği maksimum Cd içeriği belirlenmiştir. Buna göre, gübrelerde maksimum izin verilebilir Cd konsantrasyonu (1 kg P başına mg Cd olarak), Danimarka'da 110, Almanya'da 200, Japonya'da 340 ve Norveç'te 100'dür. Avustralya Gübre Endüstrisi Federasyonu, 1994 yılında aldığı bir kararla özellikle süper fosfat ve kompoze gübrelerde en üst Cd sınırını 1 kg başına 250 ile 350 mg Cd olarak belirlemiştir (Jinadasa ve ark., 1997).

Kadmiyum biyolojik fonksiyonlar açısından gerekli bir element olmayıp insan, hayvan ve bitkiler için toksiktir. Diğer ağır metallere göre 2-20 kat daha fazla toksik etkiye sahiptir. Kadmiyum toprakta oldukça hareketli bir element olup kolaylıkla bitkinin

besin zincirine dahil olmaktadır. Bitkiler tarafından alınan kadmiyum bitkinin protein sentezi, azot ve karbonhidrat metabolizması, enzim aktivasyonu, fotosentez ve klorofil sentezi gibi birçok metabolik aktivitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Bitkilerin Cd içeriği genel olarak kuru ağırlık esasına göre $<0.5 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dir. Bitki cinsi ve türüne bağlı olarak bu değer büyük değişiklik göstermektedir. Bezelye, fasulye, lahana, patates ve sebzelerde genel olarak düşük miktarlarda; kereviz, yeşil lahana, ıspanak ve kıvırcık salatada yüksek miktarlarda Cd bulunmaktadır (Özbek ve ark., 1995). 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).

Endüstriyel faaliyetler, gübre ve ilaç kullanımı ve sanayi artıkları aracılığıyla hava, toprak ve su ortamlarına yayılan kadmiyum besin zinciri ve solunum yoluyla insan ve hayvanların bünyelerine ulaşarak etkin olur. Kadmiyum kirliliğinin olduğu topraklarda yetişen bitkiler, bu bitkilerle beslenen hayvanlardan üretilen hayvansal gıdalar ve içme sularına karışan sanayi artıkları aracılığıyla insan bünyesine ulaşır. 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. 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 insanlarda uzun olması sonucunda (19-38 yıl), ciğer ve böbreklerdeki kadmiyum miktarı yaşa bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle yüksek Cd'dan kaynaklanan böbrek rahatsızlıkları genellikle elli yaşın üzerindeki insanlarda görülmektedir (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 yitirilmesi önemli etkilerindendir (Yağmur ve ark., 2003).

Toprakta kadmiyumun bitkiler tarafından alınımında hangi Cd formunun daha etkili olduğu ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Somolders ve McLaughlin (1996) ve Smolders ve ark (1996), toprak çözeltisinde Cd^{+2} iyonunun Cl^- ile $CdCl_2$ -n şeklinde bilinmeyen bir kompleks formu oluşturduğunu ve bu formun bitkilerce alınabildiğini ileri sürmüştür. Yapılan başka bir çalışmada ise, ayçiçeği çekirdeğinde Cd miktarının Cl^- konsantrasyonunun artışıyla arttığı, buna karşın SO_4^{-2} 'in Cd konsantrasyonunu etkilemediği bildirilmiştir (Li ve ark., 1994). McLaughlin ve ark (1998), toprağa eşit oranda $NaNO_3$ ve Na_2SO_4 tuzlarının uygulanması sonucunda, şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam Cd alımına SO_4^{-2} formunun NO_3 formuna göre etkisinin daha fazla olduğunu saptamıştır.

Yukarıda açıklanan varsayımlardan da anlaşıldığı üzere toprakta oldukça hareketli olan kadmiyumun topraktaki konsantrasyonu arttığında hareketliliğini azaltacak uygulamalara gereksinim duyulmaktadır. Bunu sağlayabilmek için öncelikle toprakların toplam negatif yük miktarının artırılması gerekmektedir. Daha fazla negatif yüzey alanı kadmiyumun hareketliliğini azaltacak ve bitki bünyesine taşınmasının önüne geçecektir. Toprakların negatif yük miktarının kil mineralleri ve organik madde düzeyine bağlı olduğundan, toprağa katkı maddesi olarak uygulanacak kadmiyumsuz organik materyaller toprağın negatif yük miktarını artıracaktır. Bu amaçla, son yıllarda özellikle küresel ısınma ile mücadelede konusunda oldukça fazla kullanılan yüksek karbon içeriğine sahip "biochar" kullanılabilir.

2.2. Biochar

Biochar terimi; toprak amenajmanı ve karbon (C) zenginleşmesi konuları ile ilişkili olarak ortaya çıkan nispeten yeni bir terimdir (Lehman ve ark., 2006). Odun, hayvan gübresi ve yapraklar gibi çeşitli biyokütlenin çok az oksijenin bulunduğu veya oksijenin hiç olmadığı kapalı bir ortamda ısıtılması ile elde edilen karbon bakımından zengin olan materyallere biochar adı verilmektedir. Daha teknik anlamda, kısıtlı miktarda oksijenin olduğu ve göreceli olarak düşük sıcaklıklarda ($<700^{\circ}C$) organik materyallerin sıcaklıkla

değişimi/pirolizi ile üretilen materyale biochar denilmektedir (Lehmann ve Joseph, 2009).

Biochar uygulamaları; çevre amenajmanı, toprağın iyileştirilmesi (üretimin arttırılması ve aynı zamanda kirliliğin azaltılması için), atık amenajmanı, iklim değişimi ile mücadele ve enerji üretimi şeklinde dört hedefe yönelik yapılmaktadır. (Lehman ve Joseph, 2009). Biyokütlenin yakılması ve doğal yollar ile ayrıştırılması (parçalanması) ile atmosfere büyük miktarda CO₂ salınımı olmaktadır. Okaliptus odunu ve yaprakları, kâğıt endüstrisindeki atık çamur, tavuk gübresi, büyük baş hayvan gübresi gibi farklı özelliklere sahip biyo-kütlelerin 2 farklı sıcaklıkta piroliz edilerek yapıldığı bir çalışmada, elde edilen biocharların toprakta kalma sürelerinin 90 ile 1600 yıl arasında değişebileceği bildirilmiştir (Joseph ve ark., 2010).

Karbon zenginleştirmeye olumlu etkilerinin yanında, biocharın ılıman bölgelerde ve tropikal ekosistemlerde toprak kalitesini ve ürün verimliliğini arttırdığına dair raporlarda yayınlanmaktadır. (Guerana ve ark., 2013). İlave edilen biochar özelliklerine de bağlı olmakla birlikte, toprakta su ve besin elementi tutumu veya mikrobiyal aktivite gibi özelliklere de doğrudan etki etmektedir (Atkinson ve ark., 2010; Lehmann ve ark., 2011). Biocharın yüzey alanı oldukça yüksektir ve yapısı çok gözeneklidir. Bu nedenle, toprağa uygulanması hacim ağırlığının düşmesine (Asai ve ark., 2009), toprak sıkışmasının azalmasına (Olmo ve ark., 2014), toprağın yüzey alanını (Lehmann ve ark., 2011), gözenekliliğini (Githinji, 2014) ve gözenek büyüklük dağılımını (Sun ve Lu., 2014) etkilemektedir. Biochar ilavesi toprağın pH'sını yükseltir (Chan ve ark., 2008), Gaskin ve ark., 2010; Laird ve ark., 2010), hacim ağırlığını azaltır (Laird ve ark., 2010) ve hidrolojik rejimi değiştirir (Herath ve ark., 2013). Toprağın verimlilik durumu da toprakta yarayışlı besin elementlerinin durumu (Lehmann ve ark., 2003) ve biyokimyasal özellikleri değiştirmek sureti ile gerçekleşebilir (Luo ve Gu, 2016). Yarayışlı besin elementi kapsamı düşük olmasına rağmen biochar uygulamalarından olumlu tepki alan araştırmacılar bunu toksinlerin/ağır metallerin nötralize edilmesine (Wardle ve ark., 1998; Erdem ve ark., 2017), özellikle su tutma kapasitesi gibi toprak fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesine (De Melo Carvalho ve ark., 2014) ve toprak sıkışmasının azaltılmasına (Chan ve ark., 2008) olan etkileri ile ilişkilendirmişlerdir. Biocharın toprağın su tutma kapasitesine ve adsorpsiyon kapasitesine etkisini değerlendiren araştırmacılar, elektron mikroskobu ile yaptıkları inceleme neticesinde bu

etkilerin Biocharın oldukça gözenekli olan yapısından kaynaklandığını rapor etmişlerdir (Ogawa ve ark., 2006; Yu ve ark., 2006). Abel ve ark. (2013), kumlu topraklara ilave edilen Biocharın toprağın hacim ağırlığını düşürdüğünü, toplam gözenekliliğini arttırdığını ve solma noktasında tutulan su miktarındaki artışla beraber toprağın yarayışlı su içeriğinin artışına neden olduğunu bildirmişlerdir. Üretildiği materyal ve üretim koşullarına bağlı olmakla birlikte Biocharın hacim ağırlığının 0.08 g cm^{-3} ile (Gundale ve DeLuca, 2006) 1.7 g cm^{-3} (Oberlin, 2002) arasında değiştiği rapor edilmiştir. Toprakların hacim ağırlığının 1.3 g cm^{-3} ile 2.0 g cm^{-3} arasında değiştiği dikkate alındığında, böylesine düşük hacim ağırlığına sahip bir materyalin ilavesi ile toprağın hacim ağırlığının da azalması beklenmektedir. Bu nedenle de yapılan birçok araştırmada (Laird ve ark., 2010; Pereira ve ark., 2012), ilave edilen biochar miktarının artışı ile hacim ağırlığının azaldığı belirtilmiştir. Lehmann ve ark. (2003), biochar uygulamalarının bir diğer etkisinin de gübreler ile uygulanan besin elementlerinin yıkanmasının engellenmesinin gübre kullanım etkinliğinin artıyor olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Bu etki, biocharın yükü, toplam gözenekliliği ve yüzey alanı ile ilişkilidir.

2.3. Biocharın Bitkilerin Cd Alımına Etkisi

Toprağa uygulanan biocharın özellikleri piroliz edilen organik materyalin özelliklerine, piroliz koşullarına ve biochar uygulamasından sonra geçen süreye bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Biocharın toprakta kalma süresi uzadıkça, toprakta bulunan metalik katyonların, oksi-anyonların ve organik bileşiklerin bağlanacağı yüzeyler de artacaktır. Bazı durumlarda biocharın bir sorbent olarak görev görebileceği rapor edilmiştir. Liang ve ark. (2006), daha yüksek yüzey alanı, negatif yüzey yükü ve yük yoğunluğundan dolayı biocharın doğal organik maddeye oranla çok daha yüksek sorbe yeteneği olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan birçok araştırmada da toprakların Cd stresini önlemede biocharın pozitif etki yaptığı belirtilmektedir. Lehmann (2007) biocharın Cd iyonunu adsorbe ederek etkili bir şekilde bağladığını belirlemiştir. Zhou ve ark. (2008) pamuk sapından elde edilen biocharın Cd'la kirlenmiş topraklarda daha fazla Cd tutma yeteneğine sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Biocharın topraktaki fiziksel stabiliteyi artırması (Cui ve ark., 2004), Cd hareketini engellemesi (Hua ve ark., 2009) ve Cd'un morfolojik yapısını

değiştirmesi yoluyla biyolojik etkisini azalttığı belirlenmiştir (Zhang ve ark., 2014). Cd birikim oranı ağırlık ilkesine göre hesaplandığı için, toprağa daha sonradan ilave edilen biyokütleler ile toprağın Cd oranını seyrelttiğinden dolayı Cd konsantrasyonu nispeten azalmaktadır (Zhang ve ark., 2014). Biochar içeriğine bağlı olarak yararlılığı artan azot, fosfor, potasyum ve diğer bitki besin elementleri toptaktaki Cd konsantrasyonunun azalmasıyla Cd iyonu ile rekabet ederek bitkiye taşınımını engelleyebilir (Zhang ve ark., 2014).

Cui ve ark., (2012) Cd ile kirlenmiş pirinç yetiştirilen toprağa biochar uygulaması ile pirinç bitkisinin Cd alımının azaldığını bildirmişlerdir. Buğday bitkisine tarla koşullarında hektara 0, 10, 20 ve 40 t dozlarında biochar uygulaması ile bitkinin topraktan kaldırdığı Cd konsantrasyonunun önemli oranda azaldığı bildirilmiştir. Houben ve ark., (2013) Cd toksitesini olan bir toprağa 4 farklı dozda biochar (% 0, %1, % 5 ve % 10) uygulaması yaparak kolza yetiştirmişlerdir. Araştırcıların elde ettikleri sonuçlara göre kolza bitkisinin yeşil aksam Cd konsantrasyonunun kontrol uygulamasında 3.68 mg kg⁻¹ iken diğer biochar uygulamalarında ise sırası ile 3.15, 2.05 ve 1.08 mg kg⁻¹'e kadar dştğnn bildirirmişleridir. Namgay ve ark. (2010) kumlu bir toprakta yetiştirilen mısır bitkisine üç farklı biochar ve Cd uygulaması yapılarak bir deneme gerçekleştirilmişlerdir.

Erdem ve ark., (2017) sera koşullarında tütün bitkisine artan dozlarda Cd (0, 10 ve 20 mg kg⁻¹ Cd) ve biochar (%0, %1, %2 ve %3) uygulaması yapmışlardır. Araştırcılar biocharın tüm uygulamalarında da artan Cd uygulaması ile kuru madde veriminde azalmaların olduğunu bildirmişlerdir. Artan Cd uygulaması ile meydana gelen kuru madde azalmasına karşın biocharın %1 ve %2 dozu koşullarında ile kuru madde veriminde artışlara neden olduğunu bildirmişlerdir. Benzer Şekilde sera koşullarında Cd ile kirlenmiş (24 mg kg⁻¹ Cd) bir toprağa artan dozlarda biochar uygulaması (%1, %5 ve %10) ile kolza bitkisinin kuru madde verimi 13 mg bitki⁻¹'den (kontrol, %0 biochar) %1, %5 ve %10 biochar koşullarında sıra ile 15, 16 ve 49 mg bitki⁻¹'ye çıktığı bildirilmiştir (Houben et al., 2013). Son yıllarda biochar uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmaların ve yayınlanan raporların sayıları artmakla birlikte biochar ilavesinin farklı formlardaki kadmiyumun toksik etkilerini azaltması konusunda çalışmalara gereksinim duyulmaktadır. Bu tez çalışması literatürde eksik kalan bu bilgilerin açıklanması için bir kaynak özelliği taşıyacağı düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Denemede kullanılan bitki materyali

Denemede Katerini tütün çeşidi kullanılmıştır. Katerini tütün çeşidi geç çiçek açan, bitki boyu 55-85 cm olan, ortalama yaprak sayısı 28-32 arasında değişen bir çeşit olup ortalama nikotin ile şeker oranı sırası ile %2.3 ve % 12'dir (Kınay, 2014).

3.1.2. Denemede kullanılan toprak materyali

Sera denemesinde kullanılan toprak Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Arazisinden alınmıştır. Deneme toprağının tekstürü siltli killi tın, organik maddesi az, kireç içeriği yüksek ve tuzsuz olup, yarayışlı P konsantrasyonu yetersiz, K konsantrasyonu yeterli, DTPA'da ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonu az, 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	8.02	P (mg kg ⁻¹)	8.1
Tuz (dS/m)	0.44	K (mg kg ⁻¹)	180
Organik M. (%)	1.14	Zn (mg kg ⁻¹)	0.52
Kireç %	15.8	Fe (mg kg ⁻¹)	2.11
Tekstür	SiCL	Cd (mg kg ⁻¹)	0.005

3.1.3. Denemede kullanılan biochar materyali

Denemede kullanılan biochar materyali mahlep çekirdeğinden elde edilmiştir. Biochar materyali Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümüne ait olan Biochar üretim tankında hazırlanmıştır. Mahlep çekirdeğinden

biochar üretimi, biyokütlenin oksijensiz ortamda ısıtılması (500°C) adı verilen yavaş piroliz işlemi ile elde edilmiştir (Lehmann, 2007). Elde edilen materyale ait bazı kimyasal özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Mahlep biocharının bazı kimyasal özellikleri

C	% 50	K %	% 0.17
N	% 0.29	Cd (mg kg ⁻¹)	0.09
C/N	172/1	pH (1/5 Toprak-Su)	8.86
P	% 0.06	Tuz mS (1/5 Toprak-Su)	1.30

3.2. Metot

3.2.1. Denemenin kurulması

Sera denemesi Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü serasında gerçekleştirilmiştir. Sera denemesi tesadüf parselleri deneme desenine göre 3'er tekerrürlü olarak 3 Cd formu, 4 Cd dozu ve 2 biochar dozu şeklinde kurulmuştur. Plastik saksıların kullanıldığı denemede her saksıya 4 mm elekten geçirilmiş hava kuru 1500 g toprak koyulmuştur. Temel gübreleme olarak tüm saksılara 250 mg kg⁻¹ N, Ca(NO₃)₂ formunda, 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, ZnSO₄.7H₂O formunda uygulama yapılmıştır. Denemeye konu olan kadmiyum uygulamaları 0, 2.5, 5.0 ve 10 mg kg⁻¹ dozlarında ve (CdSO₄)₃.8H₂O, Cd(NO₃)₂.4H₂O ve CdCl₂.H₂O formlarında denemenin kurulması aşamasında homojen bir şekilde toprakla karıştırılarak yapılmıştır. Mahlep çekirdeğinden elde edilen biochar ise %0 ve %1 (w/w) dozlarında uygulanmıştır. Biochar ve Cd uygulamaları denemenin kurulması esnasında diğer gübreler ile birlikte homojen bir şekilde toprakla karıştırılarak yapılmıştır. 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 41. gününde 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, Zn, Mn, Fe ve Cu okuması yapılmıştır (Kaçar ve İnal, 2008). Yeşil aksam örneklerinde N analizi ise Kjeldahl destilasyon yöntemine göre yapılmıştır (Bremner, 1965).

Mahlep çekirdeğinden elde edilen biocharın kimyasal özellikleri ise bitki analizine benzer şekilde öğütülen biochar örneğinden 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 okuması yapılmıştır. Biochar numunesinde pH ve EC tayini ise 1 (biochar):5 (su) yöntemine göre, toplam C ve N tayini CHN cihazında (Leco, USA) yapılmıştır (Zhang ve ark., 2013).

3.2.3. Toprak analizleri

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

- Toprakta bitkiye yarayışlı Zn, Fe ve Cd konsantrasyonları Lindsay ve Norvel'e (1978) göre DTPA yöntemine göre belirlenmiştir.
- Topraklarda bitkiye yarayışlı 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 biochar dozu, Cd formu 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 belirlenmiş, dozların etkilerinin homojen gruplara ayrılması işleminde ise DUNCAN testi yapılmıştır. İstatistiksel analizlerde SPSS 21.0 paket programı kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Cd Konsantrasyonu, Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi ve Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu

Biocharlı ve biocharsız koşullar altında farklı Cd form ve dozu uygulamalarının toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonu, yeşil aksam Cd konsantrasyonu ve yeşil aksam kuru madde verimi Çizelge 4.1’de verilmiştir. Toprağa artan dozlarda Cd uygulaması ile toprakların Cd konsantrasyonları istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P<0.01$) artmıştır. Bu artış tüm Cd formu ve biochar dozlarında da görülmüştür. $CdSO_4$ formunun BC0 (Biochar 0 dozu) koşullarında Cd0 uygulamasının 0.11 mg kg^{-1} olan DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonu, Cd10 dozunda 4.81 mg kg^{-1} ’a çıktığı görülmüştür. Toprağa biochar uygulamasının yapılmadığı (BC0) ve 10 mg kg^{-1} Cd uygulaması koşullarında toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonunun en fazla $CdCl_2$ formunda ($5.40 \text{ mg Cd kg}^{-1}$) en az ise $CdNO_3$ ($4.39 \text{ mg Cd kg}^{-1}$) formunda olduğu görülmüştür. BC1 koşullarında BC0 koşullarında olduğu gibi toprağa artan dozlarda Cd uygulaması ile toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonları artmış, ancak bu artış BC0 koşullarına göre daha az olmuştur. Sonuçlardan da görüleceği üzere tüm Cd form ve dozu koşullarında toprağa biochar uygulaması ile toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonlarında önemli azalmaların olduğu ortaya çıkmıştır. Örneğin $CdSO_4$ formunun BC0 ve Cd5 dozunda toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonu 2.45 mg kg^{-1} iken, bu durum aynı Cd dozunun BC1 koşullarında 1.54 mg kg^{-1} ’a düştüğü (%59 azalma), $CdNO_3$ formunda ise BC0 Cd5 koşullarında 3.12 mg kg^{-1} olan Cd konsantrasyonu BC1 koşullarında 1.41 mg kg^{-1} ’a (%121 azalma), $CdCl_2$ formunda ise 2.82 mg kg^{-1} ’dan 2.08 mg kg^{-1} ’a (%36 azalma) düştüğü görülmüştür (Çizelge 4.1). Sonuçlardanda görüldüğü gibi biochar uygulaması ile tüm Cd formlarında da DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonlarının azaldığı görülmüş, en fazla azalma ise $CdNO_3$ formu uygulamasında görülmüştür. Yapılan birçok araştırmada da toprakların kadmiyum stresini önlemede biocharın pozitif etki yaptığı belirtilmektedir. Bu araştırmalarda, biocharın kadmiyum iyonunu fikse ederek etkili bir şekilde bağladığı bildirilmiştir (Lehmann, 2007). Zhou ve ark. (2008) pamuk sapından elde edilen biocharın

kadmiyumla kirlenmiş topraklarda daha fazla kadmiyum tutma yeteneğine sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Biocharın topraktaki fiziksel stabiliteyi artırması (Cui ve ark., 2004), kadmiyum hareketini engellemesi (Hua ve ark., 2009) ve kadmiyumun morfolojik yapısını değiştirmesi yoluyla biyolojik etkisini azalttığı belirlenmiştir (Zhang ve ark., 2014). Lu ve ark., (2014) toprağa %5 biochar uygulaması ile DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonunun önemli düzeyde azaldığını bildirilmişlerdir. Erdem ve ark. (2017) tütün (Xanti/2A) bitkisine topraktan 3 farklı dozda (0, 10, ve 20 mg Cd kg⁻¹) Cd ve 4 farklı dozda biochar (%0, 1, 2 ve 3) uygulaması yaparak bir sera denemesi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, toprağa artan dozlarda yapılan Cd uygulamalarının tüm biochar dozları da dahil toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonunun arttığını, ancak biochar dozu artışına paralel olarak ortaya çıkan DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonundaki artışın daha az olduğunu bildirmişlerdir. Cd 20 dozunun BC0 koşullarında 13.41 mg kg⁻¹ olan Cd konsantrasyonu BC1, BC2 ve BC3 dozu koşullarında sıra ile 11.57, 9.06 ve 6.55 mg kg⁻¹'a düştüğü görülmüştür. Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi biochar toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonunu önemli ölçüde azalttığı ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.1. Biocharlı ve biocharsız koşullar altında farklı Cd form ve dozu uygulamalarının toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonu, yeşil aksam Cd konsantrasyonu ve yeşil aksam kuru madde verimine etkisi

Cd Formu	Cd Dozu mg kg ⁻¹	DTPA Ext. Cd (mg kg ⁻¹)**		Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)**		Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi (g bitki ⁻¹) ^{ö.d.}	
		BC 0	BC 1	BC 0	BC 1	BC 0	BC 1
CdSO ₄	0	0.11 ^k	0.09 ^k	0.52 ^j	0.24 ^j	5,97	6,61
	2,5	1.61 ^h	0.62 ^c	53 ^{ef}	28 ^{gh}	4,88	5,59
	5	2.45 ^f	1.54 ^h	96 ^c	31 ^{gh}	4,51	5,83
	10	4.81 ^b	4.47 ^c	169 ^a	97 ^c	4,04	5,39
Ortalama		2.24A	1.68B	80A	39B	4.85B	5.86A
CdNO ₃	0	0.12 ^k	0.09 ^k	0.78 ^j	0.46 ^j	5,71	6,42
	2,5	0.92 ^{ij}	0.79 ^j	37 ^{fgh}	31 ^{gh}	5,09	5,81
	5	3.12 ^e	1.41 ^h	76 ^d	63 ^{de}	4,40	5,03
	10	4.39 ^c	3.98 ^d	130 ^b	98 ^c	3,88	4,31
Ortalama		2.14A	1.57B	61A	48B	4.77B	5.40A
CdCl ₂	0	0.11 ^k	0.08 ^k	0.48 ^j	0.27 ^j	5,82	6,05
	2,5	1.24 ⁱ	0.87 ^{ij}	43 ^{fg}	20 ⁱ	5,51	5,75
	5	2.82 ^e	2.08 ^g	73 ^d	25 ^{hi}	5,19	5,43
	10	5.40 ^a	4.59 ^c	175 ^a	63 ^{de}	4,11	4,93

<i>Ortalama</i>	<i>2.40A</i>	<i>1.90B</i>	<i>73A</i>	<i>27B</i>	<i>5.15B</i>	<i>5.54A</i>
-----------------	--------------	--------------	------------	------------	--------------	--------------

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ö.d: önemli değil

Toprağa farklı form ve artan dozlarda Cd uygulaması ile tütün bitkisinin yeşil aksam Cd konsantrasyonu hem BC0 hem de BC1 koşullarında istatistiksel açıdan önemli düzeyde ($P < 0.001$) artmıştır. Ancak Cd konsantrasyonlarında meydana gelen bu artışlar, toprağa biochar uygulaması yapıldığında bitkinin yeşil aksam Cd konsantrasyonlarında önemli ($P < 0.01$) azalmalara neden olmuştur (Çizelge 4.1). CdSO₄ formunun BC0 koşullarında ortalama Cd konsantrasyonu 80 mg kg⁻¹ iken, biochar uygulaması ile (BC1) bu değer 39 mg kg⁻¹'a düşmüştür. Benzer şekilde CdNO₃ formunun BC0 koşullarında ortalama 61 mg kg⁻¹ olan yeşil aksam Cd konsantrasyonu, BC1 koşullarında 48 mg kg⁻¹'a, CdCl₂ formunda ise BC0 koşullarında 73 mg kg⁻¹ olan Cd konsantrasyonu, BC1 koşullarında 27 mg kg⁻¹'a düşmüştür (Çizelge 4.1). Cui ve ark., (2012) toplam Cd konsantrasyonu yüksek (21.84 mg Cd kg⁻¹) bir toprağa 10, 20 ve 40 t ha⁻¹ dozlarında biochar uygulaması yaparak 2 yıl süresince çeltik yetiştirmişlerdir. Araştırmacılar her iki yılda da artan biochar dozu ile pirinç tanelerinin Cd konsantrasyonlarının önemli azalmaların olduğunu bildirmişleridir. Denemenin ilk yılında 10 t ha⁻¹ biochar dozu koşullarında pirinç tanesinin Cd konsantrasyonunda meydana gelen azalma %16.8 iken, bu durum 20 t ha⁻¹ biochar dozunda %37.1, 40 t ha⁻¹ dozunda ise %45 olmuştur. Houben ve ark. (2013) Cd toksitesi olan bir toprağa 4 farklı dozda biochar (% 0, %1, % 5 ve % 10) uygulaması yaparak kolza yetiştirmişlerdir. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre kolza bitkisinin yeşil aksam Cd konsantrasyonunun kontrol uygulamasında 3.68 mg kg⁻¹ iken diğer biochar uygulamalarında ise sırası ile 3.15, 2.05 ve 1.08 mg kg⁻¹'a kadar düştüğünü bildirmişleridir. Namgay ve ark. (2010) kumlu bir toprakta yetiştirilen mısır bitkisine üç farklı biochar ve Cd uygulaması yapılarak bir deneme gerçekleştirilmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre toprağa yapılan artan biochar uygulamaları ile mısır bitkisinin Cd içeriğinin azaldığını ve bunun nedeninin ise, toprağa ilave edilen biochar materyalinin toprakta yüzey alanı artışına neden olduğu, buna bağlı olarak da Cd'un organik materyallere daha sıkı tutulmasına ve daha kararlı metal-organik bileşiklerin oluşmasına dayandırmışlardır.

Denemeden elde edilen başka bir önemli sonuç ise, bitkilerin Cd alımı bakımından Cd formları arasında da farklılıkların olduğunun ortaya çıkmasıdır. Biochar uygulamasının olmadığı koşullarda toprağa 10 mg kg⁻¹ Cd uygulaması ile yeşil aksamında en fazla Cd

konsantrasyonu CdCl_2 formu (175 mg kg^{-1}), ile CdSO_4 (169 mg kg^{-1}) formları uygulamasında olduğu, en az ise CdNO_3 (130 mg kg^{-1}) formu uygulamasında olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.1). Elde edilen sonuçlara göre SO_4 ve Cl formlarının bitkinin Cd alımında daha etkili olduğunu göstermiştir. Yapılan bir çalışmada, topraktaki yüksek Cl seviyelerinin, bitkiler tarafından Cd alımını ve taşınımını arttırdı bildirilmiştir (McLaughlin et al., 1994; McLaughlin et al., 1997). Birleşik Amerika'da yapılan bir çalışmada, ayçiçeği çeğirdeğinde Cd miktarının Cl^- konsantrasyonunun artışıyla arttığı, buna karşın SO_4^{2-} 'in Cd konsantrasyonunu etkilemediği bildirilmiştir (Li ve ark., 1994). McLaughlin ve ark (1998b), toprağa eşit oranda NaNO_3 ve Na_2SO_4 tuzlarının uygulanması sonucunda, şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam Cd alımına SO_4^{2-} tuzunun Cl^- tuzuna göre etkisinin daha az olduğunu saptamıştır.

Toprağa %1 düzeyinde biochar uygulaması yapıldığında her üç Cd formu uygulaması altında yetişen tütün bitkisinin yeşil aksam Cd konsantrasyonunda istatistiksel olarak önemli azalmalar meydana gelmiştir. Biochar uygulaması ile Cd alımındaki azalma en fazla CdCl_2 (ortalama %170 azalma), en az ise CdNO_3 (ortalama %27 azalma) formu uygulamasında olduğu ortaya çıkmıştır. CdCl_2 formunun BC0 Cd10 dozu koşullarında 175 olan yeşil aksam Cd konsantrasyonu, %1 biochar uygulaması ile %178 oranında azalarak 63 mg kg^{-1} 'a düşmüştür. Buna karşın CdNO_3 formunun BC0-Cd10 koşullarında 130 mg kg^{-1} olan yeşil aksam Cd konsantrasyonu %1 biochar uygulaması ile %33 azalarak 98 mg kg^{-1} 'a düşmüştür. Elde edilen sonuçlara göre biocharın toprakta Cl formunda bulunan Cd'un bitkiler tarafından alımının azaltılmasında daha etkili olduğunu göstermiştir.

Biochar uygulamalarına bakılmaksızın toprağa artan dozlarda Cd uygulaması yapıldığında tütün bitkisinin yeşil aksam kuru madde veriminde tüm Cd formu uygulamalarında da azalmaların olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1). Mısır bitkisi ile yapılan bir çalışmada toprağa artan düzeyde Cd uygulaması ile birlikte yeşil aksam kuru madde miktarının önemli düzeyde azaldığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, bu azalmanın toprağa 10 mg kg^{-1} Cd uygulaması ile verimde % 11.9, 20 mg kg^{-1} Cd uygulaması ile ise verimde % 23.5 düzeyinde azalmanın olduğunu bildirmişlerdir (Khurana ve Jhanji, 2014). Kadmiyum uygulaması ile kuru madde veriminde meydana gelen bu azalmanın temel nedeninin Cd'un fitotoksik etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Yang ve ark., 1996; Pereira ve ark., 2011).

Kadmiyum uygulaması ile kuru madde veriminde ortaya çıkan azalmaya karşın, kontrol koşullarına (BC0) göre, toprağa %1 düzeyinde biochar uygulaması yapıldığında tüm Cd formu ve dozu koşullarında da kuru madde veriminde önemli artışların olduğu görülmüştür. CdSO₄ formunun BC0 Cd0 koşullarındaki ortalama kuru madde verimi 5.97 g bitki⁻¹ iken aynı Cd dozunun BC1 koşullarında ise bu değer 6.61 g bitki⁻¹'ye çıkmıştır. Benzer şekilde CdSO₄ formunun BC0 Cd10 koşullarında 4.04 g bitki⁻¹ olan kuru madde verimi aynı Cd dozu uygulamasının BC1 koşullarında ise 5.39 g bitki⁻¹'ye çıktığı görülmüştür. Biochar uygulaması ile kuru madde veriminde meydana gelen bu artış CdNO₃ ve CdCl₂ formlarının tüm Cd dozlarında da görülmüştür (Çizelge 4.1). Biochar uygulaması ile kuru madde veriminde meydana gelen bu artış biocharın toprakta Cd yayılsılığını azaltmasından kaynaklanmaktadır. Erdem ve ark., (2017) sera koşullarında tütün bitkisine artan dozlarda Cd (0, 10 ve 20 mg kg⁻¹ Cd) ve biochar (%0, %1, %2 ve %3) uygulaması yapmışlardır. Araştırmacılar biocharın tüm uygulamalarında da artan Cd uygulaması ile kuru madde veriminde azalmaların olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, artan Cd uygulaması ile kuru madde veriminde meydana gelen azalmaya karşın, %1 ve %2 düzeyinde yapılan biochar uygulaması ile kuru madde veriminde artışlar olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde sera koşullarında Cd ile kirlenmiş (24 mg Cd kg⁻¹) bir toprağa artan dozlarda biochar uygulaması (%1, %5 ve %10) ile kolza bitkisinin kuru madde verimi 13 mg bitki⁻¹'den (kontrol, %0 biochar) %1, %5 ve %10 biochar koşullarında sıra ile 15, 16 ve 49 mg bitki⁻¹'ye çıktığı bildirilmiştir (Houben et al., 2013). Demirbaş ve ark., (2017) sera koşullarında nohut bitkisine 5 farklı dozda (%0, 1, 2, 3, 4 ve 5) biochar uygulaması ile nohut bitkisinin kuru madde verimlerinde önemli artışlara neden olduğunu ve en yüksek artışın ise %4 biochar uygulamasında olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar kontrol uygulamasının kuru madde veriminin 3.51 g bitki⁻¹'den %4 biochar uygulaması ile bu değer 7.70 g bitki⁻¹'ye yükseldiğini bildirmişlerdir.

Yapılan çeşitli saksı ve tarla denemelerinde biochar ilavesinin üretkenliği ve ürünlerin performansını olumlu etkilediği rapor edilmiştir (Chan ve ark., 2007; Asai ve ark., 2009; Liu ve ark., 2017). Bunun yanında, biocharın etkisinin olmadığını ve hatta olumsuz etkisi olduğunu bildiren araştırma sonuçları da yayınlanmıştır (Nelissen ve ark., 2015). Biochar ilave edilen topraklarda bitki gelişiminin artması, besin elementi kullanım etkinliğinin iyileşmesi ve toprağın kimyasal ve mikrobiyal özelliklerindeki

pozitif etkisi ile besin elementlerinin yıkanmasının azaltılması ile de ilişkilidir (Gul ve ark., 2015). Herhangi bir biochar çeşidinin toprak özelliklerine etkisi, uygulanan biochar materyalinin karakteristikleri, uygulama yapılan toprağın özellikleri ve uygulama yapılan bitkinin çeşidine bağlı olarak büyük değişkenlik gösterebilir (Prapagdee ve Tawinteung, 2017). İki farklı ürün için aynı toprakta kullanılan aynı biocharın ürün gelişimi performansı farklı olabilir. Lin ve ark. (2015) tınlı bir toprağa ilave edilen 16 Mg/ha mısır koçanı biocharının buğday verimini arttırdığını rapor ederken, benzer bir uygulamanın soya fasulyesi gelişimine etkisi olmadığını görmüşlerdir. Ürünleri biochar uygulamasına etkisi ürün çeşidi, biochar uygulama oranları ve biocharın özellikleri ile bitki yetiştirme koşulları ve edafik faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Jeffrey ve ark., 2011). Biocharın sadece besin elementinin sınırlı olduğu koşullarda bitki gelişimini teşvik edeceği ifade edilmiştir. Bunun nedenleri i.) biochar gübre olarak görev yapabilir ve ii.) biochar bitki gelişimini kök bölgesindeki mikroorganizma topluluğunu değiştirerek etkileyebilir (De Tender ve ark., 2016).

4.2. Yeşil Aksam Demir (Fe), Çinko (Zn), Mangan (Mn) ve Bakır (Cu) Konsantrasyonu

Biocharlı ve biocharsız koşullarda farklı Cd form ve dozu uygulamalarının yeşil aksam Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkisi Çizelge 4.2'de verilmiştir. Biocharlı ve biocharsız koşullarda kadmiyumun tüm form ve dozlarında Cd uygulaması ile tütün bitkisinin Fe konsantrasyonlarında önemli ($P < 0.01$) artış ve azalışların olduğu görülmüştür. $CdCl_2$ formunun biocharsız koşullarının yeşil aksam ortalama Fe konsantrasyonu 166 mg kg^{-1} iken bu değer %1 biochar uygulaması yapılan koşullarda ise 83 mg kg^{-1} 'a düşmüştür. Bu durum $CdNO_3$ formunun BC0 koşullarında ortalama 127 mg kg^{-1} iken BC1 koşullarında ise 159 mg kg^{-1} 'a çıkmıştır. Al Wabel ve ark. (2014) mısır bitkisine 4 farklı dozda (0, 1, 3 ve 5 g kg^{-1}) biochar uygulaması yaptıkları bir çalışmada, bitkinin yeşil aksam Fe konsantrasyonunun kontrol uygulamasında 624 mg kg^{-1} iken biocharın 1 dozunda 890 mg kg^{-1} , 3 dozunda 957 mg kg^{-1} ve 5 dozunda ise 757 mg kg^{-1} olduğunu bildirmişlerdir.

Tütün (Xanti/2A) bitkisine topraktan 3 farklı dozda (0, 10, ve 20 mg Cd kg^{-1}) Cd ve 4 farklı dozda biochar (%0, 1, 2 ve 3) uygulaması yaparak gerçekleştirilen bir sera denemesinde Cd dozu artışı ile tüm biochar dozları da dahil bitkinin yeşil aksam Fe

konsantrasyonunda azalmanın olduğu bildirilmiştir. Buna karşın biochar uygulamaları bitkinin yeşil aksam Fe konsantrasyonlarında artış ve azalışlara neden olduğu bildirilmiştir (Erdem ve ark., 2017a).

Demirbaş ve ark., (2017) ise nohut bitkisine 5 farklı dozda biochar (%0, 1, 2, 3, 4 ve 5) uygulaması bitkinin yeşil aksam Fe konsantrasyonlarında önemli azalmaların olduğunu bildirmişlerdir.

Tütün bitkisinin yeşil aksam Zn konsantrasyonu hem biocharlı hemde biocharsız koşulların artan Cd uygulaması altında da azaldığı ortaya çıkmıştır. Zn konsantrasyonlarında ortaya çıkan bu azalma tüm Cd formu uygulamaların da da görülmüştür. Artan Cd uygulaması koşullarında Zn konsantrasyonlarında meydana gelen bu azalma Cd*Zn arasında görülen antagonistik ilişkinin bir sonucu olmuş olabilir. Zira kadmiyumun bitkide Zn alımını azalttığı ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Grant ve Bailey., 1997; Grant ve ark., 2002; Erdem ve Ark., 2012a; Eker ve ark., 2013). Çinko eksikliğinde yetişen bitkilerin daha fazla Cd alması, benzer kimyasal özelliklere sahip olan Zn ve Cd'un membranlar üzerindeki absorpsiyon noktaları için rekabet etmesine (Grant ve ark., 1998; Welch ve ark., 1999; Cakmak ve ark., 2000; Harris ve Taylor 2001; Öztürk ve ark., 2003) ve Zn noksanlığında membran geçirgenliğinin artmasına (Cakmak ve Marschner, 1988) bağlanmaktadır. Zn konsantrasyonlarında ortaya çıkan bu azalma aynı zamanda biochar uygulamasında da etkilenmiştir. CdSO₄ formunun BC0 koşullarında ortalama Zn konsantrasyonu 27 mg kg⁻¹ iken bu değer BC1 koşullarında 19 mg kg⁻¹'a düşmüştür. Benzer durum CdNO₃ ve CdCl₂ formu uygulamalarında da görülmüştür (Çizelge 4.2). Elde ettiğimiz sonuçlara benzer şekilde Zheng ve ark. (2013) Cd toksitesisi olan bir toprağa iki farklı dozda biochar (% 0 ve % 5) uygulamasının buğday bitkisinin Zn alımını istatistiksel açıdan (p<0.05) önemli oranda azalttığını bildirmişlerdir. Biochar uygulaması ile yeşil aksam Zn konsantrasyonunda meydana gelen bu azalmanın nedeni Zn'nun biochar yüzeyinde tutulmuş olmasından kaynaklanmaktadır (Puga et al., 2015; Erdem et al., 2017).

Çizelge 4.2. Biocharlı ve biocharsız koşullar altında farklı Cd form ve dozu uygulamalarının yeşil aksam Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonuna etkisi

Cd Formu	Cd Dozu mg kg ⁻¹	Yeşil Aksam Fe Konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)**		Yeşil Aksam Zn Konsantrasyonu (mg kg ⁻¹) ^{ö.d.}		Yeşil Aksam Mn Konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)*		Yeşil Aksam Cu Konsantrasyonu (mg kg ⁻¹) ^{ö.d.}	
		BC 0	BC 1	BC 0	BC 1	BC 0	BC 1	BC 0	BC 1
CdSO ₄	0	144 ^{c-g}	82 ^{1-j}	31	20	83 ^{b-e}	64 ^{efg}	11	10
	2,5	160 ^{c-f}	118 ^{f-h}	28	23	93 ^{ab}	68 ^{def}	11	12
	5	141 ^{c-g}	71 ^j	25	12	89 ^{abc}	31 ^h	12	10
	10	153 ^{c-g}	225 ^a	22	20	93 ^{ab}	76 ^{b-f}	11	10
Ortalama		149A	124B	27A	19B	90A	59B	11	10
CdNO ₃	0	118 ^{gh}	169 ^{bcd}	27	22	83 ^{b-e}	64 ^{efg}	11	9,1
	2,5	121 ^{e-1}	164 ^{cd}	25	20	84 ^{b-e}	88 ^{bcd}	12	12
	5	134 ^{d-h}	142 ^{c-g}	23	22	90 ^{abc}	87 ^{bcd}	13	11
	10	136 ^{d-g}	161 ^{cdf}	22	20	88 ^{bcd}	71 ^{c-f}	10	11
Ortalama		127B	159A	24	21	86A	77B	11.5	10.7
CdCl ₂	0	130 ^{d-h}	85 ^{ij}	27	20	87 ^{bcd}	60 ^{fg}	11	10
	2,5	151 ^{c-g}	84 ^{ij}	26	16	95 ^{ab}	45 ^{gh}	12	11
	5	180 ^{bc}	65 ^j	24	14	88 ^{bcd}	33 ^h	12	11
	10	205 ^{ab}	97 ^{hij}	23	16	109 ^a	58 ^{fg}	14	10
Ortalama		166A	83B	25A	16.5B	95A	49	12	10

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ö.d: önemli değil

Biocharlı ve biocharsız koşullarda kadmiyumun tüm form ve dozlarında Cd uygulaması ile bütün bitkisinin yeşil aksam Mn ve Cu konsantrasyonlarında artış ve azalışların olduğu görülmüştür. Ancak hem yeşil aksam Mn hem de Cu konsantrasyonlarının biochar uygulaması ile azaldığı ortaya çıkmıştır. Örneğin CdCl₂ formunun BC0 koşullarındaki ortalama Mn konsantrasyonu 95 mg kg⁻¹ iken bu değer BC1 koşullarında 49 mg kg⁻¹'a düştüğü, Cu konsantrasyonu ise BC0 koşullarında ortalama 12 mg kg⁻¹ iken BC1 koşullarında ortalama 10 mg kg⁻¹'a düştüğü görülmüştür (Çizelge 4.2). Al Wabel ve ark. (2014) mısır bitkisine 4 farklı dozda (0, 1, 3 ve 5 g kg⁻¹) biochar uygulaması yaptıkları bir çalışmada, mısır bitkisinin yeşil aksam Mn konsantrasyonunun kontrol uygulamasında 62.5 mg kg⁻¹ iken biocharın 1 dozunda 43.4, 3 dozunda 34.9 ve 5 dozunda ise 30.5 mg kg⁻¹'a düştüğünü bildirmişlerdir. Araştırmacılar aynı çalışmada bitkinin yeşil aksam Cu konsantrasyonunun ise kontrol uygulamasında

48.3 mg kg⁻¹ iken biocharın 1 dozunda 36.7, 3 dozunda 37.7 ve 5 dozunda ise 35.2 mg kg⁻¹'a düştüğünü bildirmişlerdir.

Elde edilen sonuçlara baktığımızda toprağa artan dozlarda Cd uygulaması yapıldığında tütün bitkisinin mikroelement 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 engellenmesi şeklinde açıklanmaktadır (Salt ve ark., 1995). Toprağa biochar uygulaması ile genel olarak tüm Cd doz ve formu koşullarında da bitkilerin yeşil aksam mikroelement konsantrasyonlarında düşüşler olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durumu Liang ve ark. (2006) ve Zhang ve ark., (2014) toprağa ilave edilen biocharın toprağın fiziksel kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiği gibi yüksek yüzey alanı, negatif yüzey yükü ve yük yoğunluğundan dolayı organik maddeye oranla çok daha yüksek düzeyde metalleri sorbe etmesi ile açıklamaktadır.

4.3. Yeşil Aksam Azot (N), Fosfor(P) ve Potasyum (K) Konsantrasyonu

Toprağa farklı form ve dozlarda Cd uygulamalarının biocharlı ve biocharsız koşullarda tütün bitkisinin yeşil aksam N, P ve K konsantrasyonları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Biochar uygulamasının olmadığı (BC0) koşullarda CdNO₃ formu hariç diğer Cd form uygulamalarında Cd dozu arttıkça bitkilerin yeşil aksam N konsantrasyonlarında azalmaların olduğu ortaya çıkmıştır. Buna karşın CdNO₃ formu uygulamasında Cd 2.5 dozu hariç diğer Cd dozlarında (Cd 5 ve 10) yeşil aksam N konsantrasyonunda kontrol uygulamasına göre bir artışın olduğu görülmüştür. Bu artış muhtemelen NO₃ formundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda Cd toksitesine sahip topraklarda yetişen bitkilerde ortaya çıkan N noksanlığının nedeninin, Cd'un kök bölgesinde nitrat redüktaz aktivitesini engelleyerek yaklaşık %70 oranında nitratin absorpsiyonunu azaltmasından kaynaklanmaktadır (Hernandez ve ark., 1996; Borchard ve ark., 2014). Ayrıca, Van Assche ve Clijsters (1990), Cd toksitesine bağlı olarak proteinlerdeki sülfürhidrid gruplarına metallerin bağlanması sonucunda, makro besin elementlerinin yer değiştirmesine, yapılarının tahrip edilmesine veya aktivitelerinin engellenmesine yol açarak eksikliğe neden olduğunu rapor etmişlerdir. Domates bitkisi ile yapılan iki farklı çalışmada da Cd uygulaması ile bitkinin yeşil aksam N konsantrasyonunun istatistiksel olarak önemli oranda azaldığı bildirmiştir (Gouia ve ark., 2000; Chaffei ve ark., 2004).

Yeşil aksam N konsantrasyonlarında ortaya çıkan kadmiyumun bu olumsuz etkisine karşılık toprağa biochar uygulaması ile azda olsa bitkilerin N konsantrasyonlarında artışa neden olduğu ortaya çıkmıştır. CdSO₄ formunun BC0 koşullarında ortalama yeşil aksam N konsantrasyonu %2.46 iken, bu değer %1 dozunda biochar uygulaması ile %2.78'e çıktığı görülmüştür. CdNO₃ ve CdCl₂ formlarında ise sıra ile %2.79'dan %2.92'ye, %2.94'den %3.07'ye çıkmıştır. Buda biocharın bitkilerin azot ile beslenmesine pozitif bir etkisinin olduğunu, hem de Cd stresi altında dahi bitkilerin N beslenmesini iyileştirdiğini göstermiştir. Biochar ilave edilen topraklarda bitki gelişiminin artması, besin elementi kullanım etkinliğinin iyileşmesi ve toprağın kimyasal ve mikrobiyal özelliklerindeki pozitif etkisi ile besin elementlerinin yıkanmasının azaltılması ile de ilişkilidir (Gul ve ark., 2015). Bunun aksine yapılan bazı çalışmalarda ise toprağa biochar uygulaması ile bitkilerin N alımında azalmalar olduğu bildirilmiştir. Örneğin; toprağa 3 farklı dozda biochar (0, 15 ve 100 g kg⁻¹) uygulamasının yapıldığı bir çalışmada mısır bitkisinin yeşil aksam N konsantrasyonunun kontrol uygulamasında 20 g kg⁻¹ olduğu, biocharın 15 dozu ve 100 dozunda ise bu değerlerin sırası ile 19 ve 17 g kg⁻¹'e düştüğü bildirmiştir (Borchard ve ark., 2014).

Farklı formlarda ve dozlarda Cd uygulaması ile tütün bitkisinin yeşil aksam P konsantrasyonlarında hem biocharsız hemde biocharlı koşullarda artış ve azalışların olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.3). Bunun yanında BC0 koşullarına göre toprağa %1 biochar uygulaması ile tüm Cd formlarının ortalama P konsantrasyonlarında bir azalma meydana gelmiştir. CdSO₄ formunun BC0 koşullarında ortalama P konsantrasyonu %0.28 iken bu değer BC1 koşullarında %0.22'ye düşmüştür. CdNO₃ formunda ise %0.26 olan ortalama yeşil aksam P konsantrasyonu BC1 koşullarında %0.23'e, CaCl₂ formunda ise %0.25'den %0.24'e düştüğü görülmüştür. Lehmann ve ark. (2003), Biochar uygulamalarının önemli bir etkisinin de gübreler ile uygulanan besin elementlerinin yıkanmasının engellenmesinin gübre kullanım etkinliğinin artıyor olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Bu etki, biocharın yükü, toplam gözenekliliği ve yüzey alanı ile ilişkilidir. Lehmann (2007), biocharın 40 mg L⁻¹ gibi düşük konsantrasyonlu bir çözeltilerden bile >3000 mg kg⁻¹ PO₄⁻³ adsorbe edebileceğini göstermiştir. Araştırmacı, biochar ilave edilmemiş ve doğal olarak düşük fosfor içeren bir toprağın ise yaklaşık 600 mg kg⁻¹ PO₄⁻³ adsorbe edebildiğini belirtmiştir. Elde

ettiğimiz sonuçlara baktığımızda yukarıda verilen bilgiler ışığında toprağa ilave edilen biocharın bitkilerin P alımını azda olsa azaltmasını açıklamaktadır. Bu sonuçların aksine, daha önce yapılan bazı çalışmalarda da araştırmacılar, toprağa doğal organik madde eklenmesinin fosforun fiksasyonunu azaltmak vasıtasıyla P'un çözünürlüğünü arttırdığını ve böylece biochardaki anyonik moleküllerin fosforun fosfat şeklinde fiksasyonunu engelleyerek doğal organik anyonlar olarak toprağın değişim komplekslerinde kaldıklarını ve bitkilerinde fosfordan daha fazla yararlandıklarını rapor etmişlerdir (Bolan ve ark., 1994) . Benzer bir çalışma Nelson ve ark. (2011) tarafından yürütülmüş ve toprağa biochar eklenmesiyle birlikte fosforun yararlılığının daimi olmamak kaydı ile arttığını ve biocharın fosfor adsorpsiyonunun engellenmesine neden olduğu rapor edilmiştir.

Çizelge 4.3. Biocharlı ve biocharsız koşullar altında farklı Cd form ve dozu uygulamalarının yeşil aksam N, P ve K konsantrasyonuna etkisi

Cd Formu	Cd Dozu mg kg ⁻¹	Yeşil Aksam N Konsantrasyonu (%)**		Yeşil Aksam P Konsantrasyonu (%) ^{ö.d.}		Yeşil Aksam K Konsantrasyonu (%)**	
		BC 0	BC 1	BC 0	BC 1	BC 0	BC 1
CdSO ₄	0	2.72 ^{a-d}	3.11 ^{ab}	0.24	0.22	3.44 ^{cd}	4.28 ^c
	2,5	2.49 ^{c-e}	2.87 ^{b-d}	0.27	0.23	3.43 ^{cd}	5.07 ^{bc}
	5	2.41 ^{de}	2.75 ^{cd}	0.27	0.21	3.33 ^{cd}	4.36 ^c
	10	2.24 ^e	2.39 ^e	0.33	0.23	5.94 ^a	5.33 ^{ab}
Ortalama		2.46A	2.78B	0.28	0.22	4.03B	4.76A
CdNO ₃	0	2.78 ^{a-c}	3.12 ^{ab}	0.26	0.23	3.63 ^{ab}	5.21 ^{bc}
	2,5	2.63 ^{b-d}	2.86 ^{b-d}	0.25	0.27	3.11 ^d	6.14 ^a
	5	2.79 ^{a-c}	2.66 ^{de}	0.27	0.19	3.36 ^{cd}	4.89 ^{bc}
	10	2.95 ^{ab}	3.04 ^{a-c}	0.26	0.23	4.11 ^b	5.14 ^{bc}
Ortalama		2.79B	2.92A	0.26	0.23	3.55B	5.34A
CdCl ₂	0	3.03 ^a	3.09 ^{ab}	0.26	0.24	3.73 ^{ab}	5.14 ^{bc}
	2,5	3.00 ^a	3.09 ^{ab}	0.26	0.25	3.29 ^{cd}	5.19 ^{bc}
	5	3.03 ^a	3.34 ^a	0.25	0.24	3.70 ^{ab}	5.43 ^{ab}
	10	2.71 ^{a-d}	2.75 ^{cd}	0.24	0.23	3.34 ^{cd}	4.83 ^{bc}
Ortalama		2.94A	3.07A	0.25	0.24	3.52B	5.15A

*: P<0.05; **: P<0.01; ö.d: önemli değil

Farklı formlarda ve dozlarda Cd uygulaması ile tütün bitkisinin yeşil aksam K konsantrasyonlarında hem biocharsız hemde biocharlı koşullarda artış ve azalışların olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak, BC0 koşullarına göre toprağa %1 düzeyinde biochar uygulaması ile tüm Cd dozlarında da yeşil aksam K konsantrasyonlarında önemli artışları

olduğu ortaya çıkmıştır (izelge 4.3). CdSO₄ formunun BC0 koşullarında ortalama K konsantrasyonu %4.03 iken bu değer BC1 koşullarında %4.76'ya çıkmıştır. CdNO₃ formunda ise %3.55 olan ortalama yeşil aksam K konsantrasyonu BC1 koşullarında %5.34'e, CaCl₂ formunda ise %3.52'den %5.15'e çıktığı görülmüştür. Nigussie ve ark. (2012) marul bitkisine üç farklı dozda (0, 5 ve 10 t ha⁻¹) biochar uygulaması ile bitkinin yeşil aksam K konsantrasyonunun 54.29 g kg⁻¹'den 5 t ha⁻¹ biochar dozunda 58.23, 10 t ha⁻¹'da ise 69.1 g kg⁻¹'a çıktığını bildirmiştir. Araştırıcılar K konsantrasyonunda meydana gelen bu artışın biochar materyalinin kl kısmında bol miktarda bulunan yarayışlı K konsantrasyonundan kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Hemen hemen bütün Cd form ve uygulama dozlarında makro besin elementlerinin kontrol uygulamalarına oranla azalışı söz konusu olduğu ortaya çıkmıştır (izelge 4.3). Yapılan çalışmalarda, topraklarda yüksek konsantrasyonda Cd bulunduğunda bitki kök sisteminin biomembranlarının zarar gördüğü ve bitkide Cd'un yer değiştirmesinin veya kontrolsüz şekilde bitkiye alımının arttığını rapor edilmiştir (Marschner, 1998; Dheri ve ark., 2007). Bunun sonucu olarak da makro besin elementinin bitkiye taşınımın azaldığı ve böylece bitkide verimin azaldığı bildirilmiştir. Siedlecka (1995)'de Cd'un toprakta yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu zaman bitkilerde çeşitli makro besin elementlerinde noksanlıkların görüldüğünü bildirmiştir. Bunun yanında biocharın toprakta kalma süresi uzadıkça, toprakta bulunan metalik katyonların, oksi-anyonların ve organik bileşiklerin bağlanacağı yüzeyler de artacağından dolayı (Laird ve ark., 2010) yarayışlı besin elementlerinin de bazı durumlarda bitki tarafından alımında güçlükler olabilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yirminci yüzyılın başından itibaren artan nüfusun baskısıyla modern tarıma geçilmesi ve hızlı sanayileşmeyle birlikte, çevre kirliliği problemleri de ortaya çıkmaya başlamıştır. Endüstrileşme ve kentleşmeye bağlı olarak artan çevre kirliliği ile birlikte toprak kirliliği de ortaya çıkmış ve canlılar üzerinde tehlikeli olabilecek boyutlara ulaşmıştır. 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. Ağır metallere biri olan Cd tarım topraklarında bulunması ana materyal kaynaklı olabileceği gibi endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler, lağım atıkları ve atmosferik depozitler gibi insan faaliyetleri sonucunda da olabilmektedir. Kadmiyum toprakta hareketli bir element olup bitkiler tarafından kolaylıkla alınabilmektedir. Bitkiler tarafından alınması sonucunda besin zincirine girmesi ya da topraktan yıkanarak su ortamına ulaşma olasılığı önemli bir çevre sorunu yaratmaktadır. Toprakta oldukça hareketli olan Cd'un topraktaki hareketliliğini azaltacak uygulamalara gereksinim duyulmakta ve bunu sağlayabilmek için özellikle toprakların toplam negatif yük miktarının artırılması gerekmektedir. Daha fazla negatif yüzey alanı Cd'un hareketliliğini azaltacak ve bitki bünyesine taşınmasının önüne geçecektir. Toprakların negatif yük miktarının kil mineralleri ve organik madde düzeyine bağlı olduğundan dolayı, toprağa katkı maddesi olarak uygulanacak kadmiyumsuz organik materyaller toprağın negatif yük miktarını artıracaktır. Bu amaçla, son yıllarda özellikle küresel ısınma ile mücadelede konusunda oldukça fazla kullanılan yüksek karbon içeriğine sahip "biochar" kullanılabilir. Toprakların kadmiyum stresini önlemede biocharın pozitif etki yaptığı ile ilgili birçok literatür bilgisi bulunmasına rağmen, biocharın bitkilerin kadmiyum alımında hangi Cd formunda $\{(CdSO_4)_3 \cdot 8H_2O; Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O; CdCl_2 \cdot H_2O\}$ daha etkili olduğu ile ilgili bilgi bulunmamaktadır. Bu tez çalışması ile; farklı kadmiyum (Cd) formu uygulamaları altında tütün bitkisinin Cd alımına biocharın etkisi araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre;

Toprağa artan dozlarda Cd uygulaması ile toprakların biocharlı ve biocharsız koşullardaki tüm Cd konsantrasyonları istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P < 0.01$)

artmıştır. Ancak, toprağa %1 düzeyinde uygulanan biochar ile tüm Cd form ve dozu koşullarındaki toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonlarında önemli azalmaların olduğu ortaya çıkmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, toprağa biochar uygulaması ile CdSO₄ formunun BC0 ve Cd5 dozunda toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonunda %59 azalma, CdNO₃ formunda %121 ve CdCl₂ formunda ise %36 düzeyinde bir azalma meydana gelmiştir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi biochar uygulaması ile tüm Cd formlarında da DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonlarının azaldığı görülmüş, en fazla azalma ise CdNO₃ formu uygulamasında görülmüştür.

Toprağa farklı form ve artan dozlarda Cd uygulaması ile tütün bitkisinin yeşil aksam Cd konsantrasyonu hem BC0 hem de BC1 koşullarında istatistiksel açıdan önemli düzeyde (P<0.001) artmıştır. Ancak Cd konsantrasyonlarında meydana gelen bu artışlar, toprağa biochar uygulaması yapıldığında bitkinin yeşil aksam Cd konsantrasyonlarında önemli (P<0.01) azalmalara neden olmuştur.

Denemeden elde edilen başka bir önemli sonuç ise, bitkilerin Cd alımı bakımından Cd formları arasında da farklılıkların olduğunun ortaya çıkmasıdır. Biochar uygulamasının olmadığı koşullarda toprağa 10 mg kg⁻¹ Cd uygulaması ile yeşil aksamında en fazla Cd konsantrasyonu CdCl₂ formu (175 mg kg⁻¹), ile CdSO₄ (169 mg kg⁻¹) formları uygulamasında olduğu, en az ise CdNO₃ (130 mg kg⁻¹) formu uygulamasında olduğu ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlara göre SO₄ ve Cl formlarının bitkinin Cd alımında daha etkili olduğunu göstermiştir.

Toprağa %1 düzeyinde biochar uygulaması yapıldığında her üç Cd formu uygulaması altında yetişen tütün bitkisinin yeşil aksam Cd konsantrasyonunda istatistiksel olarak önemli azalmalar meydana gelmiştir. Biochar uygulaması ile Cd alımındaki azalma en fazla CdCl₂ (%170), en az ise CdNO₃ (%27) formu uygulamasında olduğu ortaya çıkmıştır.

Biochar uygulamalarına bakılmaksızın toprağa artan dozlarda Cd uygulaması yapıldığında tütün bitkisinin yeşil aksam kuru madde veriminde tüm Cd formu uygulamalarında da azalmaların olduğu görülmüştür. Kadmiyum uygulaması ile kuru madde veriminde ortaya çıkan azalmaya karşın, kontrol koşullarına (BC0) göre, toprağa

%1 düzeyinde biochar uygulaması yapıldığında ise tüm Cd formu ve dozu koşullarında da kuru madde veriminde önemli artışların olduğu görülmüştür.

Biocharlı ve biocharsız koşullarda kadmiyumun tüm form ve dozlarında Cd uygulaması ile tütün bitkisinin Fe konsantrasyonlarında önemli ($P<0.01$) artış ve azalışların olduğu görülmüştür. Tütün bitkisinin yeşil aksam Zn konsantrasyonu hem biocharlı hemde biocharsız koşulların artan Cd uygulaması altında da azaldığı ortaya çıkmıştır. Zn konsantrasyonlarında ortaya çıkan bu azalma tüm Cd formu uygulamaların da da görülmüştür. Artan Cd uygulaması koşullarında Zn konsantrasyonlarında meydana gelen bu azalma Cd*Zn arasında görülen antagonistik ilişkiden kaynaklandığı düşünülmektedir. Biocharlı ve biocharsız koşullarda kadmiyumun tüm form ve dozlarında Cd uygulaması ile tütün bitkisinin yeşil aksam Mn ve Cu konsantrasyonlarında artış ve azalışların olduğu görülmüştür. Ancak hem yeşil aksam Mn hem de Cu konsantrasyonlarının biochar uygulaması ile azaldığı ortaya çıkmıştır.

Biochar uygulamasının olmadığı koşullarda CdNO₃ formu hariç diğer Cd form uygulamalarında Cd dozu arttıkça bitkilerin yeşil aksam N konsantrasyonlarında azalmaların olduğu ortaya çıkmış, buna karşın CdNO₃ formu uygulamasında Cd 2.5 dozu hariç diğer Cd dozlarında (Cd 5 ve 10) yeşil aksam N konsantrasyonunda kontrol uygulamasına göre bir artışın olduğu görülmüştür. Bu artış muhtemelen NO₃ formundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yeşil aksam N konsantrasyonlarında ortaya çıkan kadmiyumun bu olumsuz etkisine karşılık toprağa biochar uygulaması ile azda olsa bitkilerin N konsantrasyonlarında artışa neden olduğu ortaya çıkmıştır. Farklı formlarda ve dozlarda Cd uygulaması ile tütün bitkisinin yeşil aksam P konsantrasyonlarında hem biocharsız hemde biocharlı koşullarda artış ve azalışların olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun yanında BC0 koşullarına göre toprağa %1 biochar uygulaması ile tüm Cd formlarının ortalama P konsantrasyonlarında istatistiksel açıdan önemsiz bir azalma meydana gelmiştir. Farklı formlarda ve dozlarda Cd uygulaması ile tütün bitkisinin yeşil aksam K konsantrasyonlarında hem biocharsız hemde biocharlı koşullarda artış ve azalışların olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak, biocharsız koşullarına göre toprağa %1 düzeyinde biochar uygulaması ile tüm Cd dozlarında da yeşil aksam K konsantrasyonlarında önemli artışları olduğu ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak özellikle Cd gibi ağır metaller ile kirlenmiş topraklarda yukarıda verilen sonuçlardan da görüleceği üzere biochar materyallerinin kullanılması ile Cd'un hangi

formu olursa olsun topraklarda Cd yayışılığının azaltılmasında önemli katkısı olmaktadır. Ancak burada toprağa uygulanacak biochar materyalinin kimyasal özelliklerinin (ağır metal konsantrasyonu, EC vs) iyi bilinmesi ve uygulama dozunun iyi ayarlanması gerekmektedir. Biochar her ne kadar topraklarda ağır metallerin bitki tarafından alımını azaltıyor olsa dahi, toprağa fazla miktarda uygulandığında toprakta bulunan yayışılı bitki besin maddelerinin yayışılığını da bu materyal azaltabilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M. ve Wessolek, G. 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202, 183-191.
- Alloway, B. J., 1995. Heavy metals in soils. Blackie, London. pp. 122-152
- Al-Wabel, M. I., Usman, A. R., El-Naggar, A. H., Aly, A. A., Ibrahim, H. M., Elmaghraby, S. ve Al-Omran, A. (2015). Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. *Saudi journal of biological sciences*, 22(4), 503-511.
- Andresen, 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.
- Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y. ve Horie, T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1), 81-84.
- Atkinson, C., Fitzgerald, J. ve Higgs, N. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant Soil* 337:1–18.
- Aydoğdu, N., Erbaş, H. ve Kaymak, K., 2007. Taurin, Melatonin ve N-Asetilsisteinin Kadmiyuma Bağlı Akciğer Hasarındaki Antioksidan Etkileri. *Trakya Üni. Tıp Fak. Dergisi*, 24(1):43-48.
- Bergman, W., 1992. Nutritional Disorders of Plants-Development, Visual and Analytical Diagnosis. Fischer Verlag. Jena.
- Bolan, N., Naidu, S., Mahimairaja, R., ve Baskaran, S.1994. Influence of low-molecular-weight organic acid on the solubilization of phosphates. *Biology and Fertility of Soils* 18, 311-319
- Borchard, N., Siemens, J., Ladd, B., Möller, A. ve Amelung, W., 2014. Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. *Soil & Tillage Research* 144:184–194.
- Bouyoucous, G.J., 1952. Hydrometer method improved for making particle size at analysis of soil. *Argon. J.* 54(5): 464-465.

- Bowen, H.J.M., 1979. Environmental chemistry of the elements, Academic Press, London Fleisher, M., Sarofim, A.F., Fasset, D.W., Hammond P., Shacklette, H.T. and Nisbet, I.C.T.
- Bremner, J.M., 1965. Total nitrogen. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbio-logical properties, 1149-1178.
- Büyükkılıç, A., Memrut, A., Angel, F.C. ve Doria, C.G., 2010. Cadmium Contents of Soils, Durum, and Bread Wheats in Harran Plain, Southeast Turkey. EGU General Assembly 2010, held 2-7 May, 2010 in Vienna, Austria, p.15254.
- Cakmak, I., ve Marschner, H., 1988. Increase in membrane permeability and 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. ve Kochian, L.V., 2000. Influence of varied zinc supply on re-translocation of cadmium (¹⁰⁹Cd) and rubidium (⁸⁶Rb) applied on mature leaf of durum wheat seedlings. Plant and 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 Publicaton no. 221. North Dakota Agric. Exp. Stn. North Dakota State University, Fargo USA.
- Chaffei C., Pageau K., Suzuki A., Gouia H., Ghorbel, M. H. ve Masclaux-Daubresse, C. 2004. Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in *Lycopersicon esculentum* leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage atrategy. Plant Cell Physiol. 45(11):1681–1693.
- Chan, K.Y., Dorahy, C. ve Tyler, S. 2007. Determining the agronomic value of composts produced from garden organics from metropolitan areas of New South Wales, Australia. Animal Production Science, 47(11), 1377-1382.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. ve Joseph, S. 2008. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Soil Research, 45(8), 629-634.
- Chaney, R.L. ve Hornick, S.B., 1978. Accu-mulation and effects of cadmium on crops. In Edited Proc. First International Cadmium Con-ference. 125-140.
- 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 and Technology, 11(3), 605-616.

- Clemens, S., Aarts, M.G., Thomine, S. ve Ver-bruggen, N., 2013. Plant science: the key to pre-venting slow cadmium poisoning. *Trends in plant science*. 18(2), 92-99.
- Cui, L., Pan, G., Li, L., Yan, J., Zhang, A., Bian, R., ve Chang, A. 2012. The reduction of wheat Cd uptake in contaminated soil via biochar amendment: a two-year field experiment. *BioResources*, 7(4), 5666-5676.
- Cui, Y. J., Zhu, Y. G., Zhai, R. H., Chen, D. Y., Hang, Y. Z., Qiu, Y. ve Liang, J. Z. 2004. Transfer of metal from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning China. *Environment International* 30: 785-791.
- Çağlar, K.Ö.,1949. Toprak Su Koruma Mühendisliği. Çukurova Univ. Zir. Fak. Yayın No: 108, Adana.
- 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.
- Davis, R.D. ve Calton-Smith, C., 1980. Crops as Indicators of the Significance of Contamination of Soil by Heavy Metals, WRC, Stevenage TR140.
- De Melo Carvalho, M.T., Maia, A.D.H.N., Madari, B.E., Bastiaans, L., Van Oort, P.A.J., Heinemann, A.B. ve Meinke, H. 2014. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. *Solid Earth*, 5(2), 939.
- Demirbaş, A., Karakoy, T., Durukan, H. ve Erdem, H., 2017. The Impacts of the Biochar Addition in Different Doses on Yield and Nutrient Uptake of the Chickpea Plant (*Cicer Arietinum* L.) Under the Contitions With and Without İncubation. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 26(12A): 8328-8336.
- De Tender C.A., Debode, J., Vandecasteele, B., D'Hose, T., Cremelie, P., Haegeman, A. ve Maes, M. 2016. Biological, physicochemical and plant health responses in lettuce and strawberry in soil or peat amended with biochar. *Applied Soil Ecology*, 107, 1-12.
- Degryse, F., Vlassak, V., Seuntjes, P. ve Smolders, E., 2001. Cadmium Mobility in Sandy Soils. *Proceedings of 6th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*, pp 181. Guelph, Canada.
- Dheri, G. S., Singh Brar, M., ve Malhi, S. S. 2007. Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach in two cadmium-contaminated soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(4), 495-499

- Di Toppi, L. S. ve Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and experimental botany*, 41(2), 105-130.
- Eker, S., Erdem, H., Yazici, M. A., Barut, H. ve Heybet, E. H. 2013. Effects of cadmium on growth and nutrient composition of bread and durum wheat genotypes. *Fresenius Environ. Bull*, 22, 1779-1786.
- 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 and Environmental Sciences*, July 2017, Vol. 12, No. 2, p. 447 – 456.
- Erdem, H., Tosun, Y.K. ve Öztürk, M., 2012a. Effect of cadmium zinc interactions on growth and Cd-Zn concentration in durum and bread wheats. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 21(5): 1046-1051.
- Fergusson, J. E. 1990. Heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon.
- Friberg, L., Piscator, M., Nordberg, G. F. ve Kjellström, T. 1974. Cadmium in the Environment (No. 2nd edition).
- Gall, J. E., Boyd, R. S. ve Rajakaruna, N. 2015. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental monitoring and assessment*, 187(4), 201.
- Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A. ve Fisher, D.S., 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*, 102(2), 623-633.
- Githinji, L. 2014. Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(4), 457-470.
- Gouia, H., Gorbil, M.H. ve Meyer, C., 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiology and Biochemistry*. 38:629-638.
- Grant, C.A. ve Bailey, L.D., 1997. Effect of phosphorus and zinc fertiliser management on cadmium accumulation in flaxseed. *J. Sci. Food Agric*.
- Grant, C.A., Bailey, L.D., Harapiak, J. T. ve Flore, N. A., 2002. Effect of phosphate source, rate and cadmium content and use of *Penicillium bilaii* on phosphorus, zinc and cadmium concentration in durum wheat grain. *Journal of Science of Food and Agriculture*. Vol. 82, no. 3, pp. 301-308 (8).

- Grant, C.A., Buckley, W.T., Bailey, L.D. ve Selles, F. 1998. Cadmium accumulation in crops. *Can. J. Plant Sci.* 78: 1-17.
- Gundale, M. ve DeLuca, T., 2006. Temperature and source material influence ecological attributes of ponderosa pine and Douglas-fir charcoal. *Forest Ecology and Management* 231 (1–3), 86–93.
- Harris, N. S. ve Taylor, G. J., 2001. Remobilization of cadmium in maturing shoots of near isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium accumulation. *Journal of Experimental Botany*, V 52, No 360, pp:1473-1481.
- He, Q. B. ve Singh, B. R. 1994. Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers: I. Yield and cadmium content. *Water, Air, & Soil Pollution*, 74(3), 251-265.
- Hedlund, B., Eriksson, J. ve Petersson-Grawé, K. och Öborn I 1997. Kadmium–tillstånd och trender. *Naturvårdsverket, Rapport*, 4759.
- Heinrichs, H., Schulz-Dobrick, B. ve Wedepohl, K. H. 1980. Terrestrial geochemistry of Cd, Bi, Tl, Pb, Zn and Rb. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44(10), 1519-1533.
- Herath, H.M.S.K., Camps-Arbestain, M. ve Hedley, M. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209, 188-197.
- Hernandez, L.E., Ramos, I., Carpena-Ruiz, R., Lucena, J.J. ve Garate, A., 1996. Effect of cadmium on the distribution of micronutrients in *Lactuca* spp., maize and pea plants. In: *Fertilizers and Environment*, ed, C. Rodriguez-Barrueco, 503-508. Kluwer Academic Publishers.
- Houben, D., Evrard, L. ve Sonnet, P., 2013. Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar. *Chemosphere*. 92(11), 1450-1457.
- Hua, L., Wu, W.X. ve Liu, Y., 2009. Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment. *Environmental Science and Pollution Research*, 16, 1-9.
- Hutton, M., 1982. Cadmium in the European Community, MARC Rep. No. 2, MAARC, London.
- 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.

- Jeffery, S., Verheijen, F.G., Van Der Velde, M. ve Bastos, A.C. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using metaanalysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 144(1), 175-187.
- 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 and soils of Greater Sidney. Australia. *J. Environ. Qual.* 26: 924-933.
- Jones, K. C., Symon, K.C. ve Johnston, A.E., 1987. *Sci. Total Environ* 67: 75-90.
- Joseph, S. Camps-Arbestaine, M. Lin, Y. Munroe, P. Chia, C.H. Hook, J. vanZwieten, L. Kimber, S. Cowie, A. Singh, B.P. Lehmann, J. Foidl, N. Smernik, R.J. ve Amonette, J.E. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil, *Aust. J. Soil Res.*48. 501– 515.
- 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. ve 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 and Soil*, 276:69-84
- Khurana, M. P. S. ve Jhanji, S. 2014. Influence of cadmium on dry matter yield, micronutrient content and its uptake in some crops. *Journal of Environmental Biology*, 35(5).
- Kınay, A., 2014. Yield and Quality Properties in Some Oriental Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) Hybrids. Gaziosmanpasa University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Field Crops. PhD Tesis. Tokat.
- Kobayashi, J., 1978. Pollution by cadmium and the itai-itai disease in Japan. In *Toxicity of Heavy metals in the Environment*. pp 199-260. Marcel dekker Inc. New York.
- Kongshaug, G., Böckman, O.C., Kaarstad, O. ve Morka, H., 1992. Inputs of Trace Elements to Soils and Plants. In *Chemical Climatology and Geomedical Problems*. Ed..J.Lag. pp 185-216.
- Laird, D., Fleming, P., Davis, D., Horton, R., Wang, B. ve Karlen, D. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158(3–4), 443–449
- Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 381-387.

- Lehmann, J. ve Joseph, S., 2009. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan Ltd., London, UK.
- Lehmann, J., da Silva, Jr., J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. ve Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, *Plant and Soil*, 249:343–357.
- Lehmann, J., Gaunt, J. ve Rondon, M., 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change* 11, 403–427.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C. ve Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Li, Y.M., Chaney, R.L. ve Schreiner, A.A., 1994. Effect of soil chloride on cadmium concentration in sunflower kernels. *Plant Soil*. 167, 275-280.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O’Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizao, F. J., Petersen, J., ve Neves, E. G., 2006. Blackcarbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1719–1730.
- Lin, X.W., Zie, Z.B., Zheng, J.Y., Liu, Q., Bei, Q.C. ve Zhu, J.G., 2015. Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. *Eur. J. Soil Sci.* 66, 329–338.
- Lindsay, W.L. ve Norvell, W., A., 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. J.*, 42: 421-428.
- Liu, Q., Liu, B., Zhang, Y., Lin, Z., Zhu, T., Sun, R. ve Lin, X., 2017. Can biochar alleviate soil compaction stress on wheat growth and mitigate soil N₂O emissions?. *Soil Biology and Biochemistry*, 104, 8-17.
- Lu, K., Yang, X., Shen, J., Robinson, B., Huang, H., Liu, D. ve Wang, H. 2014. Effect of bamboo and rice straw biochars on the bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn to *Sedum plumbizincicola*. *Agriculture, ecosystems & environment*, 191, 124-132.
- Luo, L. ve Gu, J.D. 2016. Alteration of extracellular enzyme activity and microbial abundance by biochar addition: Implication for carbon sequestration in subtropical mangrove sediment. *Journal of environmental management*, 182, 29-36.

- Marschner H., 2008. *Mieral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, Second Edition. London, UK., 889p.
- McGrath, S. P. ve Loveland, P. J. 1992. *Soil geochemical Atlas of England and Wales* .
- McLaughlin, M. J. ve Singh, B. R. 1999. Cadmium in soils and plants. In *Cadmium in soils and plants* (pp. 1-9). Springer, Dordrecht.
- McLaughlin, M. J., Tiller, K. G. ve Smart, M. K. 1997. Speciation of cadmium in soil solutions of saline/sodic soils and relationship with cadmium concentrations in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Soil Research*, 35(1), 183-198.
- McLaughlin, M. J., Tiller, K. G., Naidu, R. ve Stevens, D. P. 1996. The behaviour and environmental impact of contaminants in fertilizers. *Soil Research*, 34(1), 1-54.
- McLaughlin, M. J., Williams, C. M. J., McKay, A. J. K. G., Kirkham, R. J. K. G., Gunton, J. J. K. G., Jackson, K. J. ve Tiller, K. G., 1994. Effect of cultivar on uptake of cadmium by potato tubers. *Australian Journal of Agricultural Research*, 45(7), 1483-1495.
- McLaughlin, M.J., Lambrechts, R.M., Smolders, E. ve Smart, M.K., 1998b. Effects of sulfate on cadmium uptake by Swiss chard: II. Effects due to sulfate addition to soil. *Plant Soil*, 202, 217-222.
- Murtaza, G., Javed, W., Hussain, A., Wahid, A., Murtaza, B. ve Owens, G. 2015. Metal uptake via phosphate fertilizer and city sewage in cereal and legume crops in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(12), 9136-9147.
- Namgay, A.T., Singh, B. ve Pal Singh, B., 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Aust. J. SoilRes.* 48, 638–647.
- Nelissen, V., Ruyschaert, G., Manka'Abusi, D., D'Hose, T., De Beuf, K., Al-Barri, B. ve Boeckx, P. 2015. Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment. *European Journal of Agronomy*, 62, 65-78.
- Nelson, N. O., Agudelo, S. C., Yuan, W. ve Gan, J. 2011. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. *Soil Science*, 176(5), 218-226.
- Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M. ve Ambaw, G., 2012. Effect of Biochar Application on Soil Properties and Nutrient Uptake of Lettuces (*Lactuca sativa*) Grown in Chromium Polluted Soils. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 12 (3): 369-376.

- OECD, 1994. Risk Reduction Monograph No. 5. Cadmium Environvent Directore OECD, Paris.
- Ogawa, M., Okimori, Y. ve Takahashi, F. 2006. Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 11, 429-444.
- Olmo, M., Albuquerque, J.A., Barrón, V., Del Campillo, M.C., Gallardo, A., Fuentes, M. ve Villar, R. 2014. Wheat growth and yield responses to biochar addition under Mediterranean climate conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 50(8), 1177-1187.
- Olsen, S. R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department Of Agriculture; Washington.
- 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.
- Öztürk, L., Karanlık, S., Ozkutlu, F., Cakmak, I. ve Kochian, L. V., 2003. Shoot biomass and zinc/cadmium uptake for hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi* species in response to growth on a zinc-deficient calcareous soil. *Plant Science* 164: 1095-1101
- Pereira, B. F. F., Rozane, D. E., Araújo, S. R., Barth, G., Queiroz, R. J. B., Nogueira, T. A. R. ve Malavolta, E. 2011. Cadmium availability and accumulation by lettuce and rice. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(2), 645-654.
- Pereira, R., Heinemann, A., Madari, B., Carvalho, M., Kliemann, H. ve Santos, A. 2012. Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47 (5), 716–721.
- Prapagdee, S. ve Tawinteung, N. 2017. Effects of biochar on enhanced nutrient use efficiency of green bean, *Vigna radiata* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10), 9460-9467.
- Puga, A. P., Abreu, C. A., Melo, L. C. A. ve Beesley, L. 2015. Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium. *Journal of environmental management*, 159, 86-93.
- Rillig, M.C. ve Mummey, D.L., 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist* 171, 41-53.

- Rothbaum, H. P., Goguel, R. L., Johnston, A. E. ve Mattingly, G. E. G., 1986. Cadmium accumulation in soils from long-continued applications of superphosphate. *European Journal of Soil Science*, 37(1), 99-107.
- Salt, D., Price, R., Pickering, I. ve Raskin, I., 1995. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. *Plant Physiol.*, 109, 1427-1433.
- Sheoran, I.S., Singal, H.R ve Singh, R., 1990. Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Photosynthesis Research*, 23, 345-351.
- Siedlecka, A. 1995. Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 64(3), 265-272.
- Smith, S. R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment international*, 35(1), 142-156.
- Smolders, E. ve McLaughlin, M.J., 1996. Effect of Cl on Cd uptake by Swiss chard in nutri-ent solution. *Plant and Soil*. 179, 57-64.
- Smolders, E., McLaughlin, M.J. ve Tiller, K.G., 1996. Influence of chloride on Cd availability to Swiss chard: a resin buffered solution culture system. *Soil Sci Soc Am J*. 60, 1443-1447.
- Steiner, C., Das, K.C., Garcia, M., Förster, B. ve Zech, W., 2008. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic ferralsol. *Pedobiologia-International Journal of Soil Biology* 51, 359-366.
- Stolt J.P., Sneller F.E.C., Bryngelsson T., Lundborg T. ve Schat H., 2003. Phytochelatin and Cadmium Accumulation in Wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 49:21-28.
- Sun, F. ve Lu, S. 2014. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of plant nutrition and soil science*, 177(1), 26-33.
- Van Assche ve Clijsters, H. 1990. Effect of metalson enzyme activity in plants. *Plant Cell Environment*, 13, 195-206.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., Downie, A., Rust, J., Joseph, S. ve Cowie, A., 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil* 327, 235e246.
- Wardle, D.A., Zackrisson, O. ve Nilsson, M.C., 1998. The charcoal effect in Boreal forests: mechanisms and ecological consequences. *Oecologia*, 115(3), 419-426.

- Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W. ve Rillig, M.C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil e concepts and mechanisms. *Plant and Soil* 300, 9-20.
- Welch, R.M., Hart, J.J., Norvell, W.A., Sullivan, L.A. ve 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*) seedling roots. *Plant and Soil*. 208: 243-250.
- Yağmur, B., Hakerlerler, H ve Kılınç, R., 2003. Gübreler ve İnsan Sağlığı. *Çiftçi Dergisi* sayı:2.
- Yang, X., Baligar, V.C., Martens, D.C. ve Clark, R.B. 1996. Cadmium effects on influx and transport of mineral nutrients in plant species. *J. Plant Nutr.*, 19:643-656, 1996.
- Yu, X.-Y., Ying, G.G. ve Kookana, R.S., 2006. Sorption and Desorption Behaviors of Diuron in Soils Amended with Charcoal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 8545–8550.
- Zhang, Z. Y., Meng, J., Dang, S. ve Chen, W. F., 2014. Effect of Biochar on Relieving Cadmium Stress and Reducing Accumulation in Super japonica Rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(3), 547-553.
- Zhang, Z., Solaiman, Z.M., Meney, K., Murphy, D.V. ve Rengel, Z., 2013. Biochars immobilize soil cadmium, but do not improve growth of emergent wetland species *Juncus subsecundus* in cadmium-contaminated soil. *J. Soils Sediments*13, 140–151.
- Zheng, R., Chen, Z., Cai, C., Wang, X., Huang, Y., Xiao, B. ve Sun, G., 2013. Effect of biochars from rice husk, bran and straw on heavy metal uptake by pot grown wheat seedling in a historically contaminated soil. *BioResources*, 8(4): 5965-5982.
- Zhou J. B., Deng C. J., Chen J. L. ve Zhang Q. S., 2008. Remediation effects of cotton stalk carbon on Cadmium (Cd) contaminated soil. *Ecology and Environment*, 17, 1857-1860.

7. ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Almanya/Gross Gerau'da doğdu. Lise eğitiminin 2 yılını Almanya'da Bertha Von Suttner de, geri kalanını ise Malatya'da tamamladı. 2014 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde Lisans eğitimini tamamladı. 2014 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2016 yılından bu yana Ferrero Değerli Tarım adına çalışmaktadır.

