



The Effects of Biochar and Cadmium Applications on Yield and Nutrient Uptake of Maize Plant[#]

Ahmet Demirbaş^{1,a,*}, Ali Coşkan^{2,b}

¹Department of Plant and Animal Production, Sivas Vocational School, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Turkey

²Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Sciences, 32000 Isparta, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>[#]This study was presented as an oral presentation at the 13th National, 1th International Field Crops Conference (Antalya, TABKON 2019)</p> <p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 24/11/2019 Accepted : 06/12/2019</p> <p>Keywords: Biochar Cadmium Yield Nutrient Maize</p>	<p>The aim of this study was to investigate the effects of different doses of biochar (BC) and cadmium (Cd) on the yield and nutrient uptake of maize plant. It was carried out in 3 replications of 3 kg pots under greenhouse conditions. In the study, biochar (0% and 2% w/w) which is attained from rosehip seed and 4 different Cd doses (0 mg/kg, 2 mg/kg, 4 mg/kg and 8 mg/kg) were applied. In the research, P2088 maize species was used and harvested approximately 60 days after sowing and shoot dry matter production, Cd, nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), zinc (Zn), manganese (Mn) and copper (Cu) concentrations were determined of maize plant. According to the results, the highest dry matter production was obtained with 27.52 g/pot in 2% BC and 4 mg/kg Cd application. However, in the research, dry matter production decreased with increasing Cd application in 0% BC application, whereas all Cd applications increased dry matter production in 2% BC application compared to control. The highest concentrations of P and K (0.39% P and 2.54% K) were determined in 0% BC and 2 mg/kg Cd, 2% BC and 0 mg/kg Cd applications whereas the highest N concentration of maize plant was determined in 2% BC and 0 mg / kg Cd application with 2.23% N.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(sp2): 109-114, 2019

Biyokömür ve Kadmiyum Uygulamalarının Mısır Bitkisinin Verimine ve Besin Elementleri Alımına Etkileri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 24/11/2019 Kabul : 06/12/2019</p> <p>Anahtar Kelimeler: Biyokömür Kadmiyum Verim Besin elementi Mısır</p>	<p>Farklı dozlarda biyokömür (BC) ve kadmiyum (Cd) uygulamalarının mısır bitkisinin verimine ve besin elementleri alımına etkilerinin araştırıldığı bu çalışma, sera koşullarında üç yinelemeli olarak 3 kg kapasiteli saksılarda yürütülmüştür. Araştırmada, kuşburnu çekirdeğinden elde edilen biyokömür (%0 ve %2 w/w) ve 4 farklı Cd dozu (0 mg/kg, 2 mg/kg, 4 mg/kg ve 8 mg/kg) uygulanmıştır. Araştırmada P2088 mısır çeşidi kullanılmış ve ekimden yaklaşık 60 gün sonra hasat işlemi gerçekleştirilmiş ve mısır bitkisinin kuru madde üretimi ile Cd, azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn) ve bakır (Cu) konsantrasyonları belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, en yüksek kuru madde üretimi 27,52 g/saksı ile %2 BC ve 4 mg/kg Cd uygulamasında elde edilmiştir. Bununla birlikte, araştırmada %0 BC uygulamasında artan Cd uygulamasıyla kuru madde üretimi azalırken, %2 BC uygulamasında bütün Cd uygulamaları kontrole oranla kuru madde üretimini arttırmıştır. Mısır bitkisinin N konsantrasyonu en yüksek %2,23 N ile %2 BC ve 0 mg/kg Cd uygulamasında belirlenmişken, en yüksek P ve K konsantrasyonları (%0,39 P ve %2,54 K) %0 BC ve 2 mg/kg Cd ile %2 BC ve 0 mg/kg Cd uygulamalarında tespit edilmiştir.</p>

^a ademirbas@cumhuriyet.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0003-2523-7322> | acoskan@gmail.com

^c <https://orcid.org/0000-0001-5473-3515>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Kadmiyum (Cd) insan, bitki ve hayvanlar için gerekli bir element olmamakla birlikte aşırı Cd alımı insanlarda ve hayvanlarda ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Loganathan ve ark., 2008) ve hayvanlar ve insanlar için çok düşük konsantrasyonlarda toksisite gösteren bir elementtir (Özbek ve ark., 1995). Ayrıca Özbek ve ark. (1995), toprakların Cd ile kirlenmesinin nedenlerinin kadmiyum içeren endüstriyel ürünlerin atıkları olabileceği gibi, kirli hava, fosforlu gübrelerin kullanımı, arıtma ve dip çamurlarının da toprakta Cd kirliliğine neden olabildiğini belirtmişlerdir. Toprakta bulunan ağır metallere toksisitesi yüksek olan Cd bitki tarafından kökler yoluyla kolay alınabilmekte (Sanita-di Toppi ve Gabbrielli, 1999) ve bitkinin gövde, dal ve yapraklarına taşınarak biriktiğinde, bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimi olumsuz etkilemektedir (Gür ve ark., 2004). Bitkilerde Cd toksisitesi büyümenin yavaşlaması, kloroz, kök uçlarının kahverengileşmesi, ölüme neden olmakla birlikte bitki için önemli olan besin elementlerinin alınma ve besinlerin kökten sürgün uçlarına taşınmasına engel olabilmektedir (Benavides ve ark., 2005).

Biyokömür bitki ve hayvan kökenli biyokütlerin oksijensiz veya az oksijen olan bir ortamda piroliz edilmesi ile elde edilen karbonca zengin organik bir maddedir (Ahmad ve ark., 2014). Atmosferde CO₂ dönüşü riskini sınırlaması ile CO₂ deposunun uzun dönemde azalması için biyokömürün üretimi ve toprağa uygulanması yeni bir süreçtir (Lehmann ve ark., 2005). Biyokömürün zor ayrışabilir olmasından dolayı sera gazı emisyonlarını azaltmak için kapasitesi olması, bir toprak iyileştirici olarak kullanımına karşın artan ilginin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Lorenz ve Lal, 2014). Son zamanlarda, biyokömürle ilgili yapılan çalışmalar tarımsal sistemlerin hem sürdürülebilirliği hem de verimliliğini arttırmak için giderek artan bir şekilde onun etkinliğine odaklanmıştır (Spokas ve ark., 2012; Kloss ve ark., 2014). Küresel ısınma ile mücadele konusunda da oldukça yoğun olarak kullanılan biyokömür aynı zamanda toprağa ilave edildiğinde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini de iyileştirmektedir. Toprağa ilave edilen biyokömür toprak özelliklerine bağlı olarak beraber su ve besin elementi tutumu veya mikrobiyal aktivite gibi özelliklere direkt etki etmektedir (Lehmann ve ark., 2011).

Anavatamı Amerika kıtası olan ve dünyaya yayılması bu kıtanın keşfinden sonra olan mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin (Kün, 1997) Türkiye'ye 1600 yıllarında geldiği bilinmektedir. Endüstride nişasta, şurup, şeker, bira ve alkol yapımında kullanılan önemli bir hammadde olan (Süzer, 2003) mısır bitkisi hem insan hem de hayvan beslenmesinde önemli rol oynamaktadır ve tahıl ürünleri içerisinde dünyada buğday ve çeltikten sonra üçüncü, üretimde ise buğdaydan sonra ikinci sırada yer almaktadır.

Bu çalışmada, kuşburnu çekirdeğinden üretilen biyokömür ve kadmiyum uygulamalarının insan ve hayvan beslenmesinde önemli bir yeri olan mısır bitkisinin verimine ve besin elementleri alınma etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Meslek Yüksek Okulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü seralarında tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 kg kapasiteli saksılarda 3 tekrarlı olarak yürütülen çalışmada kullanılan toprak 0-30 cm derinliğinden alınmış (Çizelge 1), siltli-killi-tın, hafif alkalın (pH 7,51), kireçli (%12,9), Cd konsantrasyonu 0,02 mg/kg, yarıyışlı fosfor konsantrasyonu düşük, (4,58 kg P₂O₅/da) ve potasyum konsantrasyonu yeterlidir (102,4 kg K₂O/da). Araştırmada kullanılan ve kuşburnu çekirdeğinden elde edilen biyokömürün pH'sı 8,31, katyon değişim kapasitesi 6,47 cmol/kg, spesifik yüzey alanı 271,13 m²/g, karbon konsantrasyonu %89,11 ve azot konsantrasyonu %1,24, C/N oranı 71,86 şeklindedir.

Çizelge 1 Deneme alan toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1 Some physical and chemical properties of experimental soil

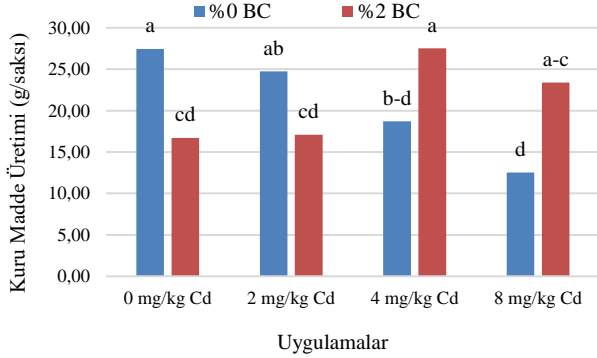
Toprak Özellikleri	Derinlik (0-30cm)
pH	7,51
Kireç (%)	12,9
Tuz(%)	0,02
Organik madde (%)	1,21
Tektür	SiCL
Alınabilir P ₂ O ₅ (kg/da)	4,58
Alınabilir K ₂ O (kg/da)	102,4
Alınabilir Cd (mg/kg)	0,02
Alınabilir Fe (mg/kg)	4,81
Alınabilir Mn (mg/kg)	5,53
Alınabilir Zn (mg/kg)	0,37
Alınabilir Cu (mg/kg)	1,06

Araştırmada temel gübreleme olarak her saksıya mısır tohumlarının ekimi öncesinde 250 mg/kg N (CaNO₃.4H₂O olarak), 100 mg/kg P ve 125 mg/kg K (KH₂PO₄ olarak), 2,5 mg/kg Zn (ZnSO₄.7H₂O olarak) ve 2,5 mg/kg Fe (Fe-EDTA olarak) uygulanmıştır. Araştırmada 4 farklı Cd dozu; 0 mg/kg, 2 mg/kg, 4 mg/kg ve 8 mg/kg olacak şekilde CdSO₄ formunda uygulanmıştır. Biyokömür dozları ise %0 ve %2 (V/V) olarak uygulanmıştır. Başlangıçta her saksıya 6 adet P2088 mısır çeşidinden 6 adet ekilmiş, çıkış sağlandıktan sonra her saksıda 3 adet kalacak şekilde seyreltme işlemi yapılmış ve ekimden yaklaşık 60 gün sonra mısır bitkisi hasat edilmiştir. Hasat öncesinde alınan yaprak örnekleri laboratuvarında saf su ile yıkandıktan sonra 0,1 N HCl asit ile yıkanmış ve tekrar saf su ile yıkandıktan sonra sabit ağırlığa gelinceye kadar 48 saat boyunca 70°C'de kurutulmuştur. Ayrıca kök üstü aksamının da kuru madde üretimi için ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra agat değirmende öğütülen örneklerden 0,200 g alınıp 2 ml %35 H₂O₂ ve 5 ml %65 HNO₃ ile mikrodalga cihazında (Milestone, Italy) yaş yakmaya tabi tutulmuştur. Elde edilen süzükte P kolorimetrik olarak 882 nm'de spektrofotometrede (Murphy ve Riley, 1962)'e göre, Cd, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonları ise Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (Shimadzu AA-7000, Japan) ile belirlenmiştir. N konsantrasyonları ise Kjeldahl destilasyon yöntemine göre (Bremner, 1965) belirlenmiştir.

Verilerin istatistik analizinde SPSS 22.0 programı kullanılmıştır. Uygulamalar arasındaki farklılıklar $P < 0,05$ olacak şekilde Tukey testi ile belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Araştırmada biyokömür ve kadmiyum uygulamalarının mısır bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimine etkileri belirlenmiş ve Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1 BC ve Cd uygulamalarının mısır bitkisinin kuru madde üretimine etkileri (g/saksı)

Picture 1 The effects of BC and Cd applications on shoot dry matter production of maize plant (g/pot)

Şekil 1 incelendiğinde, en yüksek kuru madde üretimi %2 BC ve 4 mg/kg Cd uygulamasında belirlenmiştir (27,52 g/saksı). Bu uygulamayı 27,45 g/saksı kuru madde üretimi ile istatistiki olarak aynı gruba giren %0 BC ve 0 mg/kg Cd uygulaması takip etmiştir. Araştırma sonuçları %0 BC uygulamasında artan Cd dozlarına bağlı olarak mısır bitkisinin kuru madde üretiminin azaldığını göstermiştir. Kontrol uygulaması olan 0 mg/kg Cd uygulamasında kuru madde üretimi 27,45 g/saksı iken, 8 mg/kg Cd uygulamasında 12,80 g/saksı olarak belirlenmiştir. %2 BC uygulamasında ise bütün Cd uygulamaları kontrole oranla bitkinin kuru madde üretimini arttırmıştır. Bununla birlikte, 4 mg/kg Cd uygulamasından sonra kuru madde üretimi azalmaya başlamıştır. Demirbaş ve ark. (2017), inkübasyonlu ve inkübasyonsuz koşullarda kuşburnu çekirdeğinden elde edilen biyokömürün farklı dozlarda uygulamalarının (%0; %0,5; %1; %2; %3; %4 ve %5 (w/w)) nohut bitkisinin verimi ile mineral besin besin elementi konsantrasyonlarına olan etkilerini araştırdıkları çalışmada, nohut bitkisinin kuru madde verimini en fazla arttıran uygulamanın inkübasyonlu koşullarda %3 BC uygulaması olduğunu belirtmişlerdir (10,02 g/saksı). Cd ile kirletilmiş toprakta yetiştirilen tütün bitkisine mahlepten üretilen BC uygulanan bir çalışmada, genel olarak BC uygulamasının tütün bitkisinin kuru madde üretimini arttırdığını ve en yüksek kuru madde üretiminin 3,15 g/bitki ile %2 BC dozunda olduğu belirtilmiştir (Erdem ve ark., 2017). Biyokömürün agronomik performans üzerindeki etkisi değişkendir, geniş bir toprak tipi aralığındaki farklı ürün ve bitkilerin verimi üzerine negatif ya da pozitif etkisi olabilir. Örneğin, Laos’un kuzeyindeki yayla pirinci (Asai ve ark., 2009), Gana (Oguntunde ve ark., 2004), Kolombiya (Major ve ark., 2010) ve güney Çin’deki (Peng ve ark., 2011) mısır, merkezi Amazon, ABD’deki pirinç, börülce ve sorgum için (Steiner ve ark., 2007) ve doğu Avustralya’daki soya fasulyesi ve turp için

(Van Zwieten ve ark., 2010) için olumlu etkileri olduğu rapor edilmiştir.

Farklı dozlarda BC ve Cd uygulamalarının mısır bitkisinin Cd, N, P ve K konsantrasyonuna etkileri Çizelge 2’de verilmiştir.

Biyokömür ve kadmiyum uygulamalarının mısır bitkisinin Cd konsantrasyonuna etkisi değerlendirildiğinde, hem %0 BC hem de %2 BC uygulamasında artan Cd dozlarına paralel olarak bitkinin Cd konsantrasyonu da artmıştır (Çizelge 2). En yüksek Cd konsantrasyonu %2 BC ve 8 mg/kg Cd uygulamasında 10,15 mg/kg Cd olarak belirlenmiştir. Genel ortalamalar değerlendirildiğinde, %0 BC uygulamasına oranla (4,03 mg/kg Cd) %2 BC uygulamasının daha fazla Cd konsantrasyonuna sahip olduğu belirlenmiştir (6,63 mg/kg Cd). Bu durumda BC uygulamalarının bitkinin Cd konsantrasyonunu arttırdığı söylenebilir. Çalışmamızda elde edilen bulguların aksine Erdem ve ark., (2017) 3 farklı dozda Cd (0, 10 ve 20 mg/kg Cd) ve Mahlep çekirdeğinden ürettikleri biyokömürü 4 farklı dozda (%0 %1, %2 ve %3) tütün bitkisine uygulamışlar ve araştırma sonunda BC uygulamalarının tütün yapraklarındaki Cd toksisitesini azalttığını bildirmişlerdir. Araştırmada en yüksek N konsantrasyonu %2,23 N ile %2 BC ve 0 mg/kg Cd uygulamasında belirlenmiştir. Bununla birlikte, hem %0 hem de %2 BC uygulamasında genel olarak Cd uygulamaları bitkinin N konsantrasyonunu azaltmıştır. Benzer olarak Yıldız (2005), artan Cd dozlarına bağlı olarak domates ve mısır bitkilerinin N konsantrasyonlarında önemli bir azalma olduğunu bildirmiştir. P konsantrasyonunda ise benzer durum %2 BC uygulamasında belirlenmiştir. %2 BC uygulamasında P konsantrasyonu Cd uygulamalarıyla azalmıştır. %0 BC uygulamasında ise %0,39 P ile en yüksek 2 mg/kg Cd uygulamasında belirlenmiştir. Bu Cd dozundan sonra ise bitkinin P konsantrasyonu azalmaya başlamış ve 8 mg/kg Cd uygulamasında kontrolden de düşük olarak belirlenmiştir (%0,28 P). Ortalama fosfor değerleri incelendiğinde BC uygulamalarının bitkinin P konsantrasyonuna etkide bulunmadığı belirlenmiştir. Ancak yapılan bazı çalışmalarda, biyokömür uygulamalarıyla alkalın karakterli topraklarda P konsantrasyonunun artış gösterdiği bildirilmektedir (Gunes ve ark., 2014). Mısır bitkisinin K konsantrasyonunu en fazla arttıran uygulama N konsantrasyonunda olduğu gibi %2,54 K ile %2 BC ve 0 mg/kg Cd uygulaması olmuştur. Benzer sonuçlar Demirbaş ve ark. (2017), tarafından yapılan çalışmada da belirlenmiş, inkübasyonlu ve inkübasyonsuz koşullarda yetiştirilen nohut bitkisinde en yüksek K konsantrasyonunu sırasıyla %2,81 K ve %2,37 K olarak %2 BC uygulamasında olduğu rapor edilmiştir. Araştırmada genel olarak Cd uygulamaları kontrole oranla bitkinin K konsantrasyonunu azaltmıştır. Toprak gübresi olarak biyokömür özellikle K, P, Ca ve Mg gibi bazı besinleri toprağa göre daha fazla katyon içeriğinden ve kendi özelliklerinden dolayı sağlayabilmektedir (Xu ve ark., 2013).

Araştırmada BC ve Cd uygulamalarının mısır bitkisinin Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri Çizelge 3’te, Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri ise Çizelge 4’te verilmiştir. Çizelge 3.

Çizelge 2 BC ve Cd uygulamalarının mısır bitkisinin Cd (mg/kg) N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%), P<0,05)
Table 2 The effects of BC and Cd applications on Cd (mg/kg), N, P and K concentrations of maize plant (%)

BC Dozları (%)	Cd Dozları (mg/kg)	Cd (mg/kg)	N			P			K		
						(%)					
0	0	2,70 ±0,16 ^g	1,76 ±0,03 ^{bc}	0,32 ±0,02 ^{a-c}	2,10 ±0,07 ^{b-d}						
	2	3,56 ±0,45 ^f	1,64 ±0,09 ^{b-d}	0,39 ±0,01 ^a	2,12 ±0,04 ^{bc}						
	4	4,35 ±0,57 ^{de}	1,82 ±0,00 ^b	0,34 ±0,02 ^{a-c}	1,99 ±0,01 ^{cd}						
	8	5,51 ±0,46 ^c	1,36 ±0,10 ^e	0,28 ±0,04 ^{bc}	1,90 ±0,05 ^d						
	Ortalama	4,03	1,64	0,33	2,03						
2	0	4,06 ±0,06 ^{ef}	2,23 ±0,19 ^a	0,36 ±0,00 ^{ab}	2,54 ±0,08 ^a						
	2	4,86 ±0,15 ^{cd}	1,61 ±0,12 ^{cd}	0,27 ±0,04 ^c	2,05 ±0,16 ^{b-d}						
	4	7,45 ±0,15 ^b	1,62 ±0,09 ^{b-d}	0,32 ±0,10 ^{a-c}	2,23 ±0,22 ^b						
	8	10,15 ±0,30 ^a	1,50 ±0,09 ^{de}	0,36 ±0,01 ^{ab}	2,07 ±0,03 ^{b-d}						
	Ortalama	6,63	1,74	0,33	2,22						

Çizelge 3 BC ve Cd uygulamalarının mısır bitkisinin Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri (%), P<0,05)
Table 3 The effects of BC and Cd applications on Ca and Mg concentrations of maize plant (%)

BC Dozları (%)	Cd Dozları (mg/kg)	Ca		Mg	
		(%)			
0	0	1,16 ±0,00 ^{a-c}	0,67 ±0,01 ^c		
	2	1,18 ±0,10 ^{a-c}	0,67 ±0,04 ^c		
	4	1,10 ±0,18 ^{b-d}	0,74 ±0,01 ^{ab}		
	8	1,08 ±0,01 ^{b-d}	0,65 ±0,00 ^{cd}		
	Ortalama	1,13	0,68		
2	0	1,33 ±0,06 ^a	0,78 ±0,00 ^a		
	2	1,22 ±0,01 ^{ab}	0,74 ±0,04 ^{ab}		
	4	1,04 ±0,04 ^{cd}	0,69 ±0,04 ^{bc}		
	8	0,97 ±0,08 ^d	0,60 ±0,06 ^d		
	Ortalama	1,14	0,70		

Çizelge 4 BC ve Cd uygulamalarının mısır bitkisinin Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg), P<0,05)
Table 4 The effects of BC and Cd applications on Fe, Zn, Mn and Cu concentrations of maize plant (mg/kg)

BC Dozları (%)	Cd Dozları (mg/kg)	Fe		Zn		Mn		Cu	
		(mg/kg)		(mg/kg)					
0	0	49,8 ±5,09 ^d	19,7 ±0,28 ^a	47,0 ±2,62 ^{bc}	7,1 ±0,18 ^b				
	2	55,5 ±0,42 ^{cd}	18,1 ±1,63 ^a	44,7 ±2,76 ^{bc}	6,5 ±0,39 ^{bc}				
	4	99,9 ±12,80 ^a	20,7 ±1,34 ^a	60,0 ±3,75 ^a	5,8 ±0,78 ^d				
	8	67,6 ±12,23 ^{b-d}	14,8 ±0,92 ^b	41,6 ±4,67 ^c	5,7 ±0,14 ^{cd}				
	Ortalama	64,43	18,29	48,29	6,31				
2	0	87,0 ±10,18 ^{ab}	14,0 ±0,57 ^{bc}	64,1 ±0,42 ^a	5,2 ±0,14 ^d				
	2	82,8 ±8,49 ^{ab}	11,4 ±3,11 ^{cd}	50,5 ±0,57 ^b	6,8 ±0,07 ^b				
	4	80,0 ±2,33 ^{a-c}	9,7 ±0,28 ^{de}	48,6 ±0,78 ^{bc}	7,1 ±0,25 ^b				
	8	75,3 ±1,27 ^{a-d}	8,1 ±1,98 ^e	44,8 ±3,61 ^{bc}	9,3 ±0,01 ^a				
	Ortalama	81,26	10,80	52,98	7,05				

Mısır bitkisinin Ca konsantrasyonu değerlendirildiğinde, BC uygulamalarının Ca konsantrasyonuna etkide bulunmadığı, %0 BC uygulamasında ortalama %1,13 Ca, %2 BC uygulamasında %1,14 Ca konsantrasyonu olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3). Ayrıca hem %0 BC hem de %2 BC uygulamalarında genel olarak Cd uygulamalarının kontrole oranla bitkinin Ca konsantrasyonunu azalttığı tespit edilmiştir. Mg konsantrasyonunda da Ca konsantrasyonunda olduğu gibi BC uygulamalarının bitkinin Mg konsantrasyonuna önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Cd uygulamaları da benzer şekilde genel olarak bitkinin Mg konsantrasyonunu azaltmıştır. Araştırmada %2 BC ve 0 mg/kg Cd uygulaması mısır bitkisinin hem Ca hem de Mg konsantrasyonuna en fazla etki eden uygulama olarak ortaya çıkmıştır (sırasıyla %1,33 Ca ve %0,78 Mg). İki yetiştirme sezonu boyunca yapılan bir

çalışmada, biyokömür dozları 0, 11 ve 22 Mg/ha olacak şekilde N'lu gübre ile ve N'lu gübre kullanılmadan uygulanmış ve artan dozlarda çam biyokömürü uygulamasının toprağın pH'sını düşürdüğü ve Ca'un yararışlılığını arttırdığı bildirilmiştir (Gaskin ve ark., 2010). Erdem ve ark. (2017), biyokömür ilavesiyle bütün bitkisi yapraklarındaki magnezyum konsantrasyonlarının önemli oranda azaldığını ve artan biyokömür dozunun Mg konsantrasyonu üzerindeki etkisinin de aynı şekilde arttığını bildirmişlerdir.

Mısır bitkisinin mikro element konsantrasyonları değerlendirildiğinde, en yüksek Fe konsantrasyonu 99,9 mg/kg Fe ile %0 BC ve 4 mg/kg Cd uygulamasında belirlenmiştir (Çizelge 4). %0 BC uygulamasında kontrole oranla Cd uygulamaları bitkinin Fe konsantrasyonunu arttırırken, %2 BC uygulamasında ise Cd uygulamaları Fe

konsantrasyonunu kontrole oranla azaltmıştır. Zn konsantrasyonunda ise genel olarak hem %0 BC hem de %2 BC uygulamasında Cd uygulamaları bitkinin Zn konsantrasyonunu azaltmıştır. Araştırmada 64,1 mg/kg Mn ile en yüksek %2 BC ve 0 mg/kg Cd uygulamasında Mn konsantrasyonu belirlenmiştir. Bu uygulamayı ise 60,0 mg/kg Mn ile istatistiki olarak aynı gruba giren %0 BC ve 4 mg/kg Cd uygulaması takip etmektedir. Araştırmada %0 BC uygulamasında tüm Cd uygulamaları bitkinin Cu konsantrasyonunu azaltırken, %2 BC uygulamasında tüm Cd uygulamaları bitkinin Cu konsantrasyonunu arttırmış ve 9,3 mg/kg Cu ile 8 mg/kg Cd uygulamasında en yüksek Cu konsantrasyonu belirlenmiştir. Genel ortalamalar bakımından mikro element konsantrasyonları incelendiğinde, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonlarının %2 BC uygulamasında daha yüksek olduğu (sırasıyla 81,26 mg/kg Fe, 52,98 mg/kg Mn ve 7,05 mg/kg Cu), Zn konsantrasyonunun ise %0 BC uygulamasında daha yüksek olduğu (18,29 mg/kg Zn) saptanmıştır. Sözmez ve Çiğ (2019), biyokömür ve solucan gübresi uygulamalarının buğday ve toprağın besin elementi içeriği üzerine etkilerinin belirlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada, kök üstü organın mangan içeriğinin hem biyokömür hem de solucan gübresi uygulamaları ile kontrole göre azaldığını, biyokömürün kök ve kök üstü organın demir konsantrasyonunu kontrole göre önemli oranda azaltmışken, solucan gübresi uygulamasının arttırdığını, kök ve kök üstü organın bakır ve çinko içeriklerinin artan biyokömür ve solucan gübresi uygulamaları ile artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Sonuçlar ve Öneriler

Farklı dozlarda BC ve Cd uygulamalarının mısır bitkisinin verimine ve besin elementleri alınmasına etkilerinin araştırıldığı çalışmada, BC uygulamalarının kuru madde üretimini arttırdığı, ancak Cd elementinin konsantrasyonunu azaltmadığı, aksine BC uygulamaları ile mısır bitkisinin Cd konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, BC uygulamaları makro elementlerden N ve K konsantrasyonlarını arttırırken, P, Ca ve Mg konsantrasyonuna önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Mikroelementlerden ise Fe, Mn ve Cu konsantrasyonları BC uygulamaları ile artarken, Zn konsantrasyonu BC uygulamaları ile azalmıştır. Araştırma bulguları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, kuru madde üretiminin BC uygulamaları ile arttığı, genel olarak besin elementlerinden ise mikroelementlerin BC uygulamalarından daha fazla etkilendiği ortaya çıkmıştır.

Kaynaklar

Ahmad M, Rajapaksha AU, Lim JE, Zhang M, Bolan N, Mohan D, Vithanage M, Lee SS, Ok YS. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, 99: 19-33.

Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, Horie T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical proper-ties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crop Res.*, 111: 81-84.

Benavides MP, Gallego SM, Tomaro ML. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17: 21-34.

Bremner JM. 1965. Total nitrogen. *Methods of soil analysis*. Part

2. Chemical and microbio-logical properties. ss: 1149-1178.

Demirbaş A, Karakoy T, Durukan H, 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 conditions with and without incubation. *Fresen. Environ. Bull.*, 26 (12A): 8328-8336.

Erdem H, Kınay A, Gunal E, Yaban H, Tutus Y. 2017. The effects of biochar application on cadmium uptake of tobacco. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 12 (2): 447 – 456.

Gaskin JW, Speir RA, Harris K, Das KC, Lee RD, Morris LA, Fisher DS. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*, 102 (2): 623-633.

Gunes A, Inal A, Taskin MB, Sahin O, Kaya EC, Atakol A. 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use Management*, 30: 182-188.

Gür N, Topdemir A, Munzuroğlu Ö, Çobanoğlu D. 2004. Ağır metal iyonlarının (Cu, Pb, Hg, Cd) *Clivia* sp. bitkisi polenlerinin çimlenmesi ve tüp büyümesi üzerine etkileri. *F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16 (2): 177-182.

Kloss S, Zehetner F, Wimmer B, Buecker J, Rempt F, Soja G. 2014. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 177: 3–15.

Kün E. 1997. Tahıllar II (Sıcak İklim Tahılları). Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayın No: 1452, Ders kitabı No: 432, Ankara.

Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. 2005. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, (11): 403-427.

Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biol. Biochem.*, 43: 1812–1836.

Loganathan P, Hedley MJ, Grace ND. 2008. Pasture soils contaminated with fertilizer-derived cadmium and fluorine: livestock effects. In: David MW, editor. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. USA: Springer. pp: 29-66.

Lorenz K, Lal R. 2014. Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 177: 651–670.

Major J, Rondon M, Molina D, Riha SJ, Lehmann J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant Soil*, 333: 117-128.

Murphy J, Riley JP. 1962. A modified single solution for the determination of phos-phate in natural waters. *Analitica Chemica Acta.*, 27: 31-36.

Oguntunde PG, Fosu M, Ajayi AE, van de Giesen N. 2004. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biol. Fert. Soils.*, 39: 295-299.

Özbek H, Kaya Z, Gök M, Kaptan H. 1995. *Toprak Bilimi*. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 73, Ders Kitapları Yayın No: A-16, 816 s.

Peng X, Ye LL, Wang CH, Zhou H, Sun B. 2011. Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil Till. Res.*, 112: 159-166.

Sanita-di Toppi L, Gabbriellini R. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 41: 105–130.

Sönmez F, Çiğ F. 2019. Artan dozdaki biyokömür ve solucan gübresi uygulamalarının buğdayda ve toprakta besin elementi içeriği üzerine etkilerinin belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg.*, 22 (4): 526-536.

Spokas KA, Cantrell KB, Novak JM, Archer DW, Ippolito JA, Collins HP, Boateng AA, Lima IM, Lamb MC, McAloon AJ, Lentz RD, Nichols KA. 2012. Biochar: a synthesis of its

- agronomic impact beyond carbon sequestration. *J. Environ. Qual.*, 41: 973-989.
- Steiner C, Teixeira WG, Lehmann J, Nehls T, de Macedo JLV, Blum WEH, Zech W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil.*, 291: 275-290.
- Süzer S. 2003. Mısır Tarımı. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Edirne.
- Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, Chan KY, Downie A, Rust J, Joseph S, Cowie A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil.*, 327: 235-246.
- Xu G, Wei LL, Sun JN, Shao HB, Chang SX. 2013. What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism? *Ecol. Eng.*, 52: 119-124.
- Yildiz N. 2005. Response of tomato and corn plants to increasing Cd levels in nutrient culture. *Pak. J. Bot.*, 37 (3): 593-599.