



## Asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının kaba bünyeli bir toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içeriğine etkisi

Salih DEMİRKAYA\*, Coşkun GÜLSER

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

### Öz

Gazlaştırma işlemiyle elde edilen biyoçarlar genellikle alkali karaktere sahip olduklarından yüksek kireç içeren topraklara uygulanması bitki besin elementlerinin yararlılığını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışma ile kumlu tınlı bünyeye sahip kireçli bir toprağa orijinal (alkali) ve asitle modifiye edilmiş biyoçar uygulamalarının toprakta pH, EC ve DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içeriğine etkileri araştırılmıştır. İnkübasyon denemesinde orijinal ( $B_{pH9.4}$ ) ve farklı pH düzeylerinde asitleştirilmiş biyoçarlar ( $B_{pH6.5}$  ve  $B_{pH3.6}$ ) kullanılmıştır. Biyoçarlar dört farklı dozda (%0, %1, %2 ve %4) toprağa karıştırılarak 20-24°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Tarla kapasitesi nem düzeyinde yürütülen inkübasyon denemesinin 30. ve 90. gününde toprak örneklemeleri yapılmıştır. İnkübasyon süresi uzadıkça toprakların pH ve EC değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Toprak pH'sındaki en fazla artış kontrole kıyasla  $B_{pH9.4}$  uygulamasında (0.46 birim), en fazla azalış ise  $B_{pH3.6}$  (0.19 birim) uygulamasında olmuştur. Genel olarak  $B_{pH9.4}$  uygulaması toprak EC değerini azaltırken,  $B_{pH6.5}$  ve  $B_{pH3.6}$  uygulamaları artırmıştır. Kontrole kıyasla EC değerindeki en fazla artış  $B_{pH3.6}$  uygulamasında (%342) belirlenmiştir. İnkübasyon süresi uzadıkça toprakların pH, EC ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe içeriği artarken, Cu, Mn ve Zn içerikleri azalmıştır.  $B_{pH3.6}$  uygulamasında DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe (%49), Mn (%43) ve Zn (%16) içerikleri,  $B_{pH6.5}$  uygulamasında ise DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu içeriği (%19) kontrole kıyasla artmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoçar, asitleştirme, kumlu toprak, kireç, inkübasyon, mikro element.

### Effect of acidified biochar applications on DTPA extractable microelement content in a coarse textured soil

#### Abstract

Since the biochars obtained by gasification process generally have alkaline character, their application to soils containing high lime content adversely affects availability of plant nutrients. This study was carried out to investigate the effects of original (alkaline) and acidified biochar applications on pH, EC and DTPA extractable micro element content in a calcareous sandy loam soil. In the incubation experiment, original ( $B_{pH9.4}$ ) and acidified biochars ( $B_{pH6.5}$  and  $B_{pH3.6}$ ) at different pH levels were used. Biochars were mixed into the soil at four different doses (0%, 1%, 2% and 4%) and incubated at 20-24°C. Soil samples were taken on the 30th and 90th days of the incubation experiment carried out at the moisture level at the field capacity. It was determined that the pH and EC values of the soils increased as the incubation period increased. The highest increase in soil pH was observed in the  $B_{pH9.4}$  application (0.46 units) compared to the control, and the highest decrease was observed in the  $B_{pH3.6}$  (0.19 units) application. Generally,  $B_{pH9.4}$  application decreased the soil EC value, while  $B_{pH6.5}$  and  $B_{pH3.6}$  applications increased it. The greatest increase in EC over the control was determined in the  $B_{pH3.6}$  application (342%). As the incubation period increased, the pH, EC and DTPA extractable Fe content of the soils increased, while the Cu, Mn and Zn contents decreased. In  $B_{pH3.6}$  application, DTPA extractable Fe (49%), Mn (43%) and Zn (16%) contents increased, and, DTPA extractable Cu content (19%) increased in  $B_{pH6.5}$  application compared to the control.

**Keywords:** Biochar, acidification, sandy soil, lime, incubation, micronutrient.

© 2023 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

\* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 531 697 1047

E-posta : [salih.demirkaya@omu.edu.tr](mailto:salih.demirkaya@omu.edu.tr)

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 17 Mayıs 2023

Kabul Tarihi : 11 Haziran 2023

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1298431

## Giriş

Biyočar organik materyallerin kısıtlı oksijen koşullarında termal bozunması ile üretilen karbon bakımından zengin, kararlı ve gözenekli bir maddedir (Lehmann ve Joseph, 2009). Biyoçar üretiminde orman endüstrisi atıkları, tarımsal ve hayvansal kökenli atıklar, kentsel atıklar (arıtma çamuru vb.) gibi birçok farklı kaynak kullanılabilir. Biyoçarın organik kısmı karbonca zengin, inorganik kısmı hammadde türüne bağlı olarak Ca, Mg, K ve inorganik karbonatlar gibi mineraller içerir (Lehmann ve Joseph, 2015). Yapılan birçok çalışma topraklara organik atık ilavesiyle organik C içeriğinin artırılması sonucu fiziksel, kimyasal biyolojik toprak özelliklerinin ve dolayısıyla toprak kalitesinin iyileştirildiğini göstermiştir (Candemir ve Gülser, 2011; Demir ve Gülser 2015; 2021; Gülser ve Candemir 2012; 2015; Gülser ve ark, 2015a; 2015b; 2017). Son yıllarda kireçli ve kaba bünyeli topraklara biyoçar uygulamalarıyla toprakların fizikokimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi, besin elementi kayıplarının azaltılması ve verimliliğinin artırılmasına yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Sahin ve ark, 2017; Farkas ve ark, 2020; Demirkaya ve ark, 2021). Kumlu topraklara biyoçar ilavesinin; hidrolik iletkenliği azaltarak toprakta suyun depolanmasını artırdığı (Barnes ve ark, 2014; Glab ve ark, 2016), besin elementlerinin toprakta tutulumunu sağladığı (Sohi ve ark, 2010; Novak ve ark, 2012) ve agregat stabilitesini artırdığı (Baiamonte ve ark, 2019) bildirilmiştir. Kurak bölgelerdeki kireçli topraklarda görülen en yaygın sorun organik maddenin düşük olması ve özellikle fosfor başta olmak üzere mikro elementlerin (Fe, Cu, Mn ve Zn gibi) yarıyışlılığının yüksek pH ve kireç içeriğinden dolayı kısıtlı olmasıdır (Rengel, 2015, Kumari ve ark, 2018). Gazlaştırma işlemi gibi yüksek sıcaklıkta üretilen biyoçarların alkali karaktere sahip olması bu tür topraklara uygulanmasını zorlaştırmaktadır (James ve ark, 2020). Bu topraklara asit karakterli biyoçar gibi organik düzenleyicilerin ilave edilmesi, toprakların besin elementi durumunu ve mikrobiyal fonksiyonları iyileştirebilir (Karimi ve ark, 2020).

Biyočarın toprakta besin elementi döngüsünde rol almasında yüzey alanı ve yüzey yükü gibi özellikleri önemli olmaktadır, fakat bunlar genellikle yeni üretilmiş (taze) biyoçarda düşüktür (Mia, ve ark. 2017). Bundan dolayı yeni üretilen biyoçarların topraklara uygulandığı ilk dönemde toprak verimliliği ve bitkisel üretime katkısı düşük olmaktadır. Biyoçarın toprağa uygulandığında okside olması ve katyon tutma özelliğinin artması çok uzun süre almaktadır. Bu süreç fiziksel, kimyasal ve biyolojik uygulamalarla hızlandırılabilir. Kimyasal uygulamalar etkisi diğerlerine göre çok daha fazladır (Cheng ve Lehmann 2009; Mia ve ark. 2017). Kimyasal aktivasyon işlemi; asit (HCl, ZnCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), alkali (KOH, NaOH ve K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) veya oksitleyici (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and KMnO<sub>4</sub>) maddeler yoğun olarak kullanılmaktadır (Sakhiya ve ark., 2020). H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile aktive edilen biyoçarın katyon değişim kapasitesi artmış ve toprakta amonyum tutulumunu sağlamıştır (Wang ve ark. 2018). Ramzani ve ark. (2017) elementel kükürt kullanarak asitleştirdikleri biyoçar ve kompost uygulamalarının toprakta besin elementlerinin çözünürlüğünü ve buna bağlı olarak ürün verimini artırdığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada, asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının kireçli kaba bünyeli bir toprakta DPTA ile ekstrakte edilebilir mikro element içeriğine etkisi araştırılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan toprak örneği Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bafra deneme alanından 0-20 cm derinlikten alınmıştır. Toprak örneği hava kuru duruma gelinceye kadar kurutulmuş ve inkübasyon denemesinde kullanılmak için 2 mm'lik elekten elenmiştir. Çalışmada kullanılan ağaç atıklarından gazlaştırma yoluyla (700-1100°C) elde edilen (Hansen ve ark, 2015) biyoçar materyali Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'nden temin edilmiştir. İnkübasyon denemesi 06.01.2021 ile 06.03.2021 tarihleri arasında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında yürütülmüştür.

Asitleştirme işlemi biyoçar materyalleri farklı konsantrasyonlara sahip 1 N (1000 mek H<sup>+</sup>/kg biyoçar) ve 2 N'lik (2000 mek H<sup>+</sup>/kg biyoçar) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile 1:1 oranında karıştırılmıştır. Asitleştirilen biyoçarlar kullanılmadan önce laboratuvar koşullarında bekletilmiş daha sonra sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde (65°C) kurutulmuştur. 1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile ilavesi sonucu elde edilen biyoçar materyalinin pH değeri 6.5 olurken, 2N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile muamele edilen biyoçarın pH değeri 3.6 olarak belirlenmiştir.

İnkübasyon denemesinde 3 farklı pH düzeyindeki biyoçar materyali; orijinal biyoçar (B<sub>pH</sub>9.4), hafif asit biyoçar (B<sub>pH</sub>6.5) ve kuvvetli asit biyoçar (B<sub>pH</sub>3.6) kullanılmıştır. Biyoçarlar toprakla %0 (kontrol), %1.0, %2.0 ve %4.0 oranlarında karıştırılarak plastik kaplara konulmuştur. İnkübasyon denemesi iki farklı örnekleme zamanını içerecek şekilde (30 ve 90 gün) laboratuvar koşullarında (25±3°C) yürütülmüştür. Deneme süresince toprakların nem içeriği tarla kapasitesinde tutulmuştur. Her iki süre sonunda da toprak

örneklerinde pH, EC (Richards, 1954), DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Mn ve Zn (Lindsay ve Norwell, 1978) analizleri yapılmıştır.

## İstatiksel analiz

Deneme sonucunda elde edilen veriler inkübasyon süresi, uygulama ve uygulama dozunun etkisi ve aralarındaki etkileşimlerin incelenmesi için üç faktörlü faktöriyel deneme desenine göre analiz edilmiştir. İncelenen parametrelere ait ortalama değerlerin karşılaştırılmasında LSD testinden yararlanılmıştır

## Bulgular ve Tartışma

Denemede kullanılan toprak örneği ve biyoçar materyallerine ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Asitleştirme işlemiyle elde edilen  $B_{pH6.5}$  ve  $B_{pH3.6}$  materyallerinin elektriksel iletkenlik (EC) değeri orijinal biyoçara göre 9.6 ve 14.3 kat daha yüksek bulunmuştur. Asitleştirme işlemi sonucu elde edilen biyoçar materyallerinin tüm besin elementi içerikleri ( $B_{pH6.5}$  çinko içeriği hariç) orijinal biyoçardan yüksek bulunmuştur. Asitleştirilmiş biyoçarların EC değerlerindeki ve mineral madde içeriklerindeki artış asitleştirme işleminde kullanılan kimyasallar ve biyoçarın yapısındaki mineral maddelerin çözünürlüğünün artışıyla açıklanabilir (Şahin ve ark., 2017; Xu ve ark., 2021).

Çizelge 1. Denemede kullanılan biyoçar örneklerinin bazı kimyasal özellikleri

Özellik	Birim	Toprak	$B_{pH9.4}$	$B_{pH6.5}$	$B_{pH3.6}$
Kum		68.20	-	-	-
Silt	g 100g <sup>-1</sup>	19.17	-	-	-
Kil		12.63	-	-	-
pH	-	7.49	9.43	6.48	3.62
EC	dS m <sup>-1</sup>	0.23	0.36	2.91	4.33
DTPA Fe		5.08	77.54	108.69	196.78
DTPA Cu	mg kg <sup>-1</sup>	1.20	10.64	11.21	13.35
DTPA Mn		4.18	95.57	143.90	175.72
DTPA Zn		1.07	10.93	12.24	13.71

İnkübasyon süresinin ve uygulamaların etkisi incelenen tüm parametrelerde istatistiksel olarak ( $p<0.05$ ) önemli bulunmuştur (Çizelge 2). DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu ve Zn hariç tüm parametreler inkübasyon süresine paralel olarak artış göstermiştir. Genel olarak  $B_{pH9.4}$  uygulaması toprak pH’sını artırırken EC ve DTPA ile eks. Fe, Cu, Mn ve Zn içeriğini düşürmüştür.  $B_{pH6.5}$  uygulaması kontrole göre toprak pH’sını düşürürken, diğer tüm parametreleri artırmıştır.  $B_{pH3.6}$  uygulaması DTPA ile eks. Cu hariç  $B_{pH6.5}$  uygulamasıyla benzer etkiler göstermiştir. Uygulama dozunun etkisi DTPA ile eks. Cu, Mn ve Zn hariç tüm parametrelerde istatistiksel olarak önemli ( $p<0.05$ ) farklılıklar göstermiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. İnkübasyon süresi (İ), biyoçar uygulaması (U) ve dozların (D) bazı kimyasal toprak özellikleri ile mikro element içeriklerine etkisine

İnkübasyon süresi (gün)	pH (1:1)	EC (dS/m)	Fe	Cu	Mn	Zn
			(mg kg <sup>-1</sup> )			
30	7.52	1.00	6.62	1.20	4.04	1.12
90	7.59	1.30	7.19	1.11	3.71	0.86
LSD	0.021*	0.057*	0.325*	0.034*	0.279*	0.040*
<b>Biyočar Uygulamaları</b>						
$B_{pH9.4}$	7.74 a	0.44 c	5.87 b	1.17 a	3.43 b	0.94 b
$B_{pH6.5}$	7.45 b	1.52 b	7.33 a	1.22 a	4.17 a	0.99 a
$B_{pH3.6}$	7.42 b	1.73 a	7.51 a	1.08 b	4.18 a	1.03 a
LSD	0.025*	0.069*	0.403*	0.041*	0.305*	0.040*
<b>Uygulama dozu (%)</b>						
0	7.58 a	0.49 d	5.69 c	1.19	3.68	1.00
1	7.54 b	0.95 c	7.20 b	1.15	3.95	0.97
2	7.55 b	1.22 b	6.96 b	1.16	3.94	0.98
4	7.57 ab	1.50 a	7.77 a	1.12	4.13	1.00
LSD	0.029*	0.080*	0.466*	0.048 <sup>öd</sup>	0.352 <sup>öd</sup>	0.050 <sup>öd</sup>

\*:  $P<0.05$  ve öd: önemli değil.

İncelenen parametrelere ait inkübasyon süresi, biyoçar uygulaması ve doz interaksiyonun etkisi Çizelge 3 ve 4'te verilmiştir. Bu üçlü interaksiyonda pH, EC ve DTPA ile eks. Cu'daki değişimler istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.05$ ) olurken, DTPA ile eks. Fe, Mn ve Zn için önemli bulunmamıştır.

Kontrole kıyasla toprak pH'sındaki en fazla artış 90. günde  $B_{pH9.4}$  uygulamasında (0.46 birim) olurken, en fazla düşüş 90. günde  $B_{pH3.6}$  uygulamasında (0.24 birim) gerçekleşmiştir (Çizelge 3). Orijinal biyoçarın alkalın karakterinden dolayı toprağa uygulandığında toprak pH'sını artırdığı birçok çalışmada belirtilmiştir (Hansen ve ark., 2015; Yang ve ark., 2019). Asitleştirilmiş biyoçar uygulamasıyla toprağa ilave edilen  $H_2SO_4$  toprak pH'sındaki düşüşün sebebi olabilir (Sultan ve ark., 2020). Orijinal biyoçar uygulamasının toprak pH'sındaki etkisinin asitleştirilmiş biyoçarlardan daha fazla olmasının sebebi toprağın tamponlama kapasitesiyle ilişkilendirilmiştir (Ippolito ve ark., 2012; Ippolito ve ark., 2016).

$B_{pH9.4}$  uygulaması toprakta EC değerini kontrole kıyasla düşürürken,  $B_{pH6.5}$  ve  $B_{pH3.6}$  uygulamaları artırmıştır. Kontrole kıyasla  $B_{pH9.4}$  (%4 doz) uygulaması 90. günde EC değerini %42 oranında azaltırken,  $B_{pH3.6}$  (%4 doz) uygulaması 90. günde %343 oranında artırmıştır (Çizelge 3). Daha önce belirtildiği gibi asitleştirme işlemiyle biyoçarın sahip olduğu besin elementlerinin çözünürlüğünün artması bu biyoçarların toprağa uygulandığında toprakta çözünebilir tuzların miktarını artırmıştır (Çizelge 1). Biyoçar topraktaki çözünebilir tuzları bağlayarak toprak EC'sini azaltmaktadır (Bartell ve Miller, 1923).

Çizelge 3. Biyoçar uygulamalarının toprak reaksiyonu (pH) ve tuzluluğuna (EC) etkisi

Uygulamalar	Doz (%)	pH (1:1)		EC (dS m <sup>-1</sup> )		
		İnkübasyon süresi (gün)				
		30	90	30	90	
Kontrol	0	7.53 ef	7.63 d	0.43 hj	0.54 hi	
	1	7.59 de	7.76 c	0.36 ij	0.61 h	
	2	7.65 d	7.90 b	0.34 j	0.49 hj	
$B_{pH9.4}$	4	7.78 c	8.09 a	0.34 j	0.38 ij	
	1	7.53 ef	7.45 gi	1.03 g	1.33 f	
	2	7.47 fg	7.42 gi	1.25 f	1.84 d	
$B_{pH6.5}$	4	7.43 gi	7.38 ij	1.53 e	2.12 bc	
	1	7.46 gh	7.45 gi	1.05 g	1.34 f	
	2	7.43 gi	7.43 gi	1.44 ef	1.96 cd	
$B_{pH3.6}$	4	7.34 j	7.39 hj	2.21 ab	2.39 a	
	LSD (İxUxD)		0.071*		0.195*	

\*:  $P < 0.05$ , öd: önemli değil.

$B_{pH9.4}$  uygulaması kontrole kıyasla DTPA ile eks. Fe ve Cu miktarını sadece 30. günde artırırken DTPA ile eks. Mn ve Zn miktarını her iki dönemde de azaltmıştır (Çizelge 4). Toprakta mikro elementlerin mevcudiyeti doğrudan veya dolaylı olarak toprak pH'sı, redoks potansiyeli, toprak organik maddesi, kompleks oluşturan ligandlar ve yüzey altı biyotik etkileşimler gibi toprağın fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri tarafından etkilenmektedir (Rutkowska ve ark., 2014). Orijinal biyoçar uygulamasıyla toprak pH'sında görülen artış topraktaki mikro elementlerin çözünürlüğünün ve bitkiye yararlılığının azalmasına yol açabilir (Rondon ve ark., 2007; Major ve ark., 2010).

$B_{pH6.5}$  uygulaması ise kontrole göre DTPA ile eks. Fe ve Mn miktarını her iki inkübasyon döneminde de artırırken DTPA ile eks. Cu ve Zn içeriğini sadece 30. günde artırmış daha sonra bu etki negatif olmuştur (Çizelge 4).  $B_{pH3.6}$  uygulaması incelendiğinde DTPA ile eks. Fe ve Cu miktarının her iki inkübasyon döneminde arttığı belirlenirken, DTPA ile eks. Mn ve Zn içeriğinin inkübasyon süresinin uzamasıyla kontrole göre azaldığı belirlenmiştir (Çizelge 4). Kontrol uygulamasına göre DTPA ile eks. Fe, Mn ve Zn miktarlarındaki en fazla artışlar  $B_{pH3.6}$  uygulamasında sırasıyla %49, %43 ve %16 oranlarında olurken, DTPA ile eks. Cu miktarındaki en fazla artış ise %19 ile  $B_{pH6.5}$  uygulamasında belirlenmiştir. Asitleştirilmiş biyoçarların toprakta DTPA ile eks. Fe ve Mn içeriğini DTPA ile eks. Zn ve Cu içeriğine göre daha fazla artırması, asitleştirilmiş biyoçarların bu elementlerce daha zengin olmasından kaynaklanmış olabilir. Asitleştirilmiş biyoçar uygulamaları hem toprak pH'sını düşürmekte hem de asitleştirme işlemi sonrası

bünyelerindeki mineral maddeleri yarayışlı duruma geçirerek toprakta etkili olabilmektedirler (Sultan ve ark., 2020).

Genel olarak inkübasyon süresinin artmasıyla DTPA ile eks. Cu ve Zn miktarlarındaki azalma, bu elementlerin zamanla çözünemeyen mineral türlerinin oluşması ve çökmesinden kaynaklanmaktadır (Ippolito ve ark., 2016). Asitleştirme işlemi sonrası biyoçar yüzeyinde açığa çıkan oksijen içeren fonksiyonel grupların metalleri adsorbe ettiği bilinmektedir (Cheng ve ark., 2006, Mao ve ark., 2012). Gholami ve Rahimi (2021) modifiye edilmiş biyoçar uygulamalarının topraktaki çinko ve bakırın yarayışlılığını azalttığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4. Biyoçar uygulamalarının DTPA ile ekstrakte edilebilir mikroelement içeriğine etkisi

Uygulamalar	Doz (%)	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )		Cu (mg kg <sup>-1</sup> )		Mn (mg kg <sup>-1</sup> )		Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	
		İnkübasyon süresi (gün)							
		30	90	30	90	30	90	30	90
Kontrol	0	5.04	6.33	1.17 dg	1.21 ce	3.59	3.78	1.11	0.90
	1	5.72	6.10	1.26 bd	0.99 ij	3.38	3.84	1.08	0.86
B <sub>pH9.4</sub>	2	5.89	6.12	1.22 ce	1.17 dg	3.24	3.67	0.98	0.90
	4	6.31	5.49	1.19 cf	1.14 eh	2.79	3.16	0.91	0.83
B <sub>pH6.5</sub>	1	7.12	7.14	1.30 ac	1.16 dg	3.93	4.42	1.12	0.81
	2	7.17	8.45	1.35 ab	1.08 fi	4.06	4.46	1.17	0.80
	4	8.24	9.14	1.39 a	1.06 gj	4.40	4.73	1.21	0.84
B <sub>pH3.6</sub>	1	7.38	7.76	1.14 eh	1.07 gj	3.89	4.28	1.16	0.81
	2	7.74	7.71	1.08 fi	1.03 hj	3.78	4.43	1.21	0.85
	4	8.72	9.43	1.00 ij	0.96 j	4.31	5.41	1.29	0.94
LSD (İxÜxD)		1.141 <sup>öd</sup>		0.117*		1.007 <sup>öd</sup>		0.127 <sup>öd</sup>	

\*: p<0.05, öd: önemli değil.

## Sonuç

Asitleştirme işlemi biyoçarın yapısındaki minerallerin çözünmesini sağlayarak besin elementlerince zengin materyal elde edilmesini sağlamıştır. Asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının topraktaki mikro elementler üzerine etkilerinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. B<sub>pH6.5</sub> uygulaması DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu miktarını artırırken, B<sub>pH3.6</sub> uygulaması DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe ve Mn miktarlarını artırmada daha etkili olmuştur. Sonuç olarak kireç içeriği yüksek kaba bünyeli topraklarda mikro element noksanlığının giderilmesinde asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının etkili olabileceği fakat bu etkinin zamana bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği belirlenmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan biyoçar malzemesinin temini ile destekleri için Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Genel Müdürlüğüne ve bu çalışmayı PYO.ZRT.1904.22.014 nolu proje ile destekleyen Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Bitimine teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Baiamonte G, Crescimanno G, Parrino F, De Pasquale C. 2019. Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. *Catena*, 175, 294-303.
- Barnes R T, Gallagher M E, Masiello C A, Liu Z, Dugan B. 2014. Biochar-induced changes in soil hydraulic conductivity and dissolved nutrient fluxes constrained by laboratory experiments. *PLoS one*, 9(9), e108340.
- Bartell F E, Miller E J. 1923. Adsorption by activated sugar charcoal. II, 2. *Journal of the American Chemical Society*, 45(5), 1106-1115.



- Candemir F, Gülser C. 2011. Effects of different agricultural wastes on some soil quality indexes at clay and loamy sand fields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42(1): 13-28.
- Cheng C H, Lehmann J. 2009. Ageing of black carbon along a temperature gradient. *Chemosphere*, 75(8), 1021-1027.
- Cheng C H, Lehmann J, Thies J E, Burton S D, Engelhard M H. 2006. Oxidation of black carbon through biotic and abiotic processes, *Organic Geochemistry*, vol 37, pp1477-1488
- Demir Z, Gülser C. 2015. Effects of rice husk compost application on soil quality parameters in greenhouse conditions. *Eurasian Journal of Soil Science* 4(3):185-190.
- Demir Z, Gülser C. 2021. Effects of Rice Husk Compost on Some Soil Properties, Water Use Efficiency and Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Yield under Greenhouse and Field Conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, pp.1-18.
- Demirkaya S, Gülser C, Ay A. 2021. The effect of iron enriched acidified and non-acidified biochars on DTPA extractable iron content of a calcareous soil. International Soil Science Symposium on "Soil Science & Plant Nutrition" 18-19 December 2021/Samsun, TURKEY, ISBN 978-605-63090-8-3. Samsun/TURKEY
- Farkas É, Feigl V, Gruiz K, Vaszita E, Fekete-Kertész I, Tolner M, Molnár M. 2020. Long-term effects of grain husk and paper fibre sludge biochar on acidic and calcareous sandy soils—A scale-up field experiment applying a complex monitoring toolkit. *Science of the Total Environment*, 731, 138988.
- Gholami L, Rahimi G. 2021. Chemical fractionation of copper and zinc after addition of carrot pulp biochar and thiourea-modified biochar to a contaminated soil. *Environmental Technology*, 42(22), 3523-3532.
- Głab T, Palmowska J, Zaleski T, Gondek K. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*, 281, 11-20.
- Gülser C, Candemir F, Kanel Y, Demirkaya S. 2015a. Effect of manure on organic carbon content and fractal dimensions of aggregates. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(1), 1.
- Gülser C, Candemir F. 2012. Changes in penetration resistance of a clay field with organic waste applications. *Eurasian Journal of Soil Science*, 1(1), pp.16-21.
- Gülser C, Candemir F. 2015. Effects of agricultural wastes on the hydraulic properties of a loamy sand cropland in Turkey. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(3), 384-391.
- Gülser C, Kızılkaya R, Askın T, Ekberli I. 2015b. Changes in soil quality by compost and hazelnut husk applications in a hazelnut orchard. *Compost Science & Utilization*, 23(3), pp.135-141.
- Gülser C, Minkina T, Sushkova S, Kızılkaya R. 2017. Changes of soil hydraulic properties during the decomposition of organic waste in a coarse textured soil. *Journal of Geochemical Exploration*, 174, pp.66-69.
- Hansen V, Müller-Stöver D, Ahrenfeldt J, Holm J K, Henriksen U B, Hauggaard-Nielsen H. 2015. Gasification biochar as a valuable by-product for carbon sequestration and soil amendment. *Biomass and Bioenergy*, 72, 300-308.
- Ippolito J A, Ducey T F, Cantrell K B, Novak J M, Lentz R D. 2016. Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. *Chemosphere*, 142, 184-191.
- Ippolito J A, Laird D A, Busscher W J. 2012. Environmental benefits of biochar. *J. Environ. Qual.* 41, 973-989.
- Karimi A, Moezzi A, Chorom M, Enayatizamir N. 2020. Application of biochar changed the status of nutrients and biological activity in a calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 450-459.
- Kumari K, Prasad J, Solanki IS, Chaudhary R. 2018 Long-term effect of crop residues incorporation on yield and soil physical properties under rice-wheat cropping system in calcareous soil. *J Soil Sci Plant Nutr* 18(1):27-40
- Lehmann J, Joseph S. 2015. Biochar for environmental management: an introduction. In *Biochar for environmental management* (pp. 1-13). Routledge.
- Lehmann J, Joseph S. 2009. Biochar for environmental management: an introduction. In *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*; Lehmann, J., Joseph, S., Eds.; Earthscan: London, pp 1-10
- Lindsay W L, Norvell W. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428.
- 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
- Mao J D, Johnson R L, Lehmann J, Olk D C, Neves E G, Thompson M L, Schmidt-Rohr K. 2012. Abundant and stable char residues in soils: implications for soil fertility and carbon sequestration. *Environmental science & technology*, 46(17), 9571-9576.

- Mia S, Dijkstra F A, Singh B. 2017. Long-term aging of biochar: a molecular understanding with agricultural and environmental implications. *Advances in agronomy*, 141, 1-51.
- Novak J M, Busscher W J, Watts D W, Amonette J E, Ippolito J A, Lima I M, Gaskin J, Das K C, Steiner C, Ahmedna M, Rehrh D, Schomberg H. 2012 Biochars impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. *Soil Sci* 177:310–320. [https://doi.org/ 10.1097/ss.0b013e31824e5593](https://doi.org/10.1097/ss.0b013e31824e5593)
- Ramzani P M A, Shan L, Anjum S, Ronggui H, Iqbal M, Virk Z A, Kausar S. 2017. Improved quinoa growth, physiological response, and seed nutritional quality in three soils having different stresses by the application of acidified biochar and compost. *Plant physiology and biochemistry*, 116, 127-138.
- Rengel Z. 2015 Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *J Soil Sci Plant Nutr* 15(2):397–409
- Richards L A. 1954 Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 60. Government Printing Office, Washington, DC
- Rondon M A, Lehmann J, Ramirez J, Hurtado M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. *Biol. Fert. Soils*, 43(6): 699–708.
- Rutkowska B, Szulc W, Sosulski T, Stępień W. 2014. Soil micronutrient availability to crops affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. *Plant, Soil and Environment*, 60(5), 198-203.
- Sahin O, Taskin M B, Kaya E C., Atakol O, Emir E, Inal A, Gunes A. 2017. Effect of acid modification of biochar on nutrient availability and maize growth in a calcareous soil. *Soil Use and Management*, 33(3), 447-456.
- Sakhiya A K, Anand A, Kaushal P. 2020. Production, activation, and applications of biochar in recent times. *Biochar*, 2, 253-285.
- Sohi S P, Krull E, Lopez-Capel E, Bol R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in agronomy*, 105, 47-82.
- Sultan H, Ahmed N, Mubashir M, Danish S. 2020. Chemical production of acidified activated carbon and its influences on soil fertility comparative to thermo-pyrolyzed biochar. *Scientific Reports*, 10(1), 595.
- Wang Y, Liu R. 2018. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment enhanced the heavy metals removal by manure biochar in aqueous solutions. *Science of the Total Environment*, 628, 1139-1148.
- Xu Z, Xu X, Yu Y, Yao C, Tsang D C W, Cao X. 2021. Evolution of redox activity of biochar during interaction with soil minerals: Effect on the electron donating and mediating capacities for Cr(VI) reduction. *Journal of Hazardous Materials*, 414, 125483. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125483>
- Yang X, Tsibart A, Nam H, Hur J, El-Naggar A, Tack F M, Ok Y S. 2019. Effect of gasification biochar application on soil quality: Trace metal behavior, microbial community, and soil dissolved organic matter. *Journal of hazardous materials*, 365, 684-694.