

Biyokömür ve Fosfor Uygulamalarının Mısır ve Çeltik Bitkilerinin Gelişimi ve Mineral Element Konsantrasyonlarına Etkileri

Emre Can KAYA^{1,*}Hanife AKÇA¹Mehmet Burak TAŞKIN¹Moustapha Maman MOUNIROU¹Tuğba KAYA²¹Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara²Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ankara

*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail):eckaya@ankara.edu.tr

Geliş tarihi (Received) : 08.01.2019

Kabul tarihi (Accepted): 10.03.2019

DOI : 10.21657/topraksu.544679

Öz

Bu çalışmanın amacı, bazı atıkların piroliz tekniğiyle tarımsal kullanım potansiyelinin artırılması ve bu materyallerin toprağa uygulanarak P kullanım etkinliği ile bitki gelişimine etkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, mısır ve çeltik bitkilerine 10 g kg⁻¹ tavuk gübresi biyokömürü (TGBK) ve zeytin pirinasi biyokömürü (ZPBK) ile 0, 25, 50 ve 100 mg kg⁻¹ dozlarında P uygulanmıştır. Bitkilerde kuru ağırlık ve nispi klorofil ile N, P, K, Ca, Mg, Fe ve Zn konsantrasyonları belirlenmiştir. Bitki kuru ağırlığı mısırdaki TGBK ve tüm P uygulamalarıyla kontrole göre artış göstermiş, çeltikte ise yalnızca 50 ve 100 mg P kg⁻¹ uygulamaları kuru ağırlığı artırmıştır (p<0.01). Nispi klorofil kapsamı artan P dozlarıyla azalmıştır. Toplam P özellikle TGBK uygulamasıyla her iki bitkide de önemli düzeyde artmıştır. Mısır bitkisinde 50 ve 100 mg P kg⁻¹ uygulaması bitki K, Ca ve Mg içeriğini azaltmış, çeltikte ise ZPBK bitki Mg içeriğini azaltmıştır. Mısır bitkisinde toplam Fe ve Zn içeriği P uygulamalarıyla önemli düzeyde azalmış, ayrıca biyokömür uygulamaları da Fe içeriğini azaltmıştır. Çeltik bitkisinde Fe içeriği 50 ve 100 mg P kg⁻¹ uygulamalarıyla azalmış, Zn içeriği ise TGBK uygulamasıyla artış göstermiştir. Sonuç olarak 50 ve 100 mg kg⁻¹ P dozları ile birlikte uygulanan TGBK'nın en başarılı uygulamalar olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, çeltik, fosfor, mineral element, mısır

Effects of Biochar and Phosphorus Applications on Growth and Mineral Element Concentrations of Maize and Rice Plants

Abstract

The main purpose of this study, increasing of agricultural using potential of some wastes with pyrolysis technic and investigation of effects of these materials on P using efficiency and plant growth after applying to soil. For this purpose, 10 g kg⁻¹ chicken manure biochar (TGBK) and olive pomace biochar (ZPBK) and 0, 25, 50, 100 mg P kg⁻¹ were applied to maize and rice plants. Dry weight, relative chlorophyll, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn were determined in both plants. While dry weights of maize were increased with TGBK and all P doses, they were increased with only 50 ve 100 mg P kg⁻¹ applications in rice compared to control. Relative chlorophyll contents were decreased with P applications. Total P concentrations increased with TGBK in both plants. K, Ca and Mg concentrations were decreased with 50 and 100 mg P kg⁻¹ doses in maize, moreover Mg concentration decreased with ZPBK application. Total Fe and Zn concentrations were decreased

with P applications and also Fe was decreased with biochars additions. In the rice plants, Fe concentration was decreased with 50 and 100 mg P kg⁻¹ but Zn concentration was increased with TGBK. In conclusion, TGBK application together with 50 and 100 mg kg⁻¹ P rates were found to be prominent treatments.

Key Words: Biochar, maize, mineral element, phosphorus, rice

GİRİŞ

Fosfor (P) bitkiler için mutlak gerekli olup özellikle kök gelişimi ve çiçeklenme için ihtiyaç duyulan önemli bitki besin elementlerinden biridir. Toprakta P, düşük pH'larda Al ve Fe oksit/hidroksitler tarafından fikse edilirken, pH 6.5'in üzerinde Ca içeren minerallerle bileşikler oluşturup yaraysız forma dönüşmektedir (Parfitt, 1978). Tarımda yaygın olarak kullanılan P'lu gübreler, kaynakları sınırlı olan fosfat kayalarından elde edilmektedir (Chowdhury vd., 2017). Bu nedenle P'lu gübrelerin kullanım etkinliğinin artırılması sürdürülebilirlik yönünden önem taşımaktadır.

Zeytinyağı endüstrisi Dünya'da önemli bir yer tutmakta, Türkiye zeytinyağı üretiminde 5. sırada yer almaktadır (FAO, 2015). Zeytinin yağa işlenmesi sonucunda ortaya çıkan büyük miktarlardaki zeytin pirinası, içerdiği fenol grupları, lipidler ve mumsu maddeler nedeniyle çevresel problemlere neden olmaktadır (Bhatnagar vd., 2014). Türkiye'de zeytinyağı üretimi sonucu açığa çıkan yıllık pirina üretimi (yağlık zeytin üretim miktarı üzerinden hesaplanan) yaklaşık 350-400 bin tondur (TUIK, 2016). Ülkemizde çevresel problemlere neden olan bir başka atık ise tavukçuluk endüstrisi nedeniyle açığa çıkan tavuk gübresidir. TUIK (2017) verilerine göre ülkemizde yıllık 343 milyon tavuk üretilmekte olup bunlardan 6.5-7 milyon ton yaş gübre elde edilmektedir. Yaş gübrenin tarımsal kullanım amacıyla olgunlaştırılması gerekmekte ve bu durum özellikle kentsel alanlarda koku vb. problemlere neden olmaktadır. Ülkemizde önemli düzeyde meydana gelen bu tarımsal atıkların hem toprak düzenleyici olarak değerlendirilmesi hem de çevreye olumsuz etkilerinin giderilmesi amacıyla farklı işleme tekniği arayışları devam etmektedir. Piroliz işlemi sonucu elde edilen biyokömür uygulamaları da bu tekniklerden biridir.

Biyokömür, organik materyallerin oksijensiz ya da az oksijen içeren ortamda, 300-1000

°C sıcaklıkta, farklı sürelerde yakılmasıyla elde edilen, karbonca zengin ve ayrışmaya dayanıklı materyaldir. Topraklara biyokömür uygulamasıyla, karbon ve mineral element takviyesi yapılmakta, mineral elementlerin topraktaki yaraysızlığı artmakta, katyon değişim kapasitesi artmakta (Laird vd., 2010), ağır metaller ve organik kirleticilerin hareketliliği azalmaktadır (Hilber vd., 2009). Ancak biyokömürün bu sayılan faydaları üretim teknolojisine, piroliz sıcaklığına ve hammaddenin cinsine göre değişiklik göstermektedir (Gul vd., 2015).

Dünya'da fosfat kayalarının miktar ve kalite olarak azalması nedeniyle, P kullanım etkinliğinin artırılması önem taşımaktadır (Gunes vd., 2006). Biyokömür uygulamalarıyla P kullanım etkinliği artmakta olup, özellikle gübre kaynaklı yüksek kül ve besin maddesi içeriğine sahip biyokömürler tarımsal etkinliği yüksek olan P kaynakları olarak görülmektedir (Wang vd., 2012). Alkalin karakterli topraklara biyokömür uygulamalarıyla bitki kuru ağırlığının ve P konsantrasyonunun önemli düzeyde artış gösterdiği bilinmektedir (Gunes vd., 2014; Inal vd., 2015).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye 'de önemli düzeyde ortaya çıkan atıkların piroliz tekniğiyle tarımsal kullanım potansiyelinin iyileştirilmesi ve elde edilen biyokömürlerin fosforla birlikte toprağa uygulanarak fosfor kullanım etkinliğinin artırılmasıdır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyallerin temin edilmesi ve biyokömürlerin hazırlanması

Denemede kullanılan biyokömürler, tavuk gübresi ve zeytin pirinasından elde edilmiş olup hammaddeler Ege Bölgesi'nde bulunan etlik piliç yetiştirme tesisi ve ticari zeytinyağı değirmeninden temin edilmiştir. Hava kuru duruma getirilen materyaller 1 mm'lik elekten elenerek, sınırlı oksijen koşullarında kül fırınında 300 °C'de 3 saat süre ile piroliz edilmiş ve bu süre sonunda oda sıcaklığına gelene kadar yakma ünitesinde bekletilmiştir.

Denemenin kurulması

Deneme Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında 2018 yılı Ağustos-Eylül aylarında 8 hafta süre ile yürütülmüştür. Saksılara aynı lokasyondan temin edilen 2 kg hava kuru toprak doldurulmuştur. Temel gübre olarak 100 mg N kg⁻¹ (amonyum nitrat, %33 N) ile 100 mg K kg⁻¹ (potasyum sülfat, %50 K₂O) ve 4 hafta sonra üst gübre olarak 100 mg N kg⁻¹ (amonyum nitrat, %33 N) uygulanmıştır. Fosfor uygulamaları ise 0, 25, 50 ve 100 mg P kg⁻¹ düzeylerinde TSP (% 44 P₂O₅) gübresi ile yapılmıştır. Biyokömürler kimyasal gübrelere birlikte 10 g kg⁻¹ düzeyinde saksılara uygulanmıştır.

Saksılara 8 adet mısır ve 15 adet çeltik tohumu ekilmiş ve çimlenme sonrasında saksıdaki bitki sayıları sırasıyla 5 ve 10 olacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Seyreltme sonrası çeltik saksılarında göllendirme yapılmıştır. Side (mısır) ve Osmaniye (çeltik) çeşitlerinin kullanıldığı saksı denemesi, tesadüf parselleri deneme desenine göre 2 faktörlü (P dozları ve biyokömürler) ve 3 tekerrürlü olarak planlanmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Deneme planı

Table 1. Experimental design

Bitki Türü	P Dozları (mg kg ⁻¹)	Saksı Numaraları		
		Biyokömür Uygulamaları (10 g kg ⁻¹)		
		Biyoköürsüz	TGBK	ZPBK
Mısır	0	1-2-3	4-5-6	7-8-9
	25	10-11-12	13-14-15	16-17-18
	50	19-20-21	22-23-24	25-26-27
	100	28-29-30	31-32-33	34-35-36
Çeltik	0	37-38-39	40-41-42	43-44-45
	25	46-47-48	49-50-51	52-53-54
	50	55-56-57	58-59-60	61-62-63
	100	64-65-66	67-68-69	70-71-72

Çizelge 2. Deneme toprağının bazı fizikokimyasal özellikleri

Table 2. Some physicochemical properties of experimental soil

Özellik	Değer	Özellik	Değer
pH	7.92	Değişebilir K (mg kg ⁻¹)	447
EC (dS m ⁻¹)	0.29	Değişebilir Ca (mg kg ⁻¹)	2374
Organik madde (g kg ⁻¹)	13.8	Değişebilir Mg (mg kg ⁻¹)	268
Kireç (g kg ⁻¹)	60.8	Yarayışlı Fe (mg kg ⁻¹)	6.50
Tekstür	Killi tın	Yarayışlı Zn (mg kg ⁻¹)	0.71
Toplam N (g kg ⁻¹)	0.97	Yarayışlı Cu (mg kg ⁻¹)	1.01
Alınabilir P (mg kg ⁻¹)	4.98	Yarayışlı Mn (mg kg ⁻¹)	5.58

Çizelge 3. Tavuk gübresi ve zeytin pirinasi biyokömürlerinin bazı fizikokimyasal özellikleri

Table 3. Some physicochemical properties of chicken manure and olive pomace biochars

Özellik	TGBK	ZPBK
pH	10.4	11.0
EC (dS m ⁻¹)	5.93	1.23
Biyokömür verimi (%)	57.9	39.3
Kül miktarı (%)	40.8	6.90
Toplam N (g kg ⁻¹)	37.1	26.6
Toplam P (g kg ⁻¹)	19.0	3.40
Toplam K (g kg ⁻¹)	58.8	20.5
Toplam Ca (g kg ⁻¹)	31.7	13.7
Toplam Mg (g kg ⁻¹)	10.2	1.94
Toplam Fe (mg kg ⁻¹)	2219	1225
Toplam Zn (mg kg ⁻¹)	955	24.8
Toplam Cu (mg kg ⁻¹)	1038	19.7
Toplam Mn (mg kg ⁻¹)	1230	29.0

Bitki örneklerinde yapılan bazı ölçüm ve analizler

Tohum ekiminden 8 hafta sonra bitkiler toprakla birleştiği yerden kesilerek toprak üstü aksam analizler için hazırlanmıştır. Mısır ve çeltik bitkilerinde hasattan 1 gün önce öğlen

saatinde SPAD metre (Spektrum CM 1000) ile nispi klorofil kapsamı, hasattan sonra ise kuru ağırlık belirlenmiştir. Bitkiler öğütüldükten sonra toplam N (Bremner, 1965) ve yaş yakılmış (4:1 HNO₃:HClO₄) bitki ekstraktlarında toplam P (Shimadzu UV 1201 model spektrofotometre), K, Ca, Mg, Fe ve Zn (Analytik Jena Vario 6 model AAS) belirlenmiştir (Isaac ve Kerber, 1971).

Elde edilen tüm verilerin varyans analizi Minitab17 paket programıyla yapılmış olup, ortalamalar arasındaki farklılıklar MSTAT-C paket programında Duncan testi ile belirlenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kuru ağırlık ve nispi klorofil kapsamı

Farklı düzeylerde uygulanan P ve tavuk gübresi ile pirinadan elde edilen biyokömürün mısır bitkisinin kuru ağırlığına etkisi istatistik olarak önemli ($p < 0.01$) olmuştur (Çizelge 4). Tüm P uygulamaları bitki kuru ağırlığını kontrole göre önemli düzeyde artırırken sadece TGBK önemli bir artış sağlamıştır. Çeltik bitkisinin kuru ağırlığına ise yalnızca P uygulamalarının etkisi önemli olmuştur ($p < 0.01$). Çeltik bitkisinin kuru ağırlığı 50 ve

Çizelge 4. Biyokömür ve fosfor uygulamalarının mısır ve çeltik bitkilerinin kuru ağırlık ve nispi klorofil kapsamlarına etkisi
Table 4. Effects of biochar and phosphorus applications on dry weights and relative chlorophyll contents of maize and rice plants

		MISIR							
		KURU AĞIRLIK (g saks ⁻¹)				NİSPİ KLOROFİL			
		BK Uygulamaları							
P Dozları (mg kg ⁻¹)		0	TGBK	ZPBK	Ort.	0	TGBK	ZPBK	Ort.
0		20.1	29.3	18.8	22.7 c	184	196	184	188 a
25		23.3	41.9	28.3	31.2 b	168	160	155	161 b
50		26.1	43.0	28.7	32.6 b	163	147	130	147 c
100		35.0	44.3	39.4	39.6 a	142	148	136	142 c
Ortalama		26.1 b	39.6 a	28.8 b		164 a	162 a	151 b	
F Değeri	P	14.9**				27.5**			
	BK	21.2**				4.46*			
	PxBK	0.87 öd				1.45 öd			
		ÇELTİK							
		KURU AĞIRLIK (g saks ⁻¹)				NİSPİ KLOROFİL			
		BK Uygulamaları							
P Dozları (mg kg ⁻¹)		0	TGBK	ZPBK	Ort.	0	TGBK	ZPBK	Ort.
0		13.8	14.8	7.00	11.8 c	100	101	103	101 c
25		12.4	15.6	18.8	15.6 c	98	100	99	99 c
50		18.6	27.5	27.5	24.5 b	112	131	130	124 b
100		41.4	27.3	26.4	31.7 a	146	133	149	143 a
F Değeri	P	14.6**				15.0**			
	BK	0.18 öd				0.42 öd			
	PxBK	2.49 öd				0.59 öd			

öd: önemli değil, **: $p < 0.01$

100 mg P kg⁻¹ uygulamalarıyla önemli düzeyde artmıştır. Mısır bitkisinde hem P hem biyokömür uygulamalarının, çeltik bitkisinde ise yalnızca P uygulamalarının nispi klorofil kapsamı üzerine etkisi önemli olmuştur (p<0.05). Mısır bitkisinde ZPBK nispi klorofil kapsamını önemli düzeyde azaltmıştır. Diğer taraftan tüm P dozları kontrole göre nispi klorofil kapsamını azaltmıştır. Çeltik bitkisinde ise 50 ve 100 mg P kg⁻¹ uygulamalarında nispi klorofil kapsamı kontrole göre yüksek olmuştur (Çizelge 4).

Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasıyla Gunes vd. (2014) marulda, Inal vd. (2015) mısır ve fasulyede, zeytin pirinası uygulamasıyla ise Hmid vd. (2015) fasulyede bitki kuru ağırlığının önemli düzeyde arttığını tespit etmişlerdir. Asai vd. (2009), çeltik bitkisinde biyokömür uygulamalarına bağlı olarak nispi klorofilin azaldığını belirtmişlerdir. Fascella vd. (2018), artan biyokömür düzeylerinde Japon gülünde nispi klorofilin azaldığını tespit etmişlerdir. Nispi klorofildeki azalmanın, biyokömür uygulamasına bağlı olarak mikro element konsantrasyonlarında meydana gelen azalmadan kaynaklandığı ve bu nedenle kloroz oluşumu gözlemlendiği düşünülmektedir.

Bitkilerin toplam N, P, K, Ca ve Mg içerikleri

Mısır bitkisininin toplam N içeriğine, P ve biyokömür uygulamaları interaksyonunun etkisinin istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur (p<0.05). Biyokömür uygulanmayan bitkilerde 50 mg P kg⁻¹ uygulaması bitki N içeriğini kontrole göre önemli düzeyde artırmıştır. Fosfor uygulanmayan ve 25 mg P kg⁻¹ uygulanan bitkilerde yalnızca ZPBK'ü N içeriğini artırmıştır. Kontrole göre, 50 ve 100 mg P kg⁻¹ dozunda biyokömür uygulamalarının bitki N içeriğine etkisi önemsiz olmuştur. Çeltik bitkisinde ise yalnızca P uygulamalarının bitki N içeriğine etkisi önemli olmuş ve en yüksek N içeriğine 25 mg P kg⁻¹ uygulamasında ulaşılmıştır. Bitki P içeriğine, hem mısır hem çeltik bitkilerinde yalnızca biyokömür uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli olmuştur. Çeltikte sadece TGBK, mısırdaki ise hem TGBK hem ZPBK uygulamaları bitki P içeriğini önemli düzeyde artırmıştır (Çizelge 5).

Biyokömür uygulamalarıyla bitki N içeriği değişim göstermektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda elde edilen biyokömürler, yüksek C/N oranı nedeniyle uygulandıkları topraklarda N immobilizasyonuna sebep olmaktadır (Asai vd.,

Çizelge 5. Biyokömür ve fosfor uygulamalarının mısır ve çeltik bitkilerinin N ve P konsantrasyonlarına etkileri

Table 5. Effects of biochar and phosphorus applications on N and P concentrations of maize and rice plants

		MISIR						
		TOPLAM N (g kg ⁻¹)			TOPLAM P (g kg ⁻¹)			
		BK Uygulamaları						
P Dozları (mg kg ⁻¹)		0	TGBK	ZPBK	0	TGBK	ZPBK	
0		11.3 Bb	14.0 ABa	15.0 Aab	0.61	1.17	1.08	
25		12.1 Bab	14.0 Ba	17.8 Aa	0.89	1.13	1.08	
50		15.2 Aa	15.0 Aa	13.3 Ab	0.92	1.11	1.06	
100		13.0 Aab	15.5 Aa	12.3 Ab	0.95	1.31	1.04	
Ortalama		-	-	-	0.84 c	1.18 a	1.06 b	
F	P	0.95 öd			1.63 öd			
Değeri	BK	3.39 öd			18.1 **			
	PxBK	3.45 *			1.64 öd			
		ÇELTİK						
		TOPLAM N (g kg ⁻¹)				TOPLAM P (g kg ⁻¹)		
		BK Uygulamaları						
P Dozları (mg kg ⁻¹)		0	TGBK	ZPBK	Ort.	0	TGBK	ZPBK
0		11.0	10.8	12.0	11.3 bc	0.95	1.73	1.46
25		15.1	19.2	13.6	16.0 a	1.35	1.69	1.39
50		13.7	13.1	10.2	12.3 b	1.38	1.53	1.46
100		7.64	10.4	9.09	9.06 c	1.38	1.63	1.41
Ortalama		-	-	-	-	1.26 b	1.64 a	1.43 ab
F	P	7.79 **				0.17 öd		
Değeri	BK	1.56 öd				4.05 *		
	PxBK	0.97 öd				0.67 öd		

öd: önemli değil, *: p<0.05, **: p<0.01, satırlar arası farklılıklar büyük harflerle, sütunlar arası farklılıklar küçük harflerle belirtilmiştir

Çizelge 6. Biyokömür ve fosfor uygulamalarının mısır ve çeltik bitkilerinin K konsantrasyonlarına etkileri
Table 6. Effects of biochar and phosphorus applications on K concentrations of maize and rice plants

P Dozları (mg kg ⁻¹)		TOPLAM K (g kg ⁻¹)						
		MISIR				ÇELTİK		
		BK Uygulamaları				0	TGBK	ZPBK
		0	TGBK	ZPBK	Ort.	0	TGBK	ZPBK
0		16.3	20.3	19.3	18.6 a	8.47	9.91	10.6
25		16.9	19.1	17.7	17.9 a	9.13	11.5	8.17
50		15.3	17.0	17.4	16.6 b	8.17	9.01	8.38
100		13.5	17.8	16.4	15.9 b	7.63	8.69	7.46
Ortalama		15.5 b	18.6 a	17.7 a		-	-	-
F Değeri	P	9.79 **				2.55 öd		
	BK	21.1 **				2.66 öd		
	PxBK	1.27 öd				0.97 öd		

öd: önemli değil, **: p<0.01

2009). Nelson vd. (2011), biyokömür uygulanan topraklarda verim düşüşü yaşanmaması için N'lu gübre uygulanmasını tavsiye etmişlerdir. Steiner vd. (2008) ise biyokömür uygulamalarının N kullanım etkinliğini artırdığını belirtmişlerdir. Biyokömürün anyon değişim kapasitesini artırması, fiksasyona neden olan bazı elementlerin yarayışlılığını azaltması ve ayrıca önemli bir fosfor kaynağı olması nedeniyle bitkilerde P alımını artırdığı bilinmektedir (DeLuca vd., 2009). Gunes vd. (2014) ile Inal vd.

(2015)'in yaptığı çalışmada belirttiği gibi bu çalışmada da biyokömür uygulamalarıyla bitki P içeriği artış göstermiştir.

Mısır bitkisinde hem P hem de biyokömür uygulamalarının bitki K içeriğine etkisi istatistik olarak önemli olmuş ancak çeltik bitkisinde her 2 uygulama da önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Biyokömür uygulamaları mısır bitkisi K içeriğini artırırken 50 ve 100 mg P kg⁻¹ uygulamaları azaltmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 7. Biyokömür ve fosfor uygulamalarının mısır ve çeltik bitkilerinin Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri
Table 7. Effects of biochar and phosphorus applications on Ca and Mg concentrations of maize and rice plants

P Dozları (mg kg ⁻¹)		MISIR							
		TOPLAM Ca (g kg ⁻¹)				TOPLAM Mg (g kg ⁻¹)			
		BK Uygulamaları				0	TGBK	ZPBK	Ort.
		0	TGBK	ZPBK	Ort.	0	TGBK	ZPBK	Ort.
0		6.00	5.20	8.09	6.43 a	2.60	2.20	2.66	2.48 a
25		5.27	4.58	6.17	5.34 b	2.79	1.84	1.99	2.20 a
50		4.78	3.70	5.02	4.50 c	2.48	1.54	1.55	1.85 b
100		4.70	3.93	4.19	4.27 c	1.73	1.64	1.40	1.59 b
Ortalama		5.19 b	4.35 c	5.87 a		2.40 a	1.80 b	1.90 b	
F Değeri	P	13.8 **				13.1 **			
	BK	11.1 **				11.6 **			
	PxBK	1.93 öd				2.23 öd			

P Dozları (mg kg ⁻¹)		ÇELTİK					
		TOPLAM Ca (g kg ⁻¹)			TOPLAM Mg (g kg ⁻¹)		
		BK Uygulamaları			0	TGBK	ZPBK
		0	TGBK	ZPBK	0	TGBK	ZPBK
0		1.80	2.57	2.00	2.15	1.82	1.71
25		1.46	3.92	1.96	2.04	1.98	1.77
50		1.40	1.96	1.57	1.94	2.00	1.76
100		1.50	1.46	1.60	1.93	1.73	1.75
Ortalama		-	-	-	2.01 a	1.88 ab	1.75 b
F Değeri	P	0.98 öd			0.52 öd		
	BK	1.66 öd			4.18*		
	PxBK	0.58 öd			0.57		

öd: önemli değil, *: p<0.05, **: p<0.01

Biyokömür uygulamaları toprakların anyon ve kation değişim kapasitesini ve buna bağlı olarak K dahil olmak üzere birçok mineral besin elementinin bitkiler tarafından alınımını artırmaktadır (Atkinson vd., 2010). Önceki çalışmalarımızda olduğu gibi mısır bitkisinde biyokömür uygulamaları bitki K içeriğini artırmış (Gunes vd., 2014; Inal vd., 2015) ancak anaerobik koşullarda yetişen çeltik bitkisinde benzer sonuçlar elde edilememiştir.

Biyokömür ve P uygulamalarının mısır bitkisinin hem Ca hem Mg içeriğine etkisi istatistik olarak önemli olmuştur ($p < 0.01$). Bitkinin toplam Ca içeriği TGBK uygulamasıyla azalmış ancak ZPBK uygulamasıyla artmıştır. Bütün P uygulamaları bitki Ca içeriğini önemli düzeyde azaltmıştır. Bitki Mg içeriği ise hem biyokömür uygulamalarıyla hem de 50 ve 100 mg P kg⁻¹ uygulamalarıyla azalmıştır. Çeltik bitkisinde biyokömür ve P uygulamalarının bitki Ca içeriğine etkisi istatistik olarak önemsiz olmuş, Mg içeriğine ise yalnızca biyokömür uygulamalarının etkisi önemli olmuştur. Çeltik bitkisi Mg içeriği ZPBK uygulamasıyla kontrole göre azalmıştır (Çizelge 7).

Biyokömür uygulamalarıyla bitki Ca ve Mg içerikleri toprak pH'sına ve bitkinin tek ya da çift çenekli oluşuna göre değişim göstermektedir. Alkali karakterli topraklara biyokömür uygulamasıyla P çözünürlüğünün artmasına bağlı olarak bitki Ca ve Mg konsantrasyonu azalmaktadır (Gunes vd., 2015; Sahin vd., 2017). Monokotil bir bitki olan mısır bitkisinde farklı araştırmacılar biyokömür uygulamasının bitki Ca içeriğini azalttığını belirtmişlerdir (Inal vd., 2015; Brantley vd., 2016)

Bitkilerin toplam Fe ve Zn içerikleri

Biyokömür ve P uygulamalarının mısır bitkisi Fe içeriğine etkisi istatistik olarak önemli olmuştur. Bitki Fe içeriği hem biyokömür hem de P uygulamalarıyla önemli düzeyde azalmıştır. Bitki Zn içeriğine ise yalnızca P uygulamalarının etkisi önemli olmuş, uygulanan tüm P dozları Zn içeriğini azaltmıştır. Çeltik bitkisinde ise yalnızca P'lu gübre uygulamalarının toplam Fe'ye etkisi önemli olurken, toplam Zn'ye yalnızca biyokömür uygulamalarının etkisi önemli olmuştur ($p < 0.01$). Bitki Fe içeriğinin 50 ve 100 mg P kg⁻¹ dozlarında azaldığı, Zn içeriğinin ise yalnızca TGBK uygulamasında arttığı görülmüştür (Çizelge 8).

Çizelge 8. Biyokömür ve fosfor uygulamalarının mısır ve çeltik bitkilerinin Fe ve Zn konsantrasyonlarına etkileri
Table 8. Effects of biochar and phosphorus applications on Fe and Zn concentrations of maize and rice plants

MISIR								
P Dozları (mg kg ⁻¹)	TOPLAM Fe (mg kg ⁻¹)				TOPLAM Zn (mg kg ⁻¹)			
	BK Uygulamaları							
	0	TGBK	ZPBK	Ort.	0	TGBK	ZPBK	Ort.
0	90.2	64.4	69.2	74.6 a	31.6	23.1	27.7	27.5 a
25	60.1	55.7	54.6	56.8 b	19.4	14.5	13.6	15.8 b
50	54.9	49.7	53.3	52.6 b	8.51	8.04	8.54	8.37 c
100	57.2	53.5	49.4	53.4 b	8.34	6.34	8.01	7.57 c
	65.6 a	55.9 b	56.6 b		-	-	-	
F Değeri	P BK PxBK	11.9 **			41.2 **			
		4.36 *			2.61 öd			
		1.25 öd			0.70 öd			
ÇELTİK								
P Dozları (mg kg ⁻¹)	TOPLAM Fe (mg kg ⁻¹)				TOPLAM Zn (mg kg ⁻¹)			
	BK Uygulamaları							
	0	TGBK	ZPBK	Ort.	0	TGBK	ZPBK	
0	109	105	104	106 a	17.6	37.6		21.5
25	106	96.5	60.5	87.6 ab	16.3	35.3		13.6
50	67.9	67.5	53.4	62.9 bc	14.9	34.3		13.7
100	55.5	50.7	46.3	50.8 c	14.7	26.5		10.7
		-	-		15.9 b	33.4 a		14.9 b
F Değeri	P BK PxBK	P 6.66 **			1.99 öd			
		1.36 öd			25.2 **			
		0.36 öd			0.35 öd			

öd: önemli değil, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Fonksiyonel gruplar yönünden zengin bir materyal olan biyokömürün yüksek katyon değişim kapasitesi ve spesifik yüzey alanına sahip olması, ağır metallerin ve organik kirleticilerin dış yüzeyde adsorbe edilmesini sağlamaktadır (Beesley ve Marmiroli, 2011; Lu vd., 2012). Rees vd. (2014) ile Zhou vd. (2017) asit karakterli topraklara, Gunes vd. (2014) ise hafif alkali karakterli topraklara biyokömür uygulamasıyla mikro elementlerin alımının azaldığını belirtmişlerdir.

SONUÇLAR

Asıl ortaya çıkış nedeni ve yaygın kullanım alanı çevre kirliliğinin önlenmesi olan biyokömürün toprak verimliliğine etkileri uzun yıllardır tarımsal yönüyle de araştırılmaktadır. Yapılan birçok çalışmayla biyokömür uygulamalarının bitkisel üretimde verimi artırdığı ortaya konulmuş ancak bu etkinin piroliz koşullarına ve biyokömürün hammaddesine bağlı olarak değişim gösterdiği belirtilmiştir. Özellikle biyokömür uygulamalarıyla bitkiler P ve K yönünden zenginleşirken, alkali karakterli topraklara yine alkali karakterli biyokömürlerin uygulanması sonucu mikro besin elementi (Fe, Zn) alımında problemler ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bitkilerde "biyokömür uygulamasıyla" çenek sayısına bağlı olarak Ca ve Mg konsantrasyonları farklılık gösterebilmektedir.

Bu çalışmada, P ve TGBK uygulamalarına bağlı olarak bitkilerde verim parametrelerinin iyileşme gösterdiği, ancak ZPBK uygulamalarının olumlu bir etki yaratmadığı görülmüştür. Bu etkinin TGBK'nın zengin mineral element içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Fitotoksik etkiye sahip olan zeytin pirinasının pirolizi sonucu elde edilen biyokömürün, bazı bitki besin elementi konsantrasyonlarını artırdığı ancak kuru ağırlığı etkilemediği görülmüştür. Ancak bu çalışma ışığında farklı piroliz ve zenginleştirme yöntemleriyle önem arz eden bu tarımsal atığın kullanılabilir hale geleceği düşünülmektedir. Mısır bitkisinde meydana gelen değişimler önceki çalışmalarla örtüşmekte olup verim ve mineral element değişimleri yönünden diğer literatürlere benzer sonuçlar görülmüştür. Anaerobik koşullarda yetiştirilen çeltik bitkisinde biyokömür uygulamalarıyla ilgili sınırlı sayıda literatür bulunmakta, bu nedenle daha farklı piroliz teknikleri ve hammaddeler kullanılarak bu yöndeki bilimsel verilerin zenginleştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Aller D, Bakshi S, Laird DA (2017). Modified method for proximate analysis of biochars. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124: 335-342.
- Anonymous (1951). *Soil Survey Staff, Soil Survey Manual*. Agricultural Research Administration, United States Department of Agriculture Handbook, USA, 18: 340-377.
- Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthord K, Hommaa K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, Horie T (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. *Field Crops Research*, 111: 81-84.
- Atkinson CJ, Fitzgerald JD, Hipps NA (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil*, 337: 1-18.
- Bhatnagar A, Kaczala F, Hogland W, Marques M, Paraskova CA, Papadakis VG, Sillanpää M (2014). Valorization of solid waste products from olive oil industry as potential adsorbents for water pollution control-a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 21: 268-298.
- Bouyoucos GJ (1951). A realibration of hydrometer for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.
- Brantley KE, Savin MC, Brye KR, Longer DE (2016). Nutrient availability and corn growth in a poultry litterbiochar-amended loam soil in a greenhouse experiment. *Soil Use and Management*, 32: 279-288.
- Bremner JM (1965). Total nitrogen. In: Black, C.A. (eds), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Wisconsin, pp. 1149-1178.
- Chowdhury RB, Moore GA, Weatherley AJ, Arora M (2017). Key sustainability challenges for the global phosphorus resource, their implications for global food security, and options for mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 140: 945-963.
- DeLuca TH, MacKenzie MD, Gundale MJ (2009) Biochar effects on soil nutrient transformations. In: Lehmann J, Joseph S (eds), *Biochar for Environmental Management*. Science and Technology, London, pp. 251-270.
- FAO (2015). Statistical database. Available: <http://www.fao.org>.
- Fascella G, Mammano MM, D'Angiolillo F, Roupheal Y (2018). Effects of conifer wood biochar as a substrate component on ornamental performance, photosynthetic activity, and mineral composition of potted *Rosa rugosa*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 93(5): 519-528.
- Gul S, Whalen JK, Thomas BW, Sachdeva V, Deng H (2015). Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 206: 46-59.
- Gunes A, Inal A, Alpaslan M, Cakmak I (2006). Genotypic variation in phosphorus efficiency between wheat cultivars grown under greenhouse and field conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52, 470-478.

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.

Gunes A, Inal A, Sahin O, Taskin MB, Atakol O, Yilmaz N (2015). Variations in mineral element concentrations of poultry manure biochar obtained at different pyrolysis temperatures, and their effects on crop growth and mineral nutrition. *Soil Use and Management*, 31: 429-437.

Hilber I, Wyss GS, Mäder P, Bucheli TD, Meier I, Vogt L, Schulin R (2009). Influence of activated charcoal amendment to contaminated soil on dieldrin and nutrient uptake by cucumbers. *Environmental Pollution*, 157: 224-2230.

Hmid A, Al Chami Z, Sillen W, De Vocht A, Vangronsveld J (2015). Olive mill waste biochar: a promising soil amendment for metal immobilization in contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 1444-1456.

Inal A, Gunes A, Sahin O, Taskin MB, Kaya EC (2015). Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*, 31: 106-113.

Isaac RA, Kerber JD (1971). Atomic Absorption and Flamephotometry: Techniques and Uses in Soil, Plant and Water Analysis. In: Walsh LM (eds), *Instrumental Methods for Analysis of Soils and Plant Tissue*, Soil Science Society of America, Madison, pp. 34-37.

Jackson ML (1958). *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, p. 498.

Laird DA, Fleming P, Davis DD, Horton R, Wang B, Karlen DL (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158: 443-449.

Lu H, Zhang YY, Huang X, Wang S, Qiu R (2012). Relative distribution of Pb²⁺ sorption mechanisms by sludge-derived biochar. *Water Research*, 46: 854-862.

Nelson NO, Agudelo SC, Yuan W, Gan J. (2011). Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. *Soil Science*, 176(5): 218-226.

Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean NC (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. *United States Department of Agriculture Circular*, 939, 1-18.

Parfitt RL (1978). Anion adsorption by soils and soil materials. *Advanced in Agronomy*, 30: 1-50.

Pratt PF (1965). Chemical and microbiological properties, In: Black, C.A. (eds), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, pp. 771-1572.

Rees F, Simonnot MO, Morel JL (2014). Short-term effects of biochar on soil heavy metal mobility are controlled by intra-particle diffusion and soil pH increase. *European Journal of Soil Science*, 65: 149-161.

Richards LA (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. In: *United States Department of Agriculture Handbook*, USA, p. 1070.

Sadaka S, Sharara MA, Ashworth A, Keyser P, Allen F, Wright A (2014). Characterization of biochar from switchgrass carbonization. *Energies*, 7: 548-567.

Sahin O, Taskin MB, Kaya EC, 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: 447-456.

Steiner C, Glaser B, Teixeira WG, Lehmann J, Blum WEH, Zech W (2008). Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferrisol amended with compost and charcoal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171: 893-899.

TÜİK (2016). Zeytin üretimi. Meyveler, İçecek ve Baharat Bitkileri İstatistiksel Tablolar: <http://www.tuik.gov.tr>.

TÜİK (2017). Türlerine göre kümes hayvan sayıları. Hayvansal Üretim İstatistikleri: <http://www.tuik.gov.tr>.

Wang T, Arbestan MC, Hedley M, Bishop P (2012). Predicting phosphorus bioavailability from high-ash biochars. *Plant and Soil*, 357, 173-187.

Zhou D, Liu D, Gao F, Li M, Luo X (2017). Effects of biochar-derived sewage sludge on heavy metal adsorption and immobilization in soils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7), 681-696.