

## Mikro Elementlerle Zenginleştirilmiş Budama Atığı Biyokömürün Alkalin Karakterli Toprakta Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Gelişimine Etkisi

**Mehmet Burak TAŞKIN<sup>1</sup>**, **Muhittin Onur AKÇA<sup>1</sup>**, **Hanife AKÇA<sup>\*1</sup>**

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara, Türkiye

**Öz:** Tarımsal verimliliği artırmaya yönelik sürdürülebilir yaklaşımların önemi her geçen gün artmaktadır. Bu bağlamda, biyokömürün hem karbon tutucu hem de toprak düzenleyici olarak kullanımı toprak sağlığı üzerinde dikkate değer bir uygulama olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, mikro elementlerle zenginleştirilmiş budama atığı biyokömürünün alkalin karakterli toprakta yetiştirilen mısır bitkisinin gelişimi ve mineral element içeriklerine etkileri sera koşullarında araştırılmıştır. Budama atığı biyokömüründe,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  çözeltileri ile zenginleştirme işlemi yapılmıştır. Yapılan uygulamalar; kontrol, yalnızca biyokömür (BK) ve mikro elementlerle zenginleştirilmiş biyokömür kombinasyonları (BK+Fe, BK+Zn, BK+Mn, BK+Fe+Zn, BK+Fe+Mn, BK+Zn+Mn, BK+Fe+Zn+Mn) şeklinde düzenlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, bitki azot (N) konsantrasyonu ise  $9.14\text{-}12.2 \text{ g kg}^{-1}$  arasında değişmiş olup, en yüksek N konsantrasyonu BK+Fe+Zn uygulaması ile elde edilmiştir. Yaş bitki ağırlıkları  $145\text{-}181 \text{ g saksı}^{-1}$ , kuru ağırlıklar ise  $21.6\text{-}26.1 \text{ g saksı}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir. Demir ile zenginleştirilmiş biyokömür (BK+Fe), bitki boyu ve gövde çapı parametreleri açısından en olumlu sonuçları vermiştir. Mikro element konsantrasyonları incelendiğinde, bitki Fe konsantrasyonu  $68.1\text{-}116 \text{ mg kg}^{-1}$ , Zn konsantrasyonu  $56.6\text{-}164 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişmiştir. En yüksek Zn konsantrasyonu BK+Zn uygulamasıyla elde edilirken, en yüksek Mn konsantrasyonu BK+Fe+Zn+Mn kombinasyonu ile elde edilmiştir. BK+Fe uygulamasının, mısır bitkisi gelişimi ve mikro element konsantrasyonu açısından en etkili uygulama olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, biyokömür materyallerinde mikro elementlerle zenginleştirme çalışmalarının farklı bitki, hammadde ve iklim koşullarında yapılmasının gerekli olduğu ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Çinko, demir, mangan, mısır, modifiye biyokömür, zenginleştirme

**The Effect of Pruning Residue Biochar Enriched with Micronutrients on the Growth of Maize Grown in Alkaline Soil**

**Abstract:** The importance of sustainable approaches to enhancing agricultural productivity is growing increasingly. In this context, the use of biochar as both a carbon sequestrant and a soil conditioner stands out as a notable application for soil health. In this study, the effects of pruning residue biochar enriched with micronutrients on the growth and mineral content of maize grown in alkaline soil were investigated under greenhouse conditions. The biochar was enriched using  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , and  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  solutions. The treatments included a control, only biochar (BK), and combinations of biochar enriched with micronutrients (BK+Fe, BK+Zn, BK+Mn, BK+Fe+Zn, BK+Fe+Mn, BK+Zn+Mn, BK+Fe+Zn+Mn). According to the results, the plant nitrogen (N) concentration ranged between  $9.14\text{-}12.2 \text{ g kg}^{-1}$ , with the highest N concentration observed in the BK+Fe+Zn treatment. Fresh plant weights ranged from  $145$  to  $181 \text{ g pot}^{-1}$ , while dry weights varied between  $21.6$  and  $26.1 \text{ g pot}^{-1}$ . Biochar enriched with iron (BK+Fe) provided the most favorable results in terms of plant height and stem diameter parameters. When examining the uptake of micronutrients, plant Fe concentrations ranged from  $68.1$  to  $116 \text{ mg kg}^{-1}$ , and Zn concentrations ranged from  $56.6$  to  $164 \text{ mg kg}^{-1}$ . The highest Zn concentration was obtained with the BK+Zn treatment, while Mn concentration reached its highest level with the BK+Fe+Zn+Mn combination. The BK+Fe treatment proved to be the most effective in terms of maize growth and micronutrient uptake. In conclusion, it was demonstrated that biochar enrichment with micronutrients should be tested under different plant, raw material, and climate conditions.

**Keywords:** Zinc, iron, manganese, maize, modified biochar, enrichment

### GİRİŞ

Günümüzde 8 milyar civarında olan dünya nüfusunun 2050 yılında 10 milyar seviyelerine çıkacağı ön görülmektedir (İslam ve Karim, 2019). Artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacının karşılanması amacıyla tarım alanlarının genişletilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte tarım alanlarının günümüzde doğal sınırlarına ulaştığı düşünülmektedir. Diğer taraftan, tarımsal üretim alanları; kuraklık, tuzluluk, kirlilik, çölleşme-erozyon gibi çeşitli faktörlerin tehdidi altında her geçen gün daralmaktadır. Bu sebeple artan insan popülasyonunun beslenmesinde en önemli kaynak olan tarım topraklarının verimli ve sürdürülebilir kullanımı için yeni tarımsal stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülkemiz tarım topraklarında verimliliği sınırlandıran en önemli faktörlerin başında organik madde yetersizliği gelmektedir. Ülkemizde yaklaşık olarak her yıl 100 milyon ton civarında tarımsal üretim neticesinde elde edilen ve topraklarımızın organik madde düzeyini artırabilecek nitelikte biyokütle ortaya çıkmaktadır (Sümer ve ark., 2016). Fakat bu artıklar ülkemizde genellikle tarlada bırakılmakta veya yakılmakta ve bu durum kontrolsüz koşullarda çevre kirliliği riski oluşturmaktadır. Sonuç olarak bu denli kıymetli

**\*Sorumlu Yazar:** [hmert@ankara.edu.tr](mailto:hmert@ankara.edu.tr)

**Geliş Tarihi:** 9 Kasım 2024

**Kabul Tarihi:** 20 Aralık 2024

bir materyal tarımsal üretimde değerlendirilememektedir. Günümüzde organik atıkların geri kazanımı yoluyla tarım topraklarında yeniden değerlendirilmesi önem kazanan bir konudur (Namlı ve ark., 2017; Asghar ve ark., 2022). Bununla birlikte toprakların organik madde düzeyini artırabilmek için bu materyallerin kompostlama, piroliz gibi işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir.

Tarımsal biyokütlenin oksijensiz veya sınırlı oksijenli bir ortamda yüksek sıcaklıklarda (300-700°C) yakılması işlemine piroliz, elde edilen katı materyale de biyokömür adı verilmektedir. Karbon bakımından zengin bir materyal olan biyokömür, enerji üretimi amacıyla kullanılabilceği gibi tarımsal üretimde verimliliği artırma potansiyeline de sahip bir toprak düzenleyicidir (Lehmann 2007, a,b). Biyokömürün organik materyallerin mineralizasyonu sonucunda ortaya çıkan karbonu toprağa bağlayarak karbon emisyonlarını azalttığı, topraklarda katyon değişim kapasitesini, agregasyonu, su iletimini ve mikrobiyal biyokütleyi artırdığı bildirilmektedir. (Lehmann ve Joseph, 2009). Diğer taraftan biyokömür ağır metalleri adsorbe eden, dolayısıyla bitkilerde ağır metal birikimini azaltan önemli bir kaynaktır (Park ve ark., 2011; Mohan ve ark., 2014; Akça ve ark., 2023). Biyokömür uygulamalarıyla hardal bitkisinde Cd, Pb ve Cu (Park ve ark., 2011), mısırdaki As, Cd ve Cu (Namgay, 2010), kolzadaki Cd, Zn ve Pb (Houben ve ark., 2013) konsantrasyonlarının düştüğü belirlenmiştir. Lentz ve Ippolito (2012) ile Inal ve ark., (2015) alkalin karakterli topraklarda yetiştirilen mısır bitkisinin Fe konsantrasyonlarının düştüğünü ifade etmişlerdir. Yapılan diğer çalışmalarda bitkisel (Kloss ve ark., 2014) ve hayvansal kökenli (Gunes ve ark., 2014) biyokömür uygulamalarının farklı bitkilerde Fe, Zn ve Mn konsantrasyonlarını azalttığı bildirilmiştir.

Ağır metaller, bitki gelişimi üzerine toksik etki yapanlar (Cd, Pb, As, Hg, Ag) ve bitki gelişimi için ihtiyaç duyulanlar (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo) olmak üzere 2 grup altında toplanmaktadır (Asri ve Sönmez, 2006). Bu haliyle toksik etki yapan ağır metal konsantrasyonlarının biyokömür uygulamaları neticesinde bitkide azalması tarımsal üretim için istenen bir durumken, mutlak gerekli ağır metal konsantrasyonlarının bitkide azalması tarımsal üretimde düşüşlere neden olabilecek bir olgudur. Diğer taraftan gizli açlık olarak ifade edilen ve günümüzde yaklaşık 1 milyar insanı tehdit eden durumun temel nedeni tüketilen gıdalardaki mikro element eksiklikleridir (Cakmak, 2008). Bu sebeple günümüzde biyokömür gibi önemli bir toprak düzenleyicisinin alkali doğası da düşünüldüğünde direk tarım topraklarına uygulanması özellikle ülkemiz gibi kireçli ve yüksek pH'ya sahip topraklarda yetiştirilen bitkilerde gizli açlık riskini daha da derinleştirebilir. Bu sebeple araştırmacılar, piroliz öncesinde veya sonrasında yapılan çeşitli modifikasyon

yöntemleri ile biyokömürün zayıf yönlerini iyileştirme çabasına girmişlerdir (Sahin ve ark., 2017; Sizmur ve ark., 2017). Günümüzde zenginleştirme (modifikasyon) çalışmaları kimyasal, fiziksel, manyetik ve mineral adsorbent uygulamalarını içermektedir (Rajapaksha ve ark., 2016). Bu yöntemler arasında, çeşitli asitlerle (HNO<sub>3</sub>, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) bazlarla (KOH, NaOH), fonksiyonel gruplarla (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub>), organik çözücülerle (metanol, polietilenimin), metal oksitlerle (Fe, Mn, Zn, Mg oksit) ve çeşitli kaplama materyalleriyle yapılan kimyasal modifikasyon işlemleri ön plana çıkmaktadır. Bu modifikasyon yöntemi ile biyokömürde arzu edilen mikro element seviyelerine yakın değerler elde edilebilmektedir (Xue ve ark., 2012; Li ve ark., 2014; Guan ve ark., 2014; Jing ve ark., 2014; Jung ve ark., 2015; Sahin ve ark., 2017).

Yapılan bu çalışmada budama atığı biyokömürü çeşitli mikro element kaynaklarıyla zenginleştirilmiş ve elde edilen biyokömürlerin etkinliği sera koşullarında ve alkalin karakterli bir toprakta yetiştirilen mısır bitkisinde test edilmiştir.

## **MATERYAL VE YÖNTEM**

### **Budama Atığı Biyokömürünün Hazırlanması**

Çalışmada özel bir işletmeden farklı kaynaklardan (kavak, söğüt, elma ve vişne) karıştırılarak elde edilen budama artıkları kullanılmıştır. Budama artıkları açık hava koşullarında yaklaşık 90 gün bekletilmiş ve yavaş piroliz yöntemiyle tamamen kapalı bir yakma ünitesinde piroliz edilmiştir (Şekil 1). Piroliz işlemi sonrasında biyokömür 1 mm'lik elekten elenerek kullanıma hazır hale getirilmiştir.

### **Mikro Elementlerle Zenginleştirilmiş Budama Atığı Biyokömürünün Hazırlanması**

Bu amaçla öncelikli olarak %10'luk (w/v) FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O ve MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O çözeltileri hazırlanmıştır. Sonrasında 125 g budama artığı biyokömürünün üzerine doygun hale gelinceye kadar (250 ml) bu çözeltilerden tekli, ikili ve üçlü kombinasyonlar olacak şekilde yavaşça ilave edilmiş ve temiz bir yüzeye örnekler yayılarak laboratuvar koşullarında kurumaya bırakılmıştır. Laboratuvarda hava kuru hale getirilen biyokömür örnekleri mikroelement bulaşmasını önleyecek çelik kaplama bir öğütücü ile öğütülmüş ve 200 um elekten geçirilerek elenmiştir.

### **Sera Denemesinin Kurulması**

Çalışmada kullanılan toprak örneği, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ayaş Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde Taşkın ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada mikro element eksikliği belirlenen bir alandan (40°01'48"K-32°14'23"D, 683 m) alınmıştır. Sera denemesi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü seralarında (39° 57' 44" K-32° 51' 46" D, 849 m) 2 kg toprak alan saksılarda (16 cm uzunluk, 17.5 cm yükseklik, ve

12.0 cm üst yarıçap) 10.04.2019-27.06.2019 tarihleri arasında 4 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Çalışmada deneme konuları; 1- kontrol (-BK), 2- budama atığı biyokömürü (BK), 3- demir ile zenginleştirilmiş biyokömür (BK+Fe), 4- çinko ile zenginleştirilmiş biyokömür (BK+Zn), 5- mangan ile zenginleştirilmiş biyokömür (BK+Mn), 6- demir ve çinko ile zenginleştirilmiş biyokömür (BK+Fe+Zn), 7- demir ve mangan ile zenginleştirilmiş biyokömür (BK+Fe+Mn), 8- çinko ve mangan ile zenginleştirilmiş biyokömür (BK+Zn+Mn), 9- demir, çinko ve mangan ile zenginleştirilmiş biyokömür (BK+Fe+Zn+Mn) şeklindedir. Biyokömür uygulamaları önceki çalışmalarda da (Gunes ve ark., 2015; Taşkın ve ark., 2019) kullanılan ve etkinliği en fazla görülen dozda (10 g kg<sup>-1</sup> düzeyinde) ilgili saksılara yapılmıştır. Temel gübreleme amacıyla tüm saksılara 100 mg kg<sup>-1</sup> N (amonyum nitrat %33 N), 50 mg kg<sup>-1</sup> P ve 62.5 mg kg<sup>-1</sup> K (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) uygulanmıştır. Gübreler ve zenginleştirilmiş biyokömürler toprakla karıştırıldıktan sonra her saksıya 8 adet mısır (*Zea mays* L. cv. Pioneer P0900) tohumu ekilmiş ve çıkışlar tamamlandıktan sonra her saksıda 4 adet bitki kalacak şekilde seyreltme

yapılmıştır. Seyreltme işleminden 4 hafta sonra tüm saksılara üst gübreleme amacıyla 100 mg kg<sup>-1</sup> N (amonyum nitrat %33 N) uygulanmıştır. Deneme süresince bitkiler tarla kapasitesinin %70'i olacak şekilde sulanmış ve periyodik aralıklarla saksıların yerleri değiştirilmiştir. Bitki gelişiminin 10. haftasında bitkiler toprakla birleştiği yerden hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkiler hava sirkülasyonlu bir kurutma fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar 65 °C'de kurutulmuş ve sonrasında öğütülerek analizlere hazır hale getirilmiştir.

#### Deneme Toprağı ve Biyokömür Örneklerinde Yapılan Bazı Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Denemede kullanılan toprak örneğinde pH (Jackson, 1958), EC (Richards, 1954), kireç (Hızalan ve Ünal, 1966), organik madde (Jackson, 1958), tekstür (Bouyoucos, 1951), toplam azot (Bremner, 1965), bitkiye yararlı fosfor (Olsen ve ark., 1954), değişebilir potasyum, kalsiyum ve magnezyum (Pratt, 1965), bitkiye yararlı demir, çinko, bakır ve mangan (Lindsay ve Norvell, 1978) analizleri yöntemlerde belirtildiği şekilde yapılmış ve sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Budama atığından geleneksel yavaş piroliz yöntemiyle biyokömür elde etme aşamaları

Çizelge 1. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak özelliği	Birim	Miktar
Tekstür Sınıfı (Kil)	% Kil	41.8
	% Silt	25.3
	% Kum	32.9
pH	1:2.5 (toprak:su)	8.28
Elektriksel İletkenlik (EC)	$\mu\text{S cm}^{-1}$	320
Kireç (CaCO <sub>3</sub> )	$\text{g kg}^{-1}$	8.21
Organik madde	$\text{g kg}^{-1}$	10.5
Toplam Azot (N)	$\text{g kg}^{-1}$	0.83
Bitkiye Yarayışlı Fosfor (P)	$\text{mg kg}^{-1}$	3.93
Değişebilir Potasyum (K)	$\text{mg kg}^{-1}$	868
Değişebilir Kalsiyum (Ca)	$\text{mg kg}^{-1}$	6811
Değişebilir Magnezyum (Mg)	$\text{mg kg}^{-1}$	1321
Bitkiye Yarayışlı Demir (Fe)	$\text{mg kg}^{-1}$	1.90
Bitkiye Yarayışlı Çinko (Zn)	$\text{mg kg}^{-1}$	0.42
Bitkiye Yarayışlı Manganyum (Mn)	$\text{mg kg}^{-1}$	5.58
Bitkiye Yarayışlı Bakır (Cu)	$\text{mg kg}^{-1}$	1.70

Biyokömür örneklerinde pH ve EC (1:10 (w/v) Jackson, 1958), biyokömür verimi (Sadaka ark., 2014), kül miktarı (Aller ark., 2017) analizleri yapılmıştır. Ayrıca yaş yakma işlemi ile

ekstrakte edilen biyokömür örneklerinde toplam P, K, Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları belirlenmiş (Isaac ve Kerber, 1971) ve sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Denemede kullanılan zenginleştirilmiş biyokömür materyallerinin bazı fizikokimyasal özellikleri

Özellik	BK	BK+Fe	BK+Zn	BK+Mn	BK+Fe+Zn	BK+Fe+Mn	BK+Zn+Mn	BK+Fe+Zn+Mn
pH	9.45	3.94	4.46	5.96	6.81	3.84	6.26	4.24
EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	572	3110	7160	9840	8080	10920	12510	14240
Biyokömür verimi (%)	35.2	-	-	-	-	-	-	-
Kül içeriği (%)	7.20	-	-	-	-	-	-	-
P ( $\text{g kg}^{-1}$ )	1.90	2.48	1.78	1.44	2.48	2.54	2.71	2.31
K ( $\text{g kg}^{-1}$ )	7.02	7.56	7.02	7.56	7.20	7.02	6.66	5.76
Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	5544	27966	2214	1963	25066	14438	2276	13234
Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	33.8	15.8	34099	175	32159	231	24979	27039
Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	185	137	99.2	27434	325	32754	24914	28134
Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	67.2	75.0	74.8	56.8	60.0	54.0	57.6	48.4

### Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler

Bitki örnekleri hasat edildikten sonra bitki boyu bir cetvel yardımı ile herbir saksıdaki 4 bitkinin boy uzunluğu ve gövde çapı ölçülüp ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Hasat edilen bitkilerin hassas terazi yardımı ile yaş ve kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Öğütülüp analize hazır hale getirilen bitki örneklerinde toplam N, Bremner (1965) tarafından bildirildiği şekilde yapılmıştır. HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub> karışımı ile (4/1) yaş yakılan bitki örneklerinde toplam P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları Perkin Elmer Optima 2100 DV ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir (Temminghoff ve Houba, 2004). Hasat işleminden 1 gün önce öğlen saatlerinde SPAD metre

(Spektrum CM 1000) ile mısır bitkisinde nispi klorofil kapsamı da ayrıca belirlenmiştir.

### İstatistiksel Analizler

Araştırma sonunda elde edilen verilerin önemliliği MINITAB 17 paket programı ile, ortalamalar arasındaki farkın önemlilik durumu ise MSTAT paket programı kullanılarak Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir (Düzgüneş, 1963).

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### Bitki Örneklerinde Yaş ve Kuru Ağırlık ile Bitki Boyu, Gövde Çapı ve Nispi Klorofil İçerikleri

Hasat edilen bitkilerde yaş ve kuru ağırlık değerlerinin sırasıyla 145-181 g saksı<sup>-1</sup> ile 21.6-26.1 g saksı<sup>-1</sup> arasında

değişim gösterdiği ve uygulamalar arasında meydana gelen bu farkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3). Yaş ve kuru ağırlık değerleri incelendiğinde; BK ve BK+Fe uygulamalarının kontrol ile istatistiki olarak aynı grupta yer aldığı, diğer BK uygulamaları sonucunda elde edilen değerlerin ise kontrole göre daha düşük olduğu saptanmıştır. İslam ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, çeltik bitkisine Fe ile zenginleştirilmiş mısır koçanı biyokömürü uygulamasının ve biyokömür uygulamasının yapılmadığı her iki durumda elde edilen yaş ve kuru ağırlık değerlerinin birbirine yakın olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde Chen ve ark. (2021), buğday bitkisinde buğday samanı BK'ü ve Fe ile zenginleştirilmiş BK uygulamasının tane verimini kontrole göre az da olsa iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu durumu yalnızca BK uygulaması ile rizosfer pH'sının artmasına, Fe ile zenginleştirilmiş BK uygulaması ile pH'nın düşüşü ile rizosfer bölgesinde daha iyi bir gelişim ortamı sağlanmasına bağlamışlardır. Bitki boyu ve gövde çapı üzerine farklı mikro elementlerle zenginleştirilmiş biyokömür uygulamalarının etkisi önemli olmuştur. Bitki boyu bakımından BK+Fe+Mn dışındaki tüm BK kaynakları kontrol ile aynı grupta yer almıştır (Çizelge 3). Algethami ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada; kolza bitkisine uygulanan mısır koçanı

biyokömürü (BK) ve Fe ile zenginleştirilmiş BK uygulamalarının bitki boyu bakımından istatistiki olarak aynı grupta yer aldığını bildirmişlerdir. Mısır bitkilerinin gövde çapında BK uygulamalarına bağlı olarak ortaya çıkan farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ). Gövde çapı bakımından tüm uygulamalar kontrol ile aynı grupta yer alırken, BK+Fe uygulamasına göre; BK+Zn, BK+Fe+Zn ve BK+Zn+Mn uygulamaları ile önemli oranda daha düşük gövde çapı elde edilmiştir (Çizelge 3). Bitkilerde fotosentez düzeyinin en önemli göstergelerinden biri olan nispi klorofil içeriği üzerine farklı mikro elementlerle zenginleştirilmiş BK uygulamalarının etkisi önemli olmuştur ( $p<0.05$ ). Kontrol ile karşılaştırıldığında; BK+Fe+Zn, BK+Fe+Mn ve BK+Fe+Zn+Mn uygulamaları ile nispi klorofil içeriklerinin önemli miktarda düştüğü belirlenmiştir (Çizelge 3). Dad ve ark. (2021), buğday samanı biyokömürünü Fe ile zenginleştirmiş ve turp bitkisi klorofil a içeriğinin kontrol ve Fe-BK uygulamalarının istatistiki olarak aynı grupta yer aldığını bildirmişlerdir. Lahori ve ark. (2023) darı bitkisine uygulanan Zn ile zenginleştirilmiş meyve atığı biyokömürü ve fındık kabuğu biyokömürünün nispi klorofil içeriği bakımından kontrole aynı grupta yer aldığını belirlemişlerdir.

Çizelge 3. Mikro elementlerle zenginleştirilmiş biyokömür uygulamalarının mısır bitkisi yaş ve kuru ağırlığı ile bitki boyu, gövde çapı ve nispi klorofil içeriğine etkisi

Uygulamalar	Yaş ağırlık g sakı <sup>-1</sup>	Kuru ağırlık g sakı <sup>-1</sup>	Bitki boyu cm	Gövde çapı cm	Nispi İçeriği	Klorofil
Kontrol	181±5.47 a	25.9±0.42 a	90.3±1.96 abc	7.32±0.23 abc	167±6.75 abc	
BK	177±3.45 a	26.1±0.38 a	89.5±2.08 abcd	7.57±0.17 ab	178±3.94 a	
BK+Fe	181±1.15 a	25.7±0.51 a	92.5±3.65 ab	7.87±0.09 a	175±3.71 ab	
BK+Zn	155±5.70 b	23.0±0.28 b	97.6±4.18 a	6.97±0.27 c	163±3.52bcd	
BK+Mn	152±4.61 b	22.6±0.74 b	86.4±1.96 bcd	7.59±0.16 ab	159±1.96 cde	
BK+Fe+Zn	145±7.73 b	21.6±0.67 b	87.0±3.91 bcd	7.16±0.15 bc	153±4.30 de	
BK+Fe+Mn	154±3.54 b	22.7±0.21 b	80.6±1.39 d	7.47±0.10 abc	140±1.84 f	
BK+Zn+Mn	157±4.58 b	23.1±0.44 b	89.5±1.82 abcd	7.28±0.13 bc	158±4.35 cde	
BK+Fe+Zn+Mn	149±3.05 b	21.7±0.31 b	82.1±2.15 cd	7.69±0.17 ab	148±4.35 ef	
F değeri	9.39**	14.7**	3.54**	2.64*	9.11**	
LSD	13.7	1.37	7.97	0.50	11.9	

\* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$

#### Bitki Örneklerinin Makro Element Konsantrasyonları

Farklı mikro elementlerle zenginleştirilmiş biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin azot (N) konsantrasyonlarına etkisi önemli bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde; bitki N konsantrasyonlarının 9.14-12.2 g kg<sup>-1</sup> arasında değiştiği belirlenmiştir. Kontrol ile karşılaştırıldığında; BK+Fe+Zn ve BK+Fe+Zn+Mn uygulamaları ile daha yüksek N konsantrasyonlarına ulaşılmıştır (Çizelge 4). Zenginleştirilmiş BK kaynakları daha yüksek katyon değişim kapasitesine (KDK) sahip olduğundan azotun yıkanması veya denitrifikasyonla kaybı önlenmektedir. Bu durumun azotlu gübrelemenin etkinliğini artırdığı düşünülmektedir. (Utomo ve ark., 2017). Algethami ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada; kolza bitkisine uygulanan mısır koçanı BK ve Fe ile

zenginleştirilmiş BK uygulamalarının protein oranı bakımından aynı grupta yer aldığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Mukhtar ve ark. (2023), çeltik kavuzu biyokömürünü Fe, Zn ve Mn ile zenginleştirmişler ve buğday tane protein oranı bakımından tüm BK uygulamaları ile kontrolün aynı grupta yer aldığını ifade etmişlerdir. Çalışma sonucunda bitki fosfor (P) konsantrasyonlarının 1.48-2.09 g kg<sup>-1</sup> arasında değiştiği fakat bu değişimin istatistiksel açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4). Bitki potasyum (K) konsantrasyonları üzerine biyokömür uygulamalarının önemli etkide bulunduğu saptanmıştır. BK+Mn, BK+Fe+Zn, BK+Zn+Mn ve BK+Fe+Zn+Mn uygulamaları ile kontrole göre daha düşük K konsantrasyonları elde edilirken, diğer uygulamaların kontrol ile aynı sınıfta yer aldığı belirlenmiştir

(Çizelge 4). Algethami ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada; kolza bitkisine uygulanan Fe ile zenginleştirilmiş BK uygulamalarının bitki K konsantrasyonunu kontrole göre önemli oranda artırdığını bildirmişlerdir. Biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin kalsiyum (Ca) ve magnezyum

(Mg) konsantrasyonları üzerine etkisinin önemli olmadığı bulunmuştur (Çizelge 4). Jones ve ark. (1991)'e göre mısır bitkisinin N ve P konsantrasyonları hariç tüm uygulamalarda K, Ca ve Mg y konsantrasyonları yeterli olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. Mikro elementlerle zenginleştirilmiş biyokömür uygulamalarının mısır bitkisi azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonlarına etkisi

Uygulamalar	N, g kg <sup>-1</sup>	P, g kg <sup>-1</sup>	K, g kg <sup>-1</sup>	Ca, g kg <sup>-1</sup>	Mg, g kg <sup>-1</sup>
Kontrol	9.14±0.37 c	2.04±0.10	39.7±1.07 ab	5.62±0.23	1.99±0.06
BK	10.0±0.14 c	2.09±0.10	41.8±1.06 a	6.20±0.14	2.23±0.06
BK+Fe	10.5±0.17 bc	1.85±0.19	42.7±2.36 a	6.34±0.27	2.31±0.11
BK+Zn	9.88±0.32 c	1.76±0.09	35.8±1.77 bc	5.97±0.22	2.11±0.10
BK+Mn	10.6±0.41 bc	1.88±0.15	35.3±0.31 c	5.64±0.24	2.14±0.05
BK+Fe+Zn	12.2±0.75 a	1.78±0.27	34.0±1.02 c	5.92±0.48	1.88±0.04
BK+Fe+Mn	10.6±0.43 bc	1.64±0.07	36.2±1.22 bc	5.40±0.21	2.13±0.11
BK+Zn+Mn	9.79±0.26 c	1.78±0.05	33.4±0.41 c	5.74±0.47	2.18±0.12
BC+Fe+Zn+Mn	11.7±0.78 ab	1.48±0.09	32.5±1.06 c	5.96±0.66	2.14±0.06
F değeri	4.39**	1.82 <sup>öd</sup>	8.29**	0.68 <sup>öd</sup>	2.24 <sup>öd</sup>
LSD	1.33	-	3.73	-	-

öd: önemli değil, \*\*p<0.01

#### Bitki Örneklerinin Mikro Element Konsantrasyonları

Farklı mikro elementlerle zenginleştirilmiş BK uygulamalarının mısır bitkisinin Fe konsantrasyonlarına etkisi önemli bulunmuştur (p<0.05). Bitki örneklerinde belirlenen Fe konsantrasyonlarının 68.1-116 mg kg<sup>-1</sup> arasında değiştiği belirlenmiştir. Kontrolle karşılaştırıldığında, yalnızca BK+Fe+Mn uygulaması ile daha yüksek Fe konsantrasyonunun elde edildiği, diğer BK kaynaklarının ise kontrole aynı sınıfta yer aldığı belirlenmiştir (Çizelge 5). Dad ve ark. (2021), buğday samanı biyokömürünü Fe ile zenginleştirmiş ve turp bitkisinde Fe konsantrasyonu bakımından kontrol ve Fe-BK uygulamalarının aynı grupta yer aldığını bildirmişlerdir. Gao ark. (2021), yaptıkları bir çalışmada Fe ve Mn ile zenginleştirilmiş BK uygulamasının buğday tanesi Fe konsantrasyonunu kontrole göre önemli oranda artırdığını ifade etmişlerdir. Biyokömür uygulamalarının mısır bitkisi Zn konsantrasyonu üzerine

önemli etkide bulunduğu saptanmıştır (p<0.05). BK+Zn uygulaması ile en yüksek Zn konsantrasyonuna (164 mg kg<sup>-1</sup>) ulaşırlarken, bunu sırasıyla BK+Fe+Zn (103 mg kg<sup>-1</sup>), BK+Zn+Mn (73.7 mg kg<sup>-1</sup>) ve BK+Fe+Zn+Mn uygulamaları (56.6 mg kg<sup>-1</sup>) takip etmiştir (Çizelge 5). Mukhtar ve ark. (2023), çeltik kavuzu biyokömürünü Fe, Zn ve Mn ile zenginleştirmişler ve buğday Zn konsantrasyonu bakımından yalnız BK uygulaması ile Fe ve Mn ile zenginleştirilmiş BK uygulamalarının aynı sınıfta yer aldığını, Zn ile zenginleştirilmiş BK'nın ise bunlardan önemli oranda yüksek Zn konsantrasyonu sağladığını belirlemişlerdir. Bitki Mn konsantrasyonu üzerine biyokömür uygulamalarının etkisi önemli bulunmuştur (p<0.05). Bitkide en yüksek Mn konsantrasyonuna BK+Fe+Zn+Mn uygulamasıyla ulaşılmışken; BK+Zn+Mn, BK+Fe+Mn ve BK+Mn uygulamaları ile kontrole göre daha yüksek Mn konsantrasyonu belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Mikro elementlerle zenginleştirilmiş biyokömür uygulamalarının mısır bitkisi demir, çinko, mangan ve bakır konsantrasyonlarına etkisi

Uygulamalar	Fe, mg kg <sup>-1</sup>	Zn, mg kg <sup>-1</sup>	Mn, mg kg <sup>-1</sup>	Cu, mg kg <sup>-1</sup>
Kontrol	84.7±8.02 bcd	22.3±1.68 e	58.4±1.10 d	6.78±0.46 a
BK	108 ±5.49 ab	20.5±0.87 e	60.1±0.85 d	6.75±0.92 a
BK+Fe	76.8±1.75 cd	22.0±2.37 e	59.8±4.79 d	6.78±0.88 a
BK+Zn	69.8±8.23 cd	164 ±8.48 a	63.7±2.49 d	5.45±0.55 ab
BK+Mn	75.2±7.21 cd	20.8±1.82 e	130 ±2.36 c	4.23±0.58 bc
BK+Fe+Zn	93.5±1.36 abc	103 ±1.81 b	57.3±2.69 d	3.25±0.86 c
BK+Fe+Mn	116 ±5.10 a	6.47±0.46 f	124 ±2.49 c	4.18±0.31 bc
BK+Zn+Mn	90.3±6.30 bcd	73.7±5.35 c	147 ±1.08 b	3.15±0.29 c
BC+Fe+Zn+Mn	68.1±15.0 d	56.6±1.29 d	164 ±2.46 a	3.43±0.13 c
F değeri	4.93**	204**	309**	6.53**
LSD	21.9	10.5	7.32	1.78

\*\*p<0.01

Mukhtar ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada Fe, Zn ve Mn ile zenginleştirilmiş çeltik kavuzu biyokömürü buğday yetiştiriciliğinde kullanılmış ve Mn konsantrasyonu

bakımından yalnız çeltik kavuzu BK ile Fe ve Zn ile zenginleştirilmiş BK uygulamalarının istatistiki olarak aynı grupta yer aldığı, Mn ile zenginleştirilmiş BK'nın ise

bunlardan önemli oranda yüksek Mn konsantrasyonu sağladığı belirlenmiştir. Mısır bitkisi Cu konsantrasyonu incelendiğinde, farklı mikro elementlerle zenginleştirilmiş BK uygulamalarının etki önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Tek başına BK, BK+Fe ve BK+Zn uygulamalarının bitki Cu konsantrasyonu bakımından kontrol ile istatistiki olarak aynı grupta yer aldığı, diğer BK uygulamalarının ise daha düşük Cu konsantrasyonuna neden olduğu saptanmıştır. Jones ve ark. (1991)'e göre mısır bitkisinin tüm uygulamalarda Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları yeterli olarak bulunmuştur.

### SONUÇ

Tarım topraklarımızda verimliliğin artırılması amacıyla her türlü tarımsal atığın uygun işlemlerden geçirilerek kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılacak materyallerden birisi de piroliz işlemi neticesinde elde edilen biyokömürdür. Bununla birlikte biyokömür yalnız başına kullanıldığında iyi bir toprak düzenleyici olmasına rağmen, bitkilerde özellikle mikro element eksikliklerine neden olabilmektedir. Bu bilgidan hareketle kurgulanan çalışmada çeşitli mikro element kaynaklarıyla zenginleştirilmiş budama atığı biyokömürleri arasında Fe ile zenginleştirilmiş biyokömürün diğer uygulamalara göre mısır bitkisi gelişimi üzerine daha etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak tarım topraklarının verimliliğini artıracak bir potansiyel taşımalarının yanında, günümüzde ciddi bir sorun haline gelen ve gıdaların özellikle mikro elementlerce fakir olması neticesinde ortaya çıkan gizli açlık kavramına da çözüm olabilecek bir materyal olan zenginleştirilmiş biyokömür ile ilgili çalışmaların farklı hammadde, bitki ve iklim koşullarında denenmesi gerekmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesinde emeği geçen Zir. Yük. Müh. Emre Can KAYA'ya teşekkür ederiz. Bu makalede etik kurul onayına gerek duyulmamaktadır. Bu makalede yazarlar çalışmaya ortak katkıda bulunmuşlar ve yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### KAYNAKLAR

- Akca MO, Usta S, Uygur V, Ok SS (2023) Biochar Applications Reduces The Mobility of Cadmium Under Differing Soil Moisture Regimes. *Gesunde Pflanzen* 75(4):1047-1060.
- Algethami JS, Irshad MK, Javed W, Alhamami MAM, Ibrahim M (2023) Iron Modified Biochar Improves Plant Physiology, Soil Nutritional Status and Mitigates Pb And Cd-Hazard in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science* 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1221434>.
- Algethami JS, Ibrahim M, Javed W, Alosaimi EH, Irshad MK (2024) Efficacy of Fe-BC in Enhancing Growth, Photosynthesis, Nutrition, And Alleviating The Toxicity of Cd And Cr in Rapeseed (*Brassica napus* L.): A Tool for Managing the Environment and Attaining Sustainable Agriculture. *Environmental Technology and Innovation* 103789.
- Aller D, Bakshi S, Laird DA (2017) Modified Method for Proximate Analysis of Biochars. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 124:335-342.

- Asghar W, Akça MO, Akça H, Tarf OJ, Kataoka R, Turgay OC (2022) Alternative Strategies to Synthetic Chemical Fertilizers: Revitalization of Soil Quality for Sustainable Agriculture Using Organic-Based Approaches. In *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering*. In: Sing HB, Vaishnav A (Eds), Elsevier, 1-30. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-02095-5>
- Asri FÖ, Sönmez S (2006) Ağır Metal Toksikitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. *Derim* 23(2):36-45.
- Bouyoucos GJ (1951) A Realibration of Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soil. *Agronomy Journal* 43:434-438.
- Bremner JM (1965) Total Nitrogen Methods of Soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties'. In: Black CA (ed), Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agronomy Series. No: 9, Madison, Wisconsin, U.S.A., 1149-1178.
- Chen Z, Lu Z, Zhang Y, Li B, Chen C, Shen K (2021) Effects of Biochars Combined with Ferrous Sulfate and Pig Manure on the Bioavailability of Cd and Potential Phytotoxicity for Wheat in an Alkaline Contaminated Soil. *Science of The Total Environment* 753:141832.
- Cakmak I (2008) Enrichment of Cereal Grains with Zinc: Agronomic or Genetic Biofortification? *Plant and Soil* 302:1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Dad FP, Khan W-u-D, Tanveer M, Ramzani PMA, Shaikat R, Mukhtadir A (2021) Influence of Iron-Enriched Biochar on Cd Sorption, Its Ionic Concentration and Redox Regulation of Radish Under Cadmium Toxicity. *Agriculture* 11(1):1. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010001>
- Düzgüneş O (1963) Bilimsel Araştırmalarda İstatistik Prensipleri ve Metotları. E.Ü. Matbaası, İzmir.
- Gao M, Xu Y, Chang X, Song Z (2021) Fe-Mn Oxide Modified Biochar Decreases Phthalate Uptake and Improves Grain Quality of Wheat Grown in Phthalate-Contaminated Fluvo-Aquic Soil. *Chemosphere* 270: 129428. DOI:10.1016/j.chemosphere.2020.129428
- Guan X, Zhou J, Ma N, Chen X, Gao J, Zhang R (2014) Studies on Modified Conditions of Biochar and the Mechanism for Fluoride Removal. *Desalination Water Treatment* 1-8. [doi.org/10.1080/19443994.2014.916230](https://doi.org/10.1080/19443994.2014.916230).
- 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. [doi.org/10.1111/sum.12114](https://doi.org/10.1111/sum.12114).
- Gunes A, Inal A, Sahin O, Taskin MB, Atakol O, Yılmaz 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.
- Hızalan E, Ünal H (1966) Topraklarda Önemli Kimyasal Analizler. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, 278, Ankara.

- Houben D, Evrard L, Sonnet P (2013) Beneficial Effects of Biochar Application To Contaminated Soils on the Bioavailability of Cd, Pb And Zn and the Biomass Production of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Biomass Bioenergy* 57:196-204. doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.019.
- 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. doi.org/10.1111/sum.12162.
- Isaac RA, Kerber JD (1971) Atomic Absorption and Flamephotometry: Techniques and Uses in Soil, Plant and Water Analysis. In: Instrumental Methods for Analysis of Soils and Plant Tissue. In: Walsh LM (eds), Soil Science Society of America, Madison, 34-37.
- Islam SMF, Karim Z (2019) World's Demand for Food and Water: The Consequences of Climate Change. In: Farahani MHDA, Vatanpour V, Taheri AH (Eds), IntechOpen, London, United Kingdom.
- Islam MS, Magid ASIA, Chen Y, Weng L, Ma J, Arafat M, Li Y (2021) Effect of Calcium and Iron-Enriched Biochar on Arsenic and Cadmium Accumulation from Soil to Rice Paddy Tissues. *Science of the Total Environment* 785:147163.
- Jackson ML (1958) *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 498.
- Jing XR, Wang YY, Liu WJ, Wang YK, Jiang H (2014) Enhanced Adsorption Performance of Tetracycline in Aqueous Solutions by Methanol-Modified Biochar. *Chemical Engineering Journal* 248:168-174. doi.org/10.1016/j.cej.2014.03.006.
- Jung C, Phal N, Oh J, Chu KH, Jang M, Yoon Y (2015) Removal of Humic and Tannic Acids by Adsorption-Coagulation Combined Systems with Activated Biochar. *Journal of Hazardous Material* 300:808-814. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.08.025.
- 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. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177(1):3-15.
- Lahori AH, Afzal A, Muhammad MT, Mierzwa-Hersztek M, Vambol V (2023) Application of Zinc Modified Biochars to Enhance Zinc Availability, Speciation and Bajra Growth in Zn-Deficient Soil: Enhancing Zn Availability, Speciation and Bajra Growth in Zn-Deficient Soil Amended with Zn-Modified Biochars. *International Journal of Economic and Environmental Geology* 14(04):7-15.
- Lehmann J (2007a) A Handful of Carbon. *Nature* 447:143-144.
- Lehmann J (2007b) Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5:381-387. doi.org/10.1890/1540-9295.
- Lehmann J, Joseph S (2009) *Biochar for Environmental Management: an Introduction*. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. In: Lehmann J, Joseph S (eds), London, 1-12. ISBN-13: 978-1844076581.
- Lentz RD, Ippolito JA (2012) Biochar and Manure Affects Calcareous Soil and Corn Silage Nutrient Concentrations and Uptake. *Journal of Environmental Quality* 41:1033-1043. doi.org/10.2134/jeq2011.0126.
- Li Y, Shao J, Wang X, Deng Y, Yang H, Chen H (2014) Characterization of Modified Biochars Derived from Bamboo Pyrolysis and Their Utilization for Target Component (Furfural) Adsorption. *Energy and Fuels* 28:5119-5127. doi.org/10.1021/ef500725c.
- Lindsay WL, Norvell WA (1978) Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of America Journal* 42:421-428.
- Mohan D, Sarswat A, Ok YS, Pittman CU (2014) Organic and Inorganic Contaminants Removal from Water with Biochar, A Renewable, Low Cost and Sustainable Adsorbent – A Critical Review. *Bioresource Technology* 160:191-202. doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.120.
- Mukhtar MS, Khan WUD, Khan AU, Rahman SU, Guo W (2023) Enhancing the Wheat Growth Through Micronutrients Enriched Biochar Under Salt Stress. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7:1102930.
- Namgay T, Singh B, Singh BP (2010) Influence of Biochar Application to Soil on Availability of As, Cd, Cu, Pb and Zn to Maize (*Zea mays* L.). *Australian Journal of Soil Research* 48:638-47. doi.org/10.1071/SR10049.
- Namlı A, Akça MO, Akça H (2017) Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Biyokömürün Buğday Bitkisinin Gelişimi ve Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 5(1):39-47.
- 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.
- Park JH, Choppala GK, Bolan NS, Chung JW, Chuasavathi T (2011) Biochar Reduces the Bioavailability and Phytotoxicity of Heavy Metals. *Plant and Soil* 348:439-451. doi.org/10.1007/s11104-011-0948-y.
- Pratt PF (1965) *Chemical and Microbiological Properties. Methods of Soil Analysis*. Ed: Black CA, American Society of Agronomy, Madison, 771-1572.
- Rajapaksha AU, Chen SS, Tsang DCW, Zhang M, Vithanage M, Mandal S, Gao B, Bolan NS, Ok YS (2016) Engineered/Designer Biochar for Contaminant Removal/Immobilization from Soil and Water: Potential And Implication of Biochar Modification. *Chemosphere* 148:276-291. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.043.
- Richards LA (1954) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. In: United States Department of Agriculture Handbook, 1070, USA.



- 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(3): 447-456. doi.org/10.1111/sum.12360.
- Sizmur T, Fresno T, Akgül G, Frost H, MorenoJiménez E (2017) Biochar Modification to Enhance Sorption of Inorganics from Water. *Bioresource Technology* 246:34-47. doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.082.
- Sümer SK, Kavdır Y, Çiçek G (2016) Türkiye’de Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyokömür Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi* 19(4):379-387.
- Taşkın MB, Türkmen F, Akça MO, Soba MR (2018) Ankara Üniversitesi Ayaş Araştırma ve Uygulama Çiftliği Topraklarının Verimlilik Durumlarının İncelenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 6(2):122-133.
- Taskin MB, Kadioglu YK, Sahin O, Inal A, Gunes A (2019) Effect of Acid Modified Biochar on the Growth and Essential and Non-Essential Element Content of Bean, Chickpea, Soybean, and Maize Grown in Calcareous Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 50(13):1604-1613.
- Temminghoff EE, Houba VJ (2004) *Plant Analysis Procedures*, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, 1-178.
- Utomo WH, Islami T, Wisnubroto E, Soelistyari HT (2017) Biochar as a Carrier for Nitrogen Plant Nutrition: 3. Effect Of Enriched Biochar On Rice (*Oryza sativa* L.) Yield and Soil Qualities. *International Journal of Applied Engineering Research* 12:10426-10432.
- Xue Y, Gao B, Yao Y, Inyang M, Zhang M, Zimmerman AR, Ro KS (2012) Hydrogen Peroxide Modification Enhances the Ability of Biochar (Hydrochar) Produced from Hydrothermal Carbonization of Peanut Hull to Remove Aqueous Heavy Metals: Batch and Column Tests. *Chemical Engineering Journal* 200(202):673-680. doi.org/10.1016/j.cej.2012.06.116.
- YaoY, Gao B, Fang J, Zhang M, Chen H, Zhou Y, Creamer AE, Sun Y, Yang L (2014) Characterization and Environmental Applications of Clay-Biochar Composites. *Chemical Engineering Journal* 242:136-143. doi.org/10.1016/j.cej.2013.12.062.
- Yuan JH, Xu RK (2011) The Amelioration Effects of Low Temperature Biochar Generated from Nine Crop Residues on An Acidic Ultisol. *Soil Use and Management* 27:110-115. doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00317.x.
- Zhang X, Zhang S, Yang, H, Feng Y, Chen Y, Wang X, Chen H (2014) Nitrogen Enriched Biochar Modified by High Temperature CO<sub>2</sub>-Ammonia Treatment: Characterization and Adsorption of CO<sub>2</sub>. *Chemical Engineering Journal* 257:20-27. doi.org/10.1016/j.cej.2014.07.024.

