



Tarımsal kökenli atıkların yavaş pirolizinden elde edilen biyoçarların karakterizasyonu

 Dennis Elibariki MAWALLA*,  Coşkun GÜLSER

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

Öz

Biyöçar kavramı, modern anlamda sürdürülebilir atık kullanımı ve toprak kaynakları yönetimine katkı sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Biyoçarın kalitesi elde edildiği hammadde özelliği ve bileşimi tarafından belirlenir. Bu çalışmanın amacı çay atığı, buğday samanı, fındık zuru ve çeltik kavuzu atıklarından biyoçar üretmek ve üretilen biyoçarların özelliklerini belirlemektir. Organik atıkların 450°C'de 2 saat süreyle pirolizi sonucunda biyoçarlar elde edilmiştir. Biyoçarlara ait verim, pH, elektriksel iletkenlik, katyon değişim kapasitesi, değişebilir katyonlar (kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum), azot, fosfor, kül içeriği, toplam karbon, C:N oranı, alkalinite, su tutma kapasitesi ve mikro element (demir, bakır, manganez ve çinko) içerikleri belirlenmiştir. Biyoçar türleri arasındaki önemli karakteristik farklılıkların elde edildikleri hammadde türlerinin bir fonksiyonu olduğu sonucuna varılmıştır. Fındık zuru (FZB) biyoçarının besin tutma kapasitesi ve alkalinitesinin diğerlerine oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Buğday samanı biyoçarının (BSB) en yüksek su tutma kapasitesine, çay atığı (ÇAB) biyoçarının en düşük C:N oranına, çeltik kavuzu (ÇKB) biyoçarının ise en yüksek kül içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Elde edilen tüm biyoçar çeşitlerinin, bitki besin kaynağı olmalarının yanı sıra toprak kalitesini iyileştirici düzenleyiciler olarak kullanıma potansiyellerine sahip oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Organik atık, biyoçar, fiziksel, kimyasal, özellik.

Characterization of biochars derived from slow pyrolysis of agricultural originated wastes

Abstract

The concept of biochar was developed to contribute to modern sustainable waste utilization and soil resources management. The quality of the biochar is determined by the properties and composition of the raw feedstock material. The aim of this study is to produce biochar from tea waste, wheat straw, hazelnut husk and paddy husk and to determine the properties of the produced biochars. Biochars were obtained as a result of pyrolysis of organic wastes at 450°C for 2 hours. For each biochar, yield, pH, electrical conductivity, cation exchange capacity, exchangeable cations (calcium, magnesium, potassium and sodium), nitrogen, phosphorus, ash content, total carbon, C:N ratio, alkalinity, water holding capacity and microelement (iron, copper, manganese and zinc) contents were determined. Results revealed that, considerable variation of characteristics among type of biochars is a function of feedstock types. It was determined that the nutrient retention capacity and alkalinity of hazelnut husk biochar are higher than the others. Wheat straw biochar had the highest water retention capacity, tea waste biochar had the lowest C:N ratio, while rice husk biochar had the highest ash content. It has been concluded that all biochar types have the potential to be used as plant nutrient sources as well as conditioners to improve soil quality.

Keywords: Organic waste, biochar, physical, chemical, properties.

© 2023 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Çevre ve toprak bozulması sorunlarındaki artışla birlikte çevrenin korunması ve toprak kalitesinin iyileştirilmesinde biyoçar kavramına olan ilgi önemli derecede artmıştır (Agegnehu ve ark., 2016). Biyoçar, organik materyalin nispeten düşük sıcaklıklarda (< 700°C) sınırlı oksijen kaynağı altında pirolizinden elde

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 362 312 1919

E-posta : dennymawalla@gmail.com

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 31 Ekim 2023 e-ISSN : 2146-8141

Kabul Tarihi : 4 Aralık 2023 DOI : 10.33409/tbbbd.1383845

edilen karbon açısından zengin bir üründür (Lehman ve Joseph, 2009). Uluslararası Biyoçar Girişimi (IBI, 2015) biyoçarı, biyokütlenin oksijen sınırlı bir ortamda termokimyasal dönüşümünden elde edilen katı madde olarak tanımlamıştır. Enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere üretilen odun kömürünün aksine, toprağın işleyişini iyileştirmek ve karbon tutulumunu arttırmak amacıyla biyoçarın genellikle toprağa uygulanması düşünülmektedir (Lehmann, 2007). Piroliz, biyoçar üretmek için yıllardır kullanılan basit ve ucuz bir işlemdir (Choudhary ve ark., 2019). Piroliz, biyoçar, biyo-yağ ve sentez gazı gibi bir dizi biyoürün elde etmek için organik materyallerin oksijensiz ortamda ısıtılmasını içerir (Lee ve ark., 2017). Biyoçar verimi piroliz işleminin türüne bağlıdır (Yaashikaa ve ark., 2020). Yavaş piroliz tekniği, yavaş ısıtma hızları ve daha uzun kalma süreleri nedeniyle daha yüksek oranda biyoçar verimi sağladığı için biyoçar üretiminde etkili bir yöntemdir (Tomczyk ve ark., 2020). Hızlı piroliz ise, biyoyakıt üretmek için en etkili yöntemdir ve gazlaştırma (flaş piroliz), yüksek ısıtma hızları ve kısa kalış süreleri nedeniyle sentez gazı üretmek için en verimli yöntemdir (Tomczyk ve ark., 2020).

Bu alanda yapılmış çalışmalar, hammadde ve piroliz sıcaklığının biyoçarın kalitesi için çok önemli faktörler olduğunu göstermiştir (Ali ve ark., 2022; Berek ve Hue, 2016; Lataf ve ark., 2022). Çeşitli hammaddelerden üretilen organik ortamlar ve biyoçarlar, piroliz sıcaklığına ve hammaddelerin birincil bileşimine bağlı olarak farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptirler (Pekşen ve ark., 2011; Günal ve ark., 2019). Biyoçarın özellikleri büyük ölçüde piroliz koşulu (sıcaklık, kalış süresi) ile birlikte hammadde türü tarafından belirlenir (Hossain ve ark., 2020; H. Zhang ve ark., 2017). Hammadde, piroliz sıcaklığı ve üretim tekniği (hızlı veya yavaş piroliz) arasındaki etkileşimin anlaşılması, toprak kalitesini iyileştirmede istenilen kalitede biyoçar üretilmesine yardımcı olmaktadır (Ippolito ve ark., 2020).

Topraklara biyoçar uygulamanın, bozulan toprakların kalitesini iyileştirme (Jin ve ark., 2019) ve bozulmuş peyzajları geri kazanma konusunda önemli bir potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir (Agegnehu ve ark., 2016). Biochar uygulaması çeşitli toprak özelliklerini etkiler; biyoçar, hidrolik karakteristiği, agregat stabilitesini ve toprak yapısını iyileştirerek, gözenekliliği artırarak ve hacim ağırlığın azaltarak fiziksel toprak özelliklerini değiştirir (Liang ve ark., 2021; Obia ve ark., 2016; Saffari ve ark., 2021; Sun ve Lu, 2014). Biyoçar toprağın kimyasal özelliklerini iyileştirir; pH ve katyon değişim kapasitesini artırır, besin içeriğini artırır ve ağır metal konsantrasyonunu azaltır (Berek ve Hue, 2016; Cornelissen ve ark., 2018; Xiao ve ark., 2020; Y. Zhang ve ark., 2016). Biyoçar, mikrobiyal habitatı iyileştirerek, mikrobiyal popülasyonu ve aktiviteyi artırarak biyolojik toprak özelliklerini destekler (Bikbulatova ve ark., 2018; Hossain ve ark., 2020). Böylece, biyoçar, iyileştirilmiş toprak özellikleri sayesinde, iklim değişikliklerini karşılamak ve artan dünya nüfusu için gıdayı güvence altına almak için arazi kullanım verimliliğini artırarak tarımsal verimliliğin iyileştirilmesine katkıda bulunabilir (Agegnehu ve ark., 2017).

Tarımsal faaliyetler önemli miktarda biyokütle atığı üretmektedir; (mahsul artıkları, samanlar ve kabuklar, zeytin çekirdekleri ve fındık kabuklarından elde edilen artık biyokütle) (De Corato, 2020). Tarımsal artık biyokütlesinin ana organik bileşenleri esas olarak selüloz, hemiselüloz karbonhidratlar ve ligninden oluşur (Alavijeh ve Yaghmaei, 2016). Toprak organik maddesinin toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine olan pozitif iyileştirici etkisi birçok çalışmada vurgulanmıştır (Gülser, 2006; Gülser, 2021; Gülser ve ark., 2021; Gülser, 2022). Tarımsal atıkların organik madde kaynağı olarak doğrudan (Candemir ve Gülser 2007; Demir ve Gülser, 2008; İç ve Gülser, 2008; Gülser ve ark., 2010; Candemir ve Gülser, 2011; Gülser ve Candemir, 2012) veya kompostlanarak (Gülser ve ark., 2015; Demir ve Gülser, 2015; Demir ve Gülser, 2021) topraklarda düzenleyici olarak kullanılmasına yönelik çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, bu atıkların biyoçar olarak (Glab ve ark. 2016; Tanure ve ark. 2019; Demirkaya ve Gülser, 2023) topraklara uygulanmasına yönelik çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır. Toprak kalitesi için toprak düzenleyici olarak biyoçar üretmek amacıyla piroliz yoluyla üretim döngülerinde biyokütle atıklarının daha da geliştirilmesi, önemli bir kavram haline gelmiştir. Tarımsal atıkların biyoçara dönüştürülmesi, biyokütlenin bertarafı ve organik düzenleyici elde edilmesiyle birlikte mahsul verimini ve toprak özelliklerini iyileştirmek amacıyla toprağa geri dönüştürülebilen artan miktarda ham tarımsal atığın karşılandığı bir yöntemdir (Venkatesh ve ark., 2022).

Hammadde materyalinin türü, biyoçarın uygunluğunu ve topraktaki etkisini belirleyen önemli bir faktördür çünkü biyoçar özellikleri orijinal materyalin doğasından etkilenmektedir (Zhao ve ark., 2013). Biyoçar üretmek için biyokütlenin 450°C'de yavaş pirolizi, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak toprak kalitesinin tüm yönleri üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu yaygın olarak rapor edilmiştir (Albuquerque ve ark., 2013; Berek ve Hue, 2016; Cheng ve ark., 2021; Jahan ve ark., 2019; Lataf ve ark., 2022; Roshan ve ark., 2023; Safaei Khorram ve ark., 2020). Bazı tarımsal artıklarından 450°C'de yavaş pirolizle elde edilmiş biyoçarların

bileşimi ve özellikleri hakkında sınırlı bilgi bulunmaktadır. Çeşitli hammaddelerden üretilen biyoçarların karakterizasyonun yapılması, onların toprak kalitesinin iyileştirilmesine yönelik uygunluğunun değerlendirilmesi açısından önemlidir (Günel ve ark., 2019). Bu çalışmanın amacı, farklı tarımsal atıklardan yavaş piroliz yoluyla 450°C'de üretilen biyoçarların bazı fizikokimyasal özelliklerini belirlemek ve karşılaştırmaktır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, biyoçar üretmek amacıyla biyokütle kaynağı olarak çay atığı, çeltik kavuzu, buğday samanı ve fındık zuru atıkları kullanılmıştır. Piroliz işleminden önce tüm organik materyaller önce havada kurutulmuş, ardından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Laboratuvarında 450°C sıcaklıkta 2 saat boyunca kül fırınında oksijensiz ortamda piroliz edilmiştir. Piroliz işleminden sonra biyoçarların oda sıcaklığına soğuması sağlanmış, bazı fizikokimyasal özellikleri analiz edilmiştir.

Biyoçar verimi aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir

$$\text{Biyoçar Verimi (\%)} = (\text{biyokütle ağırlığı-biyoçar ağırlığı})/(\text{biyokütle ağırlığı}) \cdot 100 \quad (1)$$

Biyoçarın pH'sı ve elektriksel iletkenliği 1:10 (w:v) biyoçar-su karışımında ölçülmüştür (Singh ve ark., 2017b). Biyoçarın toplam azot içeriği kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir (Glazunova ve ark., 2018). Biyoçarda yayayışlı fosfor spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir (Frank ve ark., 1998).

Değişebilir katyonlar ve katyon değişim kapasitesi, Munera-Echeverri ve ark. (2018) tarafından açıklanan yöntemle belirlenmiştir. İşlem sonucunda elde edilen ekstraktlarda kalsiyum ve magnezyum EDTA yöntemiyle, potasyum ve sodyum ise alev fotometresinde belirlenmiştir.

Biyoçarlara ait mikro element içerikleri (DTPA Fe, DTPA Mn, DTPA Cu, DTPA Zn) atomik absorpsiyon spektrofotometrisi ile belirlendi (Whitney, 1998). Kül içeriğinin belirlenmesi için biyoçar örnekleri 550°C sıcaklıktaki kül fırınında 5 saat süreyle yakılmış (Choudhary ve ark., 2019; Maharlouei ve ark., 2021) ve kül içeriği yüzdesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır;

$$\text{Kül (\%)} = (\text{Kalıntı kütlesi})/(\text{Biyoçar örnek kütlesi}) \cdot 100 \quad (2)$$

Biyoçarda organik C içeriği Choudhary ve ark. (2019) tarafından belirtildiği şekilde aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir;

$$\text{Organik karbon (\%)} = (100 - \% \text{ kül}) / 1,724 \quad (3)$$

Biyoçarın alkaliliği (alkalinite değeri), Yuan ve Xu (2011)'nin belirttiği yöntemle belirlendi. Biyoçarlarda 0,2 g plastik şişelere tartıldı, her şişeye 40 mL 0,03 m HCl çözeltisi eklendi, 2 saat çalkalandı, 24 saat bekletildi. Artık HCl, 0,5 m NaOH ile pH 7,0'a geri titre edildi; biyoçar tarafından tüketilen HCl miktarı biyoçarın alkalinitesine eşit kabul edildi. Biyoçarın su tutma kapasitesi Ali ve ark. (2022) tarafından açıklanan yöntemle belirlendi. Kuru başlangıcı, kuru biyoçar örnekleri silindirik bir kapta tam doygunluğa ulaşacak şekilde 24 saat boyunca distile suya batırılmış, silindirik tüplerin alt kısmı biyoçar tutacak şekilde filtre kağıdı ile kapatılmıştır. Doygunluğun ardından biyoçardaki fazla su 30 dakika boyunca serbest drenajla boşaltıldı. Nemli biyoçar örnekleri daha sonra dijital terazi kullanılarak tartıldı. Biyoçar ve filtre kağıdı içeren tüp, kuruması için gece boyunca 105°C'lik bir fırına yerleştirildi ve ardından tartıldı. Su içermeyen biyoçar örnekleri ve biyoçar örneklerinde tutulan su, kurutma öncesi ve sonrası karşılaştırma için ağırlıkça belirlendi ve su tutma kapasitesi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplandı;

$$\text{Su tutma kapasitesi (\%)} = (\text{suyla doymuş biyoçar-kuru biyoçar})/(\text{kuru biyoçar}) \cdot 100 \quad (4)$$

Sonuçlar üç tekerrürün ortalaması olarak ifade edilmiştir. Elde edilen veriler tek yönlü ANOVA ile istatistiksel olarak SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) paket programı yardımıyla analiz edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Biyoçar Verimi

Farklı tarımsal atıklardan elde edilen biyoçarların bazı özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu verilerin irdelenmesinden de anlaşılacağı üzere tarımsal atıklardan buğday samanının %67,8'i, çay atığının %63,4'ü, fındık zuruğunun %60,7'si, çeltik kavuzunun ise %57,5'i oranında biyoçara dönüştüğü tespit edilmiştir. Bir diğer ifade ile kullanılan tarımsal atıklar birbirleri ile karşılaştırıldıklarında çeltik kavuzu biyoçarı önemli

ölçüde düşük verim sergilemiştir. Bu bulgular biyoçara dönüştürülme sırasında %42'ye kadar kütle kaybının olduğunu ve biyoçar veriminin önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Hammadde türünün biyoçar verimi üzerindeki etkisi geniş çapta rapor edilmiştir (Choudhary ve ark., 2019; Jindo ve ark., 2014). Çeltik kavuzundan nispeten daha düşük biyoçar ürünü elde edilmesi muhtemelen çeltik kavuzunun kimyasal bileşiminden kaynaklanmış olabilir (Enders ve ark., 2012). Farklı oranlarda lignoselülozik bileşenlere sahip biyoküteller, farklı şekilde ayrışır ve üretilen biyoçar miktarı üzerinde etkilere neden olurlar (Somparn ve ark., 2020). Gözlemlenen daha yüksek buğday samanı biyoçar verimi, hammaddedeki organik maddelerin minimum düzeyde yoğunlaşması ve buharlaşmasından kaynaklanmış olabilir (Venkatesh ve ark., 2022).

Kül ve Organik karbon

Çeltik kavuzu biyoçarı (%42,3) sırasıyla BSB (%23,6), ÇAB (%20,1) ve FZB (%19,3)'na göre daha yüksek kül içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1). Bazı araştırmacılar farklı organik atıklar için benzer eğilimin sonuçlarını bildirmişlerdir (Enders ve Lehmann, 2017; Zhang ve ark., 2017). ÇKB'nın daha yüksek kül içeriği, hammadde pirolizi sırasında organik ve inorganik bileşenler arasındaki olası etkileşimin teşvik ettiği uçucu maddelerin daha yüksek ayrışmasına ve uzaklaştırılmasına atfedilebilir (Choudhary ve ark., 2019; Enders ve ark., 2012). Ayrıca çeltik bitkisi, biyoçarın yüksek kül içeriğiyle güçlü bir şekilde ilişkilendirilebilecek yüksek silikon içeriğiyle karakterize edilmektedir (Jindo ve ark., 2014). FZB (%88,8) ve ÇAB (%88,3)'ünün toplam karbon içeriği, BSB (%86,1) ve ÇKB (%75,5)'nden önemli ölçüde yüksek bulunmuştur (Çizelge 1). Karbon değerleri kül içeriği ile uyumlu olup; karbon içeriği ne kadar yüksekse kül içeriğinin de o kadar düşük olduğu bilinmektedir (Windeatt ve ark., 2014). Manolikaki ve ark., (2016) ayrıca benzer piroliz koşullarında ağaç fıstığı kabuğu biyoçarında çeltik kavuzu biyoçarından daha yüksek karbon içeriği olduğunu bildirmiştir. Elde edilen veriler daha önce yapılan çalışmalarla da benzer bir eğilim göstermiştir (Günel ve ark., 2019).

pH ve Elektriksel İletkenlik

Biyoçar örneklerinin tamamının alkalın pH'ya sahip olduğu (pH > 9), dört biyoçar tipinin pH'ları arasında önemli bir farklılığın bulunmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 1). Zhao ve ark., (2013), biyoçar pH'sının hammaddeden çok sıcaklıktan etkilendiğini bildirmiştir. Üretilen dört biyoçarın tamamı daha önceki çalışmalarda belirtilen pH aralıklarını sergilemektedir (Günel ve ark., 2019; Windeatt ve ark., 2014; Zhao ve ark., 2013). Alkali özelliklere sahip biyoçarlar, aşırı toprak asitliğinde tamponlama potansiyeline sahiptir (Windeatt ve ark., 2014). Biyoçarın toprak düzenleyici olarak kullanılmasının genel bir kireçleme etkisine sahip olduğu, toprak pH'sını arttırdığı, mikrobiyal aktiviteyi arttırdığı, toprak organik maddesinin mineralizasyonunu arttırdığı ve bitkiler için yararlı besin elementi miktarını arttırdığı bulunmuştur (Agegnehu ve ark., 2017).

Farklı zirai hammadde türlerine ait biyoçarların elektriksel iletkenliği üzerinde çok önemli düzeyde anlamlı etkisinin bulunduğu belirlenmiştir (P < 0.01) (Çizelge 1). Fındık zurufundan üretilen biyoçarın EC değeri (5260.7 μ S/cm), sırasıyla ÇAB (2068.8 μ S/cm), ÇKB (417.4 μ S/cm) ve BSB (412.9 μ S/cm)'ından önemli seviyede yüksek bulunmuştur. Elde edilen biyoçarlar; FZB, ÇAB, ÇKB ve BSB'ı, sırasıyla hafif tuzlu, çok hafif tuzlu, tuzsuz ve tuzsuz olarak tuzluluk sınıfına ayrılmışlardır (USDA-NRCS, 2017). Bu çalışmada üretilen biyoçarın toprak düzenleyici olarak kullanıldığında toprağın elektrik iletkenliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmayacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca biyoçar türlerinin elektriksel iletkenlik değerleri, değişebilir kalsiyum (p<0.01), magnezyum (p<0.05), potasyum (P<0.01), fosfor (P< 0.01), alkalinite (P< 0.01) ve kül (P < 0.05) ile anlamlı pozitif korelasyonlara sahiptirler (Çizelge 4). Bu konuda daha önceki yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Günel ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2013). Biyoçarın elektriksel iletkenliği, toprağa uygulandığında besin elementlerinin kullanılabilirliğini etkilemektedir. Biyoçar kullanımlarının kalitesi ve sıklığı, çeşitli toprak türleri için dikkatle belirlenmelidir (Venkatesh ve ark., 2022).

Alkalinite ve Su tutma kapasitesi

Farklı türdeki biyoçarlar arasında alkalinite (kireçleme etkisi) açısından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Biyoçarların kireçleme materyali etkisi şu sırayı takip etmiştir: FZB > ÇAB > BSB > ÇKB (Çizelge 1). Bu çalışmadaki alkalinite değerleri Yuan ve Xu, (2011)'de bildirilen değerlerden daha yüksektir. Önceki çalışmalar aynı zamanda bu çalışmayla tutarlı olarak çeltik kavuzu biyoçarına kıyasla ağaç fıstığı kabuğu hammaddelerinden elde edilen biyoçarın kireçleme değerinin daha yüksek olduğunu bildirmiştir (Singh ve

ark., 2017a). Biyoçarın nispeten daha yüksek alkalinite değeri, toprağa uygulandığında asidik etkiyi iyileştirme ve pH'ı artırma potansiyeline sahip olabilmektedir (Wang ve ark., 2009).

Buğday biyoçarının diğer biyoçarlara göre önemli ölçüde daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1). Zhang ve You (2013) yaptıkları bir çalışmada buğday biyoçarının (%233.3), 450°C'de pirolizle edilen odun biyoçarına (%119) kıyasla daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Biyoçarda gözeneklerin yapısı ve birbirine bağlantısı, biyoçarın yapışma ve yapışma kuvveti ile biyoçarın su tutma kapasitesini belirler (Reza ve ark., 2020). Bu nedenle, yüksek su tutma kapasitesine sahip biyoçar, mikro gözenekli fonksiyonel grupları su molekülleri ile doyurarak adsorpsiyon sürecini iyileştirir (Ali ve ark., 2022). Su tutma kapasitesi sonucu, buğday biyoçarının diğer biyoçarlarla karşılaştırıldığında toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirme potansiyelinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Farklı tarımsal atıklardan üretilen biyoçarların verim, su tutma kapasitesi ve bazı kimyasal özellikleri.

Biyochaar	Verim (%)	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Karbon (%)	Kül (%)	Alkalinite (%)	Su tutma kapasitesi (%)
Çay atığı (ÇAB)	63.4 ^{b*}	9.7 ^a	2068.8 ^b	46.3 ^a	20.1 ^c	37.8 ^a	22.7 ^b
Buğday samanı (BSB)	67.8 ^a	9.9 ^a	412.9 ^c	44.3 ^b	23.6 ^b	28.3 ^b	233.4 ^a
Fındık zurufu (FZB)	60.7 ^b	10.1 ^a	5260.7 ^a	46.8 ^a	19.3 ^c	43.7 ^a	53.2 ^b
Çeltik kavuzu (ÇKB)	57.8 ^c	9.9 ^a	417.4 ^c	33.5 ^c	42.3 ^a	13.7 ^c	20.8 ^b

*Aynı harfle gösterilen ortalama değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark yoktur (Duncan testi, $P < 0,05$)

Kasyon değişim kapasitesi ve değiştirilebilir kanyonlar

Fındık zurufu biyoçarının kasyon değişim kapasitesi (48.1 meq/100g), sırasıyla BSB (31.8meq/100g), ÇAB (21.7 meq/100g) ve ÇKB (20.8 meq/100g)'ından önemli ölçüde daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). Kasyon değişim kapasitesi, temel besin kanyonlarını bitkilerde mevcut bir formda tutmaya yönelik biyoçar kapasitesinin göstergesidir (Venkatesh ve ark., 2022). Bu çalışmada elde edilen kasyon değişim kapasitesi değerleri, Zhao ve ark., (2013) tarafından farklı organik kalıntı biyoçarları üzerinde rapor edilenlerden daha düşüktür. Ancak bu çalışmadan elde edilen kasyon değişim kapasitesi değerleri, Günel ve ark. (2019) tarafından farklı tarımsal materyal biyoçarlarından elde edilen değerlerle (5.8 – 79.5 cmol kg⁻¹) karşılaştırılabilir niteliktedir. Biyoçarların kasyon değişim kapasitesi, hammaddelerin türü ve özelliklerinden önemli ölçüde etkilenmiştir. Hammadde materyallerindeki farklı kanyonların (Ca, Mg ve K) değişken konsantrasyonu, kasyon değişim kapasitesinin değişkenliğine atfedilebilir (Zhao ve ark., 2013).

Fındık biyoçarının değişebilir Ca içeriği diğer biyoçarlardan oldukça yüksektir (Çizelge 2). Graber ve ark. (2017), bu çalışmanın değerlerine kıyasla daha yüksek değiştirilebilir kalsiyum değerleri bildirmişlerdir. Yuan ve Xu (2011), mevcut çalışmadaki değerlerle karşılaştırılabilir aralıkta değiştirilebilir kalsiyum değerleri (12.7 – 96.3 cmol+/kg) sunmuşlardır. Fındık zurufu biyoçarının daha yüksek değiştirilebilir Mg içeriğine (47.5 meq/100g) sahip olduğu, bunu sırasıyla BSB (32.2 meq/100g), ÇAB (30.2 meq/100g) ve ÇKB (4.7 meq/100g)'ının izlediği görülmüştür (Çizelge 2). Bunun aksine Graber ve ark., (2017), çeltik kavuzu biyoçarı için (22.2 meq/100g), 550°C'de piroliz edilen buğday samanı biyoçarına (9.4 meq/100g) göre daha yüksek değişebilir Mg içeriği rapor etmişlerdir. Benzer sonuçlar Yuan ve Xu (2011) tarafından 350-400°C'de pirolize edilen biyoçar için de rapor edilmiştir. Ancak Nguyen ve ark. (2018), 400°C'de piroliz edilen çeltik kavuzu biyoçarında değişebilir Mg değerinin (0.13 cmol/kg) düşük olduğunu bulmuşlardır. Fındık zurufu biyoçarı, sırasıyla BSB, ÇAB ve ÇKB'ına göre daha yüksek değişebilir K içeriği sergilemiştir (Çizelge 2). Değişebilir K içeriklerinin diğer çalışmalarda bildirilenlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Graber ve ark., 2017; Yuan ve Xu, 2011). Biyoçarların değişebilir Na içeriği ise ÇKB > FZB > BSB > ÇAB sıralamasını göstermişlerdir (Çizelge 2). Bu çalışmanın aksine, bazı araştırmacılar 350-400°C'de (Nguyen ve ark., 2018) ve 350°C'de (Yuan ve Xu, 2011) pirolize edilen diğer biyoçarlarla karşılaştırıldığında çeltik kavuzu biyoçarı için değişebilir sodyum içeriğinin düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bu eğilim, sıcaklığın değişebilir kasyon içeriği üzerinde etkili olabileceğini düşündürmektedir. Kasyon değişim kapasitesi ile değişebilir Ca ($P < 0.01$), K ($P < 0.01$), Mg ($P < 0.05$) arasındaki önemli korelasyon katsayıları sonuçların güvenilir olduğunu göstermektedir (Çizelge 4). Biyoçarlardaki değişebilir kasyon içerikleri ve kasyon değişim kapasitesi değerleri arasındaki önemli farklılıklar, tarımsal atık türünün biyoçarların besin içeriğinin düzenlenmesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Zhao ve ark., 2013). Domingues ve ark. (2017), daha ayrıntılı olarak ele alındığında, biyoçarların kasyon değişim kapasitesi, piroliz sıcaklığından ziyade hammadde bileşiminden

daha fazla etkilendiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen katyon değişim kapasitesi ve değişebilir katyon değerlerine dayanarak, toprak verimliliğinin iyileştirilmesi için biyoçar seçiminin piroliz sıcaklığından ziyade tercih edilen tarımsal atık türüne odaklanılmasının önemini göstermektedir.

Azot, Fosfor ve C:N oranı

Biyoçarların azot içerikleri; sırası ile ÇAB (%2,6) FZB (%1,4), BSB (%0,5) ve ÇKB (%0,4) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). Bir başka ifade ile ÇAB'ı en yüksek ÇKB'ı ise en düşük azot içeriklerine sahiptirler. Çay atığı biyoçarı N içeriğindeki yüksek değer, Peiris ve ark., (2019) tarafından bildirilen değerlerle uyumludur. Çeltik kavuzu biyoçarındaki düşük N içeriği (%0,28) ayrıca Choudhary ve ark. (2019) tarafından 350°C'de piroliz edilen biyoçarda da rapor edilmiştir. Jindo ve ark. (2014), ayrıca farklı sıcaklıklarda piroliz edilen ÇKB'ı için düşük N içeriği bildirmiştir. Bu çalışmanın aksine, bazı yazarlar (Berek ve Hue, 2016; Somparn ve ark., 2020; Windeatt ve ark., 2014), indüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometresi yöntemi kullanılarak tespit edilen aynı piroliz sıcaklığında ÇKB'ı ve BSB'ında daha yüksek N değerleri bildirmişlerdir.

Fındık zurufu biyoçarı (157.2 ppm), diğer tarımsal atıklardan elde edilen biyoçarlara kıyasla maksimum fosfor değerleri vermiştir (Çizelge 2). Aynı piroliz sıcaklığında (450°C) FZB'ında yüksek fosfor değeri (277 ppm) diğer çalışmalarda da rapor edilmiştir (Enders ve Lehmann, 2017). Çeltik kavuzu biyoçarı (188.4 ppm) ve BSB (183.3 ppm), FZB'ı (65.5 ppm) ve ÇAB'ı (34.4 ppm) ile karşılaştırıldığında önemli düzeyde yüksek C:N oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Negiş ve ark., (2019), farklı piroliz sıcaklıkları altında buğday materyallerinden elde edilen biyoçarların yüksek C:N oranına sahip olduklarını bildirmişlerdir. Bu çalışmada sunulan değerlerin aksine, bazı çalışmalar ÇKB'ında düşük C:N oranı değerleri bildirmişlerdir (Claoston ve ark., 2014; Hidayat ve ark., 2023; Singh Karam ve ark., 2022). Bununla birlikte, hammaddelere ve piroliz koşullarına bağlı olarak biyoçarın toplam C:N oranı 6,5 ila 640 arasında değişebilmektedir (Bonanomi ve ark., 2017; Phillips ve ark., 2022). C:N oranı, organik bir substratın toprağa uygulandığında inorganik N sağlama yeteneğinin göstergelerinden birisidir (Günel ve ark., 2019). Bu nedenle, organik hammadde türü, bu çalışmada analiz edilen biyoçarların farklı C:N oranlarına sahip olmalarında en önemli faktör olarak değerlendirilebilir.

Çizelge 2. Farklı organik atıklardan elde edilen biyoçarlara ait toplam nitrojen (N), yarayışlı fosfor (P), C:N oranı, katyon değişim kapasitesi (KDK) ve değişebilir katyonlar.

Biyoçar	N (%)	P (ppm)	KDK (meq/100g)	Değişebilir katyonlar (meq/ 100g)				C:N
				Ca	Mg	K	Na	
Çay atığı (ÇAB)	2.6 ^{a*}	22.5 ^b	21.7 ^c	14.9 ^b	30.2 ^b	4.24 ^b	0.16 ^c	17.8 ^b
Buğday samanı (BSB)	0.5 ^c	14.5 ^b	31.8 ^b	12.0 ^b	32.2 ^b	4.65 ^b	0.17 ^c	88.6 ^a
Fındık zurufu (FZB)	1.4 ^b	157.2 ^a	48.1 ^a	45.5 ^a	47.5 ^a	10.80 ^a	0.28 ^b	33.4 ^b
Çeltik kavuzu (ÇKB)	0.4 ^c	30.9 ^b	20.8 ^c	13.3 ^b	4.7 ^c	1.75 ^c	0.37 ^a	83.7 ^a

*Aynı harfle gösterilen ortalama değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark yoktur (Duncan testi, P < 0,05)

Mikro elementler

Biyoçarların demir, bakır manganez ve çinko içeriklerine ilişkin analiz sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Bu analiz sonuçlarının incelenmesinin de anlaşılacağı üzere, önceki çalışmalara benzer şekilde (Choudhary ve ark., 2019), analiz edilen biyoçarların tamamında Cu belirlenmemiştir. Analiz edilen tüm biyoçarlarda Fe konsantrasyonunda istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur (Çizelge 3). Fındık zurufu biyoçarı yüksek konsantrasyonda Fe içermekte olup bunu sırasıyla BSB, ÇKB ve ÇAB'ı izlemektedir. Çay atığı ve çeltik kavuzu biyoçarları, fındık ve buğday samanı biyoçarlarıyla karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha yüksek Mn konsantrasyonuna sahip oldukları belirlenmiştir (Çizelge 3). Analiz edilen tüm biyoçar türleri arasında Zn konsantrasyonu açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (Çizelge 3). Manolikaki ve ark. (2016), 300-500°C piroliz sıcaklığında üretilen ÇKB'ında bu çalışmadaki değerlerle karşılaştırıldığında daha yüksek Mn ve Fe değerleri belirlemişlerdir. Choudhary ve ark. (2019), 350°C'de üretilen çeltik kavuzu biyoçarlarında Fe (471,37 ppm), Zn (105,13 ppm) ve Mn (130,8 ppm) konsantrasyonunun daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Buğday samanı biyoçarının Mn ve Zn değerleri, Zhao ve ark. (2013) tarafından 500°C'de piroliz edilen buğday samanı biyoçarında sırasıyla 8 ppm ve 2 ppm olarak rapor edilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Biyoçarlar arasındaki mikro element değişiminin de organik atığın bileşiminden etkilenebilmektedir (Zhao ve ark., 2013).

Çizelge 3. Farklı organik atıklardan elde edilen biyoçarların mikro element içerikleri.

Biyοçar	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
Çay atığı (ÇAB)	755.2 ^{b*}	0	280.6 ^a	30.1
Buğday samanı (BSB)	482.7 ^c	0	98.9 ^b	30.7
Findık zurufu (FZB)	510.3 ^c	0	80.0 ^b	30.3
Çeltik kavuzu (ÇKB)	1447.1 ^a	0	340.2 ^a	30.6

*Aynı harfle gösterilen ortalama değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark yoktur (Duncan testi, P < 0,05)

Biyοçar özellikleri arasındaki ilişkiler

Bu çalışmada elde edilen dört farklı tür biyoçarın elektriksel iletkenlik değerlerinin katyon değişim kapasitesi, Ca, Mg, K, organik C, P, Fe ve alkalinite değerleriyle önemli pozitif, C:N oranı, kül ve Mn içerikleriyle istatistiksel olarak önemli ölçüde negatif ilişkiler vermiştir (Çizelge 4). Katyon değişim kapasitesi aynı zamanda alkalinitenin yanı sıra değişebilir katyonlar ile de çok önemli pozitif ilişkiler göstermiştir (Çizelge 4). Kül içeriğinin hem EC hem de KDK ile negatif korelasyona sahip olması, kül içeriğinin biyoçarın besin elementi içeriğini ve kullanılabilirliğini etkileyebileceğini göstermektedir. Benzer korelasyon eğilimi Jiang ve ark. (2017) tarafından da rapor edilmiştir. Ancak kül içeriği alkalinite ile çok önemli negatif bir korelasyon göstermiş ve diğer çalışmalarla da uyumludur (Jiang ve ark., 2017; Yuan ve ark., 2011).

Çizelge 4. Farklı biyoçar türlerinin özellikleri arasındaki korelasyonlar

	KDK	EC	Kül	C:N	Ca	Mg	K	C	P	Fe	Mn
EC	0.80**										
Kül	-0.55	-0.59*									
C:N	-0.26	-0.66*	0.65*								
Ca	0.89**	0.94**	-0.44	-0.46*							
Mg	0.74**	0.71**	-0.83**	-0.49	0.60*						
K	0.95**	0.93**	-0.69*	-0.49	0.93**	0.80**					
C	0.55	0.59*	1.00**	-0.65*	0.44	0.83*	0.69*				
P	0.87**	0.93**	-0.36	-0.40	0.99**	0.53	0.91**	0.36			
Fe	0.93**	0.88**	-0.37	-0.30	0.95**	0.60*	0.92**	0.37	0.97**		
Mn	-0.85**	-0.40	0.47	-0.12	-0.53	-0.65*	-0.70*	-0.47	-0.52	-0.66*	
Alkalinity	0.63*	0.78**	-0.89**	-0.75**	0.65*	0.84**	0.78**	0.89**	0.56	0.52	-0.39

**korelasyon 0,01 düzeyinde, *korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

Sonuç

Biyοçarların fizikokimyasal özelliklerinin ortaya konulması, toprak verimliliğini ve bitki büyümesini arttırmak için uygun biyoçarların seçimi açısından önem taşımaktadır. Sonuçlar, farklı tarımsal atıklardan elde edilen biyoçarların fizikokimyasal özelliklerinde de önemli derecede farklılıklar olabileceğini göstermektedir. Findık zurufu biyoçarı, diğer biyoçarlarla karşılaştırıldığında yüksek N, P ve K içeriğine sahip olması nedeniyle toprak verimliliğinin iyileştirilmesinde kullanılabilir en uygun biyoçar olarak gözükmektedir. Yüksek alkalinite değeri onun asitli topraklarda kullanımını daha uygun hale getirmektedir. Buğday samanı biyoçarının daha yüksek su tutma kapasitesi, bunun sınırlı fiziksel özelliklere sahip toprakların iyileştirilmesinde daha uygun bir toprak düzenleyici olabileceğini düşündürmektedir. Diğerlerine kıyasla daha düşük C:N oranı sergileyen çay atığı biyoçarı, toprak düzenleyici olarak kullanıldığında mikrobiyal N mineralizasyonu ve karbon substrat girdisi anlamına gelmektedir. Çeltik kavuzu biyoçarı fizikokimyasal özellikler açısından en düşük olanıdır ancak doğası gereği alkali olması nedeniyle yüksek kül içeriğine sahiptir ve bu da özellikle asidik topraklarda uygulanabilirliğini geçerli kılabilir. Aynı piroliz sıcaklığında üretilen biyoçarlar arasındaki önemli farklılıklar, biyoçarın üretildiği hammadde türünün biyoçarın tarımsal verimliliği üzerinde de önemli bir etkiye sahip olacağını göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma PYO.ZRT.1904.23.015 nolu projeden üretilmiş olup, desteklerinden dolayı Ondokuz Mayıs Üniversitesi BAPKOB'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Agegnehu G, Bass A M, Nelson PN, Bird MI. 2016. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543, 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
- Agegnehu G, Srivastava AK, Bird MI. 2017. The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. In *Applied Soil Ecology* (Vol. 119, pp. 156–170). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.008>
- Alavijeh KM, Yaghmaei S. 2016. Biochemical production of bioenergy from agricultural crops and residue in Iran. *Waste Management*, 52, 375–394. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.025>
- Albuquerque JA, Salazar P, Barrón V, Torrent J, Del Campillo MDC, Gallardo A, Villar R. 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(3), 475–484. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0128-3>
- Ali L, Palamanit A, Techato K, Ullah A, Chowdhury MS, Phoungthong K. 2022. Characteristics of Biochars Derived from the Pyrolysis and Co-Pyrolysis of Rubberwood Sawdust and Sewage Sludge for Further Applications. *Sustainability (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/su14073829>
- Berek AK, Hue NV. 2016. Characterization of biochars and their use as an amendment to acid soils. *Soil Science*, 181(9–10), 412–426.
- Bikbulatova S, Tahmasebi A, Zhang Z, Rish SK, Yu J. 2018. Understanding water retention behavior and mechanism in bio-char. *Fuel Processing Technology*, 169.
- Bonanomi G, Ippolito F, Cesarano G, Nanni B, Lombardi N, Rita A, Saracino A, Scala F. 2017. Biochar as plant growth promoter: Better off alone or mixed with organic amendments? *Frontiers in Plant Science*, 8.
- Candemir F, Gülser C. 2007. Changes in some chemical and physical properties of a sandy clay loam soil during the decomposition of hazelnut husk. *Asian J. Chem.*, 19 (3):2452-2460.
- Candemir F, Gülser C. 2011. Effects of different agricultural wastes on some soil quality indexes at clay and loamy sand fields. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 42 (1):13-28.
- Cheng J, Hu SC, Sun GT, Geng ZC, Zhu MQ. 2021. The effect of pyrolysis temperature on the characteristics of biochar, pyrolytic acids, and gas prepared from cotton stalk through a polygeneration process. *Industrial Crops and Products*, 170.
- Choudhary TK, Khan KS, Hussain Q, Ahmad M, Ashfaq M. 2019. Feedstock-induced changes in composition and stability of biochar derived from different agricultural wastes. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(20).
- Claoston N, Samsuri AW, Ahmad Husni MH, Mohd Amran MS. 2014. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. *Waste Management and Research*, 32(4), 331–339.
- Cornelissen G, Jubaedah Nurida NL, Hale SE, Martinsen V, Silvani L, Mulder J. (2018). Fading positive effect of biochar on crop yield and soil acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol. *Science of the Total Environment*, 634, 561–568.
- De Corato U. 2020. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. In *Science of the Total Environment* (Vol. 738). Elsevier B.V.
- 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. 2008. Changes in OC, NO₃-N, EC values and soil respiration along a soil depth due to surface application of organic wastes. *Asian J. Chem.*, 20(3):2011-2021.
- 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. 2023. Asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının kaba bünyeli bir toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içeriğine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 11(1), pp.47-53.
- Domingues RR, Trugilho PF, Silva CA, De Melo ICNA, Melo LCA, Magriotis ZM, Sánchez-Monedero MA. 2017. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. *PLoS ONE*, 12(5).
- Enders A, Lehmann J. 2017. Proximate analyses for characterising biochars. In *Biochar : a guide to analytical methods* (pp. 9–27).
- Enders A, Hanley K, Whitman T, Joseph S, Lehmann J. 2012. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource Technology*, 114, 644–653.
- Frank K, Beegle D, Denning J. 1998. Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region.

- Glab T, Palmowska J, Zaleski T, Gondek K, 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*, 281, pp.11-20.
- Glazunova DM, Kuryntseva PA, Selivanovskaya SY, Galitskaya PY. 2018. Assessing the Potential of Using Biochar as a Soil Conditioner. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 107(1).
- Graber ER, Singh B, Hanley K, Lehmann J. 2017. Determination of cation exchange capacity in biochar. In B. Singh, M. Camps-Arbestain, & J. Lehmann (Eds.), *Biochar; A Guide To Analytical Methods*. CRC PRESS.
- Gülser C, Kızılkaya R, Aşkın T, Ekberli İ. 2015. Changes in Soil Quality by Compost and Hazelnut Husk Applications in a Hazelnut Orchard. *Compost Science and Utilization*, 23:3, 135-141.
- Gülser C. 2006. Effect of forage cropping treatments on soil structure and relationships with fractal dimensions. *Geoderma*, 131(1-2), pp.33-44.
- Gülser C, Ekberli İ, Gülser F. 2021. Effects of deforestation on soil properties and organic carbon stock of a hillslope position land in Black Sea Region of Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science*, 10 (4) , 278-284.
- Gülser C. 2021. Soil Structure and Moisture Constants Changed by Tobacco Waste Application in a Clay Textured Field. *Toprak Su Dergisi*, 10(2), pp.88-93.
- Gülser C., 2022. Effects of agricultural wastes on some physical properties of clay loam soil. *Agricultural Sciences/Agrarni Nauki*, 14(33).
- Gülser C, Candemir F. 2012. Changes in Penetration Resistance of a Clay Field with Organic Waste Applications. *Eurasian Journal of Soil Science*, 1(1):16-21.
- Gülser C, Demir Z, İç S. 2010. Changes in some soil properties at different incubation periods after tobacco waste application. *Journal of Environmental Biology*, 31:671-674.
- Günel H, Bayram Ö, Günel E, Erdem H. 2019. Characterization of soil amendment potential of 18 different biochar types produced by slow pyrolysis. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8(4), 329–339. <https://doi.org/10.18393/ejss.599760>
- Hidayat Rahmat A, Nissa RC, Sukanto Nuraini L, Nurtanto M, Ramadhani WS. 2023. Analysis of rice husk biochar characteristics under different pyrolysis temperature. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201(1).
- Hossain MZ, Bahar MM, Sarkar B, Donne SW, Ok YS, Palansooriya KN, Kirkham MB, Chowdhury S, Bolan N. 2020. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. In *Biochar* (Vol. 2, Issue 4, pp. 379–420). Springer Science and Business Media B.V.
- Ippolito JA, Cui L, Kammann C, Wrage-Mönnig, N, Estavillo JM, Fuertes-Mendizabal T, Cayuela ML, Sigua G, Novak J, Spokas K, Borchard N. 2020. Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: a comprehensive meta-data analysis review. In *Biochar* (Vol. 2, Issue 4, pp. 421–438). Springer Science and Business Media B.V.
- IBI. 2015. State of the Biochar Industry 2014 A Survey of Commercial Activity in the Biochar Sector A report by the International Biochar Initiative (IBI) Copyright and Disclaimer.
- İç S, Gülser C. 2008. Tütün Atığının Farklı Bünyeli Toprakların Bazı Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi. *OMÜ Ziraat Fak. Dergisi*, 23(2), 104-109.
- Jahan S, Iqbal S, Rasul F, Jabeen K. 2019. Structural characterization of soil biochar amendments and their comparative performance under moisture deficit regimes. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(6).
- Jiang S, Nguyen TAH, Rudolph V, Yang H, Zhang D, Ok YS, Huang L. 2017. Characterization of hard- and softwood biochars pyrolyzed at high temperature. *Environmental Geochemistry and Health*, 39(2), 403–415.
- Jin Z, Chen C, Chen X, Hopkins I, Zhang X, Han Z, Jiang F, Billy G. 2019. The crucial factors of soil fertility and rapeseed yield - A five year field trial with biochar addition in upland red soil, China. *Science of the Total Environment*, 649, 1467–1480.
- Jindo K, Mizumoto H, Sawada Y, Sanchez-Monedero MA, Sonoki T. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, 11(23), 6613–6621.
- Lataf A, Jozefczak M, Vandecasteele B, Viaene J, Schreurs S, Carleer R, Yperman J, Marchal W, Cuypers A, Vandamme D. 2022. The effect of pyrolysis temperature and feedstock on biochar agronomic properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 168.
- Lee J, Yang X, Cho SH, Kim JK, Lee SS, Tsang DCW, Ok YS, Kwon EE. 2017. Pyrolysis process of agricultural waste using CO₂ for waste management, energy recovery, and biochar fabrication. *Applied Energy*, 185, 214–222.
- Lehman J, Joseph S. 2009. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In J. Lehman & S. Joseph (Eds.), *Biochar for Environmental Management* (Vol. 1). Earthscan .
- Lehmann J. 2007. Biochar bio-energy. *Front Ecol Environ*, 5(7), 381–387.
- Liang J, Li Y, Si B, Wang Y, Chen X, Wang X, Chen H, Wang H, Zhang F, Bai Y, Biswas A. 2021. Optimizing biochar application to improve soil physical and hydraulic properties in saline-alkali soils. *Science of the Total Environment*, 771.
- Maharlouei ZD, Fekri M, Saljooqi A, Mahmoodabadi M, Hejazi M. 2021. Effect of modified biochar on the availability of some heavy metals speciation and investigation of contaminated calcareous soil. *Environmental Earth Sciences*, 80(3).
- Manolikaki II, Mangolis A, Diamadopoulos E. 2016. The impact of biochars prepared from agricultural residues on phosphorus release and availability in two fertile soils. *Journal of Environmental Management*, 181, 536–543.

- Munera-Echeverri, JL, Martinsen V, Strand LT, Zivanovic V, Cornelissen G, Mulder J. 2018. Cation exchange capacity of biochar: An urgent method modification. *Science of the Total Environment*, 642.
- Negiş H, Gümüş İ, Şeker C. 2019. The properties of biochars derived from different plant residue and different pyrolysis temperatures. *Akademik Ziraat Dergisi*.
- Nguyen BT, Trinh NN, Le CMT, Nguyen TT, Tran T, Van Thai BV, Le T Van. 2018. The interactive effects of biochar and cow manure on rice growth and selected properties of salt-affected soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(12), 1744–1758.
- Obia A, Mulder J, Martinsen V, Cornelissen G, Børresen T. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 35–44.
- Peiris C, Nayanathara O, Navarathna CM, Jayawardhana Y, Nawalage S, Burk G, Karunanayake AG, Madduri SB, Vithanage M, Kaumal MN, Mlsna TE, Hassan EB, Abeysundara S, Ferez F, Gunatilake SR. 2019. The influence of three acid modifications on the physicochemical characteristics of tea-waste biochar pyrolyzed at different temperatures: A comparative study. *RSC Advances*, 9(31), 17612–17622.
- Peksen A, Yakupoglu G, Yakupoglu T, Gülser C, Öztürk E, Özdemir N. 2011. Changes in chemical compositions of substrates before and after *Ganoderma lucidum* cultivation. *World J Microbiol Biotechnol* 27, 637–642.
- Phillips CL, Meyer KM, Garcia-Jaramillo M, Weidman CS, Stewart CE, Wanzek T, Grusak MA, Watts DW, Novak J, Trippe KM. 2022. Towards predicting biochar impacts on plant-available soil nitrogen content. *Biochar*, 4(1).
- Reza MS, Afroze S, Bakar MSA, Saidur R, Aslfattahi N, Taweekun J, Azad AK. 2020. Biochar characterization of invasive *Pennisetum purpureum* grass: effect of pyrolysis temperature. *Biochar*, 2(2), 239–251.
- Roshan A, Ghosh D, Maiti SK. 2023. How temperature affects biochar properties for application in coal mine spoils? A meta-analysis. In *Carbon Research* (Vol. 2, Issue 1). Springer.
- Safaei Khorram M, Zhang G, Fatemi A, Kiefer R, Mahmood A, Jafarnia S, Zakaria MP, Li G. 2020. Effect of walnut shell biochars on soil quality, crop yields, and weed dynamics in a 4-year field experiment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 18510–18520.
- Saffari N, Hajabbasi MA, Shirani H, Mosaddeghi MR, Owens G. 2021. Influence of corn residue biochar on water retention and penetration resistance in a calcareous sandy loam soil. *Geoderma*, 383.
- Singh Karam D, Nagabovanalli P, Sundara Rajoo K, Fauziah Ishak C, Abdu A, Rosli Z, Melissa Muharam F, Zulperi D. 2022. An overview on the preparation of rice husk biochar, factors affecting its properties, and its agriculture application. In *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (Vol. 21, Issue 3, pp. 149–159). King Saud University.
- Singh B, Camps-Arbestain M, Lehmann J, CSIRO (Australia). 2017a. *Biochar : a guide to analytical methods*. CRC PRESS Taylor & Francis group .
- Singh B, Dolk MM, Shen Q, Camps-Arbestain M. 2017b. Biochar pH, electrical conductivity and liming potential (B. Singh, M. Camps-Arbestain, & J. Lehmann, Eds.; pp. 23–38). CRC PRESS.
- Somparn W, Panyoyai N, Khamdaeng T, Tippayawong N, Tantikul S, Wongsiriamnuay T. 2020. Effect of process conditions on properties of biochar from agricultural residues. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 463(1).
- Sun F, Lu S. 2014. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 26–33.
- Tanure MMC, da Costa LM, Huiz HA, Fernandes RBA, Cecon PR, Junior JDP, da Luz JMR. 2019. Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*, 192, pp.164-173.
- Tomczyk A, Sokołowska Z, Boguta P. 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* (Vol. 19, Issue 1, pp. 191–215). Springer.
- USDA-NRCS. 2017. *National Soil Survey Handbook*. <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/national-soil-survey-handbook>
- Venkatesh G, Gopinath KA, Reddy KS, Reddy BS, Prabhakar M, Srinivasarao C, Kumari VV, Singh VK. 2022. Characterization of Biochar Derived from Crop Residues for Soil Amendment, Carbon Sequestration and Energy Use. *Sustainability* (Switzerland), 14(4).
- Wang N, Li JY, Xu RK. 2009. Use of agricultural by-products to study the pH effects in an acid tea garden soil. *Soil Use and Management*, 25(2), 128–132.
- Whitney DA. 1998. *Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region*. <https://p2infohouse.org/ref/17/16690.pdf#page=33>
- Windeatt JH, Ross AB, Williams PT, Forster PM, Nahil MA, Singh S. 2014. Characteristics of biochars from crop residues: Potential for carbon sequestration and soil amendment. *Journal of Environmental Management*, 146, 189–197.
- Xiao L, Yuan G, Feng L, Bi D, Wei J. 2020. Soil properties and the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.) in response to reed (*Phragmites communis*) biochar use in a salt-affected soil in the Yellow River Delta. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 303.
- Yaashikaa PR, Kumar PS, Varjani S, Saravanan A. 2020. A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. In *Biotechnology Reports* (Vol. 28).
- 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(1), 110–115.

- Yuan JH, Xu RK, Zhang H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource Technology*, 102(3), 3488–3497.
- Zhang G, Guo X, Zhu Y, Han Z, He Q, Zhang F. 2017. Effect of biochar on the presence of nutrients and ryegrass growth in the soil from an abandoned indigenous coking site: The potential role of biochar in the revegetation of contaminated site. *Science of the Total Environment*, 601–602, 469–477.
- Zhang H, Chen C, Gray EM, Boyd SE. 2017. Effect of feedstock and pyrolysis temperature on properties of biochar governing end use efficacy. *Biomass and Bioenergy*, 105.
- Zhang J, You C. 2013. Water holding capacity and absorption properties of wood chars. *Energy and Fuels*, 27(5).
- Zhang Y, Idowu OJ, Brewer CE. 2016. Using agricultural residue biochar to improve soil quality of desert soils. *Agriculture (Switzerland)*, 6(1).
- Zhao L, Cao X, Mašek O, Zimmerman A. 2013. Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures. *Journal of Hazardous Materials*, 256–257, 1–9.