

Biyokömür Uygulamalarının Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Buğdayın (*Triticum aestivum* L.) Çimlenme ve Biyomas Üzerine Etkisinin Belirlenmesi*


Determination of the Effect of Biochar Applications on Soil Physical and Chemical Properties and Wheat (*Triticum aestivum* L.) Germination and Biomass


Bilgehan ŞENAY¹, Mahmut TEPECİK^{2*}

Özet

Bu çalışma, biyokömür uygulamalarının Kayra ekmeçlik buğday çeşidi yetiştirilen toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla, saksı denemesi şeklinde tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü ve beş farklı dozda 0 (B0), 10 (B1), 20 (B2), 40 (B3) ve 80 (B4) t ha⁻¹ biyokömür uygulanmıştır. Biyokömür uygulamalarına göre toprakta en yüksek pH, EC, kireç, organik madde, toplam N, alınabilir P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn, Cu ve B değerleri sırasıyla 7.66, 2.26 mS cm⁻¹, % 3.55, %2.81, %0.201, 48.89 mg kg⁻¹, 1172.89 mg kg⁻¹, 2268,88 mg kg⁻¹, 186.92 mg kg⁻¹, (101.43 mg kg⁻¹, 2.34 mg kg⁻¹, 2.40 mg kg⁻¹, 7.33 mg kg⁻¹, 1.79 mg kg⁻¹ ve 1.08 mg kg⁻¹ ile en yüksek değerleri B4 (80 t ha⁻¹) uygulamasında belirlenmiştir. Biyokömür uygulamalarına göre toprakta en düşük değerler pH, EC, kireç, organik madde, toplam N, alınabilir P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn, Cu ve B değerleri ise 7.45, 0.87 mS cm⁻¹, % 2.28, % 1.28, % 0.078, 14.92 mg kg⁻¹, 344.84 mg kg⁻¹, 2171,68 mg kg⁻¹, 129.01 mg kg⁻¹, 47.09 mg kg⁻¹, 1.25 mg kg⁻¹, 1.82 mg kg⁻¹, 4.52 mg kg⁻¹, 1.61 mg kg⁻¹ ve 0.71 mg kg⁻¹ B0 (kontrol) uygulamasında saptanmıştır. Buğday tohumlarında en yüksek çimlenme oranı %95.41 ile B2 ve en düşük çimlenme oranı ise %90.12 ile B0 uygulamalarında saptanmıştır. Biyokömür uygulamalarının bitkinin yaş ve kuru ağırlığı üzerine etkisi sırasıyla B2 uygulamasında en yüksek (11.42 ve 2.21 gr saksı⁻¹) değerleri ve B0 uygulamasında sırasıyla (10.01 ve 1.93 gr saksı⁻¹) en küçük değerleri aldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, Buğday, Çimlenme, Bitki besin elementi, Toprak verimliliği

¹Bilgehan Şenay, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, İzmir, Türkiye. E-mail: nba.bilgehan@gmail.com  OrcID: [0000-0001-7862-257X](https://orcid.org/0000-0001-7862-257X)

^{2*}Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mahmut Tepecik, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, İzmir, Türkiye. E-mail: mahmut.tepecik@ege.edu.tr  OrcID: [0000-0001-6609-4538](https://orcid.org/0000-0001-6609-4538)

Atıf: Şenay, B., Tepecik, M. (2024). Biyokömür uygulamalarının toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile buğdayın (*Triticum aestivum* L.) çimlenme ve biyomas üzerine etkisinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2): 297-308.

Citation: Şenay B, Tepecik M. (20XX). Determination of the effect of biochar applications on soil physical and chemical properties and wheat (*Triticum aestivum* L.) germination and biomass. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 21(2): 297-308.

*Bu çalışma Bilgehan Şenay'ın Yüksek Lisans tezinden özetlenmiştir.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayımlanmıştır. Tekirdağ 2024

Abstract

In this study, in order to determine the effects of biochar applications on the physical and chemical properties of soils grown in Kayra bread wheat variety, this study was carried out in the form of a pot experiment in a randomized plot design with three replications and at five different doses 0 (B0), 10 (B1), 20 (B2), 40 (B3) and 80 (B4) t ha⁻¹ biochar were applied. According to biochar applications, the highest pH, EC, lime, organic matter, total N, available P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn, Cu and B values in the soil are 7.66, 2.26 mS cm⁻¹, 3.55%, 2.81%, 0.201%, 48.89 mg kg⁻¹, 1172.89 mg kg⁻¹, 2268.88 mg kg⁻¹, 186.92 mg kg⁻¹, 101.43 mg kg⁻¹, 2.34 mg kg⁻¹, 2.40 mg kg⁻¹, 7.33 mg kg⁻¹, 1.79 mg kg⁻¹ and 1.08 mg kg⁻¹ respectively the highest values were determined in B4 (80 t ha⁻¹) application. The lowest values in soil according to biochar applications were pH, EC, lime, organic matter, total N, the available P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn, Cu and B values are 7.45, 0.87 mS cm⁻¹, 2.28%, 1.28%, 0.078%, 14.92 mg kg⁻¹, 344.84 mg kg⁻¹, 2171.68 mg kg⁻¹, 129.01 mg kg⁻¹, 47.09 mg kg⁻¹, 1.25 mg kg⁻¹, 1.82 mg kg⁻¹, 4.52 mg kg⁻¹, 1.61 mg kg⁻¹ and 0.71 mg kg⁻¹ detected in B0 (control) application. The highest germination rate in wheat seeds was found in B2 with 95.41% and the lowest germination rate was found in B0 applications with 90.12%. It was determined that the effects of biochar applications on the fresh and dry weight of the plant were the highest in B2 application (11.42 and 2.21 gr pot⁻¹) and the lowest values in B0 application (10.01 and 1.93 gr pot⁻¹), respectively. It was detected in 09 mg kg⁻¹, 1.25 mg kg⁻¹, 1.82 mg kg⁻¹, 4.52 mg kg⁻¹, 1.61 mg kg⁻¹ and 0.71 mg kg⁻¹ B0 (control) application. The highest germination rate in wheat seeds was found in B2 with 95.41% and the lowest germination rate was found in B0 applications with 90.12%. It was determined that the effects of biochar applications on the fresh and dry weight of the plant were the highest in B2 application (11.42 and 2.21 gr pot⁻¹) and the lowest values in B0 application (10.01 and 1.93 gr pot⁻¹), respectively. It was detected in 09 mg kg⁻¹, 1.25 mg kg⁻¹, 1.82 mg kg⁻¹, 4.52 mg kg⁻¹, 1.61 mg kg⁻¹ and 0.71 mg kg⁻¹ B0 (control) application. The highest germination rate in wheat seeds was found in B2 with 95.41% and the lowest germination rate was found in B0 applications with 90.12%. It was determined that the effects of biochar applications on the fresh and dry weight of the plant were the highest in B2 application (11.42 and 2.21 gr pot⁻¹) and the lowest values in B0 application (10.01 and 1.93 gr pot⁻¹), respectively.

Keywords: Biochar, Wheat, Germination, Plant nutrient, Soil fertility

1. Giriş

Biyokömür, sınırlı oksijenle veya anaerobik koşullar altında yüksek sıcaklıkta biyokütlenin pirolizi ile elde edilen aromatik ve karbonca zengin bir madde olarak tarif edilmektedir (Woolf ve ark., 2010). Biyokömürün uzun bir süre boyunca karbon tutma potansiyeli nedeniyle siyah karbon veya kömür olarak da adlandırılmaktadır (Lehmann ve ark., 2006). Son yıllarda dünyada organik atıkların geri kazanımına verilen önem hızla artmış ve biyokütlenin dönüşümüne yönelik çok sayıda teknik geliştirilmiştir. Tarımsal atıklar, ormancılık atıkları ve arıtma çamuru gibi pek çok materyal biyokömür üretiminde kullanılabilir (Namlı ve ark., 2017; Banik ve ark., 2018; Xu ve ark., 2019). Biyokömür gözenekli yapısı, geniş spesifik yüzey alanı, güçlü adsorpsiyon kapasitesi ve zengin karbon içeriği gibi özelliklere sahip olduğundan, mükemmel bir toprak iyileştirme malzemesi olarak kullanılmaktadır (Butnan ve ark., 2017; El-Naggar ve ark., 2018). Tarımsal verimlilik potansiyelindeki değişiklikler, artan insan nüfusu, kentleşme ve iklim değişikliği gibi sorunlar tarımsal üretim sistemleri üzerinde artan baskılar oluşturmaktadır. Bu nedenle, besin arzı, talep, geri dönüşüm ve su kullanımını dâhil olmak üzere tarımsal üretimi etkileyen çok çeşitli sorunları için agro ekosistemlerin tasarımı ve işlevinin yeniden ele alınması gerekliliği belirtilmiştir (Lal, 2013). Potansiyel bir çözüm olarak toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde iyileştirmeler sağlayan, toprak organik madde düzeyini arttıran veya sürdürmeye yardımcı olan organik besin maddelerini toprağa geri dönüştürmek olabilir (Girmay ve ark., 2008). Biyokömür, toprak özelliklerini iyileştirmek için potansiyel bir araçtır. Toprak verimliliğini artırması, topraklardaki ağır metaller ve kirleticileri hareketsiz hale getirmesi gibi özellikleri nedeniyle toprak düzenleyici olarak kullanıldığı belirtilmektedir (Zhu ve ark., 2017; Huang ve ark., 2018). Tarımsal atıklar, hayvansal atıklar, evsel atıklar ve endüstriyel atıklar dahil olmak üzere farklı materyaller organik madde kaynakları olarak kullanılmaktadır (Ali ve ark., 2011; Quilty ve Cattle, 2011). Biyokömür, organik ve endüstriyel atıklar (örneğin çamurlar, gübre), bitki bazlı malzemeler (örneğin yapraklar, kabuklar, tohumlar, koçanlar) ve ağaç bazlı ürünler (örneğin talaş, odun peletleri, ağaç kabuğu). Biyokömür ayrıca farklı pirolitik sıcaklık ve piroliz sürelerinde üretilebilir (Mukherjee ve Zimmerman, 2013). Tarım topraklarımızın organik madde içerikleri göz önüne alındığında yaklaşık %89 kadarının az (%1-2) sınıfta yer aldığı biyokömür uygulamalarının organik madde üzerine etkileri bakımından önem taşıdığı bildirilmiştir (Gezgin, 2018). Bu amaçla biyokömürün tarımda kullanımıyla ilgili araştırmalar, toprak verimliliğini ve mahsul verimliliğini iyileştirdiği için sürdürülebilir tarım için faydalı eylemleri nedeniyle son yirmi yılda önemli ölçüde ilerlemiştir. Hem endüstriyel düzeyde hem de tarım işletmeleri düzeyinde yürütülen tarımsal işlemler sonucu ortaya çıkan bitkisel ve hayvansal atıklar büyük bir çevresel yük haline gelebilmekte; ayrıca bu gibi atıklar, yer altı ve yer üstü suların kirlenmesine sebep olabilmektedir (Matteson ve Jenkins, 2007). Bu atıkların piroliz yoluyla değerlendirilmesi ile biyo enerji elde edilebileceği (Bridgwater, 2003) gibi, özellikle hayvan çiftlikleri için önemli bir avantaj sağlaması adına hacimlerinde ve ağırlıklarında da önemli düşüşler sağlanabilmektedir (Cantrell ve ark., 2007). Biyokömürün atık yönetimini kolaylaştırarak etkin bir atık yönetimi sağlaması, zengin karbon içeriği ile sera gazı emisyonları ve iklim değişikliği üzerine olumlu etkileri ile biyokömür uygulamaları avantajlar sağlamaktadır (Lehmann ve ark., 2003; Van Zwieten ve ark., 2014). Bununla birlikte, uygulanacak organik materyalin seçimi önemlidir. Çünkü bazı organik madde kaynakları materyalin kalitesine bağlı olarak toprak üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir (Jones ve Healey, 2010).

Bu çalışma, domates bitkisinin hasat sonrasındaki atıklarından 500°C'lik sıcaklıkta elde edilen biyokömürün buğday bitkisine farklı dozlarda uygulanarak, toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri (pH, EC, kireç, O, madde, N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn, Cu ve B), tohum çimlenme oranı ve bitki biyoması üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Saksıda yürütülen bu çalışmanın toprağı Menemen ovasından alınarak havada kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten eleme sonrası analizlerde kullanılmıştır. Deneme toprağının analiz parametreleri *Tablo 1*'de izlenmektedir.

Denemede kullanılan biyokömür; domates bitkisinin hasat sonrasında kalan bitki materyallerinden 500°C'lik sıcaklıkta elde edilmiş ve denemede kullanılmıştır. Denemede kullanılan biyokömürün analiz sonuçları *Tablo 2*'de sunulmuştur.

Tablo 1. Saksı denemesi toprak analiz sonuçları

Table 1. Pot experiment soil analysis results

Parametre	Değer	Parametre	Değer
pH (1:2.5)	7.75	Alınabilir K (mg kg ⁻¹)	178.56
E.C (dS m ⁻¹)	0.36	Alınabilir Ca (mg kg ⁻¹)	2292.74
Kireç (%)	3.12	Alınabilir Mg (mg kg ⁻¹)	115.08
Kum (%)	52.16	Alınabilir Na (mg kg ⁻¹)	24.17
Mil (%)	36.72	Alınabilir Fe (mg kg ⁻¹)	2.14
Kil (%)	11.12	Alınabilir Zn (mg kg ⁻¹)	1.03
Bünye	Tın	Alınabilir Mn (mg kg ⁻¹)	3.98
Organik madde (%)	1.12	Alınabilir Cu (mg kg ⁻¹)	0.84
Toplam N (%)	0.067	Alınabilir B (mg kg ⁻¹)	0.51
Alınabilir P (mg kg ⁻¹)	6.21		

Tablo 2. Biyokömür analiz parametre sonuçları

Table 2. Biochar analysis parameter results

Parametre	Değer	Parametre	Değer
pH (1:10)	9.90	Toplam Ca (%)	5.45
E.C (dS m ⁻¹)	13.79	Toplam Mg (%)	1.38
O. Madde (%)	68.22	Toplam Na (mg kg ⁻¹)	1895.20
C/N	18.14	Toplam Fe (mg kg ⁻¹)	3328.04
O.C (%)	38.46	Toplam Zn (mg kg ⁻¹)	84.98
Toplam N (%)	2.12	Toplam Mn (mg kg ⁻¹)	173.02
Toplam P (%)	0.27	Toplam Cu (mg kg ⁻¹)	63.01
Toplam K (%)	3.46	Toplam B (mg kg ⁻¹)	45.38

Saksı denemesi şeklinde yürütülen çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Biyokömür uygulama dozları kontrol (B0), 10 t ha⁻¹ (B1), 20 t ha⁻¹ (B2), 40 t ha⁻¹ (B3) ve 80 t ha⁻¹ (B4) uygulamaları yapılarak, Kayra ekmeçlik buğday çeşidi yetiştirilmiştir. Biyokömür uygulama dozları bu konuda yapılan çalışmalar (Turhan ve Özmen, 2021) dikkate alınarak belirlenmiştir. Saksı denemesi 2 Nisan 2021 tarihinde 5 kg toprak içeren saksılarda kurularak yürütülmüştür. Denemedeki tüm saksılara tohum ekimi ile beraber 15 kg da⁻¹ N, 10 kg da⁻¹ P₂O₅ ve 10 kg da⁻¹ K₂O uygulamaları sırasıyla azot Amonyum sülfat, fosfor Diamonyum fosfat (DAP) ve potasyum ise potasyum sülfat (K₂SO₄) olarak ilave edilmiştir. Ekimle beraber azotun 1/3'ü, fosfor ve potasyumun tamamı uygulanmıştır. Saksılara materyal karışımı konduktan sonra her bir saksıya 20 adet buğday tohumu ekimi yapılmıştır. Kardeşlenme döneminde azotun geriye kalan 1/3'ü Üre (%46 N) ve kalan 1/3'ü ise sapa kalkma döneminde Amonyum nitrat (%33 N) gübresi ile uygulanmıştır. Deneme süresince sulama suyu miktarı; toprağın tarla kapasitesinden azalan su miktarının belirlenmesi ile çeşme suyu ile saksılara ilave edilmiş ve saksıların altına yer almış olan plastik saksı altlığına sızan su, saksılara tekrar ilave edilmiştir. Tohum çıkışları 9 Nisan'da başlamıştır. Tohum çıkışlarından sonra saksılarda 10 adet tohum bırakılmıştır, 82 günlük yetiştiricilik döneminin ardından 30 Haziran 2021 tarihinde sonlandırılmıştır. Her bir saksıyı temsil eden toprak örnekleri toprak yüzeyinden aşağıya doğru dikey kesitler halinde alınmıştır. Daha sonra, numuneler kurutulup analizler için 2 mm elekten elenmiştir. Toprak Reaksiyonu (pH): saf su (1:2.5 toprak: su) ile doymuş şekilde getirilen örneklerde saptanmıştır (Jackson, 1967). Elektriksel geçirgenlik (EC) suda saf su ile doymuş şekilde getirilen toprak örneklerinde belirlenmiştir (Soil Survey Staff, 1951). Kireç (CaCO₃): Kireç tayini Scheibler kalsimetresi ile hesaplanmıştır (Schlichting ve Blume, 1966). Organik Madde: Modifiye Walkler-Black yöntemine göre belirlenmiştir (Jackson, 1967). Toplam Azot (N): Kjeldahl yöntemi Bremner, (1965)'e göre belirlenmiştir. Alınabilir Fosfor: Olsen Metoduna göre toprak örnekleri pH'sı 8.5'e ayarlı 0.5 M Sodyum bikarbonat çözeltisi ile ekstrakte edilerek spektrofotometrede okunarak belirlenmiştir (Olsen ve Dean, 1965). Alınabilir K, Mg, Ca ve Na: Toprakların alınabilir K, Mg, Ca ve Na elementleri 1N NH₄OAc ile edilen süzüklerde K, Ca, Na elementleri alev fotometrede, Mg ise Atomik absorpsiyon spektrofotometresinde ölçülmüştür (Pratt ve Holowaychuk, 1954). Alınabilir Fe, Cu, Zn ve Mnelementleri toprak örneklerinin pH'sı 7.3'e ayarlı 0.005M DTPA çözeltisi ile çalkalanıp süzülmesi sonucu Atomik absorpsiyon spektrofotometresinde ölçülmüştür (Lindsay ve Norvell, 1978). Bor, sıcak su ile ekstrakte edilmiş örneklerde spektrofotometrede azomethin-H yöntemi ile belirlenmiştir (Wolf, 1971).

2.1 İstatistik Analiz

Tesadüf parselleri deneme desenine göre tek faktörlü ve 3 tekrarlı olarak elde edilen verilere, JMP (sürüm 5.0) istatistik programı uygulanmıştır ve ortalamalar arasındaki farklılıkları belirlemek için %5 önem düzeyinde Tukey testi kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1 Biyokömür uygulamasının toprağın fiziksel özelliklerine etkisi

Farklı dozda biyokömür uygulamalarının toprak özellikleri üzerine etkisi *Tablo 3'* de sunulmuştur. Biyokömür materyalleri arasında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılık bulunmaktadır. Toprak pH değeri 7.45-7.66 değerleri arasında değişim göstermiş en yüksek pH değeri 7.66 ile B4 uygulamasında ve en küçük değer 7.45 ile B0 uygulamasında belirlenmiştir. Toprak pH'sındaki artışın nedeni çalışmada uygulanan biyokömürün yüksek pH (9.90) değerine sahip olması ile açıklanabilir. Chan ve ark. (2008), biyokömür uygulamasının toprak pH'ını 5.0'dan 6.6'ya yükselttiğini rapor etmektedir. Biyokömür dozuna bağlı olarak toprak pH değerinin artış gösterdiği izlenmektedir. Biyokömür uygulamalarının toprağın pH'sında artışa neden olduğu birçok araştırmacı tarafından (Saygan ve Aydemir, 2016; Namlı ve ark., 2017; Majeed ve ark., 2018; Turan, 2019) bildirilmiştir. Biyokömür ilavesinden sonra toprak pH'sındaki artış, biyokömürün karbonat ve oksit formları olarak kalsiyum, magnezyum ve potasyum tuzları içermesi ve bunların da toprak çözeltisinde çözünme kabiliyetine sahip olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Gaskin ve ark., 2010; Joseph ve ark., 2010). Biyokömürün toprak pH'sı üzerindeki etkileri, piroliz işlemi sırasında meydana gelen kül ile ilgili olduğu belirtilmiştir (Silva ve ark., 2017). Kül, potasyum karbonat (KHCO_3) ve kalsiyum karbonat (CaCO_3) gibi toprak asitliğini düzeltici olarak işlev gören ve değişebilir baz içeriği bakımından zengindir (Domingues ve ark., 2017). Biyokömürde çeşitli fonksiyonel grupların (esas olarak oksijen içeren gruplar, örneğin karboksil-COOH ve hidroksil-OH) yer alması ve bu fonksiyonel grupların davranışı, çözelti pH'sını değiştirdiği belirtilmiştir (Oh ve ark., 2012; Tan ve ark., 2015). Biyokömürün bazik özellik gösterdiğini ve uygulandığında toprak pH'sını arttırdığını belirtmektedir (Qadeer ve ark., 2014). Toprak pH değerinin biyokömür uygulamaları ile artış (yükselmesi) göstermesi toprağın yüksek tamponlama kapasitesinden ve biyokömürün alkalik pH'sından kaynaklanmaktadır (Silva ve ark., 2010). Biyokömürler genellikle alkalidir ve bu nedenle uygulamadan sonra toprak pH'sında değişiklikler meydana getirdiği ifade edilmiştir (Joseph ve ark., 2010; Akay, 2022). Biyokömür uygulamalarının toprağın Elektriksel kondüktivite (EC) (mS cm^{-1}) değeri üzerine önemli etkisi olmuştur. Biyokömür uygulamalarına bağlı olarak artış göstermiş 2.26 ile en yüksek değeri B4 uygulamasında, 0.87 ile en küçük değeri B0 uygulamasında belirlenmiştir. Toprağın EC değeri B4 (2.26 ± 0.19) > B3 (1.85 ± 0.18) > B2 (1.63 ± 0.12) > B1 (1.50 ± 0.33) > B0 (0.87 ± 0.11) şeklinde sıralanmıştır. Biyokömür uygulama dozuna bağlı olarak toprağın EC değeri pozitif yönde artış eğilimi göstermiştir. Toprakta artan dozda biyokömür uygulamalarının, toprağın EC değerlerinde önemli düzeyde artış gösterdiği tınlı kum ve kumlu killi tın bünyesine sahip topraklarda en yüksek EC değerinin 40 t ha^{-1} uygulamasından elde edildiği rapor edilmiştir (Mavi ve ark., 2018). Biyokömür ilavesi ile EC değerinde artış (%1-4) olduğu belirtilmiştir (Singh ve ark., 2019). Biyokömürde bulunan bazik katyonlar, toprak çözeltisinde çözünerek toprak EC değerini artırdığı söylenebilir (Shetty ve Prakash, 2020). Önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre yüksek miktarda kül mevcut olduğunda biyokömür uygulamalarının toprak EC değeri önemli ölçüde artırdığı bildirmiştir. Otsu hammaddelerden elde edilen biyokömürler ağaç kökenli materyalden elde edilen biyokömürlerden daha fazla kül içeriğine sahip olması nedeniyle toprak EC üzerinde daha büyük etki meydana getirmektedir (Kloss ve ark., 2012). Uygulanan biyokömür kireç düzeyi üzerine önemli etki yapmıştır. Topraktaki en az kireç miktarı %2.28 değeri ile B0 uygulamasında en büyük değeri ise %3.55 ile B4 uygulamasında belirlenmiştir. Toprakların kireç içeriği uygulamalar ile artış göstermiş ve %2.28-3.55 aralığında saptanmıştır. Toprakların kireç değerleri Ülgen ve Yurtsever (1995) tarafından belirtilen değerlere (1.0-5.0) göre kireçli sınıfta yer aldığı izlenmektedir.

Organik madde (O.M) miktarı uygulamalara göre istatistiksel olarak farklılık göstermiş ve uygulama dozuna bağlı olarak toprağın organik maddesi %1.28-2.81 aralığında belirlenmiş, uygulamalara göre artış göstermiştir. En yüksek değer B4 uygulamasında %2.81 ile elde edilirken en küçük değer %1.28 ile B0 uygulamasında gerçekleşmiştir. Akça ve Namlı (2015), ile Ergün (2017), farklı kökenli kaynaktan sağlanan biyokömür uygulamalarının toprak organik maddesindeki artış düzeyinin önemli olduğunu ve %2.64'lük en yüksek organik madde içeriğinin 40 t ha^{-1} biyokömür ve %1.3 ile en düşük organik madde miktarının kontrol uygulamasından elde

edildiği rapor edilmiştir (Khan ve ark., 2020). Organik materyallerin uygulama dozuna bağlı olarak toprakların organik madde içeriklerinde önemli bir artış olduğu belirtilmiştir (Tarakçıoğlu ve ark., 2019). Dozlar arasında kontrole göre organik madde değerinde artışın olduğu ve en yüksek organik madde sonucunun %0.6 doz uygulamasından elde edildiği belirtilmiştir (Özyavuz, 2017). Kireçli kumlu toprağa biyokömür uygulanması ile toprağın organik madde içeriğinde önemli bir artış olmuştur. Kontrole göre organik madde miktarının, biyokömür ilavesiyle sırasıyla %3.3, %10.7 ve %22.8 düzeyinde arttığı bildirilmiştir (Amin ve Eissa, 2017).

Tablo 3. Biyokömür uygulamalarının toprak özelliklerine etkisi

Table 3. Effect of biochar applications on soil properties

Uygulamalar	pH	EC (mS cm ⁻¹)	Kireç (%)	O.M (%)
B0	7.45±0.04 c	0.87±0.11 c	2.28±0.07 b	1.28±0.03 b
B1	7.50±0.05 bc	1.50±0.33 b	3.04±0.10 a	1.44±0.06 b
B2	7.57±0.05 ac	1.63±0.12 b	3.11±0.43 a	1.62±0.09 b
B3	7.63±0.02 ab	1.85±0.18 ab	3.23±0.10 a	2.65±0.45 a
B4	7.66±0.10 a	2.26±0.19 a	3.55±0.07 a	2.81±0.43 a
p değeri	0.0054	0.0001	0.0003	0.0001

3.2 Biyokömür uygulamasının toprağın makro element içeriğine etkisi

Biyokömür uygulamalarının toprağın toplam azot (N) içeriğine etkisi uygulamalara göre anlamlı bir fark ($p < 0.0001$) göstermiş ve uygulama dozlarına göre artış göstermiştir (Tablo 4). En düşük N içeriği %0.078 ile B0 uygulamasında en yüksek N değeri ise %0.201 ile B4 uygulamasında saptanmıştır. En yüksek toprak toplam azotu (%0.201), kontrole kıyasla (%0.078) yaklaşık %258 daha yüksek olan 80 t ha⁻¹ uygulamasında elde edilmesi, biyokömür uygulamalarının N üzerine etkili olduğu belirtilmiştir (Khan ve ark., 2020). Biyokömürün yapısında bulunan N miktarı düzeyinin toprağa önemli miktarda besin elementi sağlayacağı ve ürün verimliliğini arttıracığı söylenebilir. Toprağın alınabilir fosfor (P) (mg kg⁻¹) miktarı üzerine uygulamaların önemli bir etkisi olmuş ve uygulamalara göre B4(48.89)>B3(40.35)>B2(24.10)>B1(18.98)>B0(14.92) şeklinde sıralanmıştır. B4 uygulamasında en yüksek ve B0 uygulamasında ise en küçük alınabilir P saptanmıştır. Biyokömür uygulamasının yapılan bir çalışmada fosforlu gübre miktarı gereksinimini azalttığı belirtilmektedir (Soinne ve ark., 2014). Toprakta alınabilir P değerinin biyokömür uygulamaları ile önemli ölçüde arttığı ve nispi değişimin %150 kadar yükseldiği belirtilmiştir (Oguntunde ve ark., 2004). Benzer şekilde, biyokömür uygulamasının kontrole (20.88 mg kg⁻¹) göre %19.9'luk artışıyla 25.01 mg kg⁻¹ düzeyine yükseldiği Adio ve ark. (2022) tarafından belirtilmiştir. Kireçli kumlu toprağa biyokömürün ilavesi, mevcut fosforun en yüksek biyokömür ekleme seviyesinde 8.31 mg kg⁻¹ dan (kontrol) 10.43 mg kg⁻¹ a yükselmesini sağladığı belirtilmektedir (Amin, 2016). Yapılan çalışmada biyokömür uygulamalarının alkalın reaksiyonlu (toprak pH=7.75) toprakların alınabilir P üzerine etkili olabileceği ve buna bağlı olarak uygulanacak P'lu gübre miktarında azalma olabileceğini göstermektedir. Yapılan çalışmalarda Zhai ve ark. (2014) ve Soinne ve ark. (2014), alınabilir P ile ilgili çalışma sonuçlarının, bildirilen tez çalışması sonuçları ile benzerlik gösterdiği söylenebilir. Toprağın alınabilir potasyum (K) miktarı (mg kg⁻¹) üzerine uygulamaların istatistiki olarak önemli düzeyde bir etkisi olmuş ve uygulamalara göre B4(1172.89)>B3(814.41)>B2(582.53)>B1(437.62)>B0(344.84) şeklinde sıralanmıştır. Dozlar içerisinde B4 uygulamasında en yüksek ve B0 uygulamasında ise en düşük alınabilir K belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada biyokömür uygulamalarıyla toprakta alınabilir P ve K elementlerinde artış meydana geldiği belirtilmiştir (Sial ve ark., 2019). Biyokömür uygulamalarına göre toprakta alınabilir potasyum miktarı kontrol uygulamasında 421.3 mg kg⁻¹ ile en düşük değeri aldığı buna karşın 60 t ha⁻¹ uygulamasında 740.6 mg kg⁻¹ ile en yüksek değeri aldığı belirtilmiştir (Amin, 2016). Uygulamaların alınabilir kalsiyum (Ca) üzerine önemli bir etkisi olmamıştır ve Ca konsantrasyonu 2171.68-2268.88 mg kg⁻¹ aralığında saptanmıştır. Biyokömür uygulamaları topraklardaki Ca konsantrasyonu en küçük ve en büyük değerler kontrol (B0) ve B2 uygulamalarında elde edilmiştir. Farklı piroliz sıcaklığında elde edilen biyokömür uygulamalarının topraklardaki alınabilir Ca konsantrasyonu 2663-4306 mg kg⁻¹ aralığında belirlemişler ve Ca değerinin 500°C de elde edilmiş olan biyokömürün etkin olduğunu ifade etmişlerdir

(Kayıkcıoğlu ve ark., 2022). Biyokömür toprağın Ca'un yararışlılığını arttırdığı belirtilmiştir (Gaskin ve ark., 2010). Uygulamalara göre toprağın alınabilir magnezyum (Mg)konsantrasyonu farklılık göstermiş 129.01 mg kg⁻¹ ile en küçük değeri B0 uygulamasında ve 186.92 mg kg⁻¹ ile en yüksek değeri B4 uygulamasında almıştır. Kayıkcıoğlu ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada farklı piroliz sıcaklığında üretilen biyokömür uygulamaları ile topraktaki alınabilir Mg değerinin sırasıyla 848.1mg kg⁻¹, 843.3mg kg⁻¹ve 769.8 mg kg⁻¹olarak belirtilmiş olan değerlere göre sonuçların farklılık gösterdiği bununda uygulama ve toprak özelliklerinden ileri geldiği düşünülmektedir.

Tablo 4. Biyokömür uygulamalarının toprağın makro element içeriğine etkisi

Table 4. The effect of biochar applications on the macro elements of the soil

Uygulamalar	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)
B0	0.078±0.01d	14.92±1.21b	344.84±20.72e	2171.68±47.19a	129.01±3.10c
B1	0.096±0.01c	18.98±1.66b	437.62±32.91d	2207.77±7.71a	132.93±4.20bc
B2	0.120±0.01b	24.10±1.49b	582.53±31.72c	2268.88±63.36a	146.30±7.72bc
B3	0.145±0.01b	40.35±2.27a	814.41±10.18b	2213.43±21.71a	158.15±7.81b
B4	0.201±0.01a	48.89±7.25a	1172.89±12.86a	2180.72±60.55a	186.92±3.59a
p değeri	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.1581	<0.0001

3.3 Biyokömür uygulamasının toprağın mikro element içeriğine etkisi

Uygulamalara göre toprağın alınabilir sodyum (Na) konsantrasyonu farklılık göstermiş ve 47.09-101.43 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Kontrol uygulamasında en küçük değer ve B4 uygulamasında ise en büyük Na değeri elde edilmiştir. Kayıkcıoğlu ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada belirlenmiş olan 139.5 mg kg⁻¹, 179.4mg kg⁻¹ ve 132.7mg kg⁻¹ ve Kara (2016) tarafından 40 t ha⁻¹ pirina biyokömürü uygulamasından elde edilmiş olan Na değerlerine 92.51 mg kg⁻¹ göre farklılık gösterdiği izlenmektedir. Bu farklılıkların özellikle elde edilen biyokömür kaynağına ve toprak özelliklerine göre değişiklik gösterdiği söylenebilir. Artan dozlarda biyokömür uygulamalarının sodyum elementini artırıcı yönde olduğu belirtilmiştir (Sayğan, 2017). Toprakta alınabilir Çinko (Zn) konsantrasyonu 1.25-2.34 mg kg⁻¹ aralığında belirlenmiş, en küçük değer B0 uygulamasında en büyük değer ise B4 dozunda saptanmıştır. Kara (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı dozda yapılan biyokömür uygulamaları ile 2.59-3.74 mg kg⁻¹ Zn elde edildiği ve en yüksek alınabilir Zn değerinin 3.74 mg kg⁻¹ ile kavaktan elde edilmiş olan biyokömür uygulanan topraklarda saptandığı ifade edilmiştir. Toprakta farklı sıcaklıklarda elde edilen biyokömür uygulamalarıyla yapılan çalışmada alınabilir çinko (Zn) değerleri 300°C de elde edilen biyokömür uygulanan topraklarda 8.74-9.15 mg kg⁻¹, 500°C de elde edilen biyokömür uygulamasında 8.81-9.71 mg kg⁻¹ ve 700°C de elde edilen biyokömür uygulamasında 9.18-10.4 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir (Kayıkcıoğlu ve ark., 2022). Toprakta alınabilir demir (Fe) konsantrasyonu 1.82-2.40mg kg⁻¹ aralığında saptanmış olup ile B0 uygulamasında en yüksek değer ve B4 uygulamasında en küçük değer elde edildiği izlenmektedir. Alınabilir demir (Fe) konsantrasyonu 300°C de elde edilen biyokömür uygulanan topraklarda 17.06-19.33mg kg⁻¹, 500°C de elde edilen biyokömür uygulamasında 17.29-18.03 mg kg⁻¹ ve 700°C de elde edilen biyokömür uygulamasında 15.21-18.49 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir (Kayıkcıoğlu ve ark., 2022). Toprağa biyokömür uygulamasından sonra alınabilir Fe değerinde azalma olduğunu bildirilmişlerdir (Lentz ve Ippolito, 2012; Inal ve ark., 2015). Biyokömür uygulamalarının toprak pH değerini arttırdığı, alınabilir Fe konsantrasyonunda ise azalmaya sebep olduğu söylenebilir (Mielki ve ark., 2016). Toprak örneklerinde alınabilir Fe konsantrasyonunda azalma veya düşüş seyri olası biyokömür uygulamasının toprak pH'sını arttırmasına (Pandit ve ark., 2018) bağlı olabileceği düşünülmektedir. Biyokömür uygulamaları ile alınabilir Fe içeriği açısından, kontrole göre düşüş gözlenmesi sonuçlarımızı doğrulamaktadır. Toprakta alınabilir Mangan (Mn) açısından biyokömür uygulama dozlarına göre 4.52-7.33 mg kg⁻¹ aralığında belirlenmiştir. Uygulamaların sonucu olarak topraklarda en küçük Mn konsantrasyonu B0 uygulamasında 4.52 mg kg⁻¹ ve en yüksek Mn 7.33 mg kg⁻¹ ile B4 uygulamasında belirlenmiştir. Topraklardaki alınabilir Mn değerleri biyokömür elde edilen sıcaklıklara göre farklılık gösterdiği, 300°C de elde edilmiş olan biyokömür uygulama dozunda 16.83-19.20 mg kg⁻¹, 500°C de elde edilen biyokömür uygulamasında

16.13-20.43 mg kg⁻¹ ve 700 °C de elde edilmiş olan biyokömür uygulama dozunda 14.57-17.75 mg kg⁻¹ olarak saptamışlardır (Kayıkçıoğlu ve ark., 2022). Biyokömür uygulama dozu artışıyla toprakta alınabilir Mn konsantrasyonu artış göstermiştir. Toprakta alınabilir Bakır (Cu) açısından biyokömür uygulama dozları bakımından istatistiki olarak bir fark meydana gelmemiştir. Farklı biyokömür dozları kıyaslandığında en yüksek Cu konsantrasyonu B4 uygulamasında 1.79 mg kg⁻¹ ve en küçük değer ise B0 uygulamasında 1.61 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen biyokömür uygulamalarının toprağın alınabilir Cu değerleri 300°C de elde edilen biyokömür uygulama dozunda 2.29-2.39 mg kg⁻¹, 500°C de elde edilmiş olan biyokömür uygulamasında 2.27-2.42mg kg⁻¹ve 700°C de elde edilmiş olan biyokömür uygulamasında ise 2.13-2.35 mg kg⁻¹ olarak belirtmişlerdir (Kayıkçıoğlu ve ark., 2022). Biyokömür uygulamaları ile en yüksek alınabilir bakır içeriği ortalama 0.66 mg kg⁻¹ ile pirinadan elde edilmiş olan biyokömür uygulamasında elde edildiği belirtilmiştir (Kara, 2016).Toprakta uygulamalara göre alınabilir bor (B) 0.71-1.08 mg kg⁻¹aralığında saptanmış olup0.71 ile B0 uygulamasında en küçük değer ve en yüksek değerini ise B4 uygulamasında 1.08 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Uygulamalar topraktaki alınabilir B değerini artırmıştır. Toprakta B sınır değerleri Wolf (1971), tarafından belirtilmiş olan yeterlilik grubu (1.0-2.4 mg kg⁻¹) içerisinde sadece B4 uygulaması 1.08 mg kg⁻¹ ile yer almıştır.

Tablo 5. Biyokömür uygulamalarının toprağın mikro element içeriğine etkisi

Table 5. The effect of biochar applications on soil microelement

Uygulama	Na (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)
B0	47.09±2.60 d	1.25±0.07 c	2.40±0.27 a	4.52±0.89 b	1.61±0.27 a	0.71±0.04 b
B1	64.32±4.60 c	1.54±0.08 bc	2.33±0.16 ab	4.89±0.97 b	1.65±0.08 a	0.78±0.03 b
B2	75.07±5.59 bc	1.82±0.09 b	2.01±0.15 ab	4.96±0.54b	1.73±0.20 a	0.85±0.06 b
B3	85.54±2.93 b	2.19±0.02 ab	1.96±0.18 ab	5.83±0.029 ab	1.76±0.03 a	0.94±0.02 b
B4	101.43±6.12 a	2.34±0.17 a	1.82±0.19 b	7.33±0.62 a	1.79±0.04 a	1.08±0.13 a
p değerleri	<0.0001	0.0003	0.0415	0.0042	0.2246	0.0007

3.4 Biyokömür Uygulamasının çimlenme ve biyomas özelliklerine etkisi

Tohumların çimlenmesi %90.12-95.41 olarak gerçekleşmiş en yüksek çimlenme oranı %95,41 ile B2 uygulamasında en düşük çimlenme oranı ise %90.12 ile B0 uygulama dozunda saptanmıştır (Şekil 1). Çimlenme oranı Doğan ve Çarpıcı (2015) tarafından belirtilen (%79.38-97.99) değerlere göre benzerlik göstermiştir. Çimlenme indeksi < %50 ise; yüksek düzeyde fitotoksiste, %50-80 ise; orta düzeyde fitotoksiste ve >%80 ise fitotoksiste etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Kalderis ve ark., 2019). Çimlenme oranının B3 ve B4 uygulamalarında düşüş eğiliminde olması biyokömürdeki tuz ve pH gibi özelliklere göre farklılık gösterebilir.

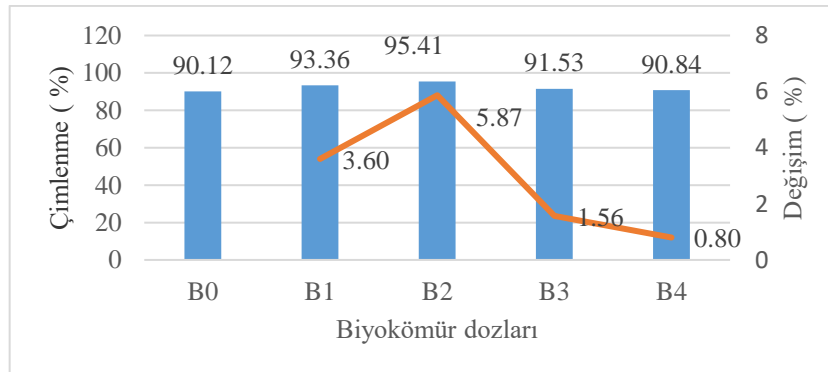


Figure 1. Effect of biochar applications on germination

Şekil 1. Biyokömür uygulamalarının çimlenmeye etkisi

Buğdayın yaş ağırlığı uygulama dozları ile istatistiki düzeyde önemli artış göstermiştir. Kontrol uygulamasında yaş ağırlık değeri 10.01-11.42 g saksı⁻¹ olarak elde edilmiştir. En yüksek yaş ağırlık B2 uygulamasında, en küçük

değer ise B0 uygulamasında belirlenmiştir. Kuru ağırlık düzeyi uygulamalara göre istatistiki anlamda etkilenmiş, 1.93-2.21 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. En yüksek yaş ağırlık B2 uygulamasında, en küçük değer ise B0 uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 2). Bu konuda, fasulye ile yaptıkları çalışmada Khan ve ark. (2020), en yüksek yaş ve kuru ağırlık değerlerini 20 t ha⁻¹ biyokömür uygulama dozunda elde ettikleri çalışma ile aynı sonuca varıldığı görülmektedir. Toprağa uygulanan biyokömürün buğday bitkisinin taze ve kuru ağırlığını arttırdığı ve biyokömür uygulanması ile buğday bitkilerinin yaş ve kuru ağırlıklarında kontrol uygulamasına kıyasla sırasıyla %96.8 ve %123.5 artış olduğu belirtilmiştir (Amin, 2016). Esposito (2013), biyokömürün toprağa uygulanmasının, buğday bitkisinde kontrole kıyasla bitki büyümesini önemli ölçüde artırdığını ifade etmişlerdir. Biyokömür uygulamalarının toprak üzerine olumlu etkileri sonucunda bitkinin yaş ve kuru ağırlık değerini kontrole göre arttırdığı görülmüştür.

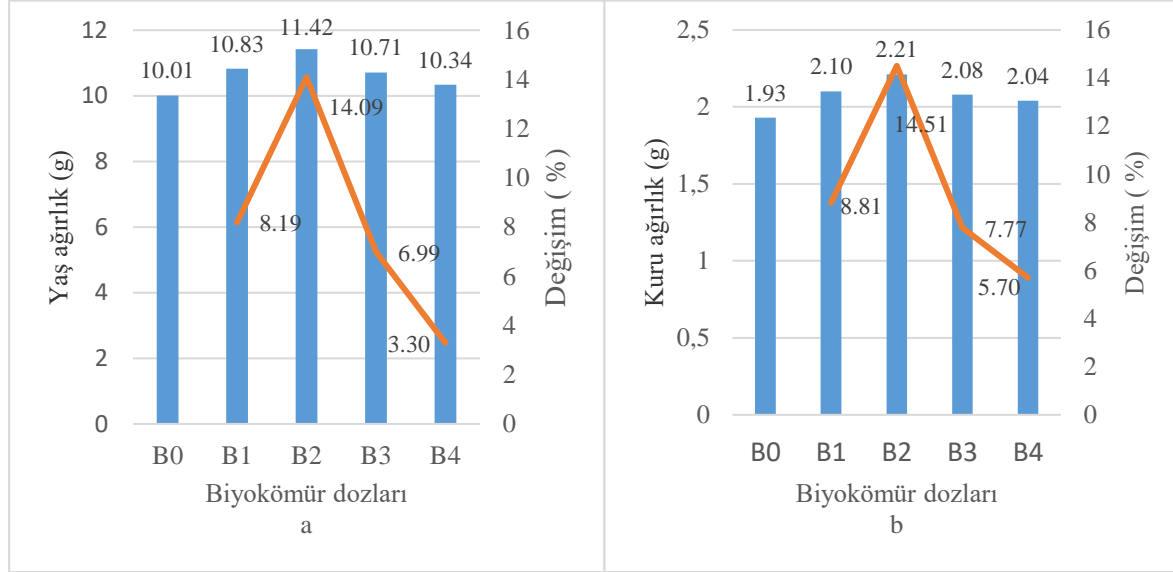


Figure 2. Effect of biochar applications on wet (a) and dry (b) weight

Şekil 2. Biyokömür uygulamalarının yaş (a) ve kuru (b) ağırlığa etkisi

4. Sonuç

Biyokömür uygulamasının toprakların pH düzeyi, EC, kireç ve organik madde miktarlarında artış sağladığı görülmüştür. Biyokömürün toprak uygulamalarında, biyokömür özelliklerinin elde edilmiş olan materyale göre farklılık gösterdiği özellikle toprak üzerine olası etkileri açısından biyokömürün özelliklerine göre uygulamalar yapılmalıdır. Toprağın makro ve mikro elementleri üzerine etkisi incelendiğinde toplam N, alınabilir P, K, Mg aynı şekilde Na, Zn, Mn, B elementlerinde uygulama dozuna göre artış gösterdiği, Fe konsantrasyonunun ise azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Çimlenme ve bitkinin yaş ve kuru ağırlığı üzerine etkisi 20 t ha⁻¹ (B2) uygulaması ön plana çıkmıştır. Biyokömür uygulamalarında toprak, bitki, iklim özellikleri dikkate alınarak yapılması ile daha fazla fayda elde edilebileceği ve incelenen parametreler açısından ve özellikle çalışma sonuçlarına göre biyokömür uygulama dozu olarak 20 t ha⁻¹ (B2) uygulaması önerilebileceği kanısına varılmıştır.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma için etik kuruldan izin alınmasına gerek yoktur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları olarak aramızda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Yazarlık Katkı Beyanı

Planlama: Şenay, B, Tepecik, M.; Materyal ve Metot: Tepecik, M, Şenay, B.; Veri toplama ve İşleme: Şenay, B.; Literatür Tarama: Şenay, B, Tepecik, M.; Makale Yazımı, İnceleme ve Düzenleme: Şenay, B, Tepecik, M.

Kaynakça

- Adio, A. A., Saliu, A. O., Akanbi-Gada, M. A. and Najeemdeen, B. A. (2022). Effects of charcoal production on soil physicochemical properties in Moro Local Government Area of Kwara State, Nigeria. *Journal of Environmental Protection*, 13: 220-232.
- Akay, A. (2022). Kireçli topraklarda farklı kükürt formları ile biyokömür uygulamalarının turp bitkisinin (*Raphanus sativus*) gelişimine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(3): 644-655.
- Akça, M. O. and Namlı, A. (2015). Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper, and lettuce plants growth. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(3): 161-168.
- Ali, K., Munsif, F., Zubair, M., Hussain, Z., Shahid, M., Din, I. U. and Khan, N. (2011). Management of organic and inorganic nitrogen for different maize varieties. *Sarhad Journal of Agriculture*, 27(4): 525-529.
- Amin, A. E. A. Z. (2016). Impact of corn cob biochar on potassium status and wheat growth in a calcareous sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(17): 2026-2033.
- Amin, A. E. A. Z. and Eissa, M. A. (2017). Biochar effects on nitrogen and phosphorus use efficiencies of zucchini plants grown in a calcareous sandy soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4): 912-921.
- Banik, C., Lawrinenko, M., Bakshi, S. and Laird, D. A. (2018). Impact of pyrolysis temperature and feedstock on surface charge and functional group chemistry of biochars. *Journal of Environmental Quality*, 47(3):452-461.
- Bremner, J. M. (1965). Nitrogen Total. In: Sparks, D.L., Ed., Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods, SSSA Book Series 5, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 1085-1122.
- Bridgwater, A. V.(2003) Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass, *Chemical Engineering Journal*, 91(2): 87-102.
- Butnan, S., Deenik, J. L., Toomsan, B. and Vityakon, P. (2017). Biochar properties affecting carbon stability in soils contrasting in texture and mineralogy. *Agriculture and Natural Resources*, 51(6): 492-498.
- Cantrell, K., Ro, K., Mahajan, D., Anjom, M. and Hunt, P. G. (2007). Role of thermochemical conversion in livestock waste-to-energy treatments: obstacles and opportunities, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(26): 8918-8927.
- Chan, K. Y., Zwieten, L. V., Meszaros, I., Downie, A. and Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*, 46 (5): 437-444.
- Doğan, R. ve Çarpıcı, E. B. (2015). Bazı makarnalık buğday (*Triticum turgidum* L.) genotiplerinin çimlenme döneminde tuz stresine tepkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi*, 29(1): 47-55.
- Domingues, R. R., Trugilho, P. F., Silva, C. A., de Melo, I. C. N. A., Melo, L. C. A., Magriotis, Z. M. and Sanchez-Monedero, M. A. (2017). Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. *Plos One*, 12(5): e0176884.
- El-Naggar, A., Lee, S. S., Awad, Y. M., Yang, X., Ryu, C., Rizwan, M., Rinklebe, J., Tsang C. W. T. and Ok, Y. S. (2018). Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils. *Geoderma*, 332: 100-108.
- Ergün, Y. A. (2017). *Biyokömür ve ahır gübresi uygulamalarının topraktaki bazı enzim aktivitelere, CO₂ üretimine, besin elementi içeriğine ve domates bitkisinin gelişimine etkisi.* (Yüksek Lisans Tezi), Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Esposito, N. C. (2013). *Soil nutrient availability properties of biochar.* (M.Sc. Thesis). The Faculty of Cal Poly State University, San Luis Obispo, USA.
- Gaskin, J. W., Speir, R. A., Harris, K., Das, K. C., Lee, R. D., Morris, L. A. and Fisher, D. S. (2010). Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*, 102(2): 623-633.
- Gezgin, S. (2018). Türkiye Topraklarının Organik Madde Durumu, Organik Madde Kaynaklarımız ve Kullanımı. *Organomineral Gübre Çalıştayı*, 29 Eylül, p 12-16, İstanbul, Türkiye.
- Girmay, G., Singh, B. R., Mitiku, H., Borresen, T. and Lal, R. (2008). Carbon stocks in Ethiopian soils in relation to land use and soil management. *Land Degradation & Development*, 19(4): 351-367.
- Huang, M., Fan, L., Chen, J., Jiang, L. and Zou, Y. (2018). Continuous applications of biochar to rice: Effects on nitrogen uptake and utilization. *Scientific Reports*, 8: 11461.
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M. B. and Kaya, E. C. (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(1): 106-113.
- Jackson, M. L. (1967). *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, of India Private Limited, New Delhi.
- Jones, D. L. and Healey, J. R. (2010). Organic amendments for remediation: putting waste to good use. *Elements*, 6(6): 369-374.
- Joseph, S. D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C. H., Hook, J., van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B. P., Lehmann, J., Foidl, N., Smernik, R. J. and Amonette, J. E. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. *Australian Journal of Soil Research*, 48: 501-515.

- Kalderis, D., Papameletiou, G. and Kayan, B. (2019). Assessment of orange peel hydrochar as a soil amendment: impact on clay soil physical properties and potential phytotoxicity. *Waste and Biomass Valorization*, 10(11): 3471-3484.
- Kara, R. S. (2016). *Farklı organik materyallerden elde edilen biyokömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile biyokömür ve biyokömür ile birlikte artırılmış karasu uygulamasının bitkisel üretimde kullanım olanakları*. (Yüksek Lisans Tezi) Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kayıkçıoğlu, H. H., Tepecik, M. ve Çokan, Ş. E. (2022). Belediye budama atıklarından farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen biyokömürün, mısır verimi ile bazı toprak özellikleri üzerine etkisi. *MAS Journal of Applied Sciences*, 7(1): 108-127.
- Khan, S., Ismail, M., Ibrar, M., ul Hag, J., Ali, Z. (2020). The effect of biochar on soil organic matter, total N in soil and plant, nodules, grainyield and biomass of mung bean. *Soil and Environment*, 39(1): 87-94.
- Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, R., Ottner, F., Liedtke, V., Schwanninger, M., Gerzabek, M. H. and Soja, G. (2012). Characterization of slow pyrolysis biochars: effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. *Journal of Environmental Quality*, 41(4): 990-1000.
- Lal, R. (2013). Food security in a changing climate. *Ecohydrol Hydrobiol*, 13(1): 8–21.
- Lehmann, J., Gaunt, J. and Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems-a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(2):403-427.
- Lehmann, J., Silva, J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B. (2003) Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, *Plant and Soil*, 249: 343–357.
- Lentz, R. D. and Ippolito, J. A. (2012). Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. *Journal of Environmental Quality*, 41: 1033-1043.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3): 421-428.
- Majeed, A. J., Dikici, H. and Demir, Ö. F. (2018). Effect of biochar and nitrogen applications on growth of corn (*Zea mays* L.) plants. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(3): 346-351.
- Matteson, G. C. and Jenkins, B. M.(2007). Food and processing residues in California: Resource assessment and potential for power generation, *Bioresource Technology*, 98(16): 3098-3105.
- Mavi, M. S., Singh, G., Singh, B. P., Sekhon, B. S., Choudhary, O. P., Sagi, S. and Berry, R. (2018). Interactive effects of rice-residue biochar and N-fertilizer on soil functions and crop biomass in contrasting soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(1): 41-59.
- Mielki, G. F., Novais, R. F., Ker, C., Vergütz, L. and Castro, G. F. (2016). Iron availability in tropical soils and iron uptake by plants. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 40: 1-14.
- Mukherjee, A. and Zimmerman, A. R. (2013). Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. *Geoderma*, 193: 122-130.
- Namlı, A., Akça, M. O. ve 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.
- Oguntunde, P. G., Fosu, M., Ajayi, A. E. and van de Giesen, N. (2004). Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 39(4): 295-299.
- Oh, T. K., Choi, B., Shinogi, Y. and Chikushi, J. (2012). Effect of pH conditions on actual and apparent fluoride adsorption by biochar in aqueous phase. *Water Air and Soil Pollution*, 223(7): 3729-3738.
- Olsen, S. R. and Dean, L. A. (1965). Phosphorus (Ed. C.A. Black) Methods of Soil Analysis. Part. 2. American Society of Agronomy Inc. Publisher Madison Wisconsin USA, No: 9: 920-926.
- Özyavuz, M. (2017). *Biyokömür (biochar) uygulamalarının patlıcan bitkisi ve toprağın kimyasal özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi) Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Pandit, N. B., Mulder, J., Hale, S. E., Martinsen, V., Schmidt, H. P. and Cornelissen, G. (2018). Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil. *Science of the Total Environment*, 625: 1380-1389.
- Pratt, P. F. and Holowaychuk, N. (1954). A comparison of ammonium acetate, barium acetate, and buffered barium chloride methods of determining cation exchange capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 18: 365-368.
- Qadeer, S., Batoool, A., Rashid, A., Khalid, A., Samad, N. and Ghufra, M. A. (2014). Effectiveness of biochar in soil conditioning under simulated ecological conditions. *Soil & Environment*, 33: 149-158.
- Quilty, J. R. and Cattle, S. R. (2011). Use and understanding of organic amendments in Australian agriculture: a review. *Soil Research*, 49(1):1-26.
- Sayğan, E. P. (2017). *Biyokömürün (biochar) toprak düzenleyicisi olarak kullanım potansiyellerinin belirlenmesi*. (Doktora Tezi) Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

- Saygan, E. P. ve Aydemir, S. (2016). Harran ovası kireçli killi toprak özellikleri üzerine antepfıstığı dış kabuğu biyokömür uygulamasının etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 20(4): 301-312.
- Schlichting, E. and Blume, E. (1966). *Bodenkundliches Praktikum*. Paul Parey Verlag, Hamburg, Berlin.
- Shetty, R. and Prakash, N. B. (2020). Effect of different biochars on acid soil and growth parameters of rice plants under aluminum toxicity. *Scientific Reports*, 10: 12249.
- Sial, T. A., Lan, Z., Wang, L., Zhao, Y., Zhang, J., Kumbhar, F., Memon, M., Lashari, M. S. and Shah, A. N. (2019). Effects of different biochars on wheat growth parameters, yield and soil fertility status in a silty clay loam soil. *Molecules*, 24(9): 1798.
- Silva, I. C. B., Fernandes, L. A., Colen, F. and Sampaio, R. A. (2017). Growth and production of common bean fertilized with biochar. *Ciencia Rural*, 47 (11): e20170220.
- Silva, M. A. G., Roque, S. A. T., Muniz, A. S., Marchetti, M. E., Matta, J. D. V. and Pelisson, N. (2010). Efficiency of organic compost from agri-industrial wastes as fertilizer for corn and wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(21): 2517-2531.
- Singh, R., Mavi, M. S. and Choudhary, O. P. (2019). Saline soils can be ameliorated by adding biochar generated from rice-residue waste. *Clean Soil Air Water*, 47: 1700656.
- Soil Survey Staff (1951). *Soil Survey Manual*. U.S. Dep. Agric. Handbk. No. 18. U.S. Government Printing Office. Washington.
- Soinne, H., Hovi, J., Tammeorg, P. and Turtola, E. (2014). Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability. *Geoderma*, 219-220: 162-167.
- Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hua, X. and Gu, Y. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous. *Chemosphere*, 125: 70-85.
- Tarakçioğlu, C., Özenç, D. B., Yılmaz, F. I., Kulaç, S. ve Aygün, S. (2019). Fındık kabuğundan üretilen biyokömürün toprağın besin maddesi kapsamı üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34: 107-117.
- Turan, V. (2019). Biyokömür ve kükürt uygulamasının alkali killi-tınlı topraklarda fosfor alınabilirliği ve toprak enzim aktivitesi üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3): 527-535.
- Turhan, A. and Özmen, N. (2021). Effects of chemical and organic fertilizer treatments on yield and quality traits of industrial tomato. *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, 18(2): 213-221.
- Ülgen, N. ve Yurtsever, N. (1995). Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T-66 Ankara.
- Van Zwieten, L., Singh, B. P., Kimber, S. W. L., Murphy, D. V., Macdonald, L. M., Rust, J. and Morris, S. (2014). An incubation study investigating the mechanisms that impact N₂O flux from soil following biochar application. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 191: 53-62.
- Wolf, B. (1971). The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions. *Soil Science and Plant Analysis*, 2: 363-374.
- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J. and Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, 1: 56.
- Xu, D., Cao, J., Li, Y., Howard, A. and Yu, K. (2019). Effect of pyrolysis temperature on characteristics of biochars derived from different feedstocks: A case study on ammonium adsorption capacity. *Waste Management*, 87: 652-660.
- Zhai, L., Caiji, Z., Liu, J., Wang, H., Ren, T., Gai, X., Xi, B. and Liu, H. (2014). Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities. *Biology and Fertility of Soils*, 51: 113-122.
- Zhu, X., Chen, B., Zhu, L. and Xing, B. (2017). Effects and mechanisms of biochar-microbe interactions in soil improvement and pollution remediation: a review. *Environmental Pollution*, 227: 98-115.