

Atf İçin: Altıkat A, Alma M.H, 2021. Biyokömür ve Toprak Fiziksel Özellikleri. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(4): 2599-2612.

To Cite: Altıkat A, Alma M.H, 2021. Biochar and Soil Physical Properties. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(4): 2599-2612.

Biyokömür ve Toprak Fiziksel Özellikleri

Alperay ALTIKAT^{1*}, Mehmet Hakkı ALMA¹

ÖZET: Biyokömür, organik materyalin termokimyasal dönüşüm süreçler sonucunda üretilen yüksek karbon içeriğine sahip bir materyaldir. Biyokömürün endüstriyel ve çevresel kullanım alanlarının yanı sıra tarım sektöründe sorunlu topraklarda toprak düzenleyici olarak da kullanılmaktadır. Bu çalışmada, biyokömürün toprağın bazı toprak fiziksel özellikleri ile toprak ve bitkideki nem değişimleri ve toprak sıcaklığına olan etkileri incelenmiştir. Detaylı literatür incelemelerinde toprağa uygulanan biyokömürün; toprak hacim ağırlığı, porozitesi, hidrolik iletkenliği, agregat stabilitesi ile bitki ve toprak nem içeriği üzerinde olumlu etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda biyokömürün toprak özelliklerine olan etkileri, biyokömürün üretim teknolojisi ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır. Üretim aşamasında kullanılan; piroлиз sıcaklığı, hammadde türü, agregat çapı gibi faktörler biyokömürün toprağa olan etki düzeylerini değiştirmiştir. Buna ilaveten, konu ile yapılan çalışmaların büyük bir bölümü laboratuvar ya da sera ortamında genelde 2 yıllık süreyle yürütüldüğü ve tarla koşullarında uzun vadede sürdürülen araştırma sayısının da oldukça sınırlı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle biyokömürün toprak üzerindeki etkilerini uzun vadede tespitine yönelik tarla denemelerinin yürütülmesinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda yapılacak tarla denemelerinde biyokömürü toprağa karıştırmak amacıyla kullanılacak yöntemlerin etkinliğinin de araştırılması oldukça önemli bir konu olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, Toprak özelliği, Toprak düzenleyici, Termokimyasal dönüşüm

Biochar and Soil Physical Properties

ABSTRACT: Biochar is a material with high carbon content produced as a result of thermochemical transformation processes of organic material. In addition to the industrial and environmental uses of biochar, it is used as a soil conditioner in problematic soils in the agricultural sector. In this study, the effects of biochar on some soil physical properties, moisture changes in soil and plants, and soil temperature were investigated. In detailed literature reviews, it was determined that biochar application has positive effects at the some of the soil physical properties such as; soil bulk density, porosity, hydraulic conductivity, aggregate stability, shear and tensile strength, moisture content of the plant and soil. In these studies, concluded that the effects of biochar on soil properties vary depending on the production technology of biochar and some physical properties of biochar. The factors such as pyrolysis temperature, raw material type, aggregate diameter used in the production phase have changed the effect levels of biochar on the soil. In addition, it was determined that most of the studies on the subject were carried out in a laboratory or greenhouse for a maximum of 2 years. Therefore, it was concluded that field experiments should be conducted that determine the long-term effects of biochar on the soil. It is also an important subject in researching the effectiveness of the methods to be used to mix biochar with soil.

Keywords: Biochar, Soil properties, Soil conditioner, Thermochemical conversion

¹ Alperay ALTIKAT ([Orcid ID: 0000-0002-0087-5814](https://orcid.org/0000-0002-0087-5814)), Mehmet Hakkı ALMA ([Orcid ID: 0000-0001-6323-7230](https://orcid.org/0000-0001-6323-7230)), İğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, İğdır, Türkiye.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Alperay ALTIKAT, e-mail: altikatalperay@gmail.com

GİRİŞ

Son yıllarda sürekli artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla tarım sektörü başta olmak üzere tüm sektörlerde sürdürülebilir üretim tekniklerinin uygulamaya aktarılması kaçınılmaz bir hal almıştır. Sürdürülebilirlik kavramının temelinde mevcut kaynakları optimum verimlilikle kullanılarak üretim yapılması ve bu aşamada çevresel zararın minimuma indirilmesi ile alternatif enerji kaynaklarından maksimum düzeyde yararlanılması yer almaktadır. Özellikle tarım sektöründe hasat ve ürün işleme periyotlarından sonra oluşan atıklar ile hayvansal atıkların yönetimi; toprak kalitesinin geliştirilmesi ve çevre kirliliğinin azaltılması açısından önemli bir konudur.

Kömür insanlığın ürettiği ilk sentetik malzeme olup (Antal ve ark., 2003, Antal ve Gronli 2003), kayıt altına alınan tarihsel süreç içerisinde her daim üretimi yapılmıştır (Withrow, 1915).

Biyokömür; organik materyalin oksijensiz ya da düşük oksijen koşullarında ve genellikle düşük sıcaklıklarda (200- 900°C) termal bozulması sonucu elde edilen karbonca zengin ve çözülmeye dayanıklı bir materyaldir. Biyokömürün kökeni Amazon kara topraklarına (Black earth) dayanmaktadır. Amazon kara toprakları siyah topraklar (Terra preta) ve kahverengi (normal) topraklar (Terra mulata) olmak üzere ikiye ayrılır. Terra Preta kendine özgü siyah rengini, bünyesinde bulundurduğu; odun kömürü, kemik atığı, kırık çömlek, kompost ve çeşitli gübre karışımlarından oluşan karbonize olmuş kömür içeriğinden almaktadır (Mao ve ark., 2012; Dufour, 1990). Yapılan çalışmalarda bu toprakların 1 kilogramının yaklaşık 150 gram karbon ihtiva ettiği tespit edilmiş ve bu içeriğin yüzyıllar boyunca korunduğu belirtilmiştir (Glaser ve ark., 2002). Günümüzde bu toprak formasyonunun oluşumunda uzun yıllar boyunca insanlar tarafından toprağa yapılan farklı organik materyal ilavesinin neden olduğu düşünülmektedir.

Biyokömür, organik materyalin termokimyasal dönüşüm süreçlerinde oksijensiz ya da sınırlı oksijen koşullarında yakılmasıyla oluşan karbon içeriği yüksek bir yanma ürünüdür. Termokimyasal dönüşüm, ara enerji taşıyıcıları veya ısı üretmek için çeşitli metotlar kullanılarak biyokütlenin kontrollü ısıtılması veya oksidasyonu şeklinde tanımlanabilir. Biyokütlenin termokimyasal olarak dönüştürülmesi kavramı, enerji kullanımının en basit ve en eski örneklerinden biri olan biyokütlenin yakılmasından, sıvı taşıt yakıtları ve kimyasal hammaddelerin üretimi için kullanılan teknolojilere kadar birçok farklı yöntemi kapsamaktadır. Termokimyasal dönüşüm teknolojileri, oksijensiz bir ortamda (endotermik) biyokütlenin ısıtılmasından, biyokütlenin tam ekzotermik oksidasyonuna kadar değişiklik gösterebilen çeşitli metotlara ayrılabilir.

Termokimyasal dönüşüm prosesleri kuru ve ıslak olmak üzere iki ana bölümde incelenebilir. Kuru prosesler kendi arasında; hızlı piroliz, yavaş piroliz (karbonizasyon), gazlaştırma ve kısmi piroliz (torrefaction) olmak üzere dört bölümde incelenebilir. Islak termokimyasal dönüşüm prosesi için ise hidrotermal karbonizasyon örnek olarak gösterilebilir (Ronsse, 2016). Termokimyasal dönüşüm proseslerinin genel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir (Bridgwater, 2012; Kambo ve Dutta 2015; Ronsse, 2016).

Biyokömür, üretim koşullarına bağlı olmakla birlikte içeriğinde %60 ile %80 oranında C bulundurulur. Bu özelliği nedeniyle düşük karbon içeriğine sahip tarım topraklarına toprak düzenleyici olarak uygulanabilir. Bununla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde biyokömür toprağın karbon içeriğini (Lal, 2015) ve ürün verimini (Brassard ve ark.,2016) artırdığı, topraktan atmosfere yayılan CO₂ yayılımını azalttığı, toprağın biyolojik (Lehmann ve ark., 2011), fiziksel (Ding ve ark., 2016) ve kimyasal (Brassard ve ark., 2016; Ding ve ark., 2016; Mukherjee ve Lal, 2017) özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir.

Çizelge 1. Termokimyasal dönüşüm prosesleri ve genel özellikleri

Genel özellikler	Kuru Prosesler				Yaş Proses
	Hızlı Piroliz	Yavaş piroliz (Karbonizasyon)	Gazlaştırma	Kısmi piroliz (Torrefaction)	Hidrotermal Karbonizasyon
Sıcaklık	~ 500°C	< 400°C	600-1800 °C	<300°C	180-260°
Isıtma oranı	Hızlı 1000 °C min ⁻¹	<80 °C	-	-	5-10 °C
Reaksiyon süresi	Birkaç saniye	Birkaç saat ya da birkaç gün	-	<2h	5 dakika – 12 saat
Basınç	Atmosferik ya da vakum	Atmosferik veya maksimum 1 MPa	Atmosferik veya maksimum 8 MPa	Atmosferik	Su buharı basıncı (1-4.7 MPa)
Ortam	Oksijensiz	Oksijensiz veya sınırlı oksijenli	Sınırlı oksijenli	Oksijensiz	Basıncılı su
Biyo – yağ	%75	%30	%5	%5	%5-25
Sentez gaz	%13	%35	%85	%15	%2-5
Katı madde (Biyokömür)	%12	%35	%10	%80	%45-70

Biyokömürün kimyasal bileşimi elde edildiği hammadde ile; sıcaklık, ısıtma hızı, sıcaklıkta kalma süresi ve reaktör tipi gibi üretim koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu nedenle biyokömürün kimyasal bileşimini net bir şekilde tanımlamak mümkün değildir (Lehmann ve Joseph 2009). Esas olarak karbondan oluşan biyokömür; Ca, Mg, K ve inorganik karbon iyonları gibi mineraller de içerir. Üretim aşamasında kullanılan piroliz sıcaklığı, grafit oluşumunu kısmen engeller ve aromatik halkalar grafitte olduğu gibi düzenli olmaz. Buna ilaveten üretim aşamasında daha düzensiz karbon dizilimleri oluşur ve bu moleküller O ve H içerir (Lehman ve Joseph, 2009).

Biyokömür toprağa ilave edildiğinde elde edilen etkiler bazı faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Uygulanan biyokömür miktarı bunlardan biridir. Yapılan araştırmalarda toprağa karıştırılan biyokömür miktarı arttıkça toprak fiziksel özelliklerindeki değişimlerde artma eğilimi gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu eğilim lineer ya da üçüncü dereceden polinomial olabilir (Rogovska ve ark., 2016). Toprağın agregat büyüklük dağılımı biyokömürün toprak özelliklerine etkili olmasını sağlayan önemli bir faktördür. Araştırmalarda biyokömürün toprak fiziksel özelliklerine olan etkisi normal tekstürlü topraklardan ziyade kaba tekstürlü topraklarda daha belirgin olduğu belirlenmiştir (Omondi ve ark., 2016). Biyokömür tek başına toprağa uygulanmasından ziyade inorganik ya da organik gübrelerle birlikte toprağa verilmesi halinde toprak özelliklerini daha fazla iyileştirir. Örneğin, biyokömürün hayvan gübresi ile karıştırılarak toprağa verilmesi halinde toprağın agregasyon düzeyini daha fazla geliştirdiği sonucuna varılmıştır (Khademalrasoul ve ark., 2014). Biyokömürün toprağa olan faydaları toprağa karıştırma yöntemine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu konu ile yapılan tarla denemelerinde biyokömürün toprağa karıştırılmasının toprağın fiziksel özelliklerini geliştirdiği ve rüzgâr ve su erozyonunu azalttığı belirtilmiştir. Biyokömürün toprağın fiziksel özelliklerine olan etkilerinin gözlemlenmesi için belirli bir süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, Briggs ve ark., (2012) yaptıkları araştırmalarında, su sızdırmazlığının yeni biyokömür uygulaması yapılan parsellerde eski uygulama yapılan parsellere göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Biyokömürün zaman içinde oksidasyona uğraması ve kurumması, biyokömür taneciklerinin yüzeyindeki organik bileşimleri azaltır ve su tutma kapasitesinde gerilemeye neden olabilir. Bununla beraber, biyokömürün bünyesinde bulunan karbon zaman geçtikçe toprağın organik ve inorganik maddeleri ile interaksyona girerek, toprağın agregasyon düzeyini ve diğer fiziksel özelliklerini geliştirir (Briggs ve ark., 2012). Biyokömürün partikül büyüklüğü, biyokömür- toprak interaksyonunu doğrudan etkilediğinden, toprak fiziksel

özellikleri üzerine de birinci dereceden etkili olmaktadır. Küçük biyokömür partikülleri, büyük biyokömür partiküllerine göre kolayca toprağa karışarak toprak ile daha hızlı etkileşime girerler (Herath ve ark., 2013). Buna ilaveten biyokömür partikülleri ne kadar küçük olursa, birim kütledeki yüzey alanları da o derecede büyük olur. Glab ve ark., (2016) yaptıkları araştırmalarında biyokömür partikül büyüklüğünün 100 µm den 2000 µm'ye çıkması halinde toprak hacim ağırlığının azaldığı ve porozitenin arttığı sonucuna varmışlardır.

Biyokömür üretiminde termokimyasal reaksiyonlar sırasında kullanılan piroliz sıcaklığı, biyokömür kalitesine ve doğal olarak toprak fiziksel özelliklerine etkili olur. Genelde, yüksek sıcaklıklarda üretilen biyokömür, düşük sıcaklıklarda üretilene göre daha fazla nem tutma özelliğine sahiptir (Kinney ve ark., 2012; Gray ve ark., 2014). Örneğin, 500 C° de üretilen biyokömürün 300 C° de üretilen biyokömüre göre yaklaşık 13 kat daha fazla su tutma özelliğine sahip olduğu belirtilmiştir (Kinney ve ark., 2012).

Biyokömürün Toprak Hacim Ağırlığı ve Poroziteye Etkileri

Toprağa biyokömür ilavesi, biyokömürün gözenekli yapısından dolayı toprak hacim ağırlığını azaltır ve buna bağlı olarak porozitesini yükseltir. Böylelikle toprak sıkışıklığını azaltarak daha porlu bir toprak yapısı oluşumu sağlar. Biyokömürün toprak hacim ağırlığına olan etkilerini incelemek amacıyla yapılan bir araştırmada, biyokömür uygulanan topraklarda kontrol parsellerine göre hacim ağırlığı değerlerinde yaklaşık %7.6 oranında azalma meydana geldiği belirtilmiştir (Omondi ve ark.,2016). Bununla birlikte, hacim ağırlığındaki azalma doğrusal ya da ikinci dereceden doğrusal olabilir. Örneğin, Glab ve ark., (2016) ve Liu ve ark., (2016) yaptıkları çalışmada, biyokömürün toprak hacim ağırlığını azalttığını ve bu azalışın doğrusal olduğunu belirtirken, Rogovska ve ark., (2016) bu değişimi 3. dereceli bir denklemle ifade etmişlerdir. Biyokömür uygulamasının toprak hacim ağırlığına olan etkilerinin araştırıldığı bazı araştırmalarda, 10 ton ha⁻¹ değerinden daha düşük oranlarda yapılan biyokömür uygulamasının toprak hacim ağırlığı üzerinde istatistiksel anlamda herhangi bir fark oluşturmadığı belirtilmiştir (Usovicz ve ark., 2016; Xiao ve ark., 2016). Buna ilaveten bir diğer araştırmada 50 ton ha⁻¹ gibi yüksek biyokömür uygulama normunun toprak hacim ağırlığı üzerinde herhangi bir etkiye neden olmadığı savunulmuştur (Pratiwi ve Shinogi 2016). Biyokömürün toprak hacim ağırlığı üzerindeki etkisi tarımsal üretime uygun tekstüre sahip topraklardan ziyade özellikle kalitesi bozulmuş ve sıkışmış topraklarda daha net bir şekilde görülmektedir.

Biyokömürün hacim ağırlığı üzerindeki etkisi toprak tipine göre değişkenlik gösterir. Kaba bünyeli topraklara yapılan biyokömür uygulaması iyi tekstürlü topraklara yapılan uygulamalara göre, toprak hacim ağırlığını daha fazla değiştirir. Biyokömür uygulanan kaba bünyeli toprakta toprağın hacim ağırlığındaki azalış %14.2 ve kumlu topraklarda %31 (Liu ve ark., 2016'a) iken, tınlı tekstürlü topraklarda bu değer %9.2 olarak belirlenmiştir (Canqui, 2017). Pirinç kabuğundan üretilen biyokömürün kumlu ve kumlu-tınlı bünyeye sahip topraklarda toprak hacim ağırlığına olan etkilerinin incelemek amacıyla laboratuvar koşullarında yürütülen bir çalışmada; toprağa %0.1 ile % 0.5 oranlarında uygulanan biyokömürün, kumlu topraklarda %18, kumlu-tınlı topraklarda ise %13 oranında toprak hacim ağırlığında azalmaya neden olduğu belirtilmiştir (Gamage ve ark., 2016). Tarla koşullarında kumlu-tınlı bünyeye sahip topraklarda yürütülen başka bir çalışmada, odundan üretilen biyokömürün maksimum 30 Mg ha⁻¹ oranında toprağa ilave edilmiş ve hacim ağırlığında %18 oranında bir azalma gözlenmiştir (Usovicz ve ark.,2016). Benzer şekilde; buğday sapı (Zheng ve ark., 2016; Qin ve ark., 2016), mısır hasat atığı (Pandian ve ark.,2016; Obia ve ark., 2016; Burrel ve ark., 2016), odun çipsi, bağ atığı (Burrel ve ark., 2016), çim (Glab ve ark., 2016), sert ağaç (Rogovska ve ark., 2016), pirinç kabuğu (Pratiwi ve Shinogi 2016) gibi organik atıklardan üretilen biyokömürün toprağa ilave

edilmesi halinde hacim ağırlığında azalma ve porozite de artma gözlenmiştir. İğde ağaçlarının, budama artıklarından elde edilen kompost ve biyokömürün toprak kalitesi ve mısır bitkisinin gelişimine olan etkilerinin incelendiği bir araştırmada, biyokömür uygulamasının toprağın hava ile dolu gözenek oranında azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca biyokömür uygulanan topraklarda porozite, faydalı su içeriği, agregat stabilitesi ve ortalama ağırlıklı çap değerlerinde artış meydana gelmiştir (Manirakiza, 2019). Kavak talaşının 400 °C piroliz sıcaklığında üretilen biyokömürün toprak özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla sera koşullarında yürütülen bir çalışmada biyokömür uygulanan topraklarda hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci değerlerinde azalma meydana gelirken agregasyon düzeyi ve yarayışlı su miktarlarında artış olduğu belirtilmiştir (Alaboz ve Öz, 2020).

Biyokömürün toprak hacim ağırlığının düşürmesinde etkili olan iki önemli faktör bulunmaktadır. Bunlardan ilki biyokömür hacim ağırlığının toprağın hacim ağırlığı değerinin neredeyse yarısı kadar olmasıdır. Üretim aşamasında kullanılan yöntemlere göre değişmekle birlikte, biyokömürün hacim ağırlığı 0.6 g cm⁻³'den daha azdır. Toprağın hacim ağırlığı değeri ise toprak tipine göre değişmekle birlikte genelde 1.25 gcm⁻³ civarındadır. Bu nedenle biyokömür toprağa ilave edildiğinde toprağı bir nevi seyreltmekte ve hacim ağırlığının düşmesine neden olmaktadır. Bu etki hacim ağırlığı yüksek olan topraklarda daha büyüktür. Örneğin killi topraklarda hacim ağırlığını azaltmak için uygulanan biyokömürün etkisi kumlu topraklara göre daha azdır. Bunun nedeni killi toprağın ortalama hacim ağırlığı değeri 1.1 gcm⁻³ iken bu değer kumlu topraklarda 1.5 gcm⁻³ olmasıdır. Diğer faktör ise biyokömürün toprak parçacıkları ile etkileşime girerek agregatların kümeleşmesine engel olması ve toprak alt katmanlarında daha porlu bir yapı oluşumunu sağlamasıdır. Ancak bu tarz bir oluşumun belirlenmesi için uygulamadan sonra uzun yıllar geçmesi gerekebilir. Günümüzde hacim ağırlığının düşürülmesine yönelik tarla koşullarında yürütülen biyokömür uygulamaları genelde 4 yıldan daha az süreyi kapsamaktadır (Canqui, 2017).

Toprak porozitesi toprağın hacim ağırlığı ile ters orantılı bir şekilde değişim göstermektedir. Toprak hacim ağırlığının artması porozitesinin azalmasına neden olur. Toprağa biyokömür ilavesi toprağa daha gözenekli bir yapı kazandırır ve porozite değerinin yükselmesini sağlar. Yapılan araştırmalarda biyokömür ilavesi ile toprak porozitesinin %2- %40 oranında artış gözlemlendiği sonucuna varılmıştır. Kullanılan biyokütle ve üretim tekniklerine bağlı olarak biyokömürün porozite değeri %70 ile %90 arasında değişiklik gösterir. Böylesine yüksek poroziteye sahip bir materyalin toprağa ilavesi ile toprağın porozitesinde artırılır. Yapılan bazı çalışmalarda biyokömürün porozite değeri ile piroliz sıcaklığı arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve piroliz sıcaklığındaki artışa paralel olarak biyokömürün porozite değerinin de arttığı vurgulanmıştır. Örneğin biyokütle olarak buğday samanının kullanıldığı bir çalışmada 800 °C piroliz sıcaklığında üretilen biyokömür toprak porozitesi üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmazken 1200 °C sıcaklıkta üretilen biyokömür toprak porozitesini artırdığı belirtilmiştir (Andrenelli ve ark., 2016).

Biyokömürün Toprağın Penetrasyon, Kesme ve Gerilme Direncine Etkisi

Toprak sıkışıklığının bir diğer göstergesi penetrasyon direncidir. Toprağa biyokömür ilavesinin toprak penetrasyon direnci üzerinde etkili olabilmesi için topraktaki inorganik maddelerle etkileşime girmesi gerekir, ancak bu etkileşim için uzun bir zaman dilimine ihtiyaç duyulmaktadır. Konu ile ilgili yapılan birçok araştırma genelde kısa dönem sonuçlarını içermektedir. Kısa periyotta yapılan araştırmaların çoğunda toprağa biyokömür uygulamasının penetrasyon direnci üzerinde önemli bir etki yaratmadığı gözlenmiştir. Örneğin; sera koşullarında killi-tınlı ve kumlu bünyeye sahip topraklarda yapılan bir çalışmada, akağaç ve kuş kirazından 800°C ve 900 °C piroliz sıcaklıklarında üretilen biyokömürün toprak penetrasyon direncine olan etkileri araştırılmış ve 113 gün boyunca devam eden

denemeler sonucunda biyokömür uygulamasının toprak penetrasyon direnci üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır (Bekele ve ark., 2015). Saksılarda tınlı toprak koşullarında yürütülen bir diğer araştırmada, sert ağacın 500°C- 575°C piroliz sıcaklıklarında üretilen biyokömürün toprak penetrasyon direncine olan etkileri gözlenmiş ve 2 yıl süren incelemeler sonucunda penetrasyon direncinde istatistiksel anlamda bir fark olmadığı belirlenmiştir (Rogovska ve ark., 2014). Mukherjee ve ark., (2014), 650°C piroliz sıcaklığında meşe odunundan üretilen biyokömürün siltli-tınlı toprak koşullarında saksılarda 1.5 yıl süreyle yürüttükleri çalışmalarında toprağa biyokömür ilavesinin penetrasyon direncine herhangi bir etkisinin olmadığı sonucuna varmışlardır. Eastman (2011) tarafından yapılan araştırmada da yine meşe odunundan üretilen biyokömür kullanılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Busscher ve ark., (2010) ve Busscher ve ark., (2011) çalışmalarında pekan cevizinden 700 °C piroliz sıcaklığında ürettikleri biyokömürü kumlu ve tınlı topraklara ilave etmişler ve 96 gün sonunda toprak penetrasyon direncinde istatistiksel anlamda önemli bir fark gözlememişlerdir.

Toprak gerilme kuvveti toprak mukavemetinin bir göstergesi olup, toprağa uygulanan kuvvetler bağlı olarak karşılaşılan direnci ifade eder. Gerilme kuvvetindeki değişiklikler toprağın işlenebilirliğini ve kök gelişimini etkiler. Sıkışmış ve düşük organik madde içeriğine sahip topraklarda gerilme kuvveti yüksektir.

Yüksek karbon içeriğine sahip olan biyokömürün toprağa ilave edilmesi halinde tekstür sınıfına bağlı olarak gerilme kuvvetinde azalma meydana gelir. Ancak bu etki toprağa eklenen biyokömür miktarına göre değişkenlik gösterebilir. Zhang ve ark., (2016)'a göre, toprağa %2 den daha fazla oranda biyokömür ilavesi toprağın gerilme kuvvetini azalttığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde yapılan bir diğer çalışmada toprağa 50 Mgha⁻¹'dan daha fazla miktarda biyokömür ilavesi toprağın gerilme kuvvetini azalttığı belirtilmiştir (Chan ve ark., 2007). Killi-tınlı toprak koşullarında laboratuvar ortamında yapılan bir araştırmada; anız, odun cipsi ve atık su çamurunun 500°C piroliz sıcaklığında elde edilen biyokömürün toprağa uygulanarak gerilme direncine olan etkileri incelenmiş ve 180 gün sonunda toprağa %6 oranında biyokömür ilavesinin toprak gerilme direncini %184 oranında azalttığı sonucuna varılmıştır (Zong ve ark., 2016). Benzer çalışma koşullarında pirinç kabuğundan üretilen biyokömürün %6 oranında toprağa ilave edilmesi sonucunda ise toprak gerilme direnci değerinde %100 oranında azalma meydana gelmiştir (Zong ve ark., 2014). Yapılan bir diğer araştırmada odun yongasından elde edilen biyokömürün %4 ile %6 oranında toprağa ilavesi ile kesme direncinde maksimum %2 düzeyinde bir azalma gözlenmiştir (Lu ve ark., 2014).

Toprak kesme direnci toprağı oluşturan parçacıkların birbiri üzerinde kaymaya zorlandığında veya agregatların kırılmaya zorlanmasında ne kadar kuvvet uygulanması gerektiğinin bir göstergesidir. Genelde toprak nem içeriğinin artması kesme direncinin azalmasına neden olur. Biyokömürün toprak kesme direnci üzerindeki etkisi toprak tipi ve uygulama normuna göre değişkenlik gösterir. Örneğin killi bir toprağa biyokömür ilavesi kesme direncini azaltır. Zong ve ark. (2014) ve Zhang ve ark. (2016) yaptıkları araştırmalarında odun yongası, saman ve atık su çamurundan elde edilen biyokömürün toprağa ilave edilmesi halinde kesme direncinde %2 ile %6 arasında bir azalma tespit etmişlerdir.

Biyokömürün Toprağın Agregat Stabilitesine Etkisi

Agregat stabilitesi, toprak agregatlarında bozulmayı oluşturan çevresel etmenlere karşı içsel direncinin belirlenmesinde önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır. Agregat stabilitesi; makroporların gelişimi, su infiltrasyonu, toprak erozyonu gibi birçok faktör üzerinde etkilidir (Yakupoglu ve ark., 2015).

Toprağa biyokömür ilavesinin ıslak agregat stabilitesine olan etkilerini belirlemeye yönelik yapılan araştırmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bazı araştırmacılar biyokömür ilavesinin ıslak

agregat stabilitesini geliştirdiğini bildirmişlerdir. Örneğin, Gamage ve ark., (2016) kumlu ve kumlu tınlı topraklarda pirinç kabuğunun pirolizi ile elde edilen biyokömürün toprağa ilave edilmesi ile ıslak agregat stabilitesinin %16 ile %55 oranında arttığını belirtmişlerdir. Esmaelnejad ve ark., (2016), Ouyang ve ark., (2013), Herath ve ark., (2013) ve Curaqueo ve ark., (2014) araştırmalarında benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Bu araştırmalarda pirinç kabuğu, odun, yulaf kabuğu, mısır atığı ve hayvan gübresinin pirolizinden elde edilen biyokömür, toprağa farklı oranlarda ilave edilmiş, toprağın agregat stabilitesinde %21 ile %226 oranında artış gözlenmiştir. Ayrıca yapılan bu araştırmalarda, toprağa uygulanan biyokömür oranları ağırlık bazında %0.1 - %10, alan bazında ise 5 Mg ha⁻¹ ile 96 Mg ha⁻¹ arasında değişmiştir. Çalışmalar sonucunda konuya genel anlamda bakıldığında, toprağa biyokömür ilavesi ile toprak tekstür sınıfı ve başlangıçtaki C içeriğinden bağımsız olarak ıslak agregat stabilizesinin arttığı sonucuna varılmıştır.

Konu ile ilgili yapılan bazı araştırmalarda ise biyokömürün ıslak agregat stabilitesine herhangi bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Örneğin Rogovska ve ark. (2014) araştırmalarında 96 Mg ha⁻¹ normda uygulanan biyokömürün ıslak agregat stabilitesine herhangi bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Aynı şekilde Hansen ve ark. (2016) araştırmalarında toprağa 140 Mg ha⁻¹ normda biyokömür ilave etmişler ve ıslak agregat stabilitesinde bir değişim gözlemlenmemişlerdir. Buna ilaveten Zhang ve ark., (2015), Dong ve ark., (2016), Borchard ve ark., (2014), Peng ve ark., (2016), Burrell ve ark., (2016) yaptıkları araştırmalarında toprağa biyokömür ilavesinin ıslak agregat stabilitesi üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Bu sonuçlardan yola çıkıldığında toprağın tekstürü, nem içeriği, organik karbon miktarı, biyokömürün özellikleri ve iklim gibi etmenlerin ıslak agregat stabilitesi üzerinde etkili olabileceği ve bu nedenle biyokömür uygulamasının ıslak agregat stabilitesi üzerinde istatistiksel anlamda önemli bir etki yaratmayabileceği sonucuna varılabilir. Örneğin eğimli arazi koşullarında toprağa biyokömür ilavesi ıslak agregat stabilitesi üzerinde etkili olmayabilir. Bunun nedeni, biyokömürün toprağa yeterince karışmaması ve su erozyonu ile yıkanmasıdır. Benzer etki iyi tekstürlü düz arazi koşullarında da gözlenebilir. Eğimli olmayan topraklarda biyokömür toprak içerisinde etkili bir şekilde karıştırılmazsa rüzgâr erozyonu ile taşınabilir.

Toprak agregat stabilitesi ile organik madde miktarı arasında güçlü bir bağlantı bulunmaktadır. Toprağa biyokömür ilavesi karbon içeriğini artırır. Organik ve inorganik partiküllerin birleşmesi, önce mikro agregatların daha sonrada makro agregatların oluşumunu sağlar (Canqui, 2017).

Kuru agregat stabilitesi toprağın strüktürel gelişimi için önemli bir parametredir. Kuru agregat stabilitesi rüzgâr erozyonuna karşı toprağın dayana bilirliliğinin bir göstergesidir.

Yapılan araştırmalarda toprağa biyokömür ilavesinin kuru agregat stabilitesini artırdığına yönelik sonuçlar bulunmuştur. Gamage ve ark., (2016) pirinç kabuğunun pirolizi sonucunda elde ettikleri biyokömürü toprağa karıştırdıklarında kuru agregat stabilitesinde artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde Liu ve ark., (2012) toprağa biyokömür uygulamasının siltli topraklarda kuru agregat stabilitesini artırdığını belirtmişlerdir. Ancak bazı araştırmalarda biyokömür ilavesinin kuru agregat stabilizesine herhangi bir etki yaratmadığı vurgulanmıştır (Busscher ve ark., 2010, Cui ve ark., 2016). Çeltik kavuzu ve tavuk gübresinden elde edilen biyokömürün buğday, kırmızı lahana ve kırmızı biber ürün rotasyonunda verim ve toprak fiziksel özelliklerine olan etkilerinin incelendiği bir çalışmada, biyokömür uygulamasının tüm bitkilerde verim artışına neden olduğu belirlenmiştir. Buna ilaveten biyokömür uygulanan topraklarda toprak hacim ağırlığı %3.5 azalmış, toplam gözeneklilik (%3), tarla kapasitesi nem içeriği (%5.3), solma noktası nem içeriği (%1.26) ve yarayışlı su içeriği (%1.26) artmıştır. Araştırmada biyokömür uygulamasının agregat stabilitesini artırdığı sonucuna varılmıştır (Biol, 2020).

Yapılan araştırmalarda kumlu topraklarda biyokömür uygulaması kumlu-tınlı ya da siltli-tınlı topraklara göre daha az etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Liu ve ark. (2012) yaptıkları çalışmalarında kum içeriğinin %17.3 olduğu topraklarda biyokömürün kuru agregat stabilitesini artırmadığı, kum içeriği %7.9'a gerilediğinde toprağa uygulanan biyokömürün kuru agregat stabilitesini artırdığı belirtmişlerdir. Benzer şekilde Gamage ve ark., (2016), kumlu tınlı topraklarda biyokömür uygulaması ile kuru agregat stabilitesi lineer olarak artarken, kumlu topraklarda bu lineer artışın olmadığı ve kuru agregat stabilitesinin maksimum %1 oranında arttığını belirtmişlerdir.

Biyokömürün Toprak Hidrolik Özelliklerine Etkisi

Yapılan araştırmalarda toprağa biyokömür ilavesi su infiltrasyonu, doymuş ve doymamış hidrolik iletkenlik değerlerini etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu değişimler artma ya da azalma eğiliminde olabilmektedir. Örneğin Ibrahim ve ark. (2013) odun biyokütlesinin pirolizi sonucunda elde edilen biyokömürün su infiltrasyonuna etkilerini araştırdıkları saksı denemelerinde, kumlu-tınlı bünyeye sahip toprağa ilave edilen biyokömür miktarının artışına bağlı olarak su infiltrasyonun da azalma olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde Githinji ve ark. (2014) fışık kabuğu biyokömürünün kumlu tınlı bünyeye sahip topraklara ilavesinin su infiltrasyonuna olan etkilerini sera koşullarında araştırmışlar ve ilave edilen biyokömür miktarına paralel olarak infiltrasyon düzeyinde kademeli bir azalış belirlemişlerdir. Ancak bu çalışmalardan farklı olarak ağaç atıklarından üretilen biyokömürün killi tınlı bünyeye sahip toprağa ilavesi sonucunda biyokömür oranındaki artış ile su infiltrasyon hızının da arttığı belirlenmiştir (Prober ve ark., 2014). Bazı araştırmalarda ise toprağa biyokömür ilavesinin su infiltrasyonu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Örneğin Busscher ve ark. (2010) pegan cevizi kabuğundan üretilen biyokömürü tınlı-kumlu bünyeye sahip toprağa eklenmesi sonucunda su infiltrasyonunda herhangi bir değişimin olmadığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Rogovska ve ark. (2014) odun atıklarından üretilen biyokömürü tınlı bünyeye sahip toprağa ilave edilmesi sonucunda su infiltrasyonunda istatistiksel anlamda önemli bir değişimin olmadığını belirtmişlerdir.

Yapılan bazı araştırmalarda genel de biyokömür ilavesinin toprağın doymuş hidrolik iletkenlik değerini artırdığı belirtilmektedir. Örneğin Dan ve ark (2015) laboratuvar koşullarında siltli-tınlı bünyeye sahip topraklarda yürüttükleri çalışmalarında fışık kabuğundan üretilen biyokömürü toprağa ilave ederek doymuş hidrolik iletkenlik değerlerindeki değişimi gözlemlemişlerdir. Araştırma sonucunda toprağın doymuş hidrolik iletkenlik değerinde %25 ile %287 oranında artış belirlemişlerdir. Siltli-tınlı bünyeye sahip toprak koşullarında yapılan bir diğer çalışmada da mısır atığının kullanıldığı biyokömürün toprağa ilavesi sonucunda doymuş hidrolik iletkenlik değeri %32 oranında artmıştır (Herath ve ark 2013). Ajayi ve Horn (2016) siltli-killi-tınlı topraklara odun biyokömürü uygulaması ile doymuş hidrolik iletkenlik değerinde %25 ile %77 oranında artış olduğunu bildirmişleridir. Bu sonuçlara ilaveten kumlu toprak koşullarında yürütölen birçok araştırmada toprağa biyokömür ilavesi toprağın doymuş hidrolik iletkenlik değerlerinde azalmaya neden olduğu belirtilmektedir (Zhang ve ark., 2016; Brockhoff ve ark., 2010; Uzoma ve ark., 2011; Barnes ve ark., 2014). Bazı araştırmalarda ise biyokömürün toprağın doymuş hidrolik iletkenliği üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Örneğin; Laird ve ark 2010; Lim ve ark., 2016; Du ve ark. 2016 tınlı bünyeye sahip topraklarda Major ve ark. 2012, Asai ve ark. 2009 ise killi bünyeye sahip topraklarda biyokömürün doymuş hidrolik iletkenlik değerine bir etkisinin olmadığını vurgulamışlardır. Ceviz kabuğunun 500 °C piroliz sıcaklığında elde edilen biyokömürün farklı dozlarının toprak fiziksel özelliklerine olan etkilerinin incelendiği bir çalışmada, toprağa biyokömür ilavesinin toprağın su tutma kapasitesini artırdığı belirtilmiştir (Yaman ve ark., 2019).

Yapılan araştırmalarda biyokömürün kaba bünyeli topraklara karıştırılması halinde infiltrasyon ve hidrolitik iletkenlik değerlerini azalttığı anlaşılmaktadır. Bunun en önemli nedenleri arasında genellikle 2 mm'den daha küçük biyokömür partiküllerinin topraktaki makro gözenekleri tıkamasıdır. Ayrıca biyokömür parçacıkları toprağın inorganik bileşimleri ile etkileşime girer ve su akış hızını doğrudan etkileyen toprağın porlu yapısını değiştirebilir. Buna ilaveten, uygulanan biyokömürün kendi içinde heterojen bir yapı göstermesi durumunda bazı biyokömür agregatları hızla parçalanarak toprak içindeki gözenekleri tıkayabilir. Biyokömür kumlu topraklarda kum taneciklerinin birbirine daha hızlı bağlanması sağlar, toprak kohezyonunu artırır ve su akışını azaltabilir.

Killi bünyeli ve sıkışmış topraklara biyokömür ilavesi suyun infiltrasyon hızını ve hidrolitik iletkenlik değerini artırır. Yapılan araştırmalarda 2 mm'den küçük biyokömür partiküllerinin kil gibi daha küçük çaplı toprak inorganik maddeleri ile karışması sonucunda toprağın gözenek alanını ve su akışını artırdığı belirtilmiştir (Githinji, 2014). İyi tekstürlü tarım topraklarında biyokömür uygulaması toprağın agregasyonunu geliştirerek makro gözenekliliği artırır ve bu sayede hidrolitik iletkenlik özelliklerini geliştirir. Killi topraklar kumlu topraklara göre daha düşük su akış hızına sahiptir. Bu nedenle biyokömür killi topraklarda su akışını düzenlemek amacıyla etkili bir şekilde kullanılabilir.

Biyokömürün Bitkideki Su Düzeyine Etkileri

Toprağa biyokömür uygulaması bitkilerde mevcut su tutma kapasitesini artırır. Bu avantajı özellikle kurak ya da yarı kurak iklim koşullarında yapılan bitkisel üretimde önemli bir parametredir. Biyokömürün bitkilerdeki mevcut su kapasitesine olan etkilerini belirlemek amacıyla laboratuvar ve sera ortamında çalışmalar yapılmıştır.

Kumlu toprak koşullarında saksılarda yürütölen bir çalışmada pirinç kabuğunun 550 °C piroliz sıcaklığında üretilen biyokömürün bitki bünyesindeki mevcut su kapasitesine olan etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada; toprağa 550 gkg⁻¹ normda biyokömür ilavesinin bitkideki mevcut su kapasitesini %74 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Manickam ve ark., 2015). Kumlu toprak koşullarında saksılarda yürütölen bir diğer çalışmada odun ve buğday anızından 750-1200 °C piroliz sıcaklığında üretilen biyokömürün toprağa ilavesi ile bitkideki mevcut su düzeyinde %18 oranında artış olduğu belirlenmiştir (Hansen ve ark., 2016). De Melo Carvalho ve ark., (2014), kumlu-tınlı bünyeye sahip tarla koşullarında 3 yıl süreyle yaptıkları çalışmalarında odun kaynaklı biyokömür kullanmışlar ve araştırma sonucunda biyokömürün bitki nem içeriğinde artışa neden olduğu sonucuna varmışlardır. Odundan üretilen biyokömürün kullanıldığı kumlu toprak koşullarında saksılarda yürütölen bir diğer çalışmada bitkilerdeki su düzeyinde %24 oranında artış gözlenmiştir (Ajayi ve Horn, 2016). Konu ile yapılan diğer çalışmalarda da benzer eğilimler belirlenmiştir. Örneğin; Mollinedo ve ark. (2015) mısır anızından, Koide ve ark. (2015), çimenden, Du ve ark. (2016) fışık kabuğundan ürettikleri biyokömürü toprağa karıştırmışlar ve bitkilerdeki nem düzeyinde ciddi oranda artışlar belirlemişlerdir.

Biyokömürün Toprak Sıcaklığına Etkileri

Toprağa biyokömür ilavesi toprak sıcaklığını değiştirir. Biyokömürün koyu rengi toprak rengini koyulaştırır ve toprak yüzeyinin albedosunu değiştirir. Albedo, toprak tarafından atmosfere geri yansıyan güneş radyasyonunun oranıdır. Koyu topraklar daha fazla güneş ışığını emer ve grimsi veya soluk topraklara göre daha düşük yüzey yansımasına sahip olabilir. Yapılan çalışmalarda toprağa 4.5 ile 30 Mg ha⁻¹ arasında değişen oranlarda biyokömürün eklenmesi halinde albedo veya toprağın ışığı yansıtma oranının azaldığı belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2013, Usowicz ve ark., 2016). Biyokömür içeren topraklar, diğer topraklara göre daha düşük yansıtma oranına sahiptir, bu da buharlaşmayı azaltır ve toprak nem içeriğini artırır. Biyokömür uygulaması toprak sıcaklığı üzerindeki etkileri gündüz ve gece ölçümlerinde farklılıklar gösterir. Yapılan bazı çalışmalarda biyokömür uygulamasının gece toprak

sıcaklığını artırdığı gündüz ise düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Ancak bu çalışmalarda ortalama 15 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değişimleri arasında önemli bir fark elde edilememiştir (Zhang ve ark., 2013, Usowicz ve ark., 2016, Ventura ve ark., 2012). Konuya bu açıdan bakıldığında biyokömür uygulamasının toprak sıcaklığındaki dalgalanmaların önüne geçebilecek alternatif bir uygulama olduğu söylenebilir.

SONUÇ

Günümüzde bertarafı zor ve maliyetli olan; büyük ve küçük baş hayvanlar ile kümes hayvanları gübrelere ve tarımsal atıklar, ormancılık, kâğıt hamuru üretimi, paketlenme veya marangozluktan kaynaklanan ahşap atıkları, tarımsal işletme atıkları ve biyokömür için özel olarak yetiştirilen bitkiler biyokömürün hammaddeleri arasında yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda farklı termokimyasal dönüşüm prosesleri sonucunda üretilen biyokömürün birçok avantajı olduğu belirlenmiştir.

Biyokömür bitki büyümesine yardımcı olur ve ürün verimini artırır. Sorunlu topraklara belirli oranlarda uygulanıp karıştırıldığında toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalite kriterlerini geliştirir ve besin değerlerini yükseltir. Bitkisel üretimden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltır, toprakta karbon depolanmasına yardımcı olur ve depolanan karbonun yıllarca toprakta sabit kalmasını sağlar. Tarımsal üretimde kullanılan kimyasalları adsorbe ederek bunların akarsulara ve yer altı sularına karışımını engeller, böylece sürdürülebilir tarımsal üretime yardımcı olur. Kimyasal ve organik gübre ile kompost kullanımının azaltılmasında önemli bir rol oynar. Bitkilerin gelişme aşamasında topraktaki pestisitleri bünyelerine almalarına engel olur. Porozitesi düşük topraklarda özellikle yağmurlu hava koşullarında besin maddelerinin yıkanmasına engel olur. Toprağın nem tutma yeteneğini geliştirerek daha az su tüketimine yardımcı olur. Toprakta bitki gelişimini olumlu yönde etkileyen ve toprak kalitesinin artırılmasını sağlayan bazı mantarların oranını artırır. İşlenmiş topraklarda CO₂, CH₄ ve N₂O gazlarının atmosfere yayılımını azaltır bu sayede küresel ısınma üzerinde olumlu katkılar sağlar.

Biyokömürün bu avantajlarından maksimum düzeyde yararlanabilmek için uygun metotlar ile toprağın alt katmanlarına karıştırılması gerekmektedir. Biyokömürün toprağa karıştırılmasını konu alan bilimsel çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Genel teamül toprak yüzeyine el ile serilip, diskli tırmık ve toprak frezeleri ile toprağa karıştırılması yönündedir. Bununla birlikte toprağa ekim derinliğinde karıştırılması gerektiği durumlarda anıza doğrudan ekim makinalarının kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur. Bahçelerde biyokömür uygulamasında genelde ağaç köklerine açılan karıklar içerisine biyokömür ilavesi yapıp üzerleri toprak ile kapatılmaktadır. Biyokömürün organik gübreler veya farklı kompostlar ile karıştırılarak toprağa verilmesi etkinliğinin artmasını sağlar.

Biyokömürün toprak özelliklerine etkilerini incelemek amacıyla yapılan tarla denemeleri sayısı oldukça azdır. Yapılan araştırmaların çoğu laboratuvar ya da sera koşullarında yürütülmüştür. Tarla koşullarında araştırma yapmadan biyokömürün toprak fiziksel özelliklerine olan etkilerini net bir şekilde belirlemek mümkün olmayacaktır. Buna ilaveten farklı toprak koşulları (farklı C içeriği ve toprak sıcaklığı), farklı biyokömür yönetim uygulamaları (biyokömürün yeni ya da eski olması, hacim ağırlığı ve hammaddesi), organik veya inorganik gübre ile interaksyonlarını içeren araştırmalara da ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğunda biyokömür toprağın yaklaşık 15 cm derinliğine karıştırılarak toprak fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Farklı toprak derinliklerine uygulanacak olan biyokömürün etkileri bilinmemektedir. Bu husus toprak alt katmanlarında depolanan su ve bitki gelişimi için gerekli olan besin elementlerine olan etkilerin belirlenmesi için oldukça önemli bir konudur. Bunlara ilaveten biyokömür uygulamasının ekonomik analizi ve çevresel etkilerine yönelik daha fazla araştırma yapılması sistemin etkinliği ve sürdürülebilirliği açısından önemli bir konudur.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Ajayi A, Horn R, 2016. Modification of Chemical and Hydro physical Properties of Two Texturally Differentiated Soils Due to Varying Magnitudes of Added Biochar. *Soil and Tillage Research*, 164:34–44.
- Alaboz P, Öz H, 2020. Biyokömür ve Solarizasyon Uygulamalarının Bazı Toprak Fiziksel Özellikler Üzerine Etkileri. *Anadolu Tarım Bilim. Derg. / Anadolu J Agr Sci* (35): 208-214.
- Andrenelli M, Maienza A, Genesio L, Miglietta F, Pellegrini S, Vaccari F, 2016. Field Application of Pelletized Biochar: Short Term Effect on The Hydrological Properties of a Silty Clay Loam Soil. *Agric. Water Manage.*, 163:190– 196.
- Antal M, Mochidzuki K, Paredes LS, 2003. Flash Carbonization of Biomass. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42 (16): 3690-3699.
- Antal MJ, Gronli M 2003. The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42:1619–1640.
- Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, 2009. Biochar Amendment Techniques for Upland Rice Production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Res.*, 111:81–84.
- Barnes RT, Gallaghe ME, Masiello CA, Liu Z, Dugan B, 2014. Biochar Induced Changes in Soil Hydraulic Conductivity and Dissolved Nutrient Fluxes Constrained by Laboratory Experiments. *PLoS One* 9: e108340.
- Bekele A, Roy JL, Young MA, 2015. Use of Biochar and Oxidized Lignite for Reconstructing Functioning Agronomic Topsoil: Effects on Soil Properties in a Greenhouse Study. *Can. J. Soil Sci.* 95:269–285.
- Biröl, M., 2020. İki Farklı Biyokömür Uygulamasının Bitki Verimine ve Toprak Kalitesine Etkisinin Belirlenmesi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Borchard N, Siemens J, Ladd JB, Möller A, Amelung W, 2014. Application of Biochars to Sandy and Silty Soil Failed to Increase Maize Yield under Common Agricultural Practice. *Soil and Tillage Research*, 144:184–194.
- Brassard P, Stephane G, Vijaya R, 2016. Soil Biochar Amendment as a Climate Change Mitigation Tool: Key Parameters and Mechanisms Involved. *J. Environ. Manage.*, 181:484–497.
- Bridgwater AV, 2012. Review of Fast Pyrolysis of Biomass and Product Upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38: 68-94.
- Briggs C, Breiner JM, Graham RC, 2012. Physical and Chemical Properties of *Pinus Ponderosa* Charcoal: Implications for Soil Modification. *Soil Sci.*, 177:263– 268.
- Brockhoff SR, Christians NE, Killorn RJ, Horton R, Davis DD, 2010. Physical and Mineral-Nutrition Properties of Sand-Based Turfgrass Root Zones Amended with Biochar. *Agronomy Journal*, 102:1627–1631.
- Burrell LD, Zehetner F, Rampazzo N, Wimmer B, Soja G, 2016. Longterm Effects of Biochar on Soil Physical Properties. *Geoderma*, 282:96–102.
- Busscher WJ, Novak JM, Ahmedna M, 2011. Physical Effects of Organic Matter Amendment of a Southeastern Us Coastal Loamy Sand. *Soil Sci.*, 176:661–667.

- Busscher WJ, Novak JM, Evans DE, Watts DW, Niandou MAS, Ahmedna M, 2010. Influence of Pecan Biochar on Physical Properties of a Norfolk Loamy Sand. *Soil Sci.*, 175:10–14.
- Chan KY, Zwieter LV, Meszaros I, Downie A, Joseph S, 2007. Agronomic Values of Greenwaste Biochar as A Soil Amendment. *Aust. J. Soil Res.*, 45:629–634.
- Cui H, Ma K, Fan Y, Peng X, Mao J, Zhou D, 2016. Stability and Heavy Metal Distribution of Soil Aggregates Affected by Application of Apatite, Lime, and Charcoal. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 23:10808–10817.
- Curaqueo G, Meier S, Khan N, Cea M, Navia R, 2014. Use of Biochar on Two Volcanic Soils: Effects on Soil Properties and Barley Yield. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 14:911–924.
- Dan T, Zhong-Yi Q, Mang-Mang G, Bo L, Yi-Jia L, 2015. Experimental Study of Influence of Biochar of Different Texture Soil Hydraulic Characteristic Parameters and Moisture Holding Properties. *Pol. J. Environ. Stud.*, 24:1435–1442.
- De Melo Carvalho MT, De Holanda Nunes Maia A, Madari BE, Bastiaans L, Van Ort, PAJ, Heinemann AB, 2014. Biochar Increases Plant Available Water in a Sandy Soil under an Aerobic Rice Cropping System. *Solid Earth* 6:887–917.
- Ding Y, Liu YG, Liu SB, Li ZW, Tan XF, Huang XX, 2016. Biochar to Improve Soil Fertility: A Review. *Agron. Sustain. Dev.*, 36:12-18.
- Dong X, Guan T, Li G, Lin Q, Zhao X (2016). Long-Term Effects of Biochar Amount on The Content and Composition of Organic Matter in Soil Aggregates under Field Conditions. *J. Soils Sediments* 16:1481–1497.
- Du Z, Chen X, Qi X, Li Z, Nan J, Deng J, 2016. The Effects of Biochar and Hoggery Biogas Slurry on Fluvo-Aquic Soil Physical and Hydraulic Properties: A Field Study of Four Consecutive Wheat–Maize Rotations. *J. Soils Sediments*, 16:2050–2058.
- Dufour DL, 1990. Use of Tropical Rainforests by Native Amazonians. *BioScience*. 40 (9): 652–659.
- Eastman CM, 2011. Soil Physical Characteristics of an Aeris Ochraqualf Amended with Biochar. MSc diss. Ohio State University, Columbus, OH.
- Esmaelnejad L, Shorafa M, Gorji M, Hosseini SM, 2016. Enhancement of Physical and Hydrological Properties of a Sandy Loam Soil Via Application of Different Biochar Particle Sizes During Incubation Period. *Span. J. Agric. Res.*, 14(2):e1103.
- Gamage DN, Mapa RB, Dharmakeerthi RS, Biswas A, 2016. Effect of Ricehusk Biochar on Selected Soil Properties in Tropical Alfisols. *Soil Research*, 54:302–310.
- Głąb T, Palmowska J, Zaleski T, Gondek K, 2016. Effect of Biochar Application on Soil Hydrological Properties and Physical Quality of Sandy Soil. *Geoderma*, 281:11–20.
- Glaser B, Lehmann J, Steiner C, Nehls T, Yousaf M, Zech W, 2002. Potential of Pyrolysed Organic Matter in Soil Amelioration, in Proceedings of the 12th International Soil Conservation (ISCO) Conference, Beijing, China.
- Gray M, Johnson MG, Dragila MI, Kleber M, 2014. Water Uptake in Biochars: The Roles of Porosity and Hydrophobicity. *Biomass Bioenergy*, 61:196–205.
- Hansen V, Nielsen HH, Petersen CT, Mikkelsen TN, Stöver DM, 2016. Effects of Gasification Biochar on Plant-Available Water Capacity and Plant Growth in Two Contrasting Soil Types. *Soil and Tillage Research*, 161:1–9.
- Herath HMSK, Arbestain MC, Hedley M, 2013. Effect of Biochar on Soil Physical Properties in Two Contrasting Soils: An Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209–210:188–197.

- Kambo H, Dutta A, 2015. A Comparative Review of Biochar and Hydrochar in Terms of Production, Physico-Chemical Properties and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45: 359–378.
- Khademalrasoul A, Naveed M, Heckrath G, Kumari KGID, Jonge LW, Elsgaard L, 2014. Biochar Effects on Soil Aggregate Properties Under No-Till Maize. *Soil Science*, 179:273–283.
- Kinne, TJ, Masiello CA, Dugan B, Hockaday WC, Dean MR, Zygourakis K, 2012. Hydrologic Properties of Biochars Produced at Different Temperatures. *Biomass Bioenergy* 41:34–43.
- Koide RT, Nguyen BT, Skinner RH, Dell CJ, Peoples MS, Adler PR, 2015. Biochar Amendment of Soil Improves Resilience to Climate Change. *GCB Bioenergy*. 7:1084–1091.
- Laird DA, Fleming P, Davis DD, Horton R, Wang B, Karlen DL, 2010. Impact of Biochar Amendments on the Quality of a Typical Midwestern Agricultural Soil. *Geoderma*, 158:443–449.
- Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D, 2011. Biochar Effects on Soil Biota: A Review. *Soil Biol. Biochem.*, 43:1812–1836.
- Lim TJ, Spokas KA, Feyereisen G, Novak JM, 2016. Predicting the Impact of Biochar Additions on Soil Hydraulic Properties. *Chemosphere*, 142:136–144.
- Liu XH, Han FP, Zhang, XC, 2012. Effect of Biochar on Soil Aggregates in The Loess Plateau: Results from Incubation Experiments. *Int. J. Agric. Biol.*, 14:975– 979.
- Liu Z, Dugan B, Masiello CA, Barnes RT, Gallagher ME, Gonnermann H, 2016a. Impacts of Biochar Concentration and Particle Size on Hydraulic Conductivity and DOC Leaching of Biochar–Sand Mixtures. *J. Hydrol.*, 533:461– 472.
- Lu S, Sun F, Zong Y, 2014. Effect of Rice Husk Biochar and Coal Fly Ash on Some Physical Properties of Expansive Clayey Soil (Vertisol). *Catena*, 114:37–44.
- Major J, Rondon M, Molina D, Riha SJ, Lehmann J, 2012. Nutrient Leaching in a Colombian Savanna Oxisol Amended with Biochar. *J. Environ. Qual.* 41:1076– 1086. doi:10.2134/jeq2011.0128
- Manickam T, Cornelissen G, Bachmann RT, Ibrahim IZ, Mulder J, Hale SE 2015. Biochar Application in Malaysian Sandy and Acid Sulfate Soils: Soil Amelioration Effects and Improved Crop Production Over Two Cropping Seasons. *Sustainability* 7:16756–16770.
- Manirakiza N, 2019. Biyokömür ve Kompost Uygulamalarının Kumlu Bir Toprağın Özellikleri ile Mısır Bitkisinin Gelişimine Etkileri. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Mao JD, Johnson RL, Lehmann J, Olk J, Neeves EG, Thompson ML, Schmidt-Rohr K, 2012. Abundant and Stable Char Residues in Soils: Implications for Soil Fertility and Carbon Sequestration. *Environmental Science and Technology*, 46 (17): 9571–9576.
- Mollinedo J, Schumacher TE, Chintala R, 2015. Influence of Feedstocks, and Pyrolysis on Biochar Capacity to Modify Water Retention Characteristics. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 114:100–108.
- Mukherjee A, Lal R, Zimmerman AR, 2014. Impacts of 1.5-Year Field Aging on Biochar, Humic Acid, and Water Treatment Residual Amended Soil. *Soil Sci.* 179:333–339.
- Obia A, Mulder J, Martinsen V, Cornelissen G, Borresen 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.
- Omondi MO, Xia X, Nahayo A, Liu X, Korai PK, Pan G, 2016. Quantification of Biochar Effects on Soil Hydrological Properties using Meta-Analysis of Data. *Geoderma* 274:28–34.
- Ouyang L, Tang WJ, Zhang R, 2013. Effects of Biochar Amendment on Soil Aggregates and Hydraulic Properties. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 13:991–1002.

- Pandian K, Subramaniayan P, Gnasekaran P, Chitraputhirapillai S, 2016. Effect of Biochar Amendment on Soil Physical, Chemical and Biological Properties and Groundnut Yield in Rainfed Alfisol of Semi-Arid Tropics. *Arch. Agron. Soil Sci.* 62:1293–1310.
- Peng X, Zhu Q, Xie Z, Darboux F, Holden N, 2016. The Impact of Manure, Straw and Biochar Amendments on Aggregation and Erosion in a Hillslope Ultisol. *Catena* 138:30–37.
- Pratiwi EP, Shinogi Y, 2016. Rice Husk Biochar Application on Paddy Soil and Its Effects on Soil Physical Properties, Plant Growth, and Methane Emission. *Paddy Water Environ.*, 14:521–532.
- Rogovska N, Laird DA, Karlen DL, 2016. Corn and Soil Response to Biochar Application and Stover Harvest. *Field Crops Res.*, 187:96–106.
- Rogovska N, Laird DA, Rathke SJ, Karlen DL, 2014. Biochar Impact on Midwestern Mollisols and Maize Nutrient Availability. *Geoderma*, 230–231:340–347.
- Ronsse F, 2016. Biochar: A Regional Supply Chain Approach in View of Climate Change Mitigation. *Biochar Production*. Chapter 10:199-226.
- Usovich B, Lipiec J, Lukowski M, Marczewski W, Usovich J, 2016. The Effect of Biochar Application on Thermal Properties and Albedo of Loess Soil under Grassland and Fallow. *Soil and Tillage Research*, 164:45–51.
- Uzoma KC, Inoue M, Andry H, Zahoor A, Nishihara E, 2011. Influence of Biochar Application on Sandy Soil Hydraulic Properties and Nutrient Retention. *J. Food Agric. Environ.*, 9:1137–1143.
- Ventura F, Salvatorelli F, Piana S, Pieri L, Pisa, PR, 2012. The Effects of Biochar on The Physical Properties of Bare Soil. *Earth Environ. Earth Env. Sci. T. R. So.*, 103:5–11.
- Withrow J, 1915. The Chemical Engineering of the Hardwood Distillation Industry. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 7 (2): 912-913.
- Xiao Q, Zhu L, Zhang H, Li X, Shen Y, Li S, 2016. Soil Amendment with Biochar Increases Maize Yields in a Semi-Arid Region by Improving Soil Quality and Root Growth. *Crop Pasture Sci.*, 67:495–507.
- Yaman E, Varol E.A, Gültaş H.T, Özbay N, (2019). Ceviz Kabuğunun Karbonizasyonu ile Elde Edilen Katı Ürününün Toprak Düzenleyicisi Olarak Kullanılması. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 6 :106-116.
- Zhang J, Chen Q, You CF, 2016. Biochar Effect on Water Evaporation and Hydraulic Conductivity in Sandy Soil. *Pedosphere*, 26:265–272.
- Zhang Q, Du Z, Lou Y, He X, 2015. A One-Year Short-Term Biochar Application Improved Carbon Accumulation in Large Macroaggregate Fractions. *Catena* 127:26–31.
- Zhang Q, Wang Y, Wu Y, Wang X, Du Z, Liu X, 2013. Effects of Biochar Amendment on Soil Thermal Conductivity, Reflectance, and Temperature 2013. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 77:1478–1487.
- Zheng J, Chen J, Pan G, Liu X, Zhang X, Li L, 2016. Biochar Decreased Microbial Metabolic Quotient and Shifted Community Composition Four Years After a Single Incorporation in a Slightly Acid Rice Paddy from Southwest China. *Sci. Total Environ.* 571:206–217.
- Zong Y, Chen D, Lu S, 2014. Impact of Biochars on Swell–Shrinkage Behavior, Mechanical Strength, and Surface Cracking of Clayey Soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 177:920–926.
- Zong Y, Xiao Q, Lu S, 2016. Acidity, Water Retention, and Mechanical Physical Quality of a Strongly Acidic Ultisol Amended with Biochars Derived from Different Feedstocks. *J. Soils Sediments* 16:177–190.