

Biyokömür; Tanımı, Kullanımı ve Tarım Topraklarındaki Etkileri

Elif GÜNAL^{*†} , Halil ERDEM[†] 

[†] Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 60240 Tokat

Öz: Biyokütlenin oksijenin sınırlı olduğu bir ortamda termo-kimyasal dönüşümü işlemi ile elde edilen karbon (C) bakımından zengin katı materyaller biyokömür olarak tanımlanmaktadır. Biyokömürün toprak verimliliği ve bitki gelişimi üzerine etkisi, biyokömürün ve uygulanan toprağın özellikleri, uygulama dozu ve uygulanan ürünün isteklerinin karşılıklı etkileşimleri tarafından belirlenmektedir. Ancak, biyokömürün yüksek pH'sı, gözenekli yapısı ve yüksek yüzey yükü nedeni ile toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine doğrudan veya dolaylı yollarla etki ettiğini rapor eden çok sayıda araştırma yayınlanmıştır. Bunlara ilaveten biyokömürün yüksek yük yoğunluğu ve yüzey alanı ile fitotoksik organik molekülleri adsorbe edebilmesi ve toprak kökenli patojenleri baskılaması da bitkisel üretimdeki olumlu etkileri arasında sayılabilir. Bu derlemede, biyokömürün tarım arazilerindeki kullanımını özellikle de toprak verimliliği ve ürün verimini konu eden 51 adet araştırmanın dikkate değer bulguları özetlenerek karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: biyokömür, toprak verimliliği, besin elementi, bitki hastalığı, kireçleme etkisi

Biochar; Definition, Utilization and Effects on Agricultural Soils

Abstract: Carbon rich solid materials produced by thermo-chemical conversion of biomass in an oxygen limited environment is defined as biochar. The impact of biodiversity on soil fertility and plant growth is determined by the interactions among characteristics of biochars and amended soil, application rate and requirements of crops grown. However, many reports have been published indicating that biochar can directly or indirectly influence physical, chemical and biological properties of soils due to high pH, porous structure and large surface charge. Ability to adsorb phytotoxic organic molecules with its high surface charge and surface area and to suppress soil-borne pathogens can be considered as positive effects of biochar on plant production. In this review, remarkable findings of 50 studies conducted on investigating the biochar use on agricultural fields particularly effects on soil fertility and crop productivity have been summarized, compared and discussed.

Keywords: biochar, soil fertility, nutrient efficiency, plant disease, liming effect

GİRİŞ

Modern tarımda birim alandan daha yüksek miktarda ürün alabilmenin en önemli şartlarından biri bitkinin gereksinim duyduğu besin elementlerinin gübre şeklinde ilave edilmesidir. Gübre uygulaması ile gübreleme yapılmayan koşullara kıyasla %30 ile %50 arasında verim artışı sağlamak mümkün olsa da organik madde ilavesi olmadan kimyasal gübrelere uzun süre olan bağımlılık gübre kullanım etkinliğinin düşmesine ve çevre kirliliği sorunlarına neden olmaktadır (Chaudhary ve ark., 2017). Tarım arazilerinde uygulanan azotlu (N) gübrelerin önemli bir kısmının yüzey akışı, NH₃ şeklinde volatilizasyonu, NO₃⁻ şeklinde yıkanması ile bitkisel üretimde kullanılmadığı, yüzey ve yüzey altı sularında kirlenmeye neden olduğu bildirilmiştir (Tian ve ark., 2018). Bu nedenle, sürdürülebilir tarımsal üretim yapabilmek için toprağın organik maddesi ile temel besin elementlerinin biyolojik döngüsünü uygun bir seviyede tutmak çok önemlidir. Literatürde kompost, hayvan gübresi ve yeşil gübreleme gibi birçok uygulamanın mikroorganizma faaliyetlerini arttırdığı ve yetiştirilen ürünlerin besin gereksinimlerinin önemli bir kısmını karşıladıklarına dair araştırma raporları bulmak mümkündür. Ancak ilave edilen organik atıklar toprakta çok hızlı ayrıştıklarından dolayı bu katkı maddelerinin ömürleri ve etkileri oldukça kısadır (Naeem ve ark., 2018).

Biyokütlenin yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda ısıtılması (pirolizi) ile elde edilen biyokömür, bozulmaya karşı dirençli olan yapısı, yüksek spesifik yüzey alanı ve

negatif yüzey yükü gibi özelliklerinden dolayı toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirebilecek ve bitkisel üretimin verimliliğini arttırabilecek bir katkı maddesi olarak düşünülmektedir (Madari ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2017). Biyokömürün ılıman bölgelerde ve tropikal ekosistemlerde toprak kalitesini ve ürün verimliliğini arttırdığına dair raporlar yayınlanmaktadır (Güereña ve ark., 2013). Biyokömürün toprağın verimliliğini arttırmak üzere kullanımına ait ilk bulgular ise Amazonlarda keşfedilen Terra Preta de Indio toprakları üzerinde yapılan çalışmalara dayanmaktadır. Terra Pretalar kilometrelerce uzunluktaki koyu renkli ve verimli topraklardır (Kammann ve ark., 2016).

Global ölçekte bir meta analiz yapan Jeffery ve ark. (2017), biyokömürün ılıman iklimlerde verim artışına hemen hemen hiçbir etkisinin olmadığını ancak tropik iklimte sahip bölgelerde ortalama %25 oranında verim artışı sağladığını belirtmişlerdir. Tropik bölgelerdeki toprakların pH'larının düşük olması (medyan pH = 5.7) ve yüksek ayrışma ile birlikte verimlilik seviyelerinin düşük olması, yüksek pH'ya sahip biyokömürlerin (medyan pH=9.0) uygulamalarına olumlu tepki vermelerinin gerekçesi olarak açıklanmıştır. Bunun aksine daha yüksek pH'ya (medyan pH = 6.9) sahip

Sorumlu Yazar: elifgunal@yahoo.com Bu çalışma doktora tezi ürünüdür.

Geliş Tarihi: 14 Mart 2018

Kabul Tarihi: 6 Kasım 2018

olan ılıman bölge topraklarının doğal olarak daha verimli olmalarının yanında yüksek miktarda gübreleme yapıyor olmasının biyokömürün yaptığı katkıyı gölgelediği düşünülmektedir (Jeffery ve ark., 2017). Biyokömürün toprağın verimliliği üzerine olan etkisi, toprakta besin elementlerinin miktarı ve yayılgılığı (Lehmann ve ark., 2003) ve toprağın biyokimyasal özelliklerine olan (Luo ve Gu, 2016) etkisi ile ilişkilendirilmiştir. İlave edilen biyokömür özelliklerine de bağlı olmakla birlikte, toprakta su ve besin elementi tutumu veya mikrobiyal aktivite gibi özelliklere biyokömürün doğrudan etki ettiği düşünülmektedir (Atkinson ve ark., 2010; Lehmann ve ark., 2011). Yüze alanı ve C içeriği oldukça yüksek, yapısı çok gözenekli ve çoğunlukla alkali karakterde olan biyokömürün toprağa uygulanması; toprağın organik madde içeriğinin yükselmesine (Liu ve ark., 2017) ve pH'nın artmasına (Chan ve ark., 2008; Gaskin ve ark., 2010; Laird ve ark., 2010) ve toprak mikroorganizmalarının çeşidi ve miktarının değişmesine (Gul ve ark., 2015) neden olduğu bildirilmiştir. Bunun yanında biyokömür ilavesinin toprağın fiziksel özelliklerinden hacim ağırlığının düşmesine (Asai ve ark., 2009; Laird ve ark., 2010), toprak sıkışmasının azalmasına (Olmo ve ark., 2014; Liu ve ark., 2017), toprağın yüze alanının (Lehmann ve ark., 2011) ve toplam gözenekliliğin artmasına (Githinji, 2014), gözenek büyüklük dağılımının (Sun ve Lu, 2014) ve su tutma kapasitesinin artmasına (Akhtar ve ark., 2015) neden olduğu da rapor edilmiştir. Bitkinin gelişimi için ortamın daha uygun hale gelmesi ise toprak verimliliğinin artması, bitkinin daha iyi gelişmesi ve nihayetinde bitkisel üretim miktarının önemli miktarda artmasına neden olmaktadır.

BIYOÇAR UYGULAMALARININ BİTKİ GELİŞİMİNE VE VERİMLİLİĞE ETKİLERİ

Biyokömür uygulamasının toprağın verimliliğine, bitki gelişimine ve ürün verimine etkileri; ürün çeşidi, biyokömür uygulama oranları ve biyokömürün özellikleri ile bitki yetiştirme koşulları, edafik faktörler, kullanılan kimyasal gübreler ve incelenen yıla bağlı olarak değişmektedir (Jeffery ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2012). Biyokömürün çeşidi, üretim koşulları, uygulanan toprağın özellikleri ve denemenin yürütüldüğü ortamın koşullarına bağlı olarak biyokömür uygulamalarının bitkisel üretime ve ürünlerin performansına olan etkisinin olumlu olduğunu rapor eden çalışmalar olduğu gibi (Chan ve ark., 2007; Asai ve ark., 2009; Lin ve ark., 2015; Liu ve ark., 2017), biyokömürün etkisinin önemsiz (Nelissen ve ark., 2015; Subedi ve ark., 2016; Hansen ve ark., 2017) ve hatta olumsuz (Gaskin ve ark., 2010; Lin ve ark., 2015; Nelissen ve ark., 2015) olduğunu bildiren araştırma raporları da yayınlanmıştır. Bunlara ilaveten biyokömürün topraktaki fitotoksik organik molekülleri adsorbe edebilmesi (Oleszczuk ve ark., 2012) ve toprak kökenli patojenleri baskılması (Eo ve ark., 2018) da bitki gelişimine olumlu etkileri olarak bildirilmiştir.

Biyokömürün ürün verimine olumsuz veya nötr etkisiyle çoğunlukla tropik bölgelerde karşılaşıldığı rapor eden Jeffery ve ark. (2017), yüksek pH'sı nedeni ile biyokömürün bu topraklarda fazla kireçleme etkisi ile pH'nın gereğinden fazla yükselmesine neden olduğunu bununda mangan, demir, bor ve fosfor (P) gibi besin elementlerinin alımını engelleyebileceğini bildirmişlerdir. Bu etkilerin yer aldığı araştırma sonuçlarına ait ilgi çekici örnekler aşağıda yer almaktadır.

Herhangi bir biyokömür çeşidinin toprak özelliklerine etkisi, uygulanan biyokömür materyalinin karakteristikleri, uygulama yapılan toprağın özellikleri ve uygulama yapılan bitkinin çeşidine bağlı olarak büyük değişkenlik gösterebilir (Prapagdee ve Tawinteung, 2017). İki farklı ürün için aynı toprakta kullanılan biyokömürün ürün gelişimi performansı farklı olabilir. Lin ve ark. (2015), tınlı bir toprağa ilave edilen 16 Mg ha⁻¹ mısır koçanı biyokömürünün buğday verimini arttırdığını rapor ederken, benzer bir uygulamanın soya fasulyesi gelişimine etkisi olmadığını görmüşlerdir. Çin'in İç Moğolistan bölgesinde Kubuqi ve Pakistan'ın Thar Çöllerinde kumlu topraklara çam talaşının 400 °C'de pirolizi ile elde ettikleri biyokömürleri uygulayan Laghari ve ark. (2015), çöl topraklarının su tutma kapasitesinin arttığını, hidrolik iletkenliğinin azaldığını, toplam C, potasyum (K), P ve kalsiyum (Ca) konsantrasyonlarının arttığını ve pH'nın önemli düzeyde azaldığını bildirmişlerdir. Toprak özelliklerindeki bu iyileşmenin ise sorgumun kuru madde miktarında Kubuqi'de %18 ve Thar çölü topraklarında %22 oranında artışa neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Biyokömür ilave edilen topraklarda bitki gelişiminin artması, besin elementi kullanım etkinliğinin iyileşmesi, toprağın kimyasal ve mikrobiyal özelliklerindeki pozitif etkisinin yanında besin elementlerinin yıkanmasının azaltılması ile de ilişkilidir (Gul ve ark., 2015). Lehmann ve ark. (2003)'da biyokömür uygulamalarının verimlilik üzerine etkisini biyokömürün yüksek su ve besin elementi tutma yeteneği nedeni ile gübrelerle uygulanan besin elementleri yıkanmasını azaltması ve gübre kullanım etkinliğini artırması ile açıklamışlardır.

Yeni Zelanda'da okaliptus, mısır koçanı, taze çam ve söğüt kullanarak 550 °C'de üretilen biyokömürler, ince kumlu ve ince tınlı iki tekstüre sahip toprakta mısırın çimlenmesi üzerine etkilerini görmek amacı ile kullanılmıştır (Free ve ark., 2010). Uygulamada 20 cm derinliğe olacak şekilde 0, 2.5, 5.0 ve 10 ton ha⁻¹ düzeyindeki biyokömürler uygulanmıştır. Araştırmacılar çalışma sonunda, farklı biyokömürlerin ve dozlarının mısır tohumunun çimlenmesine kontrole göre önemli düzeyde etki ettiğini belirtmiş ve biyokömürün toprakta C'un depolanması ve toprağın kalitesinin artırılması adına oldukça önemli etkileri olduğunu rapor etmişlerdir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin güney doğusunda yer alan organik madde içeriği ve verimliliği düşük Ultisol

(Kandiudults)'lere uygulanan fıstık kabuğu ve çam atıklarından üretilen biyokömürün topraktaki besin elementi verimine etkileri, Gaskin ve ark. (2010) tarafından iki yetiştirme sezonu boyunca araştırılmıştır. Araştırmacılar biyokömür dozlarını 0, 11 ve 22 Mg ha⁻¹ olacak şekilde düzenleyerek biyokömürü N'lu gübre ile ve N'lu gübre kullanılmadan uygulamışlardır. Bu çalışmada, artan çam biyokömürü uygulama dozunun toprağın pH'sını düşürdüğü ve Ca'un yarayıllılığını arttırdığı görülmüştür. Araştırmacının ilk yılında artan çam biyokömür dozu ile mısır veriminin azaldığı görülmüştür. Fıstık kabuğu uygulamasının toprağın ilk 15 cm derinliğindeki Ca, Mg ve K seviyesini arttırdığı bildirilirken en yüksek biyokömür dozunun (22 Mg ha⁻¹ = 418 kg ha⁻¹) verimde azalmaya neden olduğu rapor edilmiştir. Diğer yandan, Hansen ve ark. (2017) gazlaştırma ile elde edilen biyokömür uygulamasının toprak organik C içeriğini önemli düzeyde arttırmadığını bildirirken kışık buğday ve kışık kolza verimlerine de önemli bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir.

Bir kısım araştırmalarda, biyokömürün sadece besin elementinin sınırlı olduğu koşullarda gübre olarak görev yapabileceği ve kök bölgesindeki mikroorganizma topluluğunu değiştirerek bitki gelişimini teşvik edebileceği ifade edilmiştir (De Tender ve ark., 2016). Biyokömür ilavesinin ürün verimliliğine olumlu etkisi uygun fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak ortamı ve besin elementi yarayıllılığı ile toprak su yarayıllılığının iyileşmesine bağlamışlardır (Lehmann ve ark., 2011; Novak ve ark., 2016). Bitki gelişimine en olumlu etkinin ise pH'sı en düşük olan biyokömür ilavesi ile yapıldığı görülmüş ve bu nedenle de piroliz koşullarının pH'yı yükseltmeyecek şekilde ayarlanmasının önemi vurgulanmıştır (Taghizadeh-Toosi ve ark., 2012). Subedi ve ark. (2016), tavuk gübresi (400 ve 600 °C), domuz gübresi (400 ve 600 °C) ve kivi ağacı budama atıklarından (1000 °C) üretilen biyokömürleri siltli tın ve kumlu tekstüre sahip iki ayrı toprağa uygulamış ve çavdar gelişimi ile toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Saksı denemesi sonunda, düşük sıcaklıkta (400 °C) hayvan gübresinden elde edilen biyokömürün hem sap hem de kök kuru madde verimini kontrole göre önemli düzeyde arttırdığı belirlenmiştir. Bunun yanında 600 °C'de üretilen hayvan gübresi biyokömürleri ile odun biyokömürünün ne sap ne de kök kuru madde verimine etkisi olmadığı bildirilmiştir. Kontrole kıyasla en yüksek sap kuru madde artışı (%50,1) tavuk gübresinden 400 °C'de üretilen biyokömür ile siltli tın toprakta elde edilmiştir. Aynı biyokömürün kök kuru madde miktarında ise %127.2'lik bir artışa neden olduğu görülmüştür. Biyokömürün N içeriğinin hem sap kuru madde (siltli tın için korelasyon katsayısı (r) = 0.78, kumlu için r = 0.61) hem de kök kuru madde verimi (siltli tın için r = 0.82, kumlu için r = 0.59) ile pozitif bir korelasyonu olduğu görülmüştür.

Piroliz esnasında sıcaklık 200 °C'ye yaklaştığında hammadde de bulunan N'un uçucu gazlara dönüştüğü bildirilmekte

çeriğine, mısırın (*Zea Mays L.*) beslenme durumuna ve

olup, üretim sıcaklığına ve hammaddenin N içeriğine bağlı olarak biyokömürün N konsantrasyonu %0.2 ile %7.8 arasında olarak rapor edilmiştir (Chan ve ark., 2007). Hammaddenin piroliz edildiği sıcaklık düştüğünde ekstrakte edilebilir NH₄ miktarının arttığı (Gundale ve Deluca, 2006) bu nedenle düşük sıcaklıkta üretilen biyokömür ilavesinin topraktaki toplam N miktarının artışına neden olduğu ve bitki gelişimi için gerekli olan N'un bir kısmını karşılayabileceği bildirilmiştir (Luo ve ark., 2014). Biyokömür, kompost ve mineral gübreleri birlikte uygulayan Naeem ve ark. (2018)'da artan sap ve dane verimi ile N konsantrasyonunun direk olarak biyokömür ve kompost ile katılan N olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle düşük sıcaklıkta üretilen biyokömürlerin (400 °C) tınlı kum ve kumlu tekstüre sahip iki ayrı toprakta da çavdarın sap ve kök kuru madde verimlerinde önemli düzeyde artışa neden olmasını Subedi ve ark. (2016), i.) biyokömür ile toprağa direk besin elementi katılması (Lehmann ve ark., 2003), ii.) biyokömür ilave edilen topraklarda N mineralizasyonunun daha da artmış olması (Ameloot ve ark., 2015), iii.) toprak pH'sının artışı ile birlikte toprak-biyokömür-P'unun yarayıllılığının artması (siltli tınlı toprakta) ve bunun ardından P alımının artması (Wang ve ark., 2012), ve iv.) toprak mikroorganizmalarının aktivitelerine bağlı olarak S'un biyo-jeokimyasal döngüsünün gelişmesi (Lehmann ve ark., 2011; Subedi ve ark., 2016) ile açıklamışlardır. Toprağa uygulanan biyokömürün P'un yarayıllılığını arttırdığını bildiren çok sayıda çalışma mevcuttur (Chan ve ark., 2007; Atkinson ve ark., 2010; Hossain ve ark., 2011). Fosfor yarayıllılığının artmasının nedenlerinin; toprak pH'sındaki değişim, P'un diğer katyonlar ile olan etkileşimi ve anyon değişimi yoluyla P tutunmasının artması olabileceği bildirilmiştir (Atkinson ve ark., 2006).

Üretildikleri biyokütlenin doğasına bağlı olarak, biyokömürler değişik oranlarda besin elementi içerebilmektedirler. Liu ve ark. (2017), toprağa uygulanan 48 ton ha⁻¹ biyokömür ile 61 kg ha⁻¹ yarayıllı P ve 594 kg ha⁻¹ yarayıllı K ilave edildiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, K'un buğday sapının gelişimi, selüloz oluşumunu desteklemesi ve hücre duvarının kalınlaşmasını sağladığından dolayı buğdayın vejetatif gelişimini arttırdığını bildirmişlerdir. Biyokömür uygulaması ile bitki boyu %5, kardeşlenme sayısı %19, sap biyo kütlesi %12 ve kök biyokütlesi ise %10 oranında artmıştır. Ancak dane verimi, başak sayısı ve her başaktaki dane sayısı üzerine biyokömür uygulamasının önemli bir etki yapmadığı ifade edilmiştir. Elde edilen sonuç, topraktaki yarayıllı N havuzu üzerine biyokömürün olumlu etkisinin olmadığını bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. Liu ve ark. (2017), biyokömürün kendi başına biyo yarayıllı bir N kaynağı olmadığını bunun nedeninin N'un piroliz esnasında piroller, imidazoller ve piridinler gibi heterosiklik bileşiklere dönüşmesi (Knicker, 2010) olduğunu belirtmişlerdir. Biyokömür uygulaması ile birlikte topraktaki

N yarayışlılığının azalmasına yönelik farklı açıklamalar da yapılmıştır. Bu nedenlerin bazıları, (i) nitrifikasyon ve denitrifikasyon popülasyonunun artışı ile birlikte N yüzeyinde yüklü fonksiyonel grupların varlığında daha yüksek N adsorpsiyonu (Utomo ve ark., 2012); (iv) biyokömürde bulunan yüksek C:N oranına sahip kolay mineralize olabilen alifatik bileşenlerden dolayı N immobilizasyonunun artması (Deenik ve ark., 2010); ve (v) biyokömürün organik maddenin mikroorganizmalara maruz kalmasını önlemesinden dolayı toprak organik N'unun mineralizasyonunun önlenmesi (Aguilar-Chavez ve ark., 2012) şeklinde özetlenebilir.

Yarayışlı besin elementi kapsamı düşük olmasına rağmen biyokömür uygulamalarından olumlu tepki alan araştırmacılar bunu toksinlerin nötralize edilmesine (Wardle ve ark., 1998), özellikle su tutma kapasitesi gibi toprak fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesine (Carvalho ve ark., 2014) ve toprak sıkışmasının azaltılmasına (Chan ve ark., 2008) olan etkileri ile ilişkilendirmişlerdir. Biyokömürün toprağın su tutma kapasitesine ve adsorpsiyon kapasitesine etkisini değerlendiren araştırmacılar, elektron mikroskobu ile yaptıkları incelemede bu etkilerin biyokömürün oldukça gözenekli olan yapısından kaynaklandığını rapor etmişlerdir (Ogawa ve ark., 2006; Yu ve ark., 2006). Abel ve ark. (2013), kumlu topraklara ilave edilen biyokömürün toprağın hacim ağırlığını düşürdüğünü, toplam gözenekliliğini arttırdığını ve solma noktasında tutulan su miktarındaki artışla beraber toprağın yarayışlı su içeriğinin artışına neden olduğunu bildirmişlerdir. Üretildiği materyal ve üretim koşullarına bağlı olmakla birlikte biyokömür materyalinin hacim ağırlığının 0.08 g cm^{-3} ile (Gundale ve DeLuca, 2006) 1.7 g cm^{-3} (Oberlin, 2002) arasında değiştiği rapor edilmiştir. Toprakların hacim ağırlığının 1.3 g cm^{-3} ile 2.0 g cm^{-3} arasında değiştiği dikkate alındığında, böylesine düşük hacim ağırlığına sahip bir materyalin ilavesi ile toprağın hacim ağırlığının da azalması beklenmektedir. Bu nedenle de yapılan birçok araştırmada (Laird ve ark., 2010; Pereira ve ark., 2012), ilave edilen biyokömür miktarının artışı ile hacim ağırlığının azaldığı belirtilmiştir.

Mısır samanının $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de pirolizi ile üretilen biyokömürün 20 ton ha^{-1} ve 30 ton ha^{-1} dozları ile mısır veriminin artışı üst toprakta (0-10 cm) azalan hacim ağırlığı ve artan toplam gözeneklilikle birlikte tutulan yüksek nem içeriği ile ilişkilendirilmiştir (Xiao ve ark., 2016). Araştırmacılar ayrıca besin elementi durumunun iyileşmesinin kök gelişimini teşvik etmesi ile ince köklerin sayısının arttığını da belirterek bu durumun su adsorpsiyonunu iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Bunun neticesi olarak biyokömür ilave edilen uygulamalarda buğdayın dane veriminin önemli düzeyde yükseldiği rapor edilmiştir. Üç yıllık çalışma sonunda, 20 ve 30 ton ha^{-1} biyokömür uygulamalarında su kullanım etkinliği $\%9.4$ ve $\%12.3$ oranında artarken dane

dönüşümü ve tüketiminin artması, (ii) yükselen toprak pH'sı nedeniyle NH_3 formunda volatilizasyon ile N kaybının artması, (Chen ve ark., 2013); (iii) biyokömür veriminin de kontrole kıyasla $\%10.2$ ve $\%14.2$ oranında arttığı belirlenmiştir (Xiao ve ark., 2016).

Bugüne kadar biyokömür uygulamasının toprak verimliliği ve bitki gelişimine etkisi çoğunlukla bir kez biyokömür uygulaması şeklinde çalışılmış ve raporlanmıştır. Farklı üretim sezonlarında üç yıl ardışık şekilde biyokömür uygulamasının pamuk verimine ve pamuğun lif kalitesine etkilerini araştıran Tian ve ark. (2018), siltli tın tekstürlü bir toprakta biyokömür uygulamasının pamuk gelişimi, toprak verimliliği ve N tutunmasını olumlu etkilediğini bildirmişlerdir. Pamuk verimi ve lif kalitesine en yüksek etkinin biyokömür uygulama dozu ve zamanı ile büyük oranda değişim gösterdiğini bildiren Tian ve ark. (2018), en yüksek verimi her üretim sezonunda en yüksek biyokömür dozu (20 t ha^{-1}) uygulaması ile elde etmişlerdir. Biyokömür uygulamasının ilk 20 cm derinlikteki organik C, toplam N, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ ve yarayışlı K içeriklerinin önemli miktarda artışına neden olduğunu bildiren araştırmacılar, pamuk lif verimini kontrole kıyasla ilk yıl $\%8.0$ ile $\%15.8$, ikinci yıl $\%9.3$ ile $\%13.9$ ve üçüncü yıl ise $\%9.2$ ile $\%21.9$ arasında yüksek bulunmuştur.

BIYOÇARIN BİTKİ HASTALIKLARINA ETKİLERİ

Biyokömür ilavesinin toprağın bitki gelişim ortamını iyileştirmesi ve hastalıkları baskılayarak bitki performansını arttırdığı ve bitki gelişimini teşvik ettiği bildirilmektedir (Jeffery ve ark., 2011; Kolton ve ark., 2017). De Tender ve ark. (2016), iki farklı üretim sisteminde, biyokömürün toprak ve substratın fiziko-kimyasal özellikleri, bitki gelişimi, hastalık hassasiyeti ve rizosfer mikrobiyolojisi üzerine etkileri çalışmışlardır. Araştırmacılar çilek yetiştirilen peat ortamına meşe fıstığının $650 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de pirolizi ile elde edilen $\%3$ 'lük biyokömür ilavesinin i.) daha yüksek taze ($\%116.5$ artış) ve kuru bitki ağırlığına ($\%114.3$ artış), ii.) hem yapraklarında hem de meyvede mantar patojeni *Botrytis cinera*'ye daha düşük hassasiyete ve iii.) rizosfer mikrobiyolojisinde değişime yol açtığını bildirmişlerdir. Çeltik kavuzundan üretilen biyokömürün jinseng bitkisi (*Panax ginseng*) ve toprak organizmalarının (*Cylindrocarpon destructans* ve *Fusarium solani*)'nin neden olduğu kök çürüklüğü üzerine etkisini araştıran Eo ve ark. (2018), biyokömür uygulanan topraklarda biyokömür uygulanmayanlara kıyasla patojenik mantar oluşumunun bastırıldığını rapor etmişlerdir. Çeltik biyokömürünün 5.2 Mg ha^{-1} uygulandığı topraklarda mantar nematodlarının çok yoğun olduğunu tespit eden Eo ve ark. (2018), mantar nematodlarının patojenik mantarlarla beslenmesinin mantar popülasyonunu bastırdığını belirtmişlerdir.

Rizosfere yapılan biyokömür ilavesi bakteri çeşitliliğine neden olurken rizosfer bölgesinde yer alan mikroorganizmaların aktiviterlerinde de önemli bir değişime yol açtığı belirlenmiştir. Kök bölgesindeki etkisinin yanında, yaprak mantar patojenlerine karşı etkili olabilecek çok çeşitli biyokömürlerin olduğu da rapor edilmiştir. Biyokömür

toprağa uygulandığında domates ve biber bitkilerinin *Botrytis cinera* ve *Oidiopsis sicula*'ya karşı daha az hassas hale geldikleri görülmüştür (Elad ve ark., 2010). Benzer şekilde substrata biyokömür ilavesinin çilek bitkisinin *Botrytis cinera*, *Colletotrichum acutatum* ve *Podosphaera aphanis*'in neden olduğu 3 yaprak hastalığının şiddetini azalttığı da

SONUÇ

Dünyanın farklı yerlerinde çeşitli topraklarda yapılan çalışmaların birçoğunda biyokömürün bitki gelişimine etkisi genelde sadece biyokömür kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Biyokömürün besin elementi kapsamı piroliz sıcaklığı ve hammaddesine bağlı olarak büyük değişkenlik gösterdiğinden bir gübre olarak tavsiye edilmeleri mümkün değildir. Ancak yapılan çalışmaların ortak noktası biyokömürün toprağın hacim ağırlığının düşmesine, su tutma kapasitesinin iyileşmesine ve besin elementlerinin yıkanmasının azaltılmasına olumlu katkı yapmasıdır. Bu nedenle, biyokömür gübre olmaktan ziyade bitki gelişim ortamının iyileşmesini sağlayan bir katkı maddesi olarak düşünülmelidir. Son dönemlerde sınırlı da olsa gerçekleştirilen biyokömürün diğer organik katkı maddeleri ve mineral gübreler ile birlikte uygulanmasına yönelik araştırmalara gereksinim duyulmaktadır. Biyokömürün topraktaki besin elementlerinin kullanım etkinliğini arttırması dolaylı da olsa bitki gelişimi ve toprak verimliliğini olumlu etkileyeceğinden bu konuda yapılan araştırma sonuçlarının uygulayıcılar için aydınlatıcı olması beklenmektedir.

Sıcaklık artışı ile biyokömürün pH'sının artması ve üretilen biyokömürlerin büyük bir kısmının alkali karakterde olması, bugüne kadar yapılan çalışmaların büyük bir kısmının asit karakterli topraklarda olmasına neden olmuştur. Kireçleme etkisi ile toprağın pH'sının yükselmesine katkı vermesi besin elementlerinin yararlılığının artmasına neden olduğu için birçok araştırmancının konusu olmuştur. Ancak ülkemiz topraklarının alkali karakterde olduğunu da göz önüne alarak, farklı toprak ordoları ve iklim özellikleri altında biyokömür konusunda yapılacak yeni çalışmalara gereksinim olduğu söylenebilir. Çoğunlukla yarı kurak bir iklime sahip olan ülkemiz topraklarının organik madde bakımından yetersiz olduğu ve bu nedenle aşınmaya karşı hassas olduğundan şiddetli su ve rüzgar erozyonuna maruz kaldığı bilinmektedir. Bu nedenle arazilerimizin üretkenlikleri düşmekte ve ihtiyacımız olan gıdayı üretemez konuma gelmekteyiz. Tarım arazilerimizde üretim sonrası, şehirlerin park bahçe bakım atıkları ve gıda sanayiindeki atıkların biyokömüre dönüştürülmesi ile ilgili çalışmalar, bu atıkların çevreye faydalı ürünler haline gelmesini sağlayacak ve ülkemiz için önemli bir katma değer oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

Abel S, Peters A, Trinks S, Schonsky H, Facklam M, Wessolek G (2013) Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma* 202: 183-191.

Aguiar-Chavez A, Díaz-Rojas M, del Rosario C, Ardenas-Aquino M, Dendooven L, Luna-Guido M, (2012) Greenhouse gas emissions from a wastewater sludge amended soil cultivated with wheat (*Triticum spp.* L.) as affected by different application rates of charcoal. *Soil Biology and Biochemistry* 52: 90e95.

bildirilmiştir (Harel ve ark., 2012). Biyokömür ilavesi ile kök bölgesinde artan bakteri çeşitliliği ve popülasyonun karbonhidrat ve fenolik bileşiklerin tüketimini arttırdığı ve bu durumun fenolik bileşikleri parçalayan bakterileri teşvik ettiği rapor edilmiştir (Kolton ve ark., 2017).

Akhtar SS, Andersen MN, Naveed M, Zahir ZA, Liu F (2015) Interactive effect of biochar and plant growth-promoting bacterial endophytes on ameliorating salinity stress in maize. *Functional Plant Biology* 42: 770-781.

Ameloot N, Sleutel S, Das KC, Kanagaratnam J, Neve S (2015) Biochar amendment to soils with contrasting organic matter level: effects on N mineralization and biological soil properties. *Gcb Bioenergy* 7(1): 135-144.

Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Horie T (2009) Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Res* 111(1): 81-84.

Atkinson C, Fitzgerald J, Hipps N (2010) Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant Soil* 337: 1-18.

Carvalho de Melo MT, Maia ADHN, Madari BE, Bastiaans L, Van Oort PAJ, Heinemann AB, ... & Meinke H (2014) Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. *Solid Earth* 5(2): 939-952.

Chaudhary S, Dheri GS, Brar BS (2017) Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice-wheat cropping system. *Soil Tillage & Research* 166: 59-66.

Chan KY, Dorahy C, Tyler S (2007) Determining the agronomic value of composts produced from garden organics from metropolitan areas of New South Wales, Australia. *Animal Production Science* 47(11): 1377-1382.

Chan KY, Van Zwielen L, Meszaros I, Downie A, Joseph S (2008) Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Soil Research* 45(8): 629-634.

Chen J, Liu X, Zheng J, Zhang B, Lu H, Chi Z, ... & Wang J (2013) Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. *Applied Soil Ecology* 71: 33-44.

Deenik JL, McClellan T, Uehara G, Antal MJ, Campbell S (2010) Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations. *Soil Science Society of America Journal* 74: 1259-1270.

De Tender CA, Debode I, Vandecasteele B, D'Hose T, Cremelie P, Haegeman A, ... & Maes M (2016) Biological, physicochemical and plant health responses in lettuce and strawberry in soil or peat amended with biochar. *Applied Soil Ecology* 107: 1-12.

Eo J, Park KC, Kim MH, Kwon SI, Song YJ (2018) Effects of rice husk and rice husk biochar on root rot disease of ginseng (*Panax ginseng*) and on soil organisms. *Biological Agriculture & Horticulture* 34(1): 27-39.

Free HF, McGill CR, Rowarth JS, Hedley MJ (2010) The effect of biochars on maize (*Zea mays*) germination. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 53(1): 1-4.

- Jeffery S, Verheijen FG, Van Der Velde M, Bastos AC (2011) A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144(1): 175-187.
- Jeffery S, Abalos D, Prodana M, Bastos AC, Van Groenigen JW, Hungate BA, Verheijen F (2017) Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*: 12(5), 053001.
- Gaskin JW, Speir RA, Harris K, Das KC, Lee RD, Morris LA, Fisher DS (2010) Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal* 102(2): 623-633.
- Githinji L (2014) Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60(4): 457-470.
- Güereña D, Lehmann J, Hanley K, Enders A, Hyland C, Riha S (2013) Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maize-based production system. *Plant and Soil* 365(1-2): 239-254.
- Gul S, Whalen JK, Thomas BW, Sachdeva V, Deng H (2015) Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 206: 46-59.
- Gundale M, DeLuca T (2006) Temperature and source material influence ecological attributes of ponderosa pine and Douglas-fir charcoal. *Forest Ecology and Management* 231(1-3): 86-93.
- Harel YM, Elad Y, Rav-David D, Borenstein M, Shulchani R, Lew B, Graber ER (2012) Biochar mediates systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens. *Plant and Soil* 357(1-2): 245-257.
- Hossain MK, Strezov V, Chan KY, Ziolkowski A, Nelson PF (2011) Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management* 92: 223-228.
- Kammann C, Ippolito J, Hagemann N, Borchard N, Cayuela ML, Estavillo JM, ... & Rasse D (2017) Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden—knowns, unknowns and future research needs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(2), 114-139.
- Knicker H (2010) Black nitrogen: an important fraction in determining the recalcitrance of charcoal. *Organic Geochemistry* 41: 947e950.
- Kolton M, Graber ER, Tsehansky L, Elad Y, Cytryn E (2017) Biochar-stimulated plant performance is strongly linked to microbial diversity and metabolic potential in the rhizosphere. *New Phytologist* 213(3): 1393-1404.
- Laghari M, Mirjat MS, Hu Z, Fazal S, Xiao B, Hu M, Chen Z, Guo D (2015) Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. *Catena* (135): 313-320.
- Laird D, Fleming P, Davis D, Horton R, Wang B, Karlen D (2010) Impact of biochar amendments on the quality of a typical midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158(3-4): 443-449.
- Lehmann J, da Silva Jr, JP, Steiner C, Nehls T, Zech W, 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.
- Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D (2011) Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biology and Biochemistry* 43(9): 1812-1836.
- Lin XW, Zie ZB, Zheng Y, Liu Q, Bei QC, Zhu IG, (2015) Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. *European Journal of Soil Science* 66: 329-338.
- Liu Q, Liu B, Zhang Y, Lin Z, Zhu T, Sun R, ... Lin X (2017) Can biochar alleviate soil compaction stress on wheat growth and mitigate soil N₂O emissions? *Soil Biology and Biochemistry* 104: 8-17.
- Luo L, Gu ID (2016) Alteration of extracellular enzyme activity and microbial abundance by biochar addition: Implication for carbon sequestration in subtropical mangrove sediment. *Journal of Environmental Management* 182: 29-36.
- Madari BE, Silva MA, Carvalho MT, Maia AH, Petter FA, Santos JL, ... & Zeviani WM (2017) Properties of a sandy clay loam Haplic Ferralsol and soybean grain yield in a five-year field trial as affected by biochar amendment. *Geoderma* 305: 100-112.
- Naeem MA, Khalid M, Aon M, Abbas G, Amjad M, Murtaza B, Khan WUD, Ahmad N (2018) Combined application of biochar with compost and fertilizer improves soil properties and grain yield of maize. *Journal of Plant Nutrition* 41(1): 112-122.
- Nelissen V, Ruyschaert G, Manka'Abusi D, D'Hose T, De Beuf K, Al-Barri B, Boeckx P (2015) Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment. *European Journal of Agronomy* 62: 65-78.
- Novak JM, Ippolito JA, Lentz RD, Spokas KA, Bolster CH, Sistani K, ... Johnson MG (2016) Soil health, crop productivity, microbial transport, and mine spoil response to biochars. *BioEnergy Research* 9(2): 454-464.
- Oberlin A (2002) Pyrocarbons. *Carbon* 40(1): 7-24.
- Ogawa M, Okimori Y, Takahashi F (2006) Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 429-444.
- Oleszczuk P, Rycaj M, Lehmann J, Cornelissen G (2012). Influence of activated carbon and biochar on phytotoxicity of air-dried sewage sludges to *Lepidium sativum*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 80: 321-326.
- Olmo M, Alburquerque JA, Barrón V, Del Campillo MC, Gallardo A, Fuentes M, Villar R (2014) Wheat growth and yield responses to biochar addition under Mediterranean climate conditions. *Biology and Fertility of Soils* 50(8): 1177-1187.
- Prapagdee S, Tawinteung N (2017) Effects of biochar on enhanced nutrient use efficiency of green bean, *Vigna radiata* L. *Environmental Science and Pollution Research* 24(10): 9460-9467.

- Subedi R, Taupe N, Pelissetti S, Petruzzelli L, Bertora C, Leahy JJ, Grignani C (2016) Greenhouse gas emissions and soil properties following amendment with manure-derived biochars: influence of pyrolysis temperature and feedstock type. *Journal of Environmental Management* 166: 73-83.
- Sun F, Lu S (2014) Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177(1): 26-33.
- Tian X, Li C, Zhang M, Wan Y, Xie Z, Chen B, Li W (2018) Biochar derived from corn straw affected availability and distribution of soil nutrients and cotton yield. *PLoS One* 13(1): e0189924, 1-19.
- Wardle DA, Zackrisson O, Nilsson MC (1998) The charcoal effect in Boreal forests: mechanisms and ecological consequences. *Oecologia* 115(3): 419-426.
- Xiao Q, Zhu LX, Shen YF, Li SQ (2016) Sensitivity of soil water retention and availability to biochar addition in rainfed semi-arid farmland during a three-year field experiment. *Field Crops Research* 196: 284-293.
- Yu XY, Ying GG, Kookana RS (2006) Sorption and Desorption Behaviors of Diuron in Soils Amended with Charcoal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 8545-8550.
- Zhang AF, Bian RJ, Pan GX, Cui LQ, Hussain Q, Li LQ, Zweng J, Zheng X, Han X, Yu X (2012) Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles. *Field Crops Research* 127: 153-160.
- Zhang H, Yu X, Jin Z, Zheng W, Zhai B, Li Z (2017) Improving grain yield and water use efficiency of winter wheat through a combination of manure and chemical nitrogen fertilizer on the Loess plateau, China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(2): 461-474.

