

## Sürdürülebilir Çevre Yönetiminde Biyoçar

Elif Günel<sup>1\*</sup>  
elifgunal@yahoo.com

Halil Erdem<sup>2</sup>  
halil.erdem@gop.edu.tr

<sup>1,2</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tokat, Türkiye

### Özet

Bitkisel ve hayvansal kökenli biyokütlelerin yüksek sıcaklıkta oksijenin olmadığı veya kısıtlı olduğu bir ortamda değişime uğratılmasıyla üretilen karbonca zengin, ayrışmaya dayanıklı ve gözenekli yapıya sahip olan biyoçar, çeşitli disiplinlerden bilim insanlarının ilgisini çekmektedir. Hammaddenin doğasına ve üretim koşullarına bağlı olarak özellikleri birbirlerinden farklı çok çeşitli biyoçar üretmek mümkündür. Her ne kadar yüksek sıcaklıkta oksijensiz ortamda piroliz edilen materyallerin tamamına genel olarak biyoçar adı verilse de tüm biyoçarların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini içine alacak bir tanımlama yapmak mümkün değildir. Biyoçarın tarım arazilerinde kullanımının sera gazlarının atmosfere geçişini azaltması ve atmosferdeki karbonun toprakta zenginleştirilmesini sağlaması nedeni ile küresel ısınmanın azaltılmasına önemli katkı yapacağına inanılmaktadır. Ayrıca, yüksek yüzey alanı ve gözenekliliği, yüzeyindeki fonksiyonel grupları ve yüzey yükü nedeni ile biyoçar, toprak ve su içerisindeki organik ve inorganik kirleticilerin uzaklaştırılmasında da etkili bir katkı maddesidir. Bu nedenle, son yıllarda bitkisel ve hayvansal atıkların biyoçara dönüştürülmesi ve çevre amaçlı kullanımını konu eden çok sayıda sera ve arazi çalışmaları yapılmakta ve sonuçları yayınlanmaktadır. Ancak, biyoçar üretilen ham maddenin çeşidi ve bileşimi, piroliz sıcaklığı, parçacık büyüklüğü ve uygulanan toprak ile araştırmanın yürütüldüğü ortamın iklimi gibi birçok özelliğe bağlı olarak biyoçar uygulamaları konusunda birbirleri ile çelişen raporlar görmek mümkündür. Genel olarak piroliz sıcaklığı yükseldikçe biyoçarın gözenekliliği, yüzey alanı ve yüzey yükü arttığından düşük sıcaklıkta üretilen biyoçarlara kıyasla kirleticileri uzaklaştırmada daha etkili olduğu rapor edilmektedir. Bu çalışmada, biyoçarın tanımları, faydalanılan alanlar ve yakın zamanda yayınlanmış özellikle biyoçar uygulamalarının sera gazı emisyonları ve besin elementi yıkanmasına etkileri gibi çevre amaçlı uygulamaları konu eden araştırma sonuçları derlenmiş ve bulguları tartışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Biyoçar, karbon zenginleşmesi, piroliz, sera gazları, yıkanma

## Biochar for Sustainable Management of Environment

Elif Günel<sup>1\*</sup>  
elifgunal@yahoo.com

Halil Erdem<sup>2</sup>  
halil.erdem@gop.edu.tr

Gaziosmanpaşa University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Tokat, Turkey

### Abstract

Biochar, produced from thermochemical conversion of biomass in an oxygen free or limited environment continues to attract the interests of scientists from various disciplines, due to high carbon content, resistance to degradation and porous structure. Depending on type and nature of feedstock and pyrolysis conditions, a wide variety of biochars with different characteristics can be produced. Although all biomasses pyrolyzed at high temperatures are generally referred to as biochar, it is not possible to provide a general definition covering the physical, chemical and biological properties of all biochars. Biochar application in agricultural fields is considered to reduce global warming through the reduction of greenhouse gas emissions to atmosphere and sequestering atmospheric carbon into soil.

Biochar is also an efficient additive to remove organic and inorganic pollutants in soil and water due to high surface area and porosity, surface functional groups and surface charge. Therefore, numerous greenhouse and field studies using biochars produced from plant and feedstock wastes have been recently carried out to investigate the impacts of biochars on environment. However, due to the differences in type and composition of biochars, pyrolysis temperature, particle size, characteristics of soils applied and climate of experimental sites, contradicting reports have been published. Porosity, surface area and surface charge of biochars produced at high pyrolysis temperature are greater compared to biochars produced at low temperature. Therefore, high temperature biochars are reported to be more efficient in removing the pollutants. In this review, definitions of biochar, utilization purposes and results of recent studies conducted to investigate the effects of biochar application on greenhouse gases emissions and nutrient leaching have been compiled and discussed.

**Keywords:** Biochar, carbon sequestration, greenhouse gases, leaching, pyrolysis

### 1. Giriş

Birim alandan daha fazla ürün alma gereksinimi ile her geçen gün artan baskı, tarım arazilerinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Tarımsal üretimin temel unsuru olan toprakların sürdürülebilir bir şekilde fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri, temel toprak özelliklerinin genetik kapasitelerinin korunması ve hatta iyileştirilmesi ile ancak mümkün olabilir. Toprakların fonksiyonlarını yerine getirebilmelerinde en temel bileşen, toprağın organik maddesidir. Özellikle Türkiye gibi kurak ve yarı kurak iklime sahip olan ülkelerde, aşırı toprak işleme ve anız yakımı uygulamaları ile organik madde bakımından fakirleşen toprakların, kendilerinden beklenen performansı yerine getirebilmeleri mümkün olamamaktadır. Uzmanlar çok uzun yıllardır, çeşitli yöntemleri deneyerek, farklı katkı maddeleri uygulayarak ve rotasyona çok fazla bitki atığı bırakacak alternatif ürünleri ekim desenine sokarak toprakların organik madde kapsamalarını arttırmaya çalışmaktadır. Ancak, ilave edilen miktar çok zaman ayrılarak kaybolan miktardan daha düşük kaldığından organik madde seviyesinde beklenen artış gerçekleşmemektedir. Organik madde, oldukça gözenekli olan yapısı, yüksek yük yoğunluğu ve zengin besin rezervleri nedeni ile bitki gelişimini desteklemesinin yanında topraktaki biyo-çeşitliliğin de en önemli unsurudur. Bunlara ilaveten, günümüzde tarımsal üretim ve ormancılık faaliyetleri ile atmosfere salınan sera gazı salınımının %25'lere ulaşması, toprakta karbonun organik madde şeklinde depolanmasının zorunluluğunu da ortaya koymaktadır. Bu nedenle de toprakta organik maddenin korunması ve miktarının artırılması

araştırmacıların öncelikli hedefleri olmuştur. Son yıllarda, Amazonlarda eski çağlardan kalan ve adına Terra Preta denilen fosil toprakların bulunması ile biyoçar (biyokömür) kavramı ortaya çıkmıştır. Her türlü bitkisel ve hayvansal atığın yüksek sıcaklıkta pirolizi ile elde edilen, biyokömür yüksek karbon içeriği nedeni ile mikrobiyal ayrışmaya oldukça dayanıklıdır. Ayrışmaya karşı dirençli olması hem tarım bilimcilerinin hem de çevre bilimcilerinin ilgisinin odaklanmasına yol açmıştır. Yüksek yüzey alanı, kation değişim kapasitesi, su tutma yeteneği gibi özellikler biyoçarın iyi bir katkı maddesi olabileceğini düşündürmüştü ve son 10 yıl içerisinde çok sayıda araştırma yapılmış ve yayınlanmıştır.

Biyoçar terimi; toprak amenajmanı ve karbon (C) zenginleşmesi konuları ile ilişkili olarak ortaya çıkan nispeten yeni bir terimdir (Lehman vd., 2006). Odun, sap-saman, yapraklar ve hayvan gübresi gibi çeşitli biyokütlenin çok az oksijenin bulunduğu veya oksijenin hiç olmadığı kapalı bir ortamda ısıtılması ile elde edilen karbon bakımından zengin olan materyallere biyoçar adı verilmektedir. Daha teknik anlamda, kısıtlı miktarda oksijenin olduğu ve göreceli olarak düşük sıcaklıklarda (<700°C) organik materyallerin sıcaklıkla değişimi/pirolizi ile üretilen materyale biyoçar denilmektedir (Lehmann ve Joseph, 2009). Biyoçar tanımları yapılırken kullanılan piroliz terimi, oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıkta organik maddenin termo-kimyasal bozunması işlemine verilen isimdir. Ortamda oksijenin bulunmaması materyalin yanıp küle dönüşmesini engellemektedir. Piroliz olayı hem kimyasal hem de fiziksel durumun geri dönüşümsüz olarak değişmesine neden

olur. Biyokütlenin termal bozunması işlemi ile katı kömürleşmiş materyal (biyoçar), sıvı biyo-y yağlar, katran ve gaz halindeki singazlar (yanabilen sentetik gazlar) ortaya çıkmaktadır. Piroлиз esnasında hammaddeki karbonun çoğu korunur ve CO<sub>2</sub> olarak uzaklaşmaz.

Üretilen materyalin niteliği uygulanan sıcaklığa göre değişmektedir. Nispeten düşük olan 400-500 °C gibi sıcaklıklarda kullanılan biyokütle ile daha fazla biyoçar üretilirken yüksek sıcaklıklarda (>700 °C) biyokütle daha fazla sıvı ve gaz ürünlere dönüşmektedir. Bu ürünlerin tipik oluşum oranları %60 biyo-y ağ, %20 biyoçar ve %20 gaz şeklindedir. Düşük sıcaklıkta gerçekleşen yavaş piroliz işleminde ise üretilen biyoçar miktarı %50 civarındadır (Winsley, 2007). Modern sistemler piroliz ünitesinden üretilen singazın, piroliz sistemi için gerekli olan tüm enerjiyi üretmesini sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Kuru biyokütlenin hızlı piroliz işlemini gerçekleştirmek için gerekli olan enerji bu sistemden kazanılan enerjinin sadece %15'ine denk gelmektedir (Laird, 2008).

Piroliz olayı sıcaklık, katı materyalin sıcaklıkla muamele süresi, piroliz ünitesindeki buharın varlığı veya her ikisine bakılarak hızlı, orta ve yavaş piroliz ile gazlaştırma şeklinde isimler almaktadır. Yavaş piroliz yaklaşık 400°C sıcaklıkta, katı materyalin piroliz ünitesinde kalış süresinin yüksek olduğu işlemdir. Yavaş pirolizde ortaya çıkan ürünün karbon içeriği çok yüksek olduğundan çoğu zaman karbonizasyon olarak da tanımlanır. Bu işlem esnasında piroliz olan materyalden %30 sıvı, %35 biyoçar ve %35 singaz üretilir. Hızlı piroliz, materyalin 1 saat süre içerisinde yaklaşık 500 °C sıcaklıkta tutulması ile gerçekleşir. Bu işlem ile biyokütleden %75 sıvı, %12 biyoçar ve %13 singaz üretildiği bildirilmektedir. Orta piroliz işlemi de 500°C sıcaklıkta 10 ile 20 saat sürede gerçekleştirilir ve %50 sıvı, %20 biyoçar ve %30 singaz ortaya çıkar. Gazlaştırma işlemi ise yüksek sıcaklıkta (~800 °C) uzun sürede tamamlanır ve %5 sıvı, %10 biyoçar ve %85 singaz üretimi gerçekleştirilir (Verheijen vd., 2010).

Biyokütle kaynakları odunsu ve otsu türler, odun atıkları, enerji ürünleri, küspe, tarımsal ve endüstriyel atıklar, atık kâğıtlar, katı şehir

atıkları, talaş, biyo-katılar, çimler, tarımsal ürün işleme atıkları, hayvan atıkları, su bitkileri ve algler gibi çeşitli doğal ve doğal olmayan ürünlerden elde edilmiş materyallerdir (Yaman, 2004). Karbon, hidrojen, oksijen ve azot içeren karbonhidratlı her materyal biyokütle kaynağı olarak kullanılabilir. Biyokütle içerisinde önemli miktarda selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi organik bileşenler yer almaktadır (Klass, 1998). Hammadde içerisindeki selüloz ve ligninin bozulma sıcaklıkları 240-350 °C ve 280-500 °C arasında gerçekleşmektedir (Demirbaş, 2004). Bir kısım biyokütle çeşitlerinin önemli miktarlarda inorganik bileşenler içerdiği de rapor edilmiştir. Odunsu bitkilerde inorganik maddenin miktarı %1 gibi düşük düzeylerde iken, bu oranın tarımsal atıklarda ve otsu biyoküttelede %15'ler civarında olduğu rapor edilmiştir (Yaman, 2004). Mineral içeriği yüksek olan çeltik kavuzu, sap, saman atıklarının pirolizi ile kül içeriği yüksek biyoçar üretildiği bildirilmiştir (Demirbaş, 2004). Bu materyallerden çeltik kavuzu %24 ile %41 gibi çok yüksek kül içerebilmektedir (Amonette ve Joseph, 2009).

Organik karbon açısından oldukça zengin olan biyoçarın aksine, biyokütlenin oksijenli bir ortamda yakılması ile organik materyal çoğunlukla kalsiyum, magnezyum ve inorganik karbonatlardan oluşan bir kül haline dönüşür. Birçok yangında, oksijenin kısıtlı olduğu durumlarda materyalin küçük bir kısmının kömürleştiğini görmek mümkündür. Oldukça farklı materyallerden çeşitli koşullar altında biyoçar üretildiğinden dolayı biyoçarın kimyasal olarak genel bir tanımının yapılması oldukça güçtür. Biyoçarın genel olarak tanımlanabilen ortak özelliği oksijen ve hidrojen olmadan altı karbon atomunun oluşturmuş olduğu aromatik yapısındaki yüksek karbon içerikli bir materyal olmasıdır (Lehmann ve Joseph, 2009).

Literatürde yer alan kömür (charcoal) ile biyoçar anlam olarak farklılık göstermektedir. Biyoçar, toprak özelliklerinin iyileştirilmesi amacı ile kullanılırken kömür ısıtma için yakıt, demir üretiminde bir filtreleyici olarak veya bir indirgeyici olarak veya endüstride renklendirici materyal olarak kullanılmaktadır. Tarımsal kömür ile biyoçar ifadeleri ise birbirine benzerlik göstermektedir. Ancak birçok araştırmacı

tarımsal kömür ifadesinden ziyade biyoçar ifadesini kullanmayı tercih etmektedir. Araştırmacıların tercih ettiği kömürleştirilen organik madde olan Biyoçar tarımın dışında toprak ıslahının etkinleştirilmesinde ve diğer birçok amaçlı uygulamalarda da kullanılabilir. Biyoçar kelimesi aynı zamanda biyolojik kökeni ifade ettiğinden, kömürleştirilen plastik ve biyolojik olmayan diğer materyallerden farklılaşmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009). “Aktif karbon” terimi de biyoçar ve aynı zamanda kömür benzeri bir terimdir. Karbon, buhar veya çeşitli kimyasallar ile yüksek sıcaklıklarda (>700°C) aktifleştirilmektedir (Boehm, 1994). Burada amaç, endüstride özellikle filtrelemede kullanılmak üzere yüzey alanının artırılmasıdır (Lehman ve Joseph, 2009).

Biyoçar toprağın özelliklerinde iyileşmeye katkı sağlayan farklı bir kompost veya hayvan gübresi benzeri materyal olmasının yanında toprağın kalitesinin artırılması adına diğer organik katkı maddelerinin tamamından daha etkilidir. Bunun nedenleri oldukça büyük olan yüzey alanı, yüksek yük yoğunluğu (Liang vd., 2006) buna bağlı yüksek besin elementi tutma kapasitesi (Lehman vd., 2003) ve spesifik kimyasal (Baldock ve Smernik, 2002) ve kolloidal yapısından (Lehman vd., 2005) dolayı diğer organik materyallere göre mikrobiyal parçalanmaya karşı olan direnci (Cheng vd., 2008) gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerdir.

## 2. Tarımsal Atıkların İdaresi ve Biyoçar Üretimi

Tarım arazilerinde ortaya çıkan atıklar ile tarımsal endüstrinin atıklarının güvenli ve ekonomik bir şekilde ortadan kaldırılması ile ilgili yöntemlere olan gereksinim dünyanın her yerinde artmaktadır. Tarımsal atıkların toprağa karıştırılmasının önemli faydaları olmasına rağmen modern tarımsal işletmelerde veya ormancılık faaliyetlerinde ortaya çıkan ürünün tamamının toprağa uygulanması mümkün olmamaktadır (Perlack vd., 2005). Bugün birçok modern büyükbaş hayvan işletmesinde ortaya çıkan besin elementlerince oldukça zengin sıvı gübrenin tamamının araziye uygulanması mümkün olmadığından (Cao ve Harris, 2010) çevreye kontrolsüzce salıverilmektedir (Şekil 1). Bu nedenle hem katı hem de sıvı atıkların çevreye

dost ve sürdürülebilir bir ürüne dönüştürülerek ortadan kaldırılması adına yapılacak çalışmalara oldukça fazla gereksinim duyulmaktadır.



Şekil 1. Hayvansal üretim tesislerinde ihtiyaç fazlası sıvı dışkı

İklim, topografya, toprak özellikleri ve vejetasyon bakımından geniş bir yelpazeye sahip olan Türkiye'nin tarımsal potansiyeli de oldukça yüksektir. İklimin müsait olduğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde yılın tamamında tarımsal üretim yapmak mümkündür. Diğer birçok bölgemizde ise, yoğun bir rotasyon ile tarım arazilerinden büyük miktarlarda biyokütle kaldırılmaktadır. Artan tarımsal üretimle beraber, hasat atıklarının da miktarı her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde serada yetiştiriciliğin en yoğun yapıldığı Antalya ve çevresinde sadece domates seralarından her yıl kuru madde olarak 111.480,99 ton, patlıcan seralarından 15.870,39 ton biyokütle atığının çıktığı bildirilmektedir (Kürklü vd., 2004). Tarımsal atıkların bir kısmı üreticiler tarafından arazide yakılmakta, tarla kenarlarında veya drenaj kanallarının çevresinde depolanarak çürütülmekte, yakacak olarak kullanılmakta veya küçük parçalara ayrılarak toprağa katılmaktadır. Toprak için önemli bir organik madde kaynağı olan bitkisel atıkların bu şekilde bertaraf edilmeleri çok hızlı bir şekilde ayrışıp kaybolmalarına ve aynı zamanda su ve havanın da önemli düzeyde kirlenmesine yol açmaktadırlar (Şekil 2 ve 3).



Şekil 2. Tokat-Kazova'da 2014 yılı üretim sezonu sonunda tarla yakınlarında çürümeye terk edilen tarımsal atıklar



Türkiye'deki en önemli biyokütle kaynağı gıda üretimi yapan endüstrilerdir. Kayısı çekirdeği ve fındık kabuğu Türkiye'de üretilen önemli biyokütlelerden olup buldukları bölgede önemli birer enerji kaynağı olarak işlev görmektedirler. Bu ürünler, genelde fırınlarda veya evlerde direk yakılmak sureti ile enerjiye dönüştürülmektedir. Bu şekilde tüketimleri ekonomik olmadığından farklı dönüşüm teknolojilerinin kullanımı ile daha katma değerli ürünlere dönüştürülmeleri hem bölge hem de ülke ekonomisi açısından yararlar sağlayacaktır (Özçimen ve Meriçboyu, 2010). Hasat atıklarının yakacak olarak arazinin dışına çıkarılmaları toprağın organik madde kapsamı ve verimliliğine de olumsuz etki yapmaktadır (Wilhelm vd., 2004). Organik atıkların piroliz edilmesi işlemi, üretilen yanıcı gaz ve biyo-yakıttan dolayı hem enerji üretimine hem de toprağa karbon ve besin elementlerinin geri dönüşümüne sağlayacak alternatif bir uygulamadır (Laird, 2008).



Şekil 3. Tokat Kazova'da yüzey sularında tarımsal kaynaklı kirlilik sonucu oluşan ötrofikasyon

Süt sığırcılığı yapan birçok işletmenin en önemli sorunlarından biri sıvı atıkların yeraltı ve yerüstü sularını kirletme potansiyelleri ile bunların güvenli bir şekilde ortadan kaldırılmasıdır. Buna yönelik yasal tedbirler günden güne artırılmaktadır. Zira ortaya çıkan atık su başta azot ve fosfor olmak üzere birçok besin elementi açısından oldukça zengindir. Günümüzde bu işletmeler atık sudaki besin yükünü azaltabilmek için çeşitli yöntemler kullanmaktadır. İşletmelerin atık suları için yaptıkları geleneksel uygulama, katı ve sıvının mekanik olarak ayrılması aşamasından sonra kolloidlerin büyük havuzlarda çökeltilmesinin ardından besin elementlerince zengin olan suların sulama suyu ile araziye uygulanması şeklindedir. Bu uygulama dünyanın hemen her yerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu atık sular ile uzun süreli sulama yapıldığında özellikle kum

içeriği yüksek arazilerde yıkanmadan dolayı yer altı sularının ve aküferin kirlenme riski ortaya çıkmaktadır. Tarımsal atıkların biyoçar şekline dönüştürüldükten sonra sıvı gübrenin besin elementlerini adsorbe edebilmesi besin elementlerince zenginleştirilmiş biyoçar üretimi için oldukça ucuz ve güvenilir bir yöntemdir (Sarkhot vd., 2012 ve 2013). Böyle bir uygulamayı oldukça küçük ölçekteki üreticiler dahi öğrenip kendi arazilerine tatbik edebilirler. Böyle bir uygulama ile tarımsal atıkların yakılması ile oluşan hava kirliliği ve sıvı atıkların araziye uygulanması ile oluşan yüzey (Şekil 3) ve yüzey altı suyu kirliliği gibi sorunlarının da önüne geçmek mümkün olabilecektir.

### 3. Biyoçarın Çevre Amaçlı Kullanımı

Son 20 yıl içerisinde biyoçar konusunda oldukça fazla miktarda çalışma yapılmış ve yayınlanmıştır. Çok farklı disiplinlerden bilim insanları çeşitli biyo atıklardan farklı koşullarda ürettikleri biyoçarları kullanarak toprak ve su kalitesi, sera gazları emisyonlarına etkisi, bitkisel üretimdeki etkinlikleri ve çeşitli çevresel etkileri araştırmak amacı ile yaptıkları çalışmaları yayınlamışlardır. Biyoçar uygulamaları; çevre amenajmanı, toprağın iyileştirilmesi (üretimin arttırılması ve aynı zamanda kirliliğin azaltılması için), atık amenajmanı, iklim değişimi ile mücadele ve enerji üretimi şeklinde dört hedefe yönelik olarak yapılmaktadır. Bu uygulama amaçlarının her biri veya birden fazlasının sosyal veya ekonomik veya sosyo-ekonomik faydasının olması beklenmektedir (Lehman ve Joseph, 2009). Yoğun bir şekilde yapılan ve yayınlanan araştırma sonuçları, biyokütlenin pirolizi ile elde edilen biyoçarın besin elementlerinin yıkanması ile kayıplarının azaltılması, çevre kirleticilerin biyo yararışlılığının düşürülmesi, toprakta karbon zenginleşmesi, sera gaz emisyonlarının azaltılması ve toprak verimliliğinin iyileştirilmesi gibi konularda olumlu katkı yapabileceğini göstermiştir (Ippolito vd., 2012). Biyoçarın çok farklı biyokütleden çeşitli koşullar altında üretilebileceğini göz önüne alan Novak vd. (2012), belirli bir çevresel veya tarımsal kullanım için üretilecek biyoçarın uygulama amacına uygun özelliklerde üretilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Biyoçar, hem toprakta C depolanmasına katkı

verdiği hem de azot oksit gazlarının salımını azalttığından dolayı çevre için önemli bir katkı maddesidir. Toprağa ilave edilen biyoçarın besin elementlerinin ve ağır metallerin yıkanma oranlarını azalttığı ve sera gazlarının atmosfere çıkışını düşürdüğüne dair çalışmalar bulunmaktadır (Major vd., 2009; Singh vd., 2010). Biyoçarın toprak C ve N dinamikleri üzerine olan etkilerinin tatmin edici şekilde anlaşılması, biyoçar ilave edildikten sonra toprak C ve N stokları ve atmosfere çıkış ile ilgili olayların karmaşıklığından dolayı oldukça zordur.

### 3.1. Biyoçarın karbon döngüsü, zenginleşmesi ve salınımına etkileri

Yeryüzünde toprakta tutulan C miktarı (1.100 Gt; 1Gt=1.000.000 ton) atmosferdekinden (750 Gt) çok daha yüksek olduğundan (Sundquist, 1993), topraktan atmosfere yıllık ortalama 60 Gt CO<sub>2</sub> çıkışı gerçekleşmektedir. Atmosfere salınan bu CO<sub>2</sub> çoğunlukla toprakta mikroorganizmaların organik maddeyi parçalarken yaptıkları solunum esnasında ortaya çıkmaktadır. Atmosferde artan CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun azaltılması için yapılabilecek en faydalı uygulamalardan bir tanesi biyoküttelede fotosentez yolu ile depolanan CO<sub>2</sub>'in piroliz yolu ile biyoçar adı verilen daha kararlı bir C formuna dönüştürülmesidir (Spokas ve Reicosky, 2009). Biyoçar, toprak organik maddesine oranla daha fazla ve daha kararlı aromatik yapıda C içerdiğinden dolayı parçalanması da oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Odundan üretilen biyoçarın toprakta kalma süresi 100 ile 1000 yıl arasında olduğu rapor edilmektedir. Bu süre çoğu toprak organik maddesinden 10 ile 1000 kat daha yüksektir. Bu nedenle, geleneksel olarak tarımda kullanılan organik materyallerden farklı olarak biyoçar, C'un zenginleşmesine ve toprağın kalitesinin olumlu etkilenmesine neden olacak bir katkı maddesidir (Lehmann ve Joseph, 2009; Verheijen vd., 2010). Piroliz işlemi yapılmayan biyokütlelerin C içerikleri yüksek olmasına rağmen yarılanma ömürlerinin oldukça kısa olduğunu belirten Grutzmacher vd. (2018)'da herhangi bir muameleden geçirilmeden biyo kütleye kıyasla biyoçarın toprak ortamında üç kat daha fazla C stabilize edebildiği ni rapor etmişlerdir.

Son yıllarda atmosferik CO<sub>2</sub>'in azaltılması ile ilgili yapılan çalışmalarda, önemli miktarda

biyoçar uygulamasına rastlanılmaktadır. Biyoçar uygulaması toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerinde önemli miktarda değişime neden olduğundan, topraktaki C ve N dinamiklerini de etkilemektedir (Van Zwieten vd., 2014). Yayınlanan araştırma raporlarında biyoçarın C depolamaya veya salımına etkisi hakkında birbirleri ile çelişen sonuçlar bulunmaktadır. Biyoçar uygulamalarının sera gazlarının çıkışına etkisi konusunda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların birbirlerinden önemli düzeyde farklı olmasının temel nedenleri; kullanılan biyoçarların azot miktarları ile mikrobiyal aktivitenin miktarını etkileyecek glikoz miktarlarının farklı olmasıdır. Spokas ve Reicosky (2009)'de biyoçarın CO<sub>2</sub> emisyonuna etkisinde biyoçarın karakteristiklerinin ve toprak tipinin çok önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar orman fidanı yetiştirilen toprak ve 3 biyoçar çeşidinin CO<sub>2</sub> emisyonunu arttırdığını, kullanılan diğer 13 çeşidin ise CO<sub>2</sub> çıkışını azalttığını açıkladılar. Benzer bir çalışmada okaliptus odunu ve yaprakları, kâğıt endüstrisindeki atık çamur, tavuk gübresi, büyük baş hayvan gübresi gibi çeşitli biyokütlelerin 2 farklı sıcaklıkta pirolizi ile elde edilen biyoçarların toprakta kalma sürelerinin 90 ile 1600 yıl arasında değişebileceği belirlenmiştir. Bu durumun uzun vadede tarımsal kaynaklı sera gazı salınımının önemli oranda azaltılmasına neden olabileceği düşünülmektedir (Joseph vd., 2010).

Biyoçar aromatik yapıda kararlı C bileşiklerinden oluşmasına rağmen, toprağa uygulandıktan hemen sonra labil olan kısmın okside olması ile yüksek miktarda CO<sub>2</sub> çıkışı olduğu görülmüştür (Bruun vd., 2012). Benzer şekilde, biyoçar ilavesi ile CO<sub>2</sub> çıkışının kısa süreli inkübasyonlarda arttığı veya azaldığı ifade edilmesine rağmen (Steinbeiss vd., 2009), Sarkhot vd. (2012) çalıştıkları topraklara sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilen biyoçar ilavesinin C ve N gazlarının çıkışını önemli oranda azalttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar 8 haftalık inkübasyon sonunda, toprak+biyoçar ve toprak+zenginleştirilmiş biyoçar ilavelerinin her ikisinde de CO<sub>2</sub> çıkış miktarının önemli oranda azaldığını gözlemlemişlerdir. Toplam CO<sub>2</sub> çıkışı sırası ile %67 ve %68 oranında azalmıştır. Bu uygulamalar ile N<sub>2</sub>O çıkışı ise %26 oranında azaltılmıştır. Steinbeiss vd. (2009), yüksek

miktarda azot katkılı biyoçar ilavesinin başlangıçta topraktan önemli düzeyde CO<sub>2</sub> kaybına neden olduğunu ve 4 haftalık inkübasyon sonunda bunun hızla azaldığını rapor ettiler. Ancak azotça fakir glikoz ilavesinde CO<sub>2</sub> çıkışının önemli düzeyde etkilenmediği de görülmüştür.

Biyoçar uygulamaları ile karbon mineralizasyonunun önemli oranda azalması biyoçarın C zenginleştirme potansiyelini yansıtmaktadır. Uzun yıllar sonra dahi Terra Pretaları etraflarındaki topraklara kıyasla daha yüksek miktarda karbon içermesi, biyoçar ilavesi ile ortaya çıkan CO<sub>2</sub> çıkışının kısa süreli olduğunu ve toprağa ilave edilen biyoçarın uzun vadede karbon depolamaya negatif etkisi olmaksızın verimliliği arttıracığını göstermektedir (Sarkhot vd., 2012).

### 3.2. Biyoçarın azot döngüsü, azot gazları salımına ve azot yıkanmasına etkileri

Biyoçarın toprakta C depolamaya etkisinin yanında gübreleme yapılan tarım arazilerinde N<sub>2</sub>O salımına etkisini araştıran çok sayıda araştırma yayınlanmaktadır. Karbondioksit kıyasla küresel ısınmaya katkısı 298 kat daha yüksek olan N<sub>2</sub>O'nun atmosferde kalış süresinin de 100 yıl daha uzun olduğu bilinmektedir (IPCC, 2013). Geçen yüzyılda tarım arazilerinde azotlu gübrelerin kullanımı nedeni ile atmosfere önemli miktarda N<sub>2</sub>O salınımı gerçekleştiği bildirilmektedir (Park vd., 2012).

Biyoçar ilavesinin toprakta N döngüsünü yavaşlattığını ve bu nedenle de N'un yıkanma ve gaz emisyonları şeklinde kaybını düşürdüğü belirtilmektedir (Riaz vd., 2017). Biyoçar topraktaki N<sub>2</sub>O üretimini, yüksek pH'sı nedeni ile kireçleme etkisi, toprak su tutma kapasitesini arttırması, çözünmüş oksijen ile etkileşim, ortama bazı toksik ve önleyici bileşiklerin verilmesi, toprak mikroorganizmaları ile etkileşim (Cayuela vd., 2014), inorganik azotun adsorpsiyonu, toprak havalanmasının iyileştirilmesi (Brassard vd., 2016) nitrik formdaki azotun abiyotik yollar ile N<sub>2</sub> formuna dönüştürülmesi (Thomazini vd., 2015) ve denitrifikasyona neden olan ve tipik N<sub>2</sub>O indirgeyicilerinin oransal miktarlarının artması (Harter vd., 2016) gibi nedenlerle etkileyebileceği bildirilmektedir. Sarkhot vd. (2012) biyoçar ilavesinin 8 haftalık inkübasyonda N<sub>2</sub>O çıkışını önemli düzeyde azalttığını rapor

etmişlerdir. Benzer şekilde Yanai vd. (2007)'da şehir atıkları ile ürettikleri biyoçarın N<sub>2</sub>O çıkışını %89 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Bu azalma, toprağın nem içeriği ve yüksek nem içeriğinde denitrifikasyon bakterilerinin engellenmesi ile ilişkilendirilmiştir. İki yıllık bir arazi çalışmasında dengeli bir gübreleme ve biyoçar uygulaması ile yağmura dayalı üretim sisteminde mısır veriminin sadece gübreleme yapılan uygulamaya kıyasla %23.7 oranında arttığını ifade eden Zhang vd. (2016), N<sub>2</sub>O salımının da yarıya yakın oranda azaldığını bildirmişlerdir. Biyoçar uygulamalarının N<sub>2</sub>O çıkışına etkilerini araştıran Spokas vd. (2011) ve Van Zwieten vd. (2009)'da biyoçar ilave edilen topraklardan N<sub>2</sub>O çıkışının azaldığını rapor etmişlerdir. Bu konuda yapılan araştırma sonuçlarında farklı oranlarda N<sub>2</sub>O çıkışı rapor edilmiş olmasının temel nedeninin biyoçar materyallerindeki N konsantrasyonlarının farklı olmasına bağlanmıştır (Sarkhot vd., 2012). Araştırmacılar sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmiş biyoçarında sera gazı emisyonunu önemli düzeyde azaltacağını ve karasal karbonu depolamayı arttıracığını açıklamışlardır. Biyoçar uygulaması ile havalanmanın iyileşmesi, methanojenik bakterilerin faaliyetlerinin azalmasına neden olacağından topraktan salınan CH<sub>4</sub> gazı miktarının da azalacağını göstermişlerdir. Biyoçarın nemi absorbe etmesi ve havalanmayı iyileştirmesi denitrifikasyon bakterilerinin faaliyetlerini sınırlandırmış ve N<sub>2</sub>O çıkışını azaltmıştır (Sarkhot vd., 2012).

Avustralya'da biyoçar ilavesinin Alfisol toprağında N<sub>2</sub>O emisyonunu %14 ile 73 oranında azalttığı rapor edilirken Vertisol toprağında bu oranın %23 ile %52 arasında değiştiği bildirilmiştir (Singh vd., 2010). Aynı çalışmada NH<sub>4</sub> yıkanmasının ise %54 ile %94 arasında azaldığı belirtilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nin Georgia Eyaletinde tavuk gübresinin kompostlaştırılması esnasında biyoçar ilave yapan Steiner vd. (2010), NH<sub>3</sub> emisyonunun %64 ve toplam azot kaybının ise %52 oranında azaltıldığını rapor etmişlerdir. Laird vd. (2010) ise domuz gübresi ile birlikte verilen biyoçarın toplam azot kaybını sadece hayvan gübresi ilave edilen Mollisol toprağına oranla %11 oranında azalttığını ifade etmişlerdir.

Amonyanın insan kaynaklı emisyonu hem çevreye hem de ekonomiye zararlı olduğundan dolayı azaltılması gerekmektedir. Tarımsal üretimde; belirli sıcaklık altında üretilen hidroliz olması sonucu  $\text{NH}_3$  oluşur. Örneğin; büyükbaş hayvanların idrarlarını yaptıkları alanlarda (Clough vd., 2003); hayvan dışıklarının toplandığı alanlarda ve gübre yığımlarında  $\text{NH}_3$  oluşabilir. Biyoçar  $\text{NH}_3$  oluşumu potansiyeli yüksek olan bu alanlara rahatlıkla uygulandığında oluşacak emisyonların en aza indirilmesi mümkün olabilir (Taghizadeh-Toosi vd., 2012). Tarımsal sistemlerdeki  $\text{NH}_3$ 'un volatilizasyonu atmosferdeki  $\text{NH}_3$ 'ın önemli bir kaynağıdır. Bu azot mineral gübre ve hayvan dışığındaki azotun %10'u ile %30'una denk gelmektedir. Tarımsal sistemlerden gübre kullanımı (11 Tg  $\text{NH}_3$ -N yıl<sup>-1</sup>) ve hayvan üretimi (21 Tg  $\text{NH}_3$ -N yıl<sup>-1</sup>) ile toplam 32 Tg  $\text{NH}_3$ -N yıl<sup>-1</sup> yayılım olmaktadır. Yayılan  $\text{NH}_3$  nihayetinde karada ve suda depolanarak  $\text{N}_2\text{O}$  emisyonlarına neden olmaktadır. Bu birikim toprak ve suyun asitleşmesine ve bu ortamlardaki biyoçeşitliliğin kaybına da yol açtığı bilinmektedir (Beusen vd., 2008). Karbondioksit kıyasla daha fazla küresel ısınma etkisine sahip olduğundan (Forster vd., 2007)  $\text{NH}_3$  emisyonlarını ve N kayıplarını azaltacak uygulamalara gereksinim duyulmaktadır.

### 3.3. Yüze ve yüze altı sularının kirliliği

Ülkemizde büyük ölçekli işletmelerin sayısı son yıllarda artmaya başlamıştır. Yer altı sularının kirliliğinde hayvansal üretim yapan işletmelerin katkılarını içeren herhangi bir rapora rastlanmamakla birlikte, ülkemizde de bu tip bir sorunla karşılaşma olasılığı yüksektir. Nitekim Sünal ve Erşahin (2012), "Türkiye'de Tarımsal Kaynaklı Yeraltı Suyu Nitrat Kirliliği" başlıklı çalışmalarında, bu konuya dikkat çekerek Mersin, İzmir, Ankara, Antalya ve Eskişehir'de yapılan çalışmalarda yer altı sularında nitrat konsantrasyonunun  $50 \text{ mg L}^{-1}$ 'yi aştığını belirtmişlerdir. Hayvansal üretim yapan işletmelerde ortaya çıkan sıvı atıklar yer altı ve yer üstü sularını önemli düzeyde kirletebilmektedir. Harter vd. (2014) tarafından yoğun süt sığırcılığı yapılan bir bölgede tarımsal kaynaklı nitrat ile oluşan yer altı suyu kirliliği ile ilgili olarak detaylı bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada araziye sıvı gübre ile birlikte yılda 127 Gg azot ilave edildiği ve bunun büyük bir kısmının yıkanarak

yer altı suyuna karıştığı belirlenmiştir. Araştırmada, Kaliforniya Eyaletinde yaşayan insanların %57'sinin yer altı sularına bağımlı oldukları ancak 2006 ve 2010 yıllarında yer altı suyu nitrat seviyesinin sınır olarak kabul edilen ( $45 \text{ mg L}^{-1}$ )'yi aştığı rapor edilmiştir. Bu seviyede devam ettiği takdirde 2050 yılında kirlilikten etkilenen nüfusun %80'i bulacağı ifade edilmiştir.

Sera gazlarının salımlarının azaltılmasının yanında, biyoçarın toprakta var olması suyun kalitesinin iyileşmesine, toprak verimliliğinin artmasına, tarımsal üretimin yükselmesine (Laird, 2008) ve tarım arazileri üzerindeki baskıların azaltılmasına da neden olacaktır. Çeşitli çalışmalarda organik ve inorganik gübrelerin biyoçar ile karıştırılmasının ürün performansını artırdığı rapor edilmiştir. Bu durum özellikle yıkanma potansiyeli yüksek olan topraklarda toprağa karıştırılan biyoçarın besin elementi tutunmasını artırması ile ilişkilendirilmiştir (Lehmann vd., 2006; Steiner vd., 2008). Biyoçar üretimi ile tarımsal atıkların ayrışması esnasında serbest kalan besin elementlerinin yüzey akışı ile uzaklaşması önlenebileceği gibi toprağın fiziksel ve kimyasal koşullarının düzeltilmesi ile üretkenliğinin artırılması mümkün olabilecektir (Ghezzehei vd., 2014). Lehmann vd. (2003), bir lizimetre çalışmasında inorganik ve organik gübrelerin kömür ile birlikte uygulanmasının çeltik yetiştiriciliğinde yıkanan azot miktarını azalttığını ve bitki tarafından azot alımının arttığını rapor etmişlerdir. Ancak Lehmann vd. (2003)'a göre (%20 ağırlık olarak) daha düşük oranda (%3.2) biyoçar kullanan Doydora vd. (2011), benzer bir etki göremediklerini bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmalar, biyoçar uygulamasının besin elementlerinin (özellikle nitrat) ve kirleticilerin kök bölgesinin altına yıkanmasını azaltabileceğini göstermiştir. Biyoçarın besin elementlerinin yıkanmasına etkisi i) biyoçar uygulaması ile su ve besin elementlerinin tutunması ve yarıyışlılıklarının artması, ii) besin elementi kullanım etkinliğinin artması, iii) toprak biyoçar karışımında iç reaktif yüzey alanının artması, iv) bitki su tüketiminin artmasından dolayı besin elementlerinin bitki kök bölgesinin altına inişinin azalması ve v) bitki gelişiminin artması ile bitki besin elementi kullanımının artması şeklinde özetlenmiştir (Verheijen vd., 2010).



Tavuk gübresinin direk olarak toprağa uygulanması, volatilizasyon ile  $\text{NH}_3$  kaybına ve yüzey akış ile yüzey sularına fosfor karışmasına yol açabilir. Daydora vd. (2011), 400 °C’de elde edilmiş asit karakterli bir biyoçar ile karıştırılarak verilen tavuk gübresinin pH’sının düştüğünü bildirmişlerdir. Bu durumda tavuk gübresindeki fosforun toprakta tutunacağını ve fosforun yüzey akış ile yıkanmasının azalacağını ifade etmişlerdir. Çam talaşı ve fıstık kabuğundan üretilen asit karakterli biyoçarların  $\text{NH}_3$  kaybını yüzeye uygulamada sırası ile %88 ve %63 ve karıştırıldığında %56 ve %60 oranında azalttığı rapor edilmiştir. Ancak, araştırmacılar asitleştirilmiş biyoçarın P’un yüzey akışına önemli bir etki yapmadığını görmüşlerdir.

Laboratuvar koşulları altında, yüzeye uygulandığında tavuk gübresindeki toplam azotun %4 ile %60’ı kadarının kaybolduğu rapor edilmektedir (Brinson vd., 1994). Tavuk gübresinin biyoçar ile birlikte karıştırılması ile pH’sının düşürülmesi sonunda  $\text{NH}_4$ ’un bağlanacağı yüzey artacağından dolayı  $\text{NH}_3$  şeklinde kayıpta azalacaktır (Lehmann vd., 2006). Doydora vd. (2011), 21 günlük inkübasyon sonunda yüzeye uygulanan tavuk gübresinden 226  $\mu\text{g N g}^{-1}$  toprak volatilize olurken, pH’sı düşürülen çam talaşı ve fıstık kabuğu biyoçarları ile birlikte uygulanan tavuk gübresinden 83 ile 95  $\mu\text{g N g}^{-1}$  kayıp olduğunu belirlemişlerdir. İki farklı biyoçar uygulaması ile oluşan kaybın istatistiksel olarak önemli olmadığı bildirilirken  $\text{NH}_3$  kaybının muhtemel nedenleri; pH’nın düşmesi, hidrojen tamponlama kapasitesinin artması ve katyon değişim kapasitesinin artması şeklinde açıklanmıştır.  $\text{NH}_3$  ’un volatilizasyonu pH’ya bağımlı bir olaydır ve pH 7,0 civarında olduğunda  $\text{NH}_4$  ,  $\text{NH}_3$  ’a dönüşmektedir. Biyoçar ilavesi ile tavuk gübresinin pH’sı “8,55”den “7,26”ya düşmüştür. Bu durumda muhtemelen  $\text{NH}_4 \text{ N}$ ’unun  $\text{NH}_3$  formuna dönüşmesini azalttığından kayıp miktarı düşmüştür.

Biyoçar ilave edilmemiş ve doğal olarak düşük fosfor içeren bir toprağın yaklaşık 600  $\text{mg kg}^{-1} \text{PO}_4^{-3}$  adsorbe edebildiği belirtilirken, biyoçarın 40  $\text{mg L}^{-1}$  gibi düşük konsantrasyonlu bir çözeltilerden dahi >3000  $\text{mg kg}^{-1} \text{PO}_4^{-3}$  adsorbe edebileceği bildirilmiştir (Lehman, 2007). Biyoçarın bu yüksek sorbe etme kapasitesi besin

elementlerince zenginleşmiş olan çözeltilerden besinlerin uzaklaştırılması adına oldukça değerlidir. Sarkhot vd. (2013), biyoçarın bir gramının 5  $\text{mg NH}_4$  ve 0,2  $\text{mg PO}_4^{-3}$ ’dan daha fazlasını sorbe edebileceğini göstermişlerdir. Bu şekilde besin elementlerince zenginleştirilen biyoçardaki besin elementlerinin bitkiler için yavaş yavaş yarıyışlı bir besin kaynağı olacağı bildirilmektedir (Spokas vd., 2011; Biederman ve Harpole, 2013). Benzer bir çalışmayı yapan Ghezzehei vd. (2014)’da 300 °C’de elde ettikleri biyoçar materyalinin süt sığırcılığı işletmesinden alınan gübrenin sıvı kısmında yer alan  $\text{NH}_4$ ’un %20 ile %43 ve fosforun ise %19 ile %65’ini sorbe edebileceğini göstermişlerdir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Biyokütlenin 300 ile 1000 °C sıcaklıklar arasında oksijensiz bir ortamda ısıtılması esnasında gelişen gözenekli ve ayrışmaya karşı dirençli yapısı, yük yoğunluğu ve yüksek katyon değişim kapasitesi gibi özellikler biyoçarı diğer organik katkı maddelerine kıyasla özel kılmaktadır. Çeşitli biyokütlerden elde edilen biyoçarların laboratuvar, sera ve arazi çalışmalarında uygulanmasını konu eden araştırmalarda; biyoçarların bitkisel ve hayvansal kökenli atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi, sera gazları emisyonlarının azaltılması ile toprakta karbonun depolanması, azotlu gübrelerin kullanım etkinliklerinin iyileştirilmesi, besin elementlerinin yıkanmalarının azaltılması ile yüzey ve yüzey altı sularının kirletilmesinin önlenmesi, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olumlu katkı yaparak toprak kalitesinin korunması ve geliştirilmesi ve bitkisel üretimde verimliliğin sürdürülebilir bir şekilde artırılması gibi çok sayıda olumlu etkisi rapor edilmiştir. Buna rağmen, biyoçar ham maddesi ve üretim koşullarındaki çeşitlilik nedeni ile standart bir biyoçar tanımının yapılamıyor olması, farklı toprak, iklim ve yetiştirme koşulları altında yapılan çalışmalarının sonuçlarının karşılaştırılabilmelerini zorlaştırmaktadır.

Konu uzmanı bilim insanlarının oluşturacağı bir çalışma grubunun belirleyeceği kriterler göz kullanımını konu eden araştırmaların farklı toprak, iklim, rotasyon ve diğer arazi koşulları altında elde edilen sonuçlarının karşılaştırılabilmelerini mümkün kılacak ve araştırmaları daha

ileri düzeye taşıyabilecek bir girişim olacaktır. Dünyanın birçok ülkesinde oldukça yoğun bir şekilde çalışılıyor olmasına rağmen, ülkemizde yürütülen ve yayınlanan araştırma sonuçları oldukça sınırlıdır. Tarımsal üretim sonucu ortaya çıkan atıkların çoğu zaman yakılarak veya çürümeye terk edilerek bertaraf edildiği ülkemizde, bu atıkların biyoçara dönüştürülmesi, tarım arazilerinde veya peyzaj amaçlı çevre düzenleme çalışmalarında kullanımını konu edecek araştırmalara gereksinim duyulmaktadır. Buna ilaveten, ülkemizin farklı iklime sahip bölgelerinde tarım arazilerinden gerçekleşen sera gazı emisyonlarının azaltılmasında biyo-

çarın etkinliği araştırılmalıdır. Gübre ve tarım ilaçlarının yoğun olarak kullanıldığı bölgelerde yüzey ve yüzey altı sularında nitrat başta olmak üzere birçok kirletici ile zenginleştiği bildirilmektedir. Kirleticilerin yüzey ve yüzey altı sularına ulaşmadan toprakta tutulmasını sağlayacak katkı maddeleri bu kimyasalların topraklardaki kullanım etkinliklerinin de artırılmasına katkı sağlayacaktır. Biyoçarın geniş yüzey alanı ve fonksiyonel gruplara sahip olması bu amaç için kullanılabilceğini göstermektedir. Bu kapsamda biyoçar, çevre ve tarım bilimcilerini ortak bir payda da buluşturacak önemli bir katkı maddesidir.

## Kaynaklar

- Amonette JE., Joseph S., (2009). Characteristics of Biochar: Microchemical Properties. In: J. Lehmann, Joseph, S. (Ed), *Biochar for Environmental Management Science and Technology*, Earthscan, London.
- Baldock JA., Smernik RJ., (2002). Chemical Composition and Bioavailability of Thermally Altered Pinus Resinosa (Red Pine) Wood. *Organic Geochemistry*, 33 (9), 1093-1109.
- Beusen AHW., Bouwman AF., Heuberger PSC., Van Drecht G., Van Der Hoek KW., (2008). Bottom-Up Uncertainty Estimates of Global Ammonia Emissions from Global Agricultural Production Systems, *Atmospheric Environment*, 42 (24), 6067-6077.
- Biederman LA., Harpole WS., (2013). Biochar and Its Effects on Plant Productivity and Nutrient Cycling: A Meta-Analysis, *GCB Bioenergy*, 5, 202-214.
- Boehm HP., (1994). Some Aspects of the Surface Chemistry of Carbon Blacks and Other Carbons', *Carbon*, 32, 759-769.
- Brassard P., Godbout S., Raghavan V., (2016). Soil Biochar Amendment as a Climate Change Mitigation Tool: Key Parameters and Mechanisms Involved, *J. Environ. Manag.* 181, 484-497.
- Brinson S., Cabrera M., Tyson S., (1994). Ammonia Volatilization from Surface-Applied, Fresh and Composted Poultry Litter, *Plant Soil*, 167, 213-218
- Bruun EW., Hauggaard-Nielsen H., Ibrahim N., Egsgaard H., Ambus P., Jensen PA., Dam-Johansen K., (2011). Influence of Fast Pyrolysis Temperature on Biochar Labile Fraction and Short-Term Carbon Loss in a Loamy Soil, *Biomass and Bioenergy*, 35 (3), 1182-1189.
- Cao X., Harris W., (2010). Properties of Dairy-Manure-Derived Biochar Pertinent to Its Potential Use in Remediation, *Bioresour. Technol.*, 101, 5222-5228.
- Cayuela ML., Van Zwieten L., Singh BP., Jeffery S., Roig A., Sánchez-Monedero MA., (2014). Biochar's Role in Mitigating Soil Nitrous Oxide Emissions: a Review and Meta-Analysis, *Agric. Ecosyst. Environ.* 191, 5-16.
- Cheng CH., Lehmann J., Thies JE., Burton SD., (2008). Stability of Black Carbon in Soils Across a Climatic Gradient, *Journal of Geophysical Research*, 113, G02027.
- Clough TJ., Sherlock RR., Mautner MN., Milligan DB., Wilson PF., Freeman CG., McEwan MJ., (2003). Emission of Nitrogen Oxides and Ammonia from Varying Rates of Applied Synthetic Urine and Correlations with Soil Chemistry, *Soil Research*, 41 (3), 421-438.
- Demirbas A., (2004). Effects of Temperature and Particle Size on Bio-Char Yield from Pyrolysis of Agricultural Residues, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72 (2), 243-248.
- Doydora SA., Cabrera ML., Das KC., Gaskin JW., Sonon LS., Miller WP., (2011). Release of Nitrogen and Phosphorus from Poultry Litter Amended with Acidified Biochar, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8 (5), 1491-1502.
- Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P., Berntsen T., Betts R., Fahey DW., Haywood J., Lean J., Lowe DC., Myhre G., Nganga J., Prinn R., Raga G., Schulz M., Van Dorland R., (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, *Chap. 2. In Climate Change, The Physical Science Basis*.
- Joseph S., Camps-Arbestaine M., Lin Y., Munroe P., Chia CH., Hook J., Van Zwieten L., Kimber S., Cowie A., Singh BP., Lehmann J., Foidl N., Smernik RJ., Amonette JE., (2010). An Investigation into the Reactions of Biochar in Soil, *Aust. J. Soil Res.*, 48, 501-515.
- Ghezzehei TA., Sarkhot DV., Berhe AA., (2014). Biochar Can Be Used to Capture Essential Nutrients from Dairy Wastewater and Improve Soil Physico-Chemical Properties, *Solid Earth*, 5 (2), 953-962.
- Grutzmacher P., Puga AP., Bibar MPS., Coscione AR., Packer AP., de Andrade CA., (2018). Carbon Stability and Mitigation of Fertilizer Induced N2O Emissions in Soil Amended with Biochar, *Science of the Total Environment*, 625, 1459-1466.
- Harter J., Krause HM., Schuetzler S., Ruser R., Fromme M., Scholten T., Behrens S., (2014). Linking N2O Emissions from Biochar-Amended Soil to The Structure and Function of the N-Cycling Microbial Community, *The ISME journal*, 8 (3), 660.
- Harter J., Weigold P., El-Hadidi M., Huson DH., Kappler A., Behrens S., (2016). Soil Biochar Amendment Shapes the Composition of N2O-Reducing Microbial Communities, *Sci. Total Environ.*, 562, 379-390.
- IPCC, (2013). Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, In: *Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (Eds.)*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, USA 1535 pp.
- Ippolito JA., Laird DA., Busscher WJ., (2012). Environmental Benefits of Biochar, *J. of Environ. Qual.*, 41 (4), 967-972

- Klass DL., (1998). Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals, *Academic Press*, San Diego, CA.
- Kürklü A., Bilgin S., Külcü R., Yaldız O., (2004). Bazı Sera Bitkisel Biyokütle Atıklarının Miktar ve Enerji İçeriklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, *Biyoenerji Semp. 20–22 Ekim, İzmir*, s.69-75.
- Laird DA., (2008). The Charcoal Vision: a Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, *While Improving Soil and Water Quality*, *Agronomy Journal*, 100 (1), 178-181.
- 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., Liang B., Solomon D., Lerotic M., Luizão F., Kinyangi J., Schäfer T., Wirrick S., Jacobsen C., (2005). Near-edge X-ray Absorption Fine Structure (NEXAFS) Spectroscopy for Mapping Nano-Scale Distribution of Organic Carbon Forms in Soil: Application to Black Carbon Particles, *Global Biogeochemical Cycles*, 19, pGB1013.
- Lehmann J., Gaunt J., Rondon M., (2006). Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems—A Review, *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*, 11, 403–427.
- Lehmann J., Joseph S., (2009). Biochar for Environmental Management: An Introduction, *Lehmann J, Joseph, S. (Eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, Earthscan, pp. 1-12.
- Liang B., Lehmann J., Solomon D., Kinyangi J., Grossman J., O'Neill B., Skjemstad JO., Thies J., Luizão FJ., Petersen J., Neves EG., (2006). Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils, *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1719–1730.
- Major J., Lehmann J., Rondon M., Goodale C., (2010). Fate of Soil-Applied Black Carbon: Downward Migration, Leaching and Soil Respiration, *Glob Chang Biol*, 16, 1366–1379.
- Novak JM., Busscher WJ., Watts DW., Amonette JE., Ippolito JA., Lima IM., Rehrh D., (2012). Biochars Impact on Soil-Moisture Storage in an Ultisol and two Aridisols, *Soil Science*, 177 (5), 310-320.
- Özçimen D., Ersoy-Meriçboyu A., (2010). Characterization of Biochar and Bio-Oil Samples Obtained from Carbonization of Various Biomass Materials, *Renew. En.*, 35 (6), 1319-1324.
- Park S., Croteau P., Boering KA., Etheridge DM., Ferretti D., Fraser PJ., Kim KR., Krummel PB., Langenfelds RL., Van Ommen TD, Steele LP., Trudinger CM., (2012). Trends and Seasonal Cycles in the Isotopic Composition of Nitrous Oxide Since 1940, *Nat. Geosci*, 5, 261–265.
- Perlack RD., Wright LL., Turhollow AF., Graham RL., Stokes BJ., Erbach DC., (2005). Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply, [http://feedstockreview.ornl.gov/pdf/billion\\_ton\\_vision.pdf](http://feedstockreview.ornl.gov/pdf/billion_ton_vision.pdf) (Erişim tarihi: 08.03.2018).
- Riaz M., Roohi M., Arif MS., Hussain Q., Yasmeen T., Shahzad T., Khalid M. (2017). Corn-cob-Derived Biochar Decelerates Mineralization of Native and Added Organic Matter (AOM) in Organic Matter Depleted Alkaline Soil, *Geoderma*, 294, 19-28.
- Sarkhot DV., Berhe AA., Ghezzehei TA., (2012). Impact of Biochar Enriched with Dairy Manure Effluent on Carbon and Nitrogen Dynamics, *J. Environ. Qual.*, 41, 1107–1114.
- Sarkhot DV., Ghezzehei TA., Berhe AA., (2013). Biochar for Nutrient Recapture from Dairy Wastewater: Recovery of Major Nutrients, *J. Environ. Qual.*, 42, 1545–1554.
- Singh BP., Hatton BJ., Singh B., Cowie AL., Kathuria A., (2010). Influence of Biochars on Nitrous Oxide Emission and Nitrogen Leaching from Two Contrasting Soils, *J. of Envir. Qual.*, 39 (4), 1224-1235.
- Spokas KA., Reicosky DC., (2009). Impacts of Sixteen Different Biochars on Soil Greenhouse Gas Production, *Annals of Environmental Science*, 3 (1), 4.
- Spokas KA., Cantrell KB., Novak JM., Archer DW., Ippolito JA., Collins HP., Boateng AA., Lima IM., Lamb MC., McAloon AJ., (2012). Biochar: a Synthesis of Its Agronomic Impact Beyond Carbon Sequestration, *J. Environ. Qual.*, 41, 973– 989.
- Steinbeiss S., Gleixner G., Antonietti M., (2009). Effect of Biochar Amendment on Soil Carbon Balance and Soil Microbial Activity, *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 1301–1310.
- Steiner C., Das KC., Melear N., Lakly D., (2010). Reducing Nitrogen Loss During Poultry Litter Composting Using Biochar, *Journal of Environ. Qual.*, 39 (4), 1236-1242.
- Sünel S., Erşahin S., (2012). Türkiye’de Tarımsal Kaynaklı Yeraltı Suyu Nitrat Kirliliği, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 116-118.
- Taghizadeh-Toosi A., Clough TJ., Sherlock RR., Condron LM., (2012). Biochar Adsorbed Ammonia is Bioavailable, *Plant and Soil*, 350 (1-2), 57-69.
- Thomazini T., Spokas K., Hall K., Ippolito J., Lentz R., Novak J., (2015). GHG Impacts of Biochar: Predictability for the Same Biochar, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 207, 183–191.
- Yaman S., (2004). Pyrolysis of Biomass to Produce Fuels and Chemical Feedstocks, *Energy Convers Manag*, 45, 651–71.
- Yanai Y., Toyota K., Okazaki M., (2007). Effects of Charcoal Addition on N<sub>2</sub>O Emissions from Soil Resulting from Rewetting Air-Dried Soil in Short-Term Laboratory Experiments, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 53, 181–188.
- Van Zwieten L., Singh B., Joseph S., Kimber S., Cowie A., Chan KY., (2009). Biochar and Emissions of Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases from Soil. Biochar for Environmental Management: *Science and Technology*, 1, 227-250.
- Van Zwieten L., Singh BP., Kimber SWL., Murphy DV., Macdonald LM., Rust J., Morris S., (2014). An Incubation Study Investigating the Mechanisms That Impact N<sub>2</sub>O Flux from Soil Following Biochar Application, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 53-62.
- Verheijen F., Jeffery S., Bastos AC., Van der Velde M., Diafas I., (2010). Biochar Application to Soils. A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes, and Functions, *European Commission, Joint Research Centre*, 24099, 162.
- Wilhelm WW., Johnson JMF., Hatfield JL., Voorhees WB., Linden DR. (2004). Crop and Soil Productivity Response to Corn Residue Removal: A Literature Review, *Agron. J.* 96, 1–17.
- Winsley P., (2007). Biochar and Bioenergy Production for Climate Change, *New Zealand Science Review*, 64 (1), 1-10.
- Zhang D., Pan G., Wu G., Kibue GW., Li L., Zhang X., Zheng J., Zheng J., Cheng K., Joseph S., Liu X., (2016). Biochar Helps Enhance Maize Productivity and Reduce Greenhouse Gas Emissions Under Balanced Fertilization in a Rainfed Low Fertility Inceptisol, *Chemosphere*, 142, 106-113.