



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**BİYOKÖMÜR, KOMPOST ve KOMPOST+BİYOKÖMÜR
KARIŞIMININ TOPRAK KARBON MİNERALİZASYONU VE
BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN CAN KANTAR

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Yasemin KAVDIR



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**BİYOKÖMÜR, KOMPOST ve KOMPOST+BİYOKÖMÜR KARIŞIMININ
TOPRAK KARBON MİNERALİZASYONU VE BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN CAN KANTAR

Tez Danışmanı
PROF. DR. YASEMİN KAVDIR

ÇANAKKALE – 2022

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Hüseyin Can KANTAR

29/08/2022

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde, çalıőmam boyunca değerli bilgilerini benden bir an olsun esirgemeyen, sabırla bütün sorularıma cevap veren, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Prof. Dr. Yasemin KAVDIR'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Eksik kaldığım konularda yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Hüseyin EKİNCİ, Prof. Dr. Ali SUNGUR, Doç. Dr. Remzi İLAY ve Doç. Dr. Fatih KAHRIMAN 'a teőekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecinde benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen ziraat yüksek mühendisi arkadaşlarım Furkan ETEM, Erdem TEMEL, Orhun Berk GÜVEN, Seda BODUR ve Dr. Nurten İŞLER'e teşekkür ederim.

Tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli annem Emine KANTAR, babam Yusuf KANTAR, abim Gökhan KANTAR, ablalarım Gamze TÖTÖNCÖ ve ZEHRA KANTAR'a sonsuz teşekkür ederim.

Hüseyin Can KANTAR
anakkale, Ağustos 2022

ÖZET

BIYOKÖMÜR, KOMPOST ve KOMPOST+BIYOKÖMÜR KARIŞIMININ TOPRAK KARBON MİNERALİZASYONU VE BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Hüseyin Can KANTAR

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Yasemin KAVDIR

29/08/2022, 55

Ülkemiz topraklarının önemli sorunlarından biri topraklarda organik karbon eksikliğidir. Toprak organik karbonunu arttırmak için kullanılabilecek çeşitli organik bazlı toprak düzenleyiciler vardır. Bunlar arasında en fazla kullanılanların başında kompost ve hayvan gübresi gelmektedir. Kompost araziye uygulandıktan bir süre sonra mineralize olarak atmosfere karbondioksit (CO₂) salınımı yapabilmektedir. Organik karbonun toprakta daha fazla tutulum sağlaması amacıyla biyokömür uygulanması sürdürülebilir tarım için önemli bir stratejidir. Bu çalışmamızda mısır koçanı biyokömürü (MB) ve pirina kompostunun (PK) farklı dozlarının ve kombinasyonlarının, topraktan CO₂ salınımı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla kil bünyedeki toprağa farklı dozlarda PK (ağırlıkça %2, %4) ve MB (%1, %2) eklenmiş, cam kavanozlarda sabit nem ve sıcaklık koşullarında 165 gün inkübe edilmişlerdir. İnkübasyon süresince kavanozlardan 3, 7, 10, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 120, 127, 150 ve 165. günde CO₂ çıkışı belirlenmiştir. Çalışma sonunda topraklarda toplam organik madde, agregat stabilitesi (AS), pH ve EC analizleri yapılmıştır. Pirina kompostu karıştırılan topraklara ayrıca biyokömür (%2, 4) ilave edilmesi sonucunda, topraklardan salınan CO₂ miktarı azalmıştır. Zaman, doz, uygulamalar ve interaksyonları istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. Organik madde analiz sonuçlarına göre tüm uygulamalar organik madde miktarını arttırmıştır ve biyokömür uygulamaları hariç bütün uygulamalar istatistiki açıdan önemlidir. Agregat stabilitesinde kontrol toprağına göre en yüksek artış %2 kompost uygulamasında (%38,37) olmuştur. pH ve EC değerleri kontrol toprağında en düşük, %4 kompost + %2 biyokömür uygulamasında en yüksek bulunmuştur.

Sonuç olarak biyokömür ve kompostun bir arada uygulanmasının toprak organik madde miktarını arttırmış ve kompostla beraber toprağa ilave edilen biyokömürün topraktan CO₂ salınımını azaltmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karbondioksit, Biyokömür, Kompost, İnkübasyon, Pirina, Organik Karbon



ABSTRACT

EFFECT OF BIOCHAR, COMPOST AND COMPOST+BIOCHAR MIXTURES ON SOIL CARBON MINERALIZATION AND SOME SOIL PROPERTIES

Hüseyin Can KANTAR

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Soil Science and Plant Nutrition

Advisor: Prof. Dr. Yasemin KAVDIR

29/08/2022, 55

One of the important problems of our country's soil is the lack of soil organic carbon. There are various organic-based soil conditioners that can be used to increase soil organic carbon. Among these, compost and animal manure are the most used ones. After a while, the compost can be mineralized and release carbondioxide (CO₂) into the atmosphere. The application of biochar is an important strategy for sustainable agriculture in order to provide more sequestration of organic carbon in the soil. In this study, the effects of different doses and combinations of corncob biochar (MB) and olive pomace compost (PK) on CO₂ release from soils were investigated. For this purpose, different doses of PK (2%, 4% w/w) and MB (1%, 2% w/w) were added to the clay soil, and they were incubated in glass jars under constant humidity and temperature conditions for 165 days. During the incubation period, CO₂ release was determined from the jars at 3, 7, 10, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 120, 127, 150, and 165. days. At the end of the study, total organic matter, aggregate stability (AS), pH and EC analyzes were conducted. As a result of the addition of biochar (2% and 4%) to soils mixed with olive pomace compost, the amount of CO₂ released from soils decreased. Sampling time, dose, treatments and their interactions were found to be statistically significant. According to the organic matter analysis results, all applications increased the amount of organic matter and other applications were statistically significant except for only biochar applications. Except for biochar applications, all applications are statistically significant. The highest increase in aggregate stability was observed in 2% compost application (38,37%) compared to control soil. pH and EC values were the lowest in the control soil and the highest in 4% compost + 2% biochar application. As a result the

application of biochar and compost together increases the amount of soil organic matter and reduces CO₂ emission from soils.

Keywords: Carbondioxide, Biochar, Compost, Incubation, Olive pomace, Organic Carbon



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ETİK BEYAN.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi

BİRİNCİ BÖLÜM

1

GİRİŞ

İKİNCİ BÖLÜM

4

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Biyokömürün Toprak Özelliklerine Etkileri ile İlgili Çalışmalar.....	4
2.2. Kompostun Toprak Özelliklerine Etkileri ile İlgili Çalışmalar	10
2.3. Biyokömür ve Kompostun CO ₂ Salınımı Üzerine Etkileri ile İlgili Çalışmalar.....	12

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

15

MATERYAL YÖNTEM

3.1. Materyal	15
3.1.1. Denemede Kullanılan Materyallerin Özellikleri	15
3.1.2. Biyokömür Üretimi	15
3.2. Yöntem	16
3.2.1. İnkübasyon Denemesinin Kurulması	16
3.2.2. Analiz Yöntemleri	18
3.2.3. İstatistik Analizleri	22

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM		23
ARAŞTIRMA BULGULARI		
4.1.	Denemede Kullanılan Materyallerin Analiz Sonuçları	23
4.2.	Farklı Dozlarda Kullanılan Biyokömür ve Kompostun Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi	25
4.2.1.	Toprak Reaksiyonu (pH)	25
4.2.2.	Elektriksel İletkenlik	27
4.2.3.	Agregat Stabilitesi	29
4.2.4.	Kireç	30
4.2.5.	Organik Madde	31
4.3.	Farklı Dozlarda Biyokömür ve Kompost Uygulamalarının Topraktan Salınan CO ₂ Üzerine Etkileri.....	33
BEŞİNCİ BÖLÜM		42
SONUÇ ve ÖNERİLER		
KAYNAKÇA		45

SİMGELER VE KISALTMALAR

KDK	Kasyon değişim kapasitesi
SD	Serbestlik derecesi
EC	Elektriksel iletkenlik
pH	Toprak reaksiyonu
t	Ton
ha	Hektar
da	Dekar
Pg	Petagram
kg	Kilogram
g	Gram
mg	Miligram
mm	Milimetre
cm	Santimetre
cm ³	Santimetre kúp
mL	Mililitre
L	Litre
%	Yüzde oranı
°C	Santigrat derece
cmol	Sentimol
µmhos	Elektriksel kondüktivite birimi
O ₂	Oksijen
CO ₂	Karbondiyoksit
N ₂ O	Azot oksit
CH ₄	Metan
NaOH	Sodyum hidroksit
BaCl ₂	Baryum klorür
HCl	Hidroklorik asit
C	Karbon
N	Azot

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Her bir kavanozdaki toprak, biyokömür ve kompost miktarları	17
Tablo 2	Denemede kullanılan materyallerin analiz sonuçları	23
Tablo 3	Biyokömür verimi (%)	24
Tablo 4	Farklı materyal ve dozların topraktan salınan CO ₂ üzerine etkileri	38
Tablo 5	Farklı dozlarda pirina kompostu ve mısır koçanı biyokömür uygulamasının topraklardan salınan CO ₂ üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4)	38
Tablo 6	Uygulama, doz, zamanın ve interaksiyonlarının istatistiki olarak karşılaştırılması, ANOVA tablosu (n=4)	39
Tablo 7	Uygulamaların, topraktan CO ₂ salınımına etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4)	39
Tablo 8	Farklı dozlarda karıştırılan materyallerin topraktan CO ₂ salınımı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4)	40
Tablo 9	Farklı zamanlarda yapılan örnekleme, topraktan CO ₂ salınımı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4)	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	a) Taneleri ayıklanmış mısır koçanları, b) Piroliz fırınından çıkartılmış krozede mısır koçanı biyokömürü c) Mısır koçanı biyokömürü	16
Şekil 2	İnkübatör içine yerleştirilen kavanozlar	18
Şekil 3	Farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulanan toprakların pH değerleri. Hata çubukları standart hataları (n=4) ifade etmektedir.	25
Şekil 4	Farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulanan toprakların EC ($\mu\text{mhos/cm}$) değerleri. Hata çubukları standart hataları (n=4) ifade etmektedir.	27
Şekil 5	Farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulanan toprakların agregat stabilitesi değerleri. Hata çubukları standart hataları (n=4) ifade etmektedir.	29
Şekil 6	İnkübasyon öncesi ve sonrasında farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulanan toprakların CaCO_3 değerleri. Hata çubukları standart hataları (n=4) ifade etmektedir.	30
Şekil 7	İnkübasyon öncesi ve sonrasında farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulanan toprakların OM değerleri. Hata çubukları standart hataları (n=4) ifade etmektedir.	31
Şekil 8	İnkübasyon sürecinde %2 kompostlu toprağa %1 ve %2 biyokömür ilavesinin CO_2 salınımına etkisi	33
Şekil 9	İnkübasyon sürecinde %4 kompostlu toprağa %1 ve %2 biyokömür ilavesinin CO_2 salınımına etkisi	34
Şekil 10	İnkübasyon sürecinde kontrol toprağına %1 ve %2 biyokömür ilavesinin CO_2 salınımına etkisi	35

Şekil 11

İnkübasyon sürecinde farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulamasının CO₂ salınımına etkisi

37



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Zamanımızda bitkisel ve hayvansal bazlı üretim sonucu çeşitli organik atıklar kompost veya biyokömür gibi organik toprak düzenleyicilere dönüştürülmeye başlanmıştır. Oluşan bu organik toprak düzenleyicilerin toprak sağlığı açısından kullanımı daha yaygın bir hale gelmiştir. Bitkilerin iyi gelişimi, toprakların fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Toprakların fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerinin optimum koşullara getirilmesi için yapılan takviyelerden bir tanesi de organik materyal ilavesidir (Bender vd., 1998). Topraklarda yer alan organik maddenin korunması, ilave dengesi ve ayrışması sürdürülebilir toprak yönetiminde başlıca göstergelerden biridir (Dostal, 2002). Topraklardaki organik madde takviyesine yönelik yapılan uygulamalardan bazıları kompost, yeşil gübreleme, ahır gübresi ve biyokömürdür. Bu uygulamalardan bazıları toprağa direkt olarak besin maddesi takviyesinde bulunurken, bazılarıysa toprak özellikleri üzerinde iyileştirici etkilerde bulunmaktadır. Toprağa organik maddesinin fazlalaştırılması için ilave edilen organik materyalin ayrışma dereceleri, uygulama miktarları, materyalin özellikleri önem kazanmaktadır.

Dünya üzerindeki neredeyse bütün ülkelerde biyokömür uygulamalarının kullanımı çok fazla rağbet görmektedir. Biyokömür materyali, organik maddelerin (bitkisel ve hayvansal kökenli) yüksek sıcaklık altında oksijensiz (O_2) ya da az miktarda O_2 varlığının bulunduğu koşullarda gazlaştırma yöntemi ile mineral madde ve yüksek karbon içeren ürünler elde etmemizi sağlayan bir metottur (Lehmann, 2007).

Adsorpsiyon özelliği gösteren ve kation değişim kapasitesi yüksek ürünlerdir (Liang vd., 2006; Glaser vd., 2002). Biyokömür üretiminde kullanılan organik materyal ve üretim safhası topraktaki kullanımı bakımından büyük önem teşkil etmektedir (McLaughlin vd., 2009; McClellan vd., 2007). Biyokömür toprak düzenleyici olarak değerlendirilmektedir (Lehmann ve Joseph, 2009). Biyokömür topraktaki verimliliğe katkısının olmasının yanı sıra, iklim değişikliğinin unsurlarını azaltmakta, diğer ekosistem hizmetlerini geliştirmekte ve karbon depolanmasını dolaylı arttırmaktadır (Lehmann vd., 2006). Biyokömür,

bünyesinde yüksek miktarda organik karbon bulunduran, ayrışmaya çok uzun süre dayanabilen, kaynağı organik olan bir kömürdür (OGM, 2009; Boyacı ve Topal, 2008). Biyokömür yakın zamanda toprak düzenleyici olarak değerlendirilmesinin dışında toprağa sağladığı stabil karbon girdisi sayesinde atıkları değerlendirerek küresel ısınmanın önlenmesine, biyoenerjinin üretilmesine ve topraktaki verimliliğin artırılmasına katkı yapması amaçlarıyla değerlendirilmektedir (Woolf vd., 2010; Ogawa vd., 2006). Toprakta uzun süre ayrışmadan kalabilen biyokömürün toprakta karbonu depolayabilme süresi yüzlerce, binlerce seneyi bulduğu söylenmektedir (Cheng vd., 2008a; Liang vd., 2006). Toprakta kalıcılığının yüksek olması ve toprağın fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerine yaptığı pozitif katkılardan dolayı, bu manada isimlendirildiği gibi, biyokömür ilavesi veya siyah karbon, atmosferde yer alan karbonun tutulumunu ve toprağın kalitesini arttırmaya bir yöntem olarak önerilmektedir (Lehmann vd., 2006). Tarımsal üretim yapılan alanlarda biyokömür ilave edilmesinin ayrıca toprakta yer alan organik karbonun ayrışmasını azalttığı ve dolayısıyla toprak bünyesinde yer alan organik maddelerin içeriğinin arttığı çeşitli araştırmalarca kanıtlanmıştır.

Kompost, mikroorganizmalar sayesinde organik maddelerin anaerobik veya aerobik şartlarda kararlı hale gelmesi ile oluşur. Kompostlama aşamasında fazla miktarda karbondioksit (CO₂), ısı ve su buharı atmosfere karışır. Son yıllarda artışa geçen karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄) salınımının neden olduğu küresel ısınma endişesi, toprakların karbonu depolayabilecek bir kaynak olma potansiyeli üzerine yapılan araştırmaların çoğalmasına neden olmuştur. Organik toprak düzenleyicilerden biri olan kompost toprağa uygulandığında, organik karbonun bir bölümünü karbondioksit (CO₂) olarak atmosfere karıştırırken, bir bölümü de toprakta depolanmaktadır (Diacono ve Montemurro, 2011). Annabi vd. (2011), toprağa iki yılda bir uygulanmış olan bir kompostun, topraktaki mikrobiyal aktivitenin canlanmasına katkı sağlayarak organik karbon stoklarını arttırdığını bildirmiştir.

Kompost üretiminde kullanılacak materyallerden biri de zeytin bitkisinin zeytinyağı üretimi aşamasında ortaya çıkan zeytin katı atığı (pirina), zeytinin hacimsel olarak %50-60'lık bir kısmını kapsamaktadır. Zeytinyağı üretilirken açığa çıkan pirinanın

tekrar tarımsal açıdan geri dönüştürülmesi ülke ekonomisine ve ekolojik dengenin korunmasına önemli katkılarda bulunmaktadır. Topraktaki karbon (C) miktarını ve agregat stabilitesini arttırmasının yanında doğrudan toprağa uygulanmasının dezavantajları da olabilmektedir. Fazla miktarda açığa çıkan karbon (C) sonucu azot (N)'un yarıyışsız hale gelmesi sonucu ortaya çıkabilmektedir. Gerekli miktarda azot (N) alamadıkları için bitkiler olumsuz etkilenebilir. Pirina içerdiği organik yağ asitleri ve fenol maddeler humik maddelere dönüşemediği için bitki gelişimini kısıtlamaktadır. Bu nedenle pirinayı doğrudan toprağa uygulamak yerine kompost yapmak önemlidir (Kavdır ve Killi, 2008; İlay vd., 2013).

Bu çalışmanın ana amacı kompost uygulamaları sonrası, kompostun mineralize olmasıyla açığa çıkan CO₂'nin biyokömür uygulaması ile azaltılmasıdır. Nihai ürün olarak açığa çıkan CO₂ miktarının azaltılmasıyla doğru orantılı olarak toprakta bağlı olarak kalan organik madde içeriğinin fazla olmasıyla toprak verimliliğinin arttırılması amaçlanmaktadır. Küresel ısınma sebebi olan sera gazları içerisinde en yüksek katkıya sahip olan karbondioksit gazının atmosfere salınım miktarının azaltılmasıyla sürdürülebilir tarımın gerekli olan toprak sağlığının sağlanabilmesi için toprağa bağlanan organik karbonun arttırılması hedeflenmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Biyokömürün Toprak Özelliklerine Etkileri ile İlgili Çalışmalar

Biyokömürün bünyesinde çok fazla bitki besin maddesi olmakla birlikte, ayrıca toprak pH'sını düzenleyen, katyon değişim kapasitesini (KDK) ve topraktaki su tutma kapasitesinin artmasının nedeni olan bir toprak düzenleyicisidir (Inal vd., 2015; Gunes vd., 2014).

Kimi durumlarda biyokömürün yüksek adsorpsiyon özelliğinden yararlanabilme durumu gözlemlenmiştir. Doğadaki organik maddeye göre biyokömürün negatif yüzey yükü, yük yoğunluğu ve daha yüksek yüzey alanı sebebiyle adsorpsiyon özelliğinin daha fazla olduğu görülmüştür (Liang vd., 2006).

Toprağa uygulanan biyokömür ile toprağın KDK seviyesi artmakta, uygulanan biyokömürün özelliklerine göre toprak pH'sına etki etmekte, bitki besin maddelerinin yıkanmasına engel olmasıyla birlikte toprağın su tutma miktarını da arttırdığı belirlenmiştir (Kolb vd., 2009; Lehmann vd., 2006; Jeffery vd., 2011).

Biyokömürün üretildiği materyale göre özelliklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Alkali özellikteki bir materyalden elde edilen biyokömürün toprağa uygulanması sonucu topraktaki pH seviyesinin artmasına ve bu da sonuç olarak topraktaki bazı mikro besin elementlerinin yararlılığının azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir (Dong vd., 2011; Peng vd., 2011).

Uygulamalar sonucunda toprağın pH seviyesindeki artışın sebebi olarak biyokömürün kül içeriğinin fazla olması düşünülmektedir (Chirenje ve Lena, 2002).

Birçok araştırıcı piroliz yoluyla üretilen biyokömürün karakterizasyonunu çalışmıştır. Biyokömür materyalinin toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmesi gibi yararlarının yanı sıra sera etkisinin azalmasında, zirai üretimin artması gibi çeşitli faydalarının olduğu ortaya konulmuştur (Glaser vd., 2002; Ogawa vd., 2006; Lehmann vd., 2006).

Biyokömür materyalinin toprağa etkileri ve tarımdaki kullanımını hakkındaki çalışmalar, etkinin biyokömürün dozuna, yetiştirilen bitki türüne ve toprağın özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterdiğini belirtmektedir. Aynı zamanda biyokömürün toprağın özelliklerini geliştiren ve toprakta karbon tutulumunu sağlayan bir toprak düzenleyici olarak kullanıldığı ifade edilmiştir (Verheijen vd., 2009; Lehmann ve Joseph, 2009).

Biyokömür topraklarda karbonun depolanmasını arttırarak bu sayede toprak verimliliğini iyileştiren bir toprak düzenleyicidir (Ogawa vd., 2006; Chan vd., 2007).

Ayrıca toprağa uygulanan biyokömürün pestisit ve herbisitleri adsorbe ettiği ve organik maddenin ayrışmasının sonucunda meydana gelen toksinleri de nötrale ettiği öne sürülmüştür (Jones vd., 2012).

Toprağa yüksek dozlarda uygulanan biyokömürün yüzey alanının geniş olması sebebiyle toprakta yer alan organik karbon miktarının artmasıyla doğru orantılı olarak toprağın su tutma kapasitesinde arttığı gözlemlenmiştir (Lehmann, 2007).

Bitkisel üretimde uygulama yapılan biyokömür bazı çalışmalarda üretim potansiyelini pozitif etkilediği görülmürken (Yamato vd., 2006; Chan vd., 2008) yapılan araştırmalarda bazı çalışmalarda negatif etki gösterdiği görülmüştür (Schulz ve Glaser, 2012; Deenik vd., 2010).

Tropikal bölgelerin yüksek miktarlarda uygulanan biyokömürün, bitkiler tarafından K, P, Zn, Cu ve Ca alınımını arttırdığı gözlemlenmiştir (Lehmann ve Rondon, 2006).

Glaser vd. (2001), biyokömür uygulaması yapılan çeşitli bitki türleri hakkında 1980 ve 1990 yılları arasında yer alan çalışmaları incelediğinde yüksek miktarlarda uygulama yapılan bitkilerde gelişimin engellendiği görülürken, düşük miktarlarda yapılan uygulamalar sonucu bitkideki üretim potansiyalinin arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca Avusturalya'nın yarı kurak topraklarında ve tropikal amazon topraklarında uygulanan biyokömür ile birlikte verilen NPK'lı gübrelerin ürün verimini pozitif etkilediğini belirtmiştir.

Genelde toprağa biyokömür materyalinin uygulanmasının yanı sıra bir miktar tarımsal faydasıda olduğu söylenebilir. Bunların en başında ise yüksek adsorbsiyon miktarı, yer altı sularına karışma ya da yüzey akış ile bitkinin besin elementi kayıplarının miktarının düşmesi gelmektedir (Laird, 2008). Buna ek olarak, biyokömür materyalinin fizikokimyasal özelliklerinin dolayısı ile de toprak düzenleyici olarak kullanımına yönelik çalışmalar da geçtiğimiz on yıl içerisinde oldukça değer kazanmıştır. Bu çalışmalarda ise biyokömür materyalinin uygulanması ile toprakta su tutumunun artması, bitki besin maddelerinin daha etkin kullanımının sağlanması, daha kaliteli toprak verimi ve bitkisel üretimde artışa yönelik sonuçların olduğu gözlemlenmiştir (Glaser vd., 2002; Lehmann vd., 2006; Krull vd., 2012).

Zhai vd. (2015) Çin'de yaptıkları bir çalışmada, mısır bitkisi artıklarından elde edilen biyokömür, pH seviyesi 8,27 olan toprağa birkaç farklı dozda (% 0, 2, 4 ve 8) uygulanarak 42 günlük inkübasyona bırakılmıştır. Bu çalışmada biyokömür materyalinin uygulaması sonrasında farklı dozların toprakların pH seviyesi ve bitkiye yarayışlı fosfor (P) üzerine etkisini araştırmışlardır. Mısır samanı biyokömürünün, düşük fosforlu topraklarda yarayışlı fosforu potansiyel olarak iyileştireceği sonucuna varılmıştır.

Shenbagavalli ve Mahimairaja (2012), Hindistan'da pH seviyesi 8,42 olan toprağa, prosopis ağacından üretilen biyokömürü (pH 7,57) değişik miktarlarda (% 0, 1, 2, 3, 4 ve 5) uygulanmıştır. Topraklar 90 gün boyunca 25 ± 2 °C'de inkübasyonda bırakılmıştır. Farklı

miktarlarda biyokömür materyali uygulandığında toprak pH' sı (7,92) düşmüş ve toprağın KDK değeri başlangıçta 17,9 cmol/kg iken, %5 biyokömür uygulamasında 19,47 cmol/kg değerlerine kadar artmıştır. Biyokömür materyalinin uygulanma miktarı arttıkça, organik karbon içeriği inkübasyon süresinin doksanıncı gününde daha fazla yükselmiştir. Mineral N (NH₄-N, NO₃-N) miktarlarındaysa inkübasyonun süresi arttıkça azalma görülmüştür.

Dume vd. (2015), yaptıkları çalışmada mısırların koçanlarından elde ettiği materyalden ve kahve kabuğundan elde ettiği materyallerden biyokömür üretimi gerçekleştirmiştir. Kahve kabuğundan üretilen biyokömürün, mısır koçanı ile üretilen biyokömürden daha yüksek pH'ya sahip olduğu bunun nedeninin ise kahve kabuğunun daha yüksek miktarda katyon konsantrasyonuna sahip olduğundan kaynaklandığı belirtilmiştir. Kahve kabuğunda bulunan K, Na, Mg ve Ca gibi bazik özelliğe sahip katyonların, bikarbonat, karbonat ve hidrolizi ile pH değerinin arttırdığını belirtmişlerdir.

Sera ortamında yürütülen denemede iki farklı toprak çeşidi ve iki farklı biyokömür materyalinin yer fıstığı, turp ve fasulye bitkileri üzerine etkileri araştırılmıştır (Van zwieten vd., 2010a). Biyokömür ve 10 t/ha ferrosol uygulaması sonucunda toprakların pH, KDK, toplam C ve değişebilir Ca değerlerinin yükseldiğini belirlenmiştir. Ferrosol materyali ile beraber uygulanan biyokömür materyali ile Al seviyesinin düştüğü görülmüştür. Her iki biyokömür materyalinin uygulaması ile buğday bitkisinin azot alımının kontrol grubuna göre %250'ye kadar yükseldiği bildirilmiştir. Biyokömür materyali uygulamaları ile soya fasülyesi ve turp bitkilerinde ürün miktarında önemli ölçüde artışlar görülmüştür (Van zwieten vd., 2010a).

Schulz ve Glaser (2012), toprak kalite kriterleri ve bitki gelişimi üzerine biyokömür materyalinin etkisini inorganik ve organik gübreleri baz alarak karşılaştırmalı araştırmak amacıyla verimi düşük ve kum bünyesine sahip toprak kullanılarak yaptıkları sera denemesinde; kontrol, kompost, biyokömür ve mineral gübrelerin çeşitli dozlarda uygulamalarını denemişlerdir. Deneme bitkisi olarak yulaf kullanılmıştır. Sadece kompost uygulandığında her iki dönemde de yüksek yulaf verimi elde edilmiş olup, bunu kompost + biyokömür uygulaması izlemiştir. Biyokömür ve mineral gübrenin birlikte uygulanması

sonucunda bitki gelişimindeki artış, mineral gübrenin tek başına uygulanmasına göre daha fazla olduğu belirtmiştir. Kompost ve biyokömür ilaveleri toplam organik karbon seviyesini önemli ölçüde artırmıştır. Kompost uygulaması, KDK'da önemli bir artışa neden olmuştur. Biyokömür uygulamasının bir sonucu olarak toprak pH'ında bir artış görülmüştür, fakat bazik katyonlar yıkandığından dolayı etkisi ikinci dönemde daha düşük olmuştur. Genel olarak toprak verimliliğini ve bitki gelişimi açısından; kompost > kompost + biyokömür > biyokömür + mineral gübre > mineral gübre > kontrol uygulamaları bulunmaktadır.

Novak vd. (2009) yaptıkları çalışmada tınlı kum bünyeye sahip toprakta pikan cevizi kabuğu bazlı biyokömür ilavelerinin toprak verimliliği özellikleri ve su sızıntı suyu kimyası üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir. Yapılan biyokömür ilaveleri toprak pH'ını, toprak organik karbonunu, Ca, K, Mn ve P'yi artırmış. Bu etkiler, elementlerin eklenmesini ve besinler (özellikle Ca, P, Zn ve Mn) için biyokömürün daha yüksek sorpsiyon kapasitesini yansıtmıştır. Yapılan biyokömür ilaveleri, önemli verimlilik iyileştirmelerine neden olduğunu belirtmişlerdir.

Biyokömür uygulamalarının toprak kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılan diğer farklı organik materyaller içinde önemli bir yere sahip olduğu görülmüştür. Biyokömürlerin yüksek iyon yüküne sahip olması (Liang vd., 2006), bitki besin elementlerinin tutumunda yüksek kapasiteye sahip olması (Lehmann vd., 2003) ve özel kimyasal (Baldock ve Smernik, 2002) ve koloidal bileşenli olduğundan dolayı (Lehman vd., 2005), mikrobiyal parçalanmaya karşı gösterdiği direncin fazla olduğu gözlemlenmiştir (Cheng vd., 2008b).

Topraklarda biyokömür kullanımının bir amacı da, düşük pH değerlerindeki toprakların pH seviyesini arttırmaktır (Van Zwieten vd., 2010b). Ayrıca topraktaki bitki besin elementlerinin, biyokömürlerce daha uzun süre tutulmasını sağlamaktır (Liang vd., 2006). Topraklara biyokömür uygulaması yapıldığında toprakta besin döngüsüne (Steiner vd., 2008) ve strüktür oranına (Rilling ve Mummey, 2006) pozitif yönde etki gösterdiği görülmüştür. Dolayısıyla topraklarda üretkenlik fonksiyonunda pozitif etkiler göstermektedir (Warnock vd., 2007).

Bazı çalışmalarda da biyokömürlerin adsorban materyali olarakta kullanabileceği belirtilmiştir. Biyokömürlerin, diğer doğal kaynaklardan gelen organik maddelere kıyasla daha çok yüksek adsorbsiyon özelliğinde olduğu belirtilmiştir (Liang vd., 2006). Biyokömürlerin katyonları uzaklaştırabildiği gibi ayrıca anyon formundaki bitki besin elementlerini de (fosfat iyonu gibi) toprak çözeltilerinden uzaklaştırabildiği gözlemlenmiştir (Lehmann, 2007). Biyokömürlerin, toprakta aşırı miktarlarda bulunan elementleri bağlayarak oluşabilecek toksik etkiyi azaltacağı ve yıkanarak yeraltı sularına karışabilen ve kirlilik oluşturabilecek besin elementlerini de tutarak kirliliği önleyebileceği belirtilmiştir.

Ge vd. (2019) Çin’de biyokömür uygulamalarının mikrobiyal biyokütle, toprak sıcaklığı ve solunum hızı bileşimine etkisini tespit etmek amacıyla 24 ay sürede tarla koşullarında deneme kurmuşlardır. 2014 yılının nisan ayında gerçekleştirilen uygulamada 4 adet biyokömür dozu 20 (yüksek biyokömür), 10 (orta biyokömür), 5 (düşük biyokömür), 0 (kontrol) t biyokömür ha⁻¹ düzeylerinde, toprak yüzeyine uygulanmıştır. Toprağa uygulanan biyokömürün önemli miktarda toprak kalitesine etkilerinin olduğu bildirilmiştir. Denemede kontrol grubu ile biyokömür uygulanan topraklar karşılaştırıldığında biyokömür uygulaması gerçekleştirilen topraklarda kontrol grubu topraklarına göre mikrobiyal solunumun daha fazla olduğu görülmüştür. Düşük biyokömür uygulamasının genellikle topraklarda karbondioksit emisyonlarını azalttığı görülmüştür. Sonuç olarak biyokömür uygulamalarının toprakta karbon tutumunda etkili olduğu görülmüştür.

Vaccari vd. (2011), makarnalık buğday (*Triticum durum* L.) ekili alanlarda, atmosferik CO₂'yi tutmak için biyokömürün başarılı bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Toprağa yüksek oranda biyokömür uygulamalarının iki yıl üst üste verim ve verim kalitesi üzerinde hiçbir zararlı etkisi olmadığını bildirmişlerdir. Durum buğdayı yetiştiriciliğinde biyokömür kullanımının, topraktan kaynaklanan karbon kayıplarını azaltmak ve toprak organik karbonunu artırmak için agronomik stratejileri açıkça ele alan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) hedeflerine önemli ölçüde katkıda bulunabileceğini bildirmişlerdir.

2.2. Kompostun Toprak Özelliklerine Etkileri ile İlgili Çalışmalar

Boutasknit vd. (2020), pirina kompostunun fosfor (P), azot (N), toplam organik karbon (TOK) ve elektriksel iletkenliği önemli ölçüde arttırdığını belirtmiştir. Hafif alkali topraklarda ise pH'ı düşürdüğü ve EC'yi arttırdığını belirtmiştir. Alkali topraklara pirina kompostu uygulamasının pH'yı düşürmesinin nedeninin mineralizasyon sırasında ortaya çıkan organik asitler sebebi ile olduğunu belirtmişlerdir. Kompost uygulamalarının hasattan sonra mevcut fosfor ve azot içeriğini iyileştirdiğini gözlemlemiştir.

İşler vd. (2022) yaptıkları çalışma ile pirina ve bağ budama atığı kompostunun farklı tekstürdeki toprak agregatları üzerindeki zamansal etkiye bakmışlardır. En yüksek agregat stabilizasyonu killi tınlı toprakta inkübasyonun 210.gününde %6 bağ budama atığı kompostu uygulamasında elde ederken, kumlu tınlı toprakta en yüksek %6 pirina kompostunda elde edildiği belirtilmiştir. Toprak karbonunun (TK), tüm topraklarda bağ budama atığı ve pirina kompostu uygulamalarında 90. günden sonra agregat stabilitesi ile güçlü ve pozitif bir etki gösterdiğini bildirmiştir. Kil, tınlı ve kumlu tınlı topraklarda yapılan iki farklı kompost uygulamasıda agregatların ortalama ağırlık çapını azaltırken agregat stabilitesini arttırmıştır.

Toprağa uygulanan pirina kompostu, toprağın çeşitli fiziksel ve fizikokimyasal özellikleriyle organik maddenin ilişkisinden kaynaklı toprak kalitesinin iyileştirmesi ve korunması açısından önemli bir etkiye sahiptir (Aranda vd., 2016).

Kavdır vd. (2009) yaptıkları çalışmada, pirina ve pirina kompostunun toprak yapısının stabilizasyonu üzerine etkilerine bakılmıştır. Pirina, pirina kompostu ve pirina+N(azot) killi tın topraklara %0, 3, 5, 7 oranında karıştırılmışlardır. Örnekler 25 °C'de üç ay inkübasyon şartları altında tutulmuştur. İnkübasyon sürecinin bitiminde toprakların agregat stabilitesi belirlenmiştir. Ayrıca toprak agregatlarının erozyon oranlarının tespit edilmesi için agregat erozyon çemberi kullanılmıştır. Uygulama dozlarının artmasıyla doğru orantılı olarak toprak agregatlarının, agregat stabilitesi ve organik karbon içerikleri de artmıştır. Genel olarak topraktaki organik karbon incelendiğinde, toprak agregatlarının iç

bölgelerinde dış bölgelere göre organik karbon miktarının daha fazla çıktığı belirtilmiştir. FT-NIR çalışması sonucunda toprak agregatlarının dış, iç ve geçiş bölgelerinde farklı kimyasal bileşimler olduğu doğrulanmıştır.

Kaliforniya'daki yapılan çalışmada daha önceden kompost kullanılmış olan çiftlik alanlarından toprak örnekleri alınmıştır. Tüm sahalarda kompost uygulaması, toprak organik karbonunu kontrol topraklarına kıyasla yaklaşık üç kat arttırmıştır. Kontrol topraklarına kıyasla kompost uygulanmış topraklarda su infiltrasyonu süreleri önemli ölçüde azalmıştır. Yüksek dozlu kompost uygulamaları, düşük dozlu kompost uygulamalarına ve kontrol topraklarına kıyasla daha etkili bulunmuştur. Kaba tekstürlü topraklarda su tutma kapasitesindeki artışlar, daha ince tekstüre sahip topraklara kıyasla daha önemli bulunmuştur (Brown ve Cotton, 2011).

Al-Widyan vd. (2005) tarafından Ürdün'de yapılan çalışmada pirina kompostunun toprak fiziksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada killi ve siltli tın tekstüre sahip topraklar kullanılmıştır. Kompostlaştırma yapılarak ham pirinanın olumsuz etkilerinin giderilmesi amaçlanmıştır. Kompost %2, %4 ve %8 dozlarında toprağa karıştırılmıştır. Kontrol toprağına kıyasla pirina kompostu uygulanan topraklarda, toprağın fiziksel özelliklerinin geliştiğı gözlemlenmiştir. Toprak özelliklerindeki değişimlerin genellikle eklenen kompost seviyesiyle orantılı olarak değiştiğı gözlemlenmiştir.

Kavdir ve Killi (2008) yaptıkları çalışmada ham pirinayı farklı dozlarda toprağına uygulayarak toprağın pH'sı, elektriksel iletkenliğı (EC), karbon (C), azot (N) içeriğı ve agregat stabilitesi üzerine etkilerine bakmışlardır. Kaba bünyeli topraklarda %0, 2, 4 ve 8 oranlarında pirina uygulaması yapılarak 2 aylık inkübasyon sürecine bırakmışlardır. Pirina uygulamaları toprak pH değerlerini düşürmüştür. Inkübasyon sonunda ölçülen EC değeri inkübasyon başlangıcına göre daha fazla bulunmuştur. %8 oranındaki pirina uygulaması, topraktaki toplam organik azot miktarını önemli derecede arttırmıştır. %8 oranındaki pirina uygulaması, inkübasyon sonunda hem ortalama toprak organik karbon (TOK) miktarını (%3,5) hem de agregat stabilitesini (%88) önemli derecede arttırdığını bildirmiştir. Kaba

tekstüre sahip toprakların kısa vadede toprak yapısını iyileştirmek için büyük bir potansiyele sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Nektarios vd. (2011) kumlu tın tekstüre sahip ve çim yetiştirilen toprağa farklı hacimce oranlarda (%12,50; %25; %50) pirina kompostu uygulamışlardır. Uygulamalar sonucunda bütün dozlarda toprak hacim ağırlığının ve pH seviyesinin azaldığı, su tutma kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir.

Ham pirina, pirina kompostu ve zeytin ağacı budama atıklarını zeytinin vejetatif gelişimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Kontrol uygulamasına kıyasla bütün uygulamalar ağacın meyve verimini ve vejetatif gelişimini arttırmıştır. Ancak bitkide depolanan karbon (C) açısından önemli bir etki gözlemlenmemiştir. Toprakta tutulan karbon miktarına bakıldığı zaman kompost uygulamasının karbon tutulmasında güçlü bir etkiye sahip olduğu görülmüştür (Regni vd., 2017).

Killi ve Kavdır (2013) yaptıkları çalışmada mısır ve domates bitkilerinin verimine pirina kompostu uygulamasının olumlu bir etki yaptığını bildirmişlerdir. Ancak Kavdır vd. (2009) yaptıkları çalışmada kompostlaştırma işlemi yapılmadan ham pirinanın toprakta uygulandığı zaman toprağın karbon içeriğini arttırdığı ve fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini ancak içindeki fenolik bileşiklerden kaynaklı %2 dozundan sonra bitki çimlenmesine ve gelişimine olumsuz etkileri olduğunu bildirmişlerdir.

2.3. Biyokömür ve Kompostun CO₂ Salınımı Üzerine Etkileri ile İlgili Çalışmalar

Wu vd. (2018) amonyum sülfat ile beraber iki yaygın biyokömür ilavesinin (mısır koçanı ve zeytin küspesi) iki farklı toprak türünden (asidik kumlu ve alkalın killi toprak) salınan CO₂ ve N₂O emisyonları üzerine etkisini araştırmak için inkübasyon deneyi kurmuşlardır. İki farklı toprakta, iki biyokömürün CO₂ ve N₂O emisyonları üzerindeki zıt

etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Mısır biyokömürü ilavesinin alkali ve kil bünyeli topraktaki CO₂ ve N₂O emisyonları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, ancak yalnızca N-gübre uygulamasına kıyasla asidik ve kumlu toprakta CO₂ emisyonlarını %11,8 ve N₂O emisyonlarını %26,9 oranında önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir. Buna karşılık, zeytin biyokömürü ilavesi CO₂ emisyonları üzerinde önemli bir etki göstermezken, alkali ve kil bünyeli toprakta N₂O emisyonlarını %34,3 azaltmıştır. Asidik ve kumlu toprakta ise zeytin biyokömürünün eklenmesi yaklaşık iki kat daha yüksek CO₂ emisyonuna neden olmuş fakat N₂O emisyonlarını %68,4 oranında azaltmıştır. Bu durumda kullanılan biyokömür materyalinin türü kadar toprak bünyesi ve toprak pH değerinin de CO₂ ve N₂O salınımı üzerine etkisi bulunmaktadır.

Prost vd. (2013) kompostlaştırılma işlemi sırasında bir miktar biyokömür kullanımı sonucunda açığa çıkan CO₂ ve diğer gazların salınımını azalttığını ve kompostun daha steril hale geldiğini bildirmişlerdir.

Woolf vd. (2010) tarafından sürdürülebilir küresel biyokütle potansiyeli belirlenmiştir. Sonuçlarına bakıldığında yılda 1,8 Pg CO₂-C eşdeğeri kadar azaltılabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmada biyokömürün potansiyel yararları ve riskleri Birleşik Krallık Enerji ve İklim Değişikliği Bölümü raporunda (Shackley vd., 2010) değerlendirilmiştir. Rapora göre Birleşik Krallık'ta biyokömürün yaygınlaşmasının tespit edilmesinin yanı sıra, biyokömürün faydaları ve zararları tartışılmıştır. Biyokömürün uzun vadeli istikrarlılığını ve piroliz biyokömür sistemlerinin ekonomisini vurgulamışlardır.

Alluvione vd. (2010) kireçli siltli tın toprağa katı atık kompostu ve yeşil gübre olarak fiğ uygulamışlardır ve bu uygulamaların N₂O ve CO₂ salınımlarını azaltma potansiyellerini üre (130 kg N/ha) ile karşılaştırmışlar. İlkbaharda, kompostun yavaş mineralizasyonu sonucu, CO₂ akışlarında bir artış olmaksızın, N₂O emisyonlarında üre uygulamasına göre bir azalma saptanmıştır. N₂O ve CO₂ akışları birleştirildiğinde, kompost, üre uygulamasına göre salınan CO₂'yi %49 oranında azaltırken fiğın böyle bir etkisi görülmemiştir.

Levesque vd. (2018) yaptıkları çalışmada sera gazlarının azaltılması üzerindeki biyokömürün etkisini incelemişlerdir. Üç hammaddeden (akçaağaç kabuğu, söğüt yongası, çam yongası) farklı piroliz sıcaklıklarında üretilen biyokömürlerden %15 biyokömür ve %4 kompost olacak şekilde turba bazlı yetiştirme ortamlarına uygulamışlardır. Analiz sonuçları neticesinde genel olarak, biyokömür uygulamasının sera gazı emisyonlarını azaltılması için bir potansiyel oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Han vd. (2017) yaptıkları çalışma üç farklı örtü altı sebze yetiştirme sisteminin uzun süreli bir saha denemesine dayanmaktadır. (1) geleneksel sistem: inek gübresi ve kuru tavuk gübresi kompostları (yaklaşık 146 kg N/ha ve 1483 kg C/ha) ve üre (yaklaşık 525 kg N/ha); (2) düşük girdili sistem: inek gübresi ve kuru tavuk gübresi kompostları (yaklaşık 325 kg N/ha ve 3160 kg C/ha) ve üre (yaklaşık 263 kg N/ha); ve (3) organik sistem: inek gübresi ve kuru tavuk gübresi kompostları (yaklaşık 651 kg N/ha ve 5456 kg C/ha) kompostları uygulanmıştır. CO₂ salınımı, farklı işlemler altında birbirine benzer sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Bununla birlikte, organik girdili sistemde karbon girdilerinin ve toprak organik karbon stoğunun CO₂ salınımı önemli ölçüde azalmıştır.

Asitli kumlu toprak yapısına sahip kuzeydoğu Hindistan bölgesinde, toprakta yapılan çalışmada, bamya bitkisine biyokömür, vermikompost ve çiftlik gübresi verilerek toprak özelliklerindeki değişimler ve verime etkisi incelenmiştir. Toprak enzim faaliyetlerinin artması üzerine vermikompostun etkisi önemli bulunmuştur. Toprağa biyokömür eklenmesi karbon mineralizasyonunu azaltmıştır. Bu nedenle asidik topraklara eklenecek biyokömür karbon mineralizasyonunun azaltılmasında önemlidir (Sarma vd., 2017).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Denemede Kullanılan Materyallerin Özellikleri

Çalışmada materyal olarak kil bünyeli toprak, kompost ve biyokömür kullanılmıştır. Kil bünyeli toprak örneği Çanakkale ili, Umurbey beldesinden (40°15'04.2"K, 26°34'52.3"D) 0-30 derinlikten kürek yardımı ile alınmıştır. Kompost, pirina atığı ve hayvan gübresi ile ÇOMÜ Ziraat Fakültesi TETAM yerleşkesinde bulunan hava ve sıcaklık kontrollü otomatik kompost reaktörlerinde üretilmiştir. Silindir şeklindeki reaktörün hacmi 100 L olup paslanmaz çelikten üretilmiştir. Kompost sıcaklığı K tipi ısı çifti ile ölçülmüştür. Kompost sıcaklığı programa kaydedilen 60 °C üzerinde ise fanlar devreye girmektedir.

3.1.2. Biyokömür Üretimi

Biyokömürler, ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri bölümü tarafından yetiştirilen Karadeniz Bölgesinde yetişen endemik türlerden oluşan mısırların koçan kısımlarının parçalanması ile elde edilmiştir. Biyokömür üretiminde kullanılan mısır koçanları Doç. Dr.

Fatih Kahrıman tarafından sağlanmıştır. Mısır koçanları ve biyokömürleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. a) Taneleri ayıklanmış mısır koçanları, b) Piroliz fırınından çıkartılmış krozede mısır koçanı biyokömürü c) Mısır koçanı biyokömürü

Koçanlar yan keski yardımı ile 1-2 cm büyüklüğünde ufaltıldıktan sonra, tartılmıştır. Biyokömürler, ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Toprak Fiziği laboratuvarında yer alan Magma-Therm marka piroliz fırınında dakikada 10 °C basamaklı ısıtma metodu ile ısınması sağlanarak 500 °C sabit ısıda 10 dakika N₂ gazı altında elde edilmiştir (Şekil 1).

3.2. Yöntem

3.2.1. İnkübasyon Denemesinin Kurulması

Örnekler hava kuru hale getirildikten sonra 2 mm elekten elenmiştir. Deneme; toprak, biyokömür (2 doz), kompost (2 doz), biyokömür + kompost (4 doz) ile 4 tekerrürlü olarak rastgele blok deneme desenine göre kurulmuştur. Denemede ayrıca 4 adet boş kavanoz, 4 adet sadece toprak örneği konulan kavanoz yer almıştır. $1 \times 8 \times 4 = 32 + 4 + 4 =$

40 adet kavanoz bulunmaktadır. Aşağıda Tablo 1’de tek tekerrürde bulunan 10 örneğin içeriği verilmiştir.

Tablo 1

Her bir kavanozdaki toprak, biyokömür ve kompost miktarları

	Toprak (%)	Toprak (g)	Kompost (%)	Kompost (g)	Biyokömür (%)	Biyokömür (g)
Kör	0	0	0	0	0	0
t (Kontrol)	100	500	0	0	0	0
tk2	98	490	2	10	0	0
tk4	96	480	4	20	0	0
tb1	99	495	0	0	1	5
tb2	98	490	0	0	2	10
tk2b1	97	485	2	10	1	5
tk2b2	96	480	2	10	2	10
tk4b1	95	475	4	20	1	5
tk4b2	94	470	4	20	2	10

Denemede kullanılan materyallerin toplamı 500 g olacak şekilde, 1 L kavanozlara karışımlar halinde konulmuştur. Kavanozların her birine CO₂ analizinde kullanacağımız alkali tuzak olan NaOH koyabilmek için cam üç ayak yerleştirilmiştir. Kavanozlar 25°C’lik inkübatöre yerleştirilmeden önce her bir kavanozdaki topraklar tarla kapasitesinin %70’i oranında nemlendirilmiştir. Kavanozlar ağzı kapalı olarak rastgele blok deneme deseninde inkübatöre yerleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. İnkübatör içine yerleştirilen kavanozlar

Deneme başlangıcından itibaren 3, 7, 10, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 120, 127, 150, 165. günlerde CO₂ çıkışı, ayrıca deneme başlangıcı ve sonunda karışımların organik madde miktarı ve kireç miktarı, deneme sonunda da pH, EC ve agregat stabilitesi değerleri belirlenmiştir

3.2.2. Analiz Yöntemleri

CO₂ çıkışı analizi: 500 g toprak 1 L'lik kavanozlara koyulmuş ve her kavanozun darası ve toprağın ağırlığı kaydedilmiştir. Karışımların tarla kapasitesi hesaplanarak her kavanoza tarla kapasitesinin %70'i oranında su ilavesi yapılmıştır. Eksilen nem miktarları ağırlık hesabına göre eksilen ağırlığın tamamlanması sonucu yapılmıştır. Kavanozlar karanlık ve 25 °C sabit sıcaklık şartlarında inkübatöre konulmuş. 3, 7, 10, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 120, 127, 150, 165 günlük aralıklarla kavanozların içine 30 mL 1 N NaOH içeren bir kavanoz cam üç ayak yardımı ile kavanoz içine yerleştirilmiştir. Örnekler inkübatör içinde NaOH ile beraber bir saat bekletilmiştir.

Denklem 3.1’de gösterildiği gibi NaOH içinde tutulan her 1 mol CO₂ için 2 mol NaOH, Na₂CO₃’e dönüşmüştür. Bu nedenle, üretilen toplam CO₂, tuzakta eksilen NaOH miktarının iki katıdır. İnkübasyon kavanozundaki NaOH içeren cam kaplar, inkübatörden çıkarıldıktan sonra bir erlenmayere aktarılarak 2mL BaCl₂ ilavesiyle çökeltme yoluyla çözülmüştür. Erlenmayere indikatör olarak 2-3 damla fenolftalein damlatılarak fazla NaOH denklem 3.2’de gösterildiği gibi HCl ile geri titrasyon yapılmıştır. (Hopkins, 2006).



Agregat stabilitesi: İnkübasyon sonrası toprak örneklerinde suya dayanıklı agregat stabilitesini ölçmek amacıyla yapılmıştır. Kemper ve Rosenau (1986)’nın yöntemi olan ıslak eleme metodu kullanılmıştır. Analiz için topraklardan 1-2 mm arası elek çapındaki agregatlar elenerek ayrılmıştır. Nem içeriğini belirlemek amacıyla örneklerden 4-5 g numune ayrılmıştır. Analiz için elenen topraktan 4 g tartılarak Eijelkamp marka ıslak eleme cihazının 0,25 mm elek çapına sahip haznesi üzerine konulmuştur. Hazneler cihaza yerleştirilmeden önce suyla agregatların hızlı teması halinde hemen dağılmaması amacıyla, agregatlar eleme öncesinde su spreyi ile nazikçe nemlendirilmiştir (20 kez belirli bir uzaklıktan su püskürtülmüştür). Islak eleme cihazına yerleştirilen örnekler 1,3 cm iniş çıkış yüksekliğine ayarlı cihazda 35 devir/dak hızında 4 dakika boyunca su içinde dikey yönde hareket ettirilmiştir. Elek üstünde kalan kısım cam petri kaplarına toplanarak, etüvde 105 °C’de 24 saat kurutulup tartılmıştır. Örneklerdeki kum miktarının düzeltilmesi amacıyla, etüvden çıkan ve tartılan elek üstü toprak agregatları, 0,25 mm elek üzerine yerleştirilmiş, musluk altında yıkanarak elek üstünde kalan kum tekrar petri kaplarına toplanmış, etüvde kurutulup tartılmış ve hesaplamada kullanılmıştır.

Organik madde: Analiz için kullanılacak örnekler porselen havanda havan eliyle ezilerek 0,25 mm’lik elekten geçirilmiştir. Elek altı topraktan 0,5 gramlık bir tartım alınarak 500 mL’lik erlenmayere koyulmuştur. Toprakta organik karbonun belirlenmesi kromik asit ve

sülfirik asitle yaş yakma sonrası modifiye Walkley-Black yöntemiyle belirlenmiştir (Jackson, 1958).

Su tutma kapasitesi: Biyokömür ve kompost örnekleri 2 kat tülbent geçirilip lastikle sabitlenmiş silindirlere doldurulmuştur. Yüzeyleri buharlaşmayı önlemek amacıyla kapatıldıktan sonra su dolu kaba yerleştirilerek 48 saat satüre edilmiş ve tartımı alınmıştır. Doygun örnekler boş bir kaba alınarak 48 saat boyunca fazla nemin uzaklaşması beklenmiştir. 48 saat sonra etüvde 105 °C’de 24 saat kurutulan örnekler tekrar tartılmıştır. Su tutma kapasitesi yüzde ağırlık hesaplaması ile belirlenmiştir (Anonim, 1988).

Kireç analizi: Toprak örnekleri porselen havanda ezilmiş, 0,25 mm elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir. Örneklerden temsilen alınan 1g’lık kısım erlanmayere aktarılmıştır. Eranmayerdeki örneğin HCl ile reaksiyona sokulması sonucu açığa çıkan CO₂ gazının Scheibler kalsimetresinde volümetrik yöntem ile ölçülmesi sonucu kireç tayini yapılmıştır (Allison ve Moodie, 1965).

Toprakların pH ve EC değerleri: Toprak pH değeri (pH) 1:2,5 (g:g) toprak-su karışımında hidrojen iyonu konsantrasyonunun pH-metre ile potansiyometrik olarak ölçülmesi ile EC ise elektriksel iletkenliğe bağlı kondaktivite metodu ile belirlenmiştir (Black, 1965).

Toprak tekstürü: Toprak tekstür sınıfını belirlemek amacıyla öncelikle hava kuru haldeki örneklerden 2 mm elekten elenmiş Bouyoucos tarafından belirtilen esaslara göre hidrometre yöntemiyle analiz yapılmıştır (Gee ve Bauder, 1986).

Toprak kuru hacim ağırlığı: Hacim ağırlığı, 100cm³ hacme sahip silindirlere koyulan bozulmuş toprak (2 mm’lik elekten elenmiş) örneklerinin fırın kuru ağırlıklarının toplam hacme oranına göre hesaplanmıştır.

Toprak gravimetrik ve volumetrik nemi: Gravimetrik nemin hesaplanmasında, toprak örneklerinin 105 °C’de en az 24 saat etüvde kurutulduktan sonra ağırlığında oluşan azalma

esas alınmıştır. Volümetrik nem, gravimetrik nem (%) ile kuru hacim ağırlıklarının çarpılması sonucu hesaplanmıştır.

Biyokömür verimi: Gravimetrik yöntem kullanılarak biyokömür yapılan mısır koçanı ağırlığı ile elde edilen biyokömürün oda sıcaklığındaki kütle farkı eşitlik (3.1) kullanılarak belirlenmiştir (Lehman ve Joseph, 2009).

$$\text{Biyokömür verimi (\%)} = M_{\text{biyokömür}} / M_{\text{biyokütle}} \times 100 \quad (3.1)$$

Biyokömür kül içeriği: 1 g biyokömür, kroze içinde kül fırınında 750 °C’de 6 saat boyunca bekletildikten sonra desikatör konularak 1 saat soğutulup tartılmış ve aradaki farkın yüzde hesabı sonucuna göre hesaplanmıştır ASTM D1762-84 metoduna göre eşitlik (3.2) kullanılarak belirlenmiştir.

$$\%Kül = K\ddot{u}l / B \times 100 \quad (3.2)$$

%Kül: Biyokömürün kül içeriği (%)

Kül: 750 °C’de kül fırınında 6 saat bekletildikten sonraki kül miktarı (g)

B:Krozeye başlangıçta konulan fırın kuru biyokömür miktarı (g)

Biyokömür % Nem (M): Hava kuru durumdaki biyokömür, havan yardımıyla öğütülmüş ve 0,25 mm’lik elekten geçirilmiştir. Nem içeriğinin belirlenmesi ASTM 3173 (kömür) ve ASTM D1762 (odun kömürü) metoduna göre yapılmıştır. Biyokömürden 3 g tartılarak etüv yardımıyla 105 °C’de 24 saat boyunca kurutulmaya bırakılmıştır. Fırın kuru hale gelen örnekler etüvden desikatöre alınarak soğutulmuş ve ardından tartılmıştır. Biyokömür %nemi eşitlik (3.3) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%Nem (M) = (M_{\text{biyokömür}} - FK_{\text{biyokömür}}) / M_{\text{biyokömür}} \times 100 \quad (3.3)$$

% Nem: Biyokömür nemi (%)

$M_{\text{biyokömür}}$: Başlangıçtaki biyokömür ağırlığı (g)

$FK_{\text{biyokömür}}$: Fırın kuru haldeki biyokömür ağırlığı (g)

Biyokömür ve kompost pH ve EC: Örneklerin toprak reaksiyonu (pH) 1:10 (g:g) toprak-su karışımında hidrojen iyonu konsantrasyonunun pH-metre ile potansiyometrik olarak ölçülmesi ile EC ise elektriksel iletkenliğe bağlı kondaktivite metodu ile belirlenmiştir (Black, 1965).

3.2.3. İstatistik Analizleri

Tez, kompost ve biyokömürün ayrı ayrı ve birlikte toprağa ilavesinin topraklarda CO₂ salınımına ve karbon tutulumuna etkisini belirlemek için yapılmıştır. Yöntem kısmında belirtildiği üzere periyodik olarak CO₂ salınımı ölçülmüş ve deneme sonunda da topraklarda belirtilen analizler yapılmıştır. Sonuç olarak elde edilen değerlerin varyans analizleri (ANOVA) için SAS istatistik yazılım programı kullanılmış olup, ortalamaların karşılaştırması da Duncan testine göre $P \leq 0,05$ düzeyinde yapılmıştır (SAS enstitüsü, 1999).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Denemede Kullanılan Materyallerin Analiz Sonuçları

Denemede 04 Mart 2021 – 13 Ağustos 2021 tarihleri arasında yürütülmüştür. Deneme toprağı yüksek kil içeriğı nedeniyle Toprak Taksonomisi'ne göre Vertisol ordosu Chromic Haploxererts alt grubunda sınıflandırılmıştır. Kullanılan materyallerin analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Çalışma için üretilen biyokömürün verimi Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2

Denemede kullanılan materyallerin analiz sonuçları

	Deneme Toprağı	Pirina Kompostu	Mısır koçanı Biyokömürü
pH 1:2,5	7,90	9,25	9,30
pH 1:10	7,96	9,32	9,35
EC (umhos cm ⁻¹) 1:2,5	462,67	3940	3273
EC (umhos cm ⁻¹) 1:10	486,67	3957	3410
% Kil	43,53	---	---
% Silt	32,92	---	---
% Kum	23,55	---	---
Tekstür	Kil	---	---
Kireç (%)	11,54	---	---
Organik Madde (%)	2,69	---	---
% Nem	2,63	10,00	9,76
Kül içeriğı (%)	---	---	30,15
Kuru Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1,03	---	---
Solma Noktası (%)	12,68	---	---
Tarla Kapasitesi (%)	30,82	---	---
C%	---	41	---

Tablo 3

Biyokömür verimi (%)

Kroze Numarası	Biyokütle miktarı (g)	Elde edilen biyokömür (g)	Biyokömür verimi (%)
1	7,08	2,20	31,07
2	7,57	1,92	25,36
3	7,28	1,95	26,79
4	7,50	2,10	28,00
5	7,29	1,96	26,89
6	6,31	1,71	27,10
7	8,75	2,43	27,77
8	9,82	2,52	25,66
9	6,64	1,73	26,05
10	6,05	1,81	29,92
11	7,05	1,87	26,50
12	6,99	1,93	27,60
13	6,74	1,91	28,26
14	8,33	2,44	29,25
15	8,35	2,36	28,30
16	8,62	2,40	27,79
17	8,23	2,44	29,63
18	8,01	2,39	29,90
19	7,67	2,05	26,74
20	8,37	2,43	28,99
21	13,06	3,57	27,33
22	11,68	3,23	27,67
23	11,17	3,05	27,26
24	10,25	2,62	25,55
25	12,84	3,47	26,98
26	12,84	3,43	26,71
27	10,97	3,04	27,74
28	9,88	2,77	28,02
29	13,42	3,55	26,45
30	12,98	3,40	26,21
31	16,20	4,73	29,19
32	16,70	4,56	27,28
33	13,66	3,72	27,23
34	13,73	3,86	28,10
35	14,86	4,03	27,11
36	12,43	3,96	31,86
37	17,57	4,90	27,88
38	15,90	4,30	27,02
39	16,12	4,73	29,33
40	14,19	3,78	26,64
41	15,19	4,49	29,56
42	13,62	3,73	27,39
Toplam (g)	451,89	125,43	
Ortalama (%)			27,76

Ortalama biyokömür verimi %27,76 olarak bulunmuştur (Tablo 3). Önceden yapılmış çalışmalara bakıldığında; Jindo vd. (2014) organik atıklardan (pirinç kabuğu, pirinç samanı, elma ağacı talaşı, meşe ağacı) elde edilen biyokömürün verimi %39,3, Sun ve ark. (2014) çeltik sapından ürettikleri biyokömürün verimini %34,3 olarak bulmuşlardır. Bu

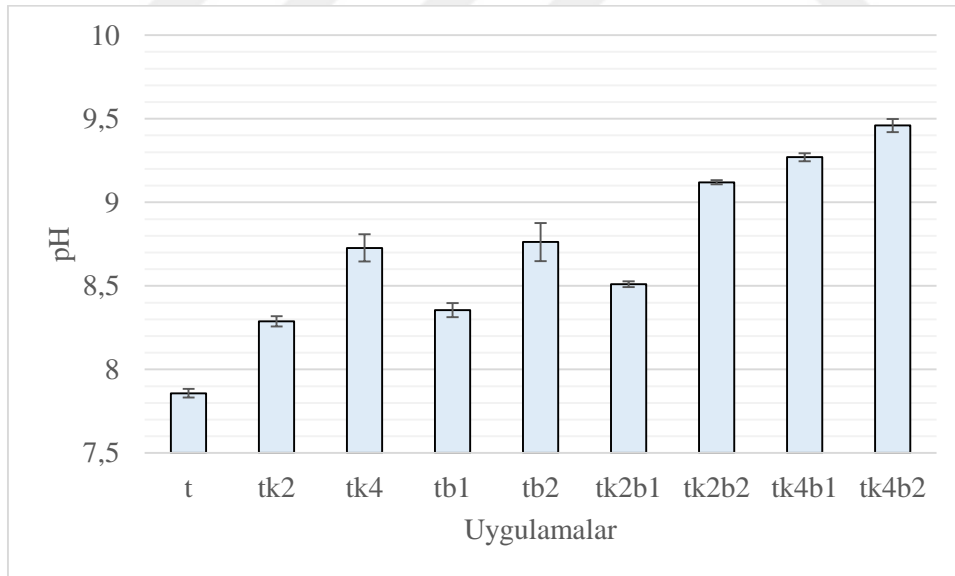
temel farklılık kullanılan materyallerin ve piroliz koşullarının farklı olmasından ileri gelmiştir (Uzun vd., 2006; Demirbaş ve Arin, 2002; Tsai vd., 2007).

Biyokömürün kül içeriği %30,15 olarak bulunmuştur (Tablo 2). Akça vd. (2020) sonuçlarına bakıldığında, çeltik sapının 400 °C’de yavaş piroliz yoluyla üretilmesi sonucu elde edilen biyokömürde %30,3 olduğunu bildirmişlerdir. Bulunan sonuç bize diğer çalışmalar ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

4.2. Farklı Dozlarda Kullanılan Biyokömür ve Kompostun Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi

4.2.1. Toprak Reaksiyonu (pH)

İnkübasyon süreci bittikten sonra karışımların pH değerleri Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulanan toprakların pH değerleri. Hata çubukları standart hataları (n=4) ifade etmektedir.

pH değeri en düşük kontrol toprağında olup, 7,85 pH değeri elde edilirken, %4 kompost + %2 biyokömür uygulamasında en yüksek pH değeri (9,46) elde edilmiştir.

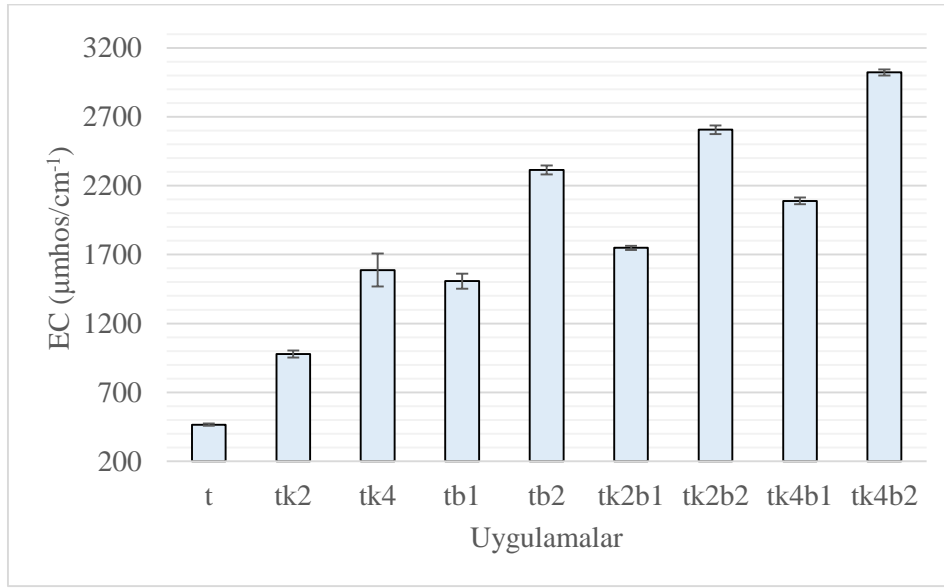
Kontrol toprağına kıyasla sırasıyla gerek %2 ve %4 kompost ilave edilmiş ve gerekse %1 ve %2 biyokömür ilave edilmiş topraklarda artış görölmüştür. Kompost uygulamasının %4'lük dozu kontrol toprağına göre pH değerinde %11,07'lik bir artışa neden olmuştur. Biyokömür uygulamasının %2'lik dozu, kontrol toprağı pH değerine göre %11,51 artış göstermiştir. Kontrol toprağına kıyasla, karışımların pH değerindeki artış ilave edilen organik materyal miktarı ile orantılı olarak sırasıyla %2 kompost + %1 biyokömür, %2 kompost + %2 biyokömür, %4 kompost + %1 biyokömür ve %4 kompost + %2 biyokömür şeklinde görölmüştür. %4 kompost + %2 biyokömür ilave edilmiş toprakta kontrol toprağına göre %20,39 artış görölmüştür (Şekil 3).

Abbasi ve Anwar (2015), kanatlı gübresi (KG) ve beyaz yonca kalıntılarında (BYK) elde edilen biyokömürlerin toprak özellikleri üzerine etkilerine bakmışlardır. Çalışmada BYK'den elde edilen biyokömür ve KG'den elde edilen biyokömür uygulamalarında sırasıyla pH 8,19 ve 8,28 bulunmuştur. Uygulamalarda kontrol toprağına (pH 7,32) kıyasla pH seviyesinde bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Van Zwieten (2010a), yavaş piroliz koşullarında kağıt fabrikası atıklarından elde edilen iki farklı karışımda biyokömür iki farklı tarım toprağına uygulanmış ve toprak özelliklerine bakılmıştır. İlk biyokömür uygulaması pH 4,20'den 5,93'e ikinci biyokömür uygulaması pH 4,20'den 5,40'a arttırmıştır. Aktaş (2019), tavuk altlığından elde edilen biyokömürün asidik topraklara uygulanması öncesinde bakılan toprak reaksiyonu değeri (pH 4,79) kuvvetli asitten uygulama sonrasında (pH 4,79) hafif asit sınıfına yükseldiğini bildirmişlerdir. Chintala vd. (2014) biyokömür uygulamasının asidik toprakların kimyasal özellikleri üzerindeki etkisine araştırmışlardır. Mısır koçanı ve dallı darıdan iki farklı biyokömür elde etmişlerdir. Çalışma sonucuna bakıldığında mısır koçanı biyokömürünün tüm uygulama oranlarında dallı darı biyokömüründen daha yüksek pH artışına sebep olduğunu bildirmişlerdir. Biyokömürün asidik toprağına uygulanması sonucunda toprağın kimyasal özelliklerine yaptığı iyileştirici etkinin, kimyasal bileşimiyle tutarlı olduğunu belirtmişlerdir. Biyokömürün hangi malzemeden üretildiğinin toprak reaksiyonunun değişiminde önemli olduğunu bildirmiştir (Tryon, 1948; Mikan ve Abrams, 1995; Topoliantz vd., 2002). Bu çalışmalar bize göstermektedir ki ortalama değerler sonucunda pH değerleri incelendiğinde biyokömür ve kompostun toprakların pH seviyesini arttırmada kullanılabilecek bir girdi olduğu görölmüştür. Kullanılan doz miktarı, pH seviyesi

ile orantılı olarak artış göstermiştir. Dolayısıyla pH seviyesindeki istediğimiz artış miktarına göre kullandığımız materyali arttırabiliriz.

4.2.2. Elektriksel İletkenlik (EC)

İnkübasyon süreci bittikten sonra karışımların EC değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



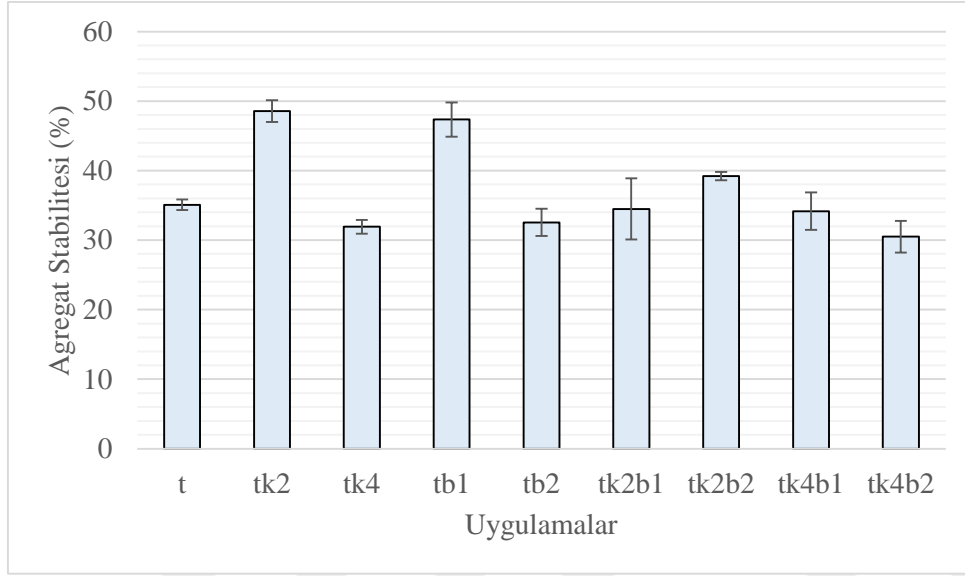
Şekil 4. Farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulanan toprakların EC (µmhos/cm) değerleri. Hata çubukları standart hataları (n=4) ifade etmektedir.

Kontrol toprağında en düşük 465,75 µmhos/cm EC değeri elde edilirken, %4 kompost+%2 biyokömür uygulamasında en yüksek 3021,75 µmhos/cm EC değeri elde edilmiştir. Kontrol toprağına kıyasla sırasıyla %2 ve %4 kompost ve kontrol toprağına kıyasla sırasıyla %1 ve %2 biyokömür ilave edilmiş topraklarda stabil bir artış görülmüştür. Kompost uygulamasının %4'lük dozu kontrol toprağına göre %241 artış göstermiştir. Kontrol toprağına kıyasla, %2 komposta eklenen %1 ve %2 biyokömür dozu doğru orantılı olarak toprakların EC değerini arttırmıştır. %2 kompost + %2 biyokömür ilave edilmiş toprakta kontrol toprağına göre %460'lık bir artış bulunmuştur. Kontrol toprağına kıyasla %4 kompost ilave edilmiş topraklara sırasıyla %1 ve %2 biyokömür ilavesi doğru orantılı olarak EC değerini arttırdığı görülmüştür. %4 kompost + %2 biyokömür ilave edilmiş toprakta kontrol toprağına göre %549'luk bir artış göstermiştir (Şekil 4).

Biyokömür uygulamalarındaki elektriksel iletkenliğin artışı, biyokömürde bulunan tuzların varlığından kaynaklanabilmektedir. Biyokömürlerdeki zayıf bağlı anyonlar ve katyonların toprak çözeltisine salınması sonucunda elektriksel iletkenlikte artış olduğunu bildirilmiştir (Glaser vd., 2000; Gundale ve Deluca, 2007; Chan vd., 2008). Önceki çalışmalarda biyokömür içerisinde Ca, K ve Mg gibi bazı elementlerin bulundurduğu ve bunların toprakta çözünür Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} miktarını arttırdığı için EC değerinin artmasına neden olduğu belirtilmiştir (Major vd., 2010). Zhai vd. (2015), iki farklı toprağa biyokömür uygulaması ile EC'nin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Biyokömür uygulamasından sonra 30. ve 90. günlerde EC değişimini inceleyen Hmid vd. (2015), biyokömür uygulamasının EC değerini arttırdığını bildirmişlerdir. Arjumend (2019), zeytin küspesi ve pamuk sapından elde ettiği biyokömürü, toprağa 0, 1, 2 t/da dozlarında uygulamıştır. Her iki biyokömür uygulamasında da inkübasyon sonunda yapılan EC ölçümlerinin uygulama başlangıcına kıyasla daha fazla olduğu bildirilmiştir. Çerçioğlu vd. (2017) yaptıkları çalışmada uyguladıkları organik atık kompostu dozlarının (4 t/da ve 8t/da) EC değerinde bir artışa sebep olduğunu gözlemlemiştir. Bu sonuçlar neticesinde Tablo 2'de de belirtildiği üzere EC değeri yüksek çıkan mısır koçanı biyokömürü ve pirina kompostunun düşük EC'ye sahip toprağa uygulanması sonucunda EC değerinde beklenen bir artış olmuştur.

4.2.3. Agregat Stabilitesi (AS)

İnkübasyon süreci bittikten sonra karışımlarda alınan toprak örneklerinin agregat stabilitesi değerleri Şekil 5'te sunulmuştur.

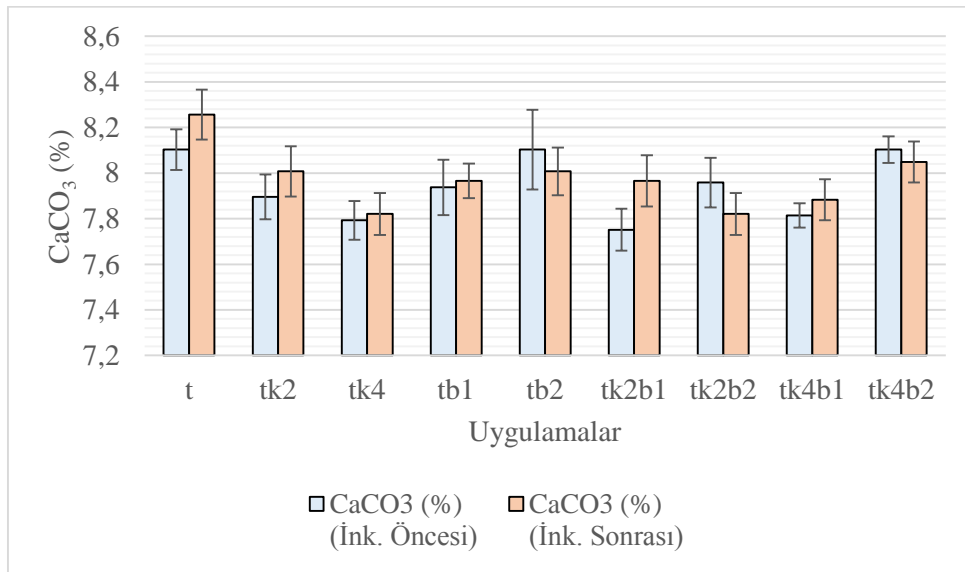


Şekil 5. Farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulanan toprakların agregat stabilitesi değerleri. Hata çubukları standart hataları (n=4) ifade etmektedir.

Kontrol toprağının agregat stabilitesi %35,08, %2 ve %4 kompost uygulamasında sırasıyla %48,55 ve %31,91, %1 ve %2 biyokömür uygulamasında sırasıyla %47,35 ve %32,54 olarak belirlenmiştir. Toprak AS değerleri %2 kompost + %1 biyokömür uygulamasında %34,49, %2 kompost + %2 biyokömür uygulamasında %39,21, %4 kompost + %1 biyokömür uygulamasında %34,16 ve son olarak %4 kompost + %2 biyokömür uygulamasında %30,49 olarak ölçülmüştür. En yüksek AS değeri %2 kompost uygulamasında en düşük AS ise %4 kompost + %2 biyokömür uygulamasında bulunmuştur. Kontrole göre agregat stabilitesi tk2, tb1 ve tk2b2 uygulamalarında artmış ve bu artışın istatistiki olarak önemli olduğu görülmüştür. Yapılan diğer uygulamalarda istatistiki olarak önemli artış görülmemiştir (Şekil 5).

Bunun başlıca nedeni toprak bünyesinin kil olması ve kil toprağın agregat stabilitesi değerinin doğal olarak yüksek olmasıdır. Benzer sonuçlar kil toprağa uygulanan pirina ve bağ budama atığı kompostu için İşler vd. (2022) tarafından da belirtilmiştir.

4.2.4. Kireç

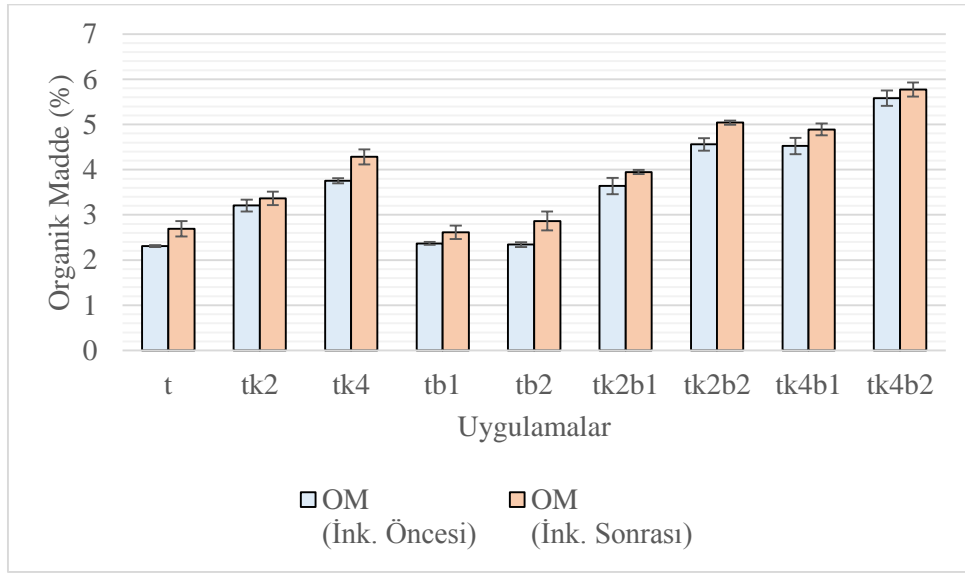


Şekil 6. İnkübasyon öncesi ve sonrasında farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulanan toprakların CaCO₃ değerleri. Hata çubukları standart hataları (n=4) ifade etmektedir.

Yapılan analizler sonucunda en az kireç değeri inkübasyona başlamadan önceki %2kompost + %1biyokömür uygulamasında %7,75 olarak görülmüştür. En yüksek kireç değeri inkübasyon sonrasında kontrol toprağında %8,25 olarak görülmüştür. Kontrol toprağındaki kireç miktarında inkübasyon sonuna kadar %1,89'luk bir düşüş görülmüştür. %2 kompost uygulamasında kireç miktarında inkübasyon sonuna kadar %1,40'lık bir artış gözlemlenmiştir. %4 kompost ve %1 biyokömür uygulamalarında kireç miktarında inkübasyon sonuna kadar %0,35'lik bir artış gözlemlenmiştir. %2 biyokömür uygulamasında kireç miktarında inkübasyon sonuna kadar %1,19'luk bir düşüş gözlemlenmiştir. %2 kompost + %1 biyokömür uygulamasında kireç miktarında inkübasyon sonuna kadar %2,76'lık bir artış gözlemlenmiştir. %2 kompost + %2 biyokömür uygulamasında kireç miktarında inkübasyon sonuna kadar %1,75'lik bir düşüş

gözlemlenmiştir. %4 kompost + %1 biyokömür uygulamasında kireç miktarında inkübasyon sonuna kadar %0,88'lik bir artış gözlemlenmiştir. %4 kompost + %2 biyokömür uygulamasında kireç miktarında inkübasyon sonuna kadar %0,67'lik bir düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 6).

4.2.5. Organik Madde (OM)



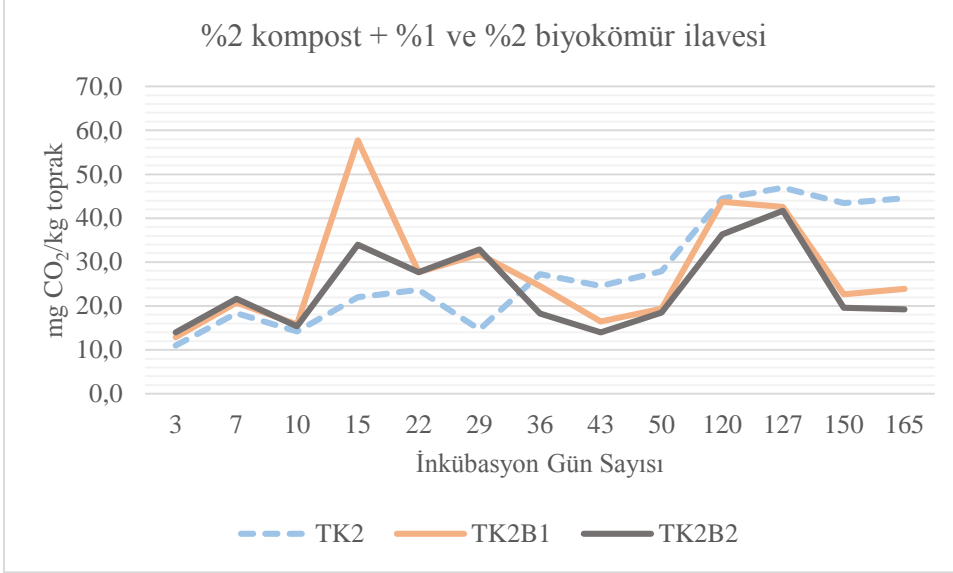
Şekil 7. İnkübasyon öncesi ve sonrasında farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulanan toprakların OM değerleri. Hata çubukları standart hataları (n=4) ifade etmektedir.

Organik madde analizleri sonucunda en yüksek organik madde miktarı inkübasyon sonrasında %4 kompost + %2 biyokömür ilavesinde %5,76 olarak belirlenmiştir. En düşük organik madde miktarı ise inkübasyon başlangıcında kontrol toprağında %2,31 olarak ölçülmüştür. Toprağa ilave edilen %4 kompost + %2 biyokömür, kontrol toprağına göre inkübasyon başlangıcında OM değerinde %141,38 artış gösterirken inkübasyon sonunda bu artış %120,72 olarak bulunmuştur. %2 kompost uygulamasında organik madde miktarında inkübasyon sonuna kadar %5,03'lük bir artış gözlemlenmiştir. %4 kompost uygulamasında organik madde miktarında inkübasyon sonuna kadar %14,05'lik bir artış gözlemlenmiştir. %1 biyokömür uygulamasında OM miktarında inkübasyon sonuna kadar %10,43'lük bir artış, %2 biyokömür uygulamasında %22,22'lik bir artış gözlemlenmiştir. %2 kompost +

%1 biyokömür uygulamasında OM miktarında %8,48'lik, %2 kompost + %2 biyokömür uygulamasında ise %10,58'lik bir artış gözlemlenmiştir. %4 kompost + %1 biyokömür uygulamasında OM miktarında %8,06'lik, %4 kompost + %2 biyokömür uygulamasında ise %3,42'lik bir artış gözlemlenmiştir (Şekil 7).

Aydınşakir vd. (2011) yaptıkları çalışmada kentsel katı atıklardan elde edilen kompostu sera toprağına uygulamışlardır. Uygulamadaki bulgular kontrol toprağında organik madde %1,4; 2 ton/da kompost uygulamasında %1,5; 4ton/da kompost uygulamasında %1,8; 8 ton/da kompost uygulamasında %1,9 olarak bulunmuştur. Kompost uygulamasının doz miktarının OM üzerine etkisi bizim çalışmamıza benzer bir artışa sebep olmuştur. Toprağına karıştırılan biyokömür, organik madde içeriğini arttırmaktadır (Warnock vd., 2007). Kuzyakov vd. (2009) biyokömür uygulanan iki ayrı bölgedeki toprakta bulunan organik maddenin ayrışma oranında azalma gözlemlenmiştir. Bu sonuç, biyokömürün mevcut organik madde üzerinde ayrışmaya karşı koruyucu etkisi olduğunu göstermiştir. Bizim çalışmamızda biyokömür uygulamalarında organik madde artışının beklenenden az olma sebebi analiz sırasında kararlı haldeki biyokömürün ayrışmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Araştırma sonuçlarımız bu durumda önceki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. İlave edilen organik materyal, toprak organik madde miktarını arttırmıştır (Şekil 7).

4.3. Farklı Dozlarda Biyokömür ve Kompost Uygulamalarının Topraktan Salınan CO₂ Üzerine Etkileri

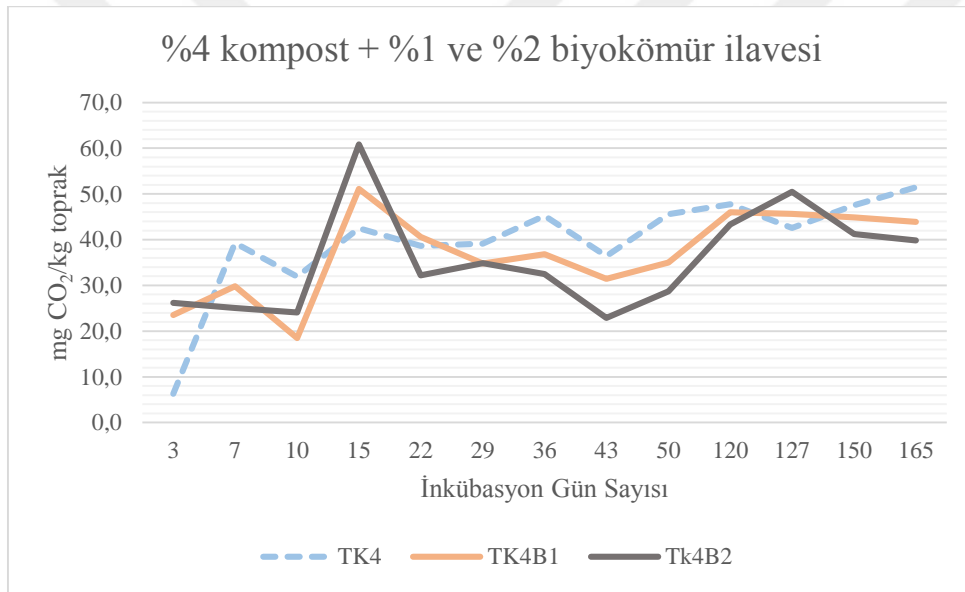


Şekil 8. İnkübasyon sürecinde %2 kompostlu toprağa %1 ve %2 biyokömür ilavesinin CO₂ salınımına etkisi

%2 kompost uygulamasına %1 ve %2 biyokömür ilave edilmesi, 36. güne kadar CO₂ salınımını arttırmış, 36. günden sonra %2'lik kompost uygulamasının altına inmiştir. CO₂ salınımı 15'inci günde maksimum değere ulaşmış olup %2 kompost + %2 biyokömür uygulamasında 57,75 mgCO₂/kg olduğu görülmüştür. %2 kompost uygulamasında 165. gün CO₂ salınımı, 3. gündeki CO₂ salınımına kıyasla %305 daha fazla bulunmuştur. %2 kompost + %1 biyokömür uygulamasında 3. gün ile 165. gün arasındaki salınım, 165.günde %85,47, %2 kompost + %2 biyokömür uygulamasında 3. gün ile 165. gün arasındaki salınım, 165. günde %37,79 daha fazla olmuştur. 3. günde %2 kompost uygulaması, %2 kompost + %1 biyokömür uygulamasından %17, %2 kompost + %2 biyokömür uygulamasından %27 daha az olarak görülmüştür. 165. günde %2 kompost + %1 biyokömür uygulaması, sadece kompost uygulamasına göre CO₂ salınımını %86,63, %2 kompost + %2 biyokömür uygulaması ise %131,43 olarak azaltmıştır. Sadece %2 kompost uygulamasına kıyasla, karışıma eklenen %1 ve %2 biyokömür istatistiki olarak CO₂ salınımını önemli ölçüde azaltmıştır (Şekil 8). Bu sonuçlar neticesinde uzun vadede düşük dozda kompost

uygulanmasına ilave edilen biyokömür dozu arttıkça düşüş miktarında da artış gözlemlenmiştir.

Amin (2020) yaptığı çalışmada *Calotropis procera* bitkisinin farklı piroliz sıcaklıklarında (250, 400 ve 600 °C) elde edilen biyokömürün ve atıklarının toprağa uygulanması sonucu CO₂ salınımını incelemiştir. CO₂ salınım değerleri, tüm inkübasyon periyotlarında piroliz edilmemiş organik atık uygulamasına kıyasla artan piroliz sıcaklığı ile bir azalma göstermiştir (Şekil 8).

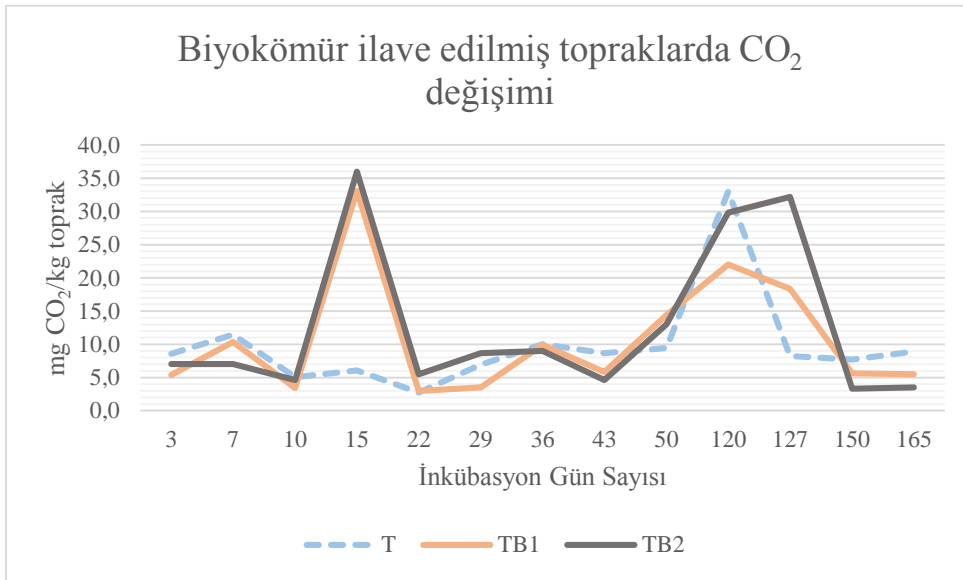


Şekil 9. İnkübasyon sürecinde %4 kompostlu toprağa %1 ve %2 biyokömür ilavesinin CO₂ salınımına etkisi

%4 kompost uygulamasına %1 ve %2 biyokömür ilave edilmesinde 15. günde maksimum değere ulaşmış olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek CO₂ miktarı 15. günde %4 kompost + %2 biyokömür uygulamasında 60,83 mgCO₂/kg olarak gözlemlenmiştir. En düşük CO₂ miktarı 3. günde %4 kompost uygulamasında görülmüştür. %4 kompost uygulamasında 3. gün ile 165. gün arasında %721 oranında bir artış gözlemlenmiştir. %4 kompost + %1 biyokömür uygulamasında 3. gün ile 165. gün arasında %86,44 bir artış bulunmuştur. %4 kompost + %1 biyokömür uygulamasında 3. gün ile 165. gün arasında %52,10'luk bir artış gözlemlenmiştir. İnkübasyonun 3. gününde %4 kompost uygulaması ile

%4 kompost + %1 biyokömür uygulaması arasındaki fark %275,43, %4 kompost + %2 biyokömür uygulaması arasındaki fark %317,54 olarak bulunmuştur. 165. günde %4 kompost uygulaması ile %4 kompost + %1 biyokömür uygulaması arasındaki fark %17,29, %4 kompost + %2 biyokömür uygulaması arasındaki fark %29,28 olarak görülmüştür (Şekil 9). Bu sonuçlar neticesinde uzun vadede yüksek dozda uygulanan kompostta, biyokömür uygulanması sonucu bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu düşüşün düşük doz kompost ilavesine kıyasla daha az olması yüksek doz kompost ilavesinde CO₂ salınımı miktarının daha fazla olması düşünülmektedir (Şekil 9).

Zhang vd. (2014) yaptıkları çalışmada kahve telvesi, odun peletleri ve at altığı kullanarak kompost ve biyokömür elde etmiştir. Kontrol toprağına göre biyokömür uygulamalarındaki CO₂ salınımı istatistiki açıdan önemsiz bulunurken, kompost uygulamalarında istatistiki olarak önemli bir artış görülmüştür. İnkübasyon süresince CO₂ salınımı biyokömür uygulamalarında 15 mgCO₂/kg'ın altında gözlemlenirken, kompost uygulamalarında bu değer 50 mgCO₂/kg değerlerine kadar artmıştır (Şekil 9).



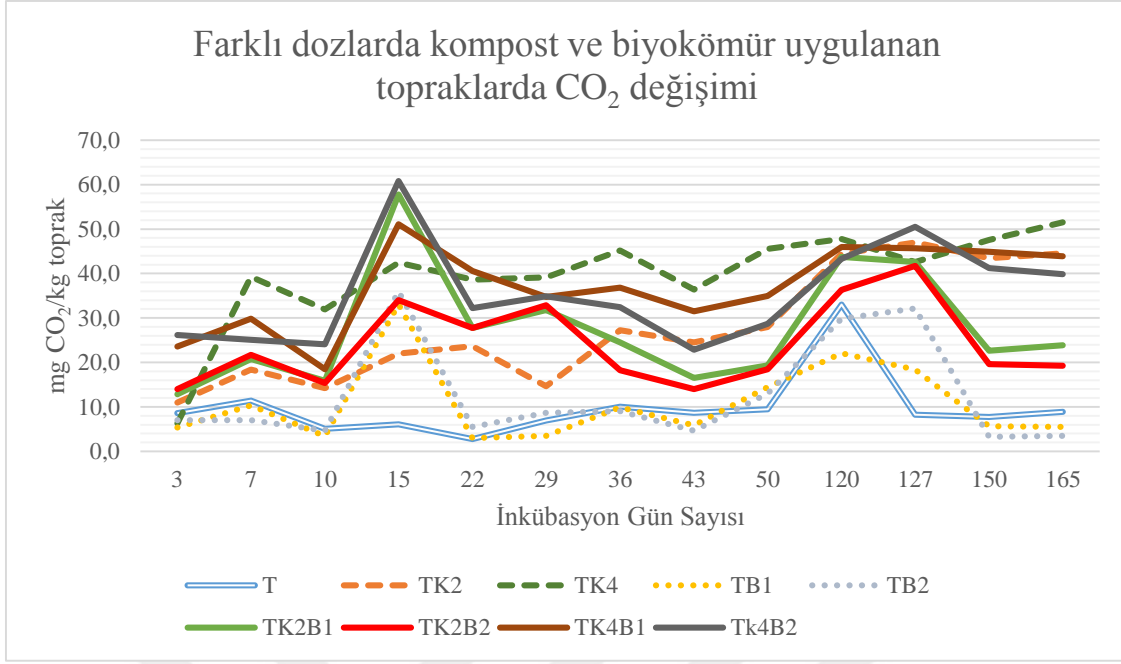
Şekil 10. İnkübasyon sürecinde kontrol toprağına %1 ve %2 biyokömür ilavesinin CO₂ salınımına etkisi

Kontrol toprağına %1 ve %2 biyokömür ilave edilmesi sonucunda 15. gün ve 120. günde birer pik noktası gözlemlenmiştir. En fazla CO₂ miktarı 15. günde %2 biyokömür uygulamasında 35,97 mgCO₂/kg olarak görülmüştür. En düşük CO₂ miktarı 22. günde kontrol toprağına 2,75 mgCO₂/kg olarak görülmüştür. Kontrol toprağına 3. gün ile 165. gün arasında salınan CO₂ miktarında %3,84 bir artış gözlemlenmiştir. %1 biyokömür uygulamasında 3. gün ile 165. gün arasında %2,04 bir artış gözlemlenmiştir. %2 biyokömür uygulamasında 3. gün ile 165. gün arasında salınan CO₂ miktarında %100'lük bir düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 10).

İnkübasyonun 3. gününde %1 biyokömür uygulaması kontrol toprağına kıyasla %59,18, %2 biyokömür uygulaması ise %21,87 oranında daha az CO₂ salınımı yapmıştır. İnkübasyonun ilk günlerinde sadece topraktan salınan CO₂ daha fazladır (Şekil 10).

İnkübasyonun 165. gününde %1 biyokömür uygulaması kontrol toprağına kıyasla %62, %2 biyokömür uygulaması ise %153,12 oranında daha az CO₂ salınımı yapmıştır (Şekil 10). Biyokömür uygulamasında zaman zaman salınım miktarında artış ve azalmalar görülmesine rağmen inkübasyon başlangıcı ile sonu kıyaslandığında yüzdelerdeki artış en yüksek kontrol toprağına, daha sonra %1 biyokömür uygulamasında görülmüştür. %2 biyokömür uygulamasında ise önemli ölçüde bir düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 10).

Aktaş (2019) yaptığı çalışmada tavuk altlığından elde edilen biyokömürün karbon mineralizasyonuna etkisine bakmıştır. Üç farklı dozda (%0, 2 ve 5) uyguladığı biyokömürde 0., 30., 60., 90. ve 120. günlerde CO₂ analizlerini yapmıştır. Analizin 0. gününde CO₂ mineralizasyonu %0, 2 ve 5'lik dozlar için sırasıyla 0,70 mgCO₂/100 g (7 mg CO₂/kg) ; 1,50 mgCO₂/100 g (15 mgCO₂/kg) ; 2,99 mgCO₂/100g (29,9 mgCO₂/kg) bulunmuşken, denemenin 30.günde CO₂ mineralizasyonunda tüm uygulamalarda aşırı artış olmuştur. İnkübasyon zamanı ilerledikçe uygulamalar arasındaki fark azalmış ve 120.günde salınan CO₂ sırasıyla 0,774 mgCO₂/100 g (7,74 mgCO₂/kg); 0,749 mgCO₂/100 g (7,49 mgCO₂/kg); 0,789 mgCO₂/100 g (7,89 mgCO₂/kg) bulunmuştur. Bu çalışmadaki sonuçlar ile çalışmamızdaki sonuçlar ilk günlerde benzer eğilim göstermişlerdir fakat bizim çalışmamızda 150. günden sonra uygulamalar arasındaki fark azalmıştır (Şekil 10).



Şekil 11. İnkübasyon sürecinde farklı dozlarda kompost ve biyokömür uygulamasının CO₂ salınımına etkisi

İnkübasyon sürecinde ortalama olarak en düşük CO₂ değerleri kontrol toprağında 9,79 mgCO₂/kg olmuştur. Biyokömür uygulanan topraklarda ortalama olarak %1 ve %2 biyokömür uygulamasında sırasıyla 10,42 mgCO₂/kg ve 12,25 mgCO₂/kg olarak bulunmuştur. %2 ve %4 kompost uygulanan topraklarda ortalama olarak sırasıyla 27,55 mgCO₂/kg ve 39,55 mgCO₂/kg olmuştur. %2 kompost + %1 biyokömür uygulamasında 27,70 ve %2 kompost + %2 biyokömür uygulamasında 23,99 mgCO₂/kg olmuştur. %4 kompost + %1 biyokömür uygulaması 36,80 mgCO₂/kg ve %4 kompost + %2 biyokömür uygulaması 35,26 mgCO₂/kg olmuştur. Uygulamalardaki CO₂ salınımı değerleri en düşükten artan şekilde sırasıyla kontrol < %1 biyokömür < %2 biyokömür < %2 kompost + %2 biyokömür < %2 kompost < %2 kompost + %1 biyokömür < %4 kompost + %2 biyokömür < %4 kompost + %1 biyokömür < %4 kompost olarak belirlenmiştir. Zaman göz ardı edildiğinde, %4 kompost uygulamasına eklenen %1 ve %2 biyokömür uygulamalarında sırasıyla %7,48 ve %12,16 düşüş olmuştur. %2 kompost uygulamasına %1 ve %2 biyokömür sırasıyla CO₂ salınımı değerlerinde %0,56 artış ve %14,85 düşüşe neden olmuştur (Tablo 4; Şekil 11). Bu sonuçlar neticesinde kompost uygulamalarının sebep olduğu CO₂ salınımı biyokömür uygulamaları ile azalmaktadır.

Tablo 4

Farklı materyal ve dozların topraktan salınan CO₂ üzerine etkileri

Uygulama Seviyesi	Doz Seviyesi	n	CO ₂	
			Ortalama	Standart Hata
Kontrol	0	51	9,79	3,69
Kompost	%2	51	27,55	6,15
Kompost	%4	52	39,55	5,62
Biyokömür	%1	50	10,42	4,42
Biyokömür	%2	51	12,25	5,70
Karışım 1	%2 K, %1 B	51	27,70	6,69
Karışım 1	%2 K, %2 B	49	23,99	4,91
Karışım 2	%4 K, %1 B	51	36,80	4,77
Karışım 2	%4 K, %2 B	51	35,26	5,55

Tablo 5

Farklı dozlarda pirina kompostu ve mısır koçanı biyokömür uygulamasının topraklardan salınan CO₂ üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4)

Kaynak	Std. Sapma	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Pr > F
Model	146	131584,85	901,27	156,82	<.0001
Hata	428	2459,72	5,75		
Düzeltilmiş Toplam	574	134044,57			

Pirina kompostu ve mısır koçanı biyokömürünün topraktan salınan CO₂ üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (p<0,05) (Tablo 5).

Tablo 6

Uygulama, doz, zamanın ve interaksyonlarının istatistiki olarak karşılaştırılması, ANOVA tablosu (n=4)

Kaynak	Std. Sapma	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Pr > F
Uygulama	3	33715,43	11238,48	1955,53	<.0001
Doz	2	28507,87	14253,93	2480,23	<.0001
Zaman	12	29837,53	2486,46	432,65	<.0001
Uygulama*Doz	6	13504,69	2250,78	391,64	<.0001
Uygulama*Zaman	36	9142,44	253,96	44,19	<.0001
Doz*Zaman	24	9303,24	387,63	67,45	<.0001
Uygulama*Doz*Zaman	63	7573,66	120,22	20,92	<.0001

Farklı zamanlarda, farklı uygulamalardan salınan CO₂ üzerine, uygulama, doz, zaman, uygulama*doz, uygulama*zaman, doz*zaman ve uygulama*doz*zaman interaksyonları istatistiki olarak önemli bulunmuştur (p<0,05) (Tablo 6).

Tablo 7

Uygulamaların, topraktan CO₂ salınımına etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4)

Duncan Gruplaması	CO ₂ Salınımı (mgCO ₂ /kg)	n	Uygulamalar
A	32,20	118	Karışım 2
B	25,72	154	Kompost
C	20,45	151	Karışım 1
D	10,82	152	Biyokömür

Biyokömür: Sadece biyokömür uygulamaları

Kompost: Sadece kompost uygulamaları

Karışım 1: %2 kompost + %1 biyokömür, %2 kompost + %2 biyokömür

Karışım 2: %4 kompost + %1 biyokömür, %4 kompost + %2 biyokömür

En fazla CO₂ salınımı karışım 2(tk4b1, tk4b2) uygulamasında olmuş ve bu fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Materyaller arasındaki fark istatistiki açıdan önemlidir. Bu değeri sırası ile kompost, karışım 1(tk2b1,tk2b2), biyokömür uygulamaları izlemiştir. En düşük CO₂ salınımı biyokömür uygulamasında olup 10,82 mgCO₂/kg bulunmuştur (Tablo 7).

Agegnehu vd. (2015) yaptıkları çalışmada biyokömür ve kompostun çeşitli uygulamalar ile serra gazı emisyonları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kompost uygulamasına ilave edilen biyokömürle sadece kompost uygulaması kıyaslandığında CO₂ salınımlarında bir azalma gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar bizim çalışmamızda da elde edilmiştir (Tablo 7). Kammann vd. (2012) yaptıkları çalışmada fıstık kabuğu biyokömürü, kompost, biyokömür + kompost ve çift doz kompost uygulamaları yapmışlardır. Biyokömür ilavesi çalışma boyunca ölçtükleri CO₂ salınımı değerlerini kontrol ve her iki kompost uygulaması ile kıyaslandığında önemli ölçüde azaltmıştır. Bizim çalışmamızda bu sonuçlara benzer sonuçlar vermiştir (Tablo 7). Arın ve Coşkan (2021) yılında yaptıkları çalışmada çay budama atıklarında farklı piroliz sıcaklıklarında elde ettikleri biyokömürleri farklı dozlarda (% 0; 0,5 ve 1) topraklara uygulamışlardır. Düşük sıcaklıklarda elde edilen biyokömürlerin CO₂ salınımlarında daha etkili olduğunu bulmuşlardır. Uzun vadede küresel ısınmayı azaltmak için önemli bir uygulama olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 8

Farklı dozlarda karıştırılan materyallerin topraktan CO₂ salınımı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4)

Duncan Gruplaması	CO ₂ Salınımı (mgCO ₂ /kg)	n	Doz
A	27,86	203	3
B	25,69	203	2
C	9,60	169	1

Doz 1: Kontrol toprağı

Doz 2: Kompost, biyokömür ve karışımlarının düşük dozları

Doz 3: Kompost, biyokömür ve karışımlarının yüksek dozları

Dozlar arasında CO₂ salınımı en fazla doz 3 (yüksek doz) uygulamalarda olmuş ve bu fark istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). Ayrıca her bir doz arasındaki fark istatistik olarak önemlidir. Doz 3'ü sırası ile doz 2 (düşük doz) ve doz 1 (kontrol) izlemiştir. En düşük CO₂ salınımı kontrol toprağında 9,59 mgCO₂/kg olmuştur (Tablo 8).

Tablo 9

Farklı zamanlarda yapılan örnekleme, topraktan CO₂ salınımı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4)

Duncan Gruplaması	CO ₂ Salınımı (mgCO ₂ /kg)	n	Zaman
A	38,79	42	10
B	32,11	35	11
C	29,67	47	4
D	23,51	44	13
D	22,85	44	12
E	21,23	44	7
EF	20,98	44	9
F	20,10	44	6
G	18,84	44	5
G	18,10	47	2
H	16,57	44	8
I	12,35	48	3
I	11,72	48	1

En yüksek CO₂ salınımı 10. ölçüm zamanında (120.gün) olup, ortalama 38,78 mgCO₂/kg olmuştur. Bunu sırası ile 11. (127. gün), 4. (15. gün), 13. (165. gün), 12. (150. gün), 7. (36. gün), 9. (50. gün), 6. (29. gün), 5. (22. gün), 2. (7. gün), 8. (43. gün), 3. (10. gün) ve 1. (3. gün) ölçüm zamanı izlemiştir. En düşük CO₂ salınım 1. zamanda (3.gün) ortalama 11,71 mgCO₂/kg olmuştur (Tablo 9).

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada killi bünyeye sahip topraklara farklı dozlarda pirina kompostu (%2 ve %4) ve mısır koçanı biyokömürü (%1 ve %2) uygulamaları yapılarak 4 replikasyon olacak şekilde deneme kurulmuştur. Kontrollü inkübasyon koşulları altında 25°C'de tarla kapasitesinin %70'i oranında sabit nem seviyesinde karbondioksit salınımının nasıl değiştiği araştırılmıştır. Ayrıca deneme başlangıcı ve sonunda karışımların organik madde miktarı ve kireç miktarı, deneme sonunda da pH, EC, agregat stabilitesi değerleri belirlenmiştir.

Uygulamaları hepsinde kontrol toprağına kıyasla pH seviyesinde bir artış olmuş olup bu artış istatistiki açıdan önemlidir. Kontrol toprağının ortalama pH değeri 7,85 bulunmuş olup uygulamaların ortalama pH değerleri 8,28 - 9,46 aralığında değişmektedir. Bunun sebebinin pirina kompostu (pH 9,25) ve mısır koçanı biyokömürünün (pH 9,30) alkali kanyonlarca zengin olmaları ve daha düşük pH düzeyine sahip deneme toprağına (pH 7,90) karıştırıldıklarında pH seviyesini yükselttiği düşünülmektedir. Yapılan uygulamalar sonucunda pH değerleri, pH değerlendirme kriterine göre (Black, 1965) kontrol toprağı hafif alkalın iken tk2 ve tb1 orta derece alkalın; tk4, tb2 ve tk2b1 kuvvetli alkalın; tk2b2, tk4b1 tk4b2 çok kuvvetli alkalın grubunda yer almaktadır.

Elektriksel iletkenlik (EC) açısından kil toprağına yapılan uygulamalar ile EC değerinin arttığı ve bu yükselmenin istatistiki açıdan önemli olduğu bulunmuştur. Kontrol toprağının ortalama EC değeri 465 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ bulunurken, uygulamaların ortalama EC değeri 978-3021,75 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ aralığında değişmektedir. Yapılan uygulamalar sonucunda toprağın EC değeri artsa da Richards (1954) kriterine göre kontrol toprağı, tk2, tk4, tb1, tk2b1, tk4b1 tuzsuz; tb2, tk2b2, tk4b2 orta tuzlu grupta yer almaktadır. Hmid vd. (2015) biyokömür uygulamasının, Kavdir ve Killi (2008) pirina kompostu uygulamasının EC değerini arttırdığını bildirmişlerdir.

Agregat stabilitesi sonuçlarına bakıldığında düşük dozlarda (tk2 ve tb1) uygulanan pirina kompostu ve mısır koçanı biyokömürü ve bir karışım (tk2b2), toprak agregat stabilitesini arttırmıştır ve istatistiki açıdan önemlidir. Kontrol toprağında agregat stabilitesi ortalama %35 iken uygulamalar sonucunda toprak agregat stabilitesi %30,49 - 48,55 aralığında değişmektedir. Uygulamaların AS artışı üzerine etkisinin az olmasının sebebinin toprak bünyesinin kil olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Kil bünyeli deneme toprağının agregat stabilitesinin doğal olarak yüksek olması başlıca nedendir. Benzer sonuçlar pirina ve bağ budama atığı kompostunda İşler vd. (2022) tarafından bildirilmiştir.

Organik madde analiz sonuçlarına göre tüm uygulamalar OM'yi arttırmıştır ve biyokömür uygulamaları hariç bütün uygulamalar istatistiki açıdan önemlidir. Kontrol toprağında inkübasyon başlangıcında ortalama organik madde miktarı %2,31 iken uygulama yapılan toprakların ortalama OM miktarı %2,34-5,57 aralığında değişmektedir. İnkübasyon sonunda kontrol toprağında ortalama organik madde miktarı %2,69 iken uygulama yapılan toprakların ortalama OM miktarı %2,61-5,76 aralığında değişmektedir. İlave edilen organik materyal, organik madde miktarında artışa neden olmuştur.

Karbondioksit salınım miktarları incelendiğinde, %2 ve %4 kompost uygulamasına ilave edilen %1 ve %2 biyokömür CO₂ salınımının inkübasyon sonuna doğru düşüşe geçmesine neden olmuştur. CO₂ salınımına bakılan günlerin ortalamaları alındığında da kompost uygulamalarına ilave edilen biyokömürün CO₂ salınım miktarını düşürdüğü bulunmuştur. %2 kompost uygulamasına %1 ve %2 biyokömür ilaveleri CO₂ salınımında sırasıyla %86,63 ve %131,43 düşüşe neden olmuştur. %4 kompost uygulamasına %1 ve %2 biyokömür ilaveleri CO₂ salınımında sırasıyla %17,29 ve %29,28 düşüş sağlamıştır. Kontrol toprağına kıyasla %1 ve %2 biyokömür ilaveleri CO₂ salınımında sırasıyla %62 ve %153,12 azalmaya neden olmuştur. Bu veriler neticesinde biyokömür uygulamaları karbondioksit salınım miktarını uzun vadede düşürmekte olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak pirina kompostu ve mısır koçanı biyokömürünün toprak pH'sını arttırdığı için yüksek pH değerine sahip topraklarda dikkatli kullanılmalı fakat asidik pH değerine sahip topraklarda iyi bir toprak düzenleyici olarak kullanılabileceği önerilmektedir.

Pirina kompostu ve mısır koçanı biyokömürünün toprakta mevcut elektriksel iletkenliği (EC) arttırması da bir dezavantaj olarak kabul edilebilmektedir. Pirina kompostu uygulamalarının topraktaki organik madde miktarını önemli derecede arttırdığı bulunmuştur. Kompostla birlikte toprağa uygulanan mısır koçanı biyokömürü topraktan karbondioksit salınımını önemli ölçüde azaltarak toprak organik maddesinin daha uzun süre korunmasını sağlamaktadır.



KAYNAKÇA

- Abbasi, M. K., ve Anwar, A. A. (2015). Ameliorating effects of biochar derived from poultry manure and white clover residues on soil nutrient status and plant growth promotion-greenhouse experiments. *PloS one*, 10(6), e0131592.
- Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., Muirhead, B., Wright, G., ve Bird, M. I. (2015). Biochar and biochar-compost as soil amendments: effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. *Agriculture, ecosystems and environment*, 213, 72-85.
- Akça, M. O., Usta, S., Uygur, V., ve Ok, S. S. (2020). “Çeltik sapından elde edilen biyokömürün bazı karakterizasyon özellikleri”. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(2), 86-97.
- Aktaş, Y. (2019). Biyokömürün Asidik Bir Toprakta Organik Karbon Mineralizasyonu Ve Karbon Formları Üzerine Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi) Ankara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Allison, L. E., ve Moodie, C. D. (1965). Carbonate. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 1379-1396.
- Alluvione, F., Bertora, C., Zavattaro, L., ve Grignani, C. (2010). Nitrous oxide and carbon dioxide emissions following green manure and compost fertilization in corn. *Soil Science Society of America Journal*, 74(2), 384-395.
- Al-Widyan, M. I., Al-Abed, N., ve Al-Jalil, H. (2005). Effect of composted olive cake on soil physical properties. *Communications in soil science and plant analysis*, 36(9-10), 1199-1212.
- Amin, A. E. E. A. Z. (2020). Carbon sequestration, kinetics of ammonia volatilization and nutrient availability in alkaline sandy soil as a function on applying calotropis biochar produced at different pyrolysis temperatures. *Science of The Total Environment*, 726, 138489.
- Annabi, M., Le Bissonnais, Y., Le Villio-Poitrenaud, M., ve Houot, S. (2011). Improvement of soil aggregate stability by repeated applications of organic amendments to a

cultivated silty loam soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144(1), 382-389.

Anonim, (1988). "Nature and Management of Tropical Peat Soils". The main characteristics of tropical peats moisture relationships, retrieved July 29, 2021, from www.fao.org/docrep/x5872e/x5872e06.htm#4.2.2 Son erişim tarihi: 29 Temmuz 2022.

Aranda, V., Calero, J., Plaza, I., ve Ontiveros-Ortega, A. (2016). Long-term effects of olive mill pomace co-compost on wettability and soil quality in olive groves. *Geoderma*, 267, 185-195.

Arın, A., ve Coşkan, A. (2021). Biyokömür Uygulamalarının Karadeniz Bölgesi Toprağının pH'sına ve Bazı Biyolojik Aktivite Parametrelerine Etkileri. *SDU Journal of the Faculty of Agriculture/SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2).

Arjumend, T. (2019). Synergistic effects of biochar and halotolerant on wheat growth and their potential to reclaim saline-sodic soil.

Aydınşakir, K., Ünlü, A., Yılmaz, S., ve Arı, N. (2011). Kentsel katı atık kompost uygulamalarının toprak özellikleri ve düğün çiçeği (*Ranunculus asiaticus* 'Orange')'nin verim ve kalitesi üzerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 55-60.

Baldock, J. A., ve Smernik, R. J. (2002). Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry*, 33(9), 1093-1109.

Bender D, Erdal İ, Dengiz O, Gürbüz M, Tarakçioğlu C (1998). Farklı Organik Materyallerin Killi Bir Toprağın Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri. International Symposium On Arid Region Soil. *International Agrohydrology Research And Training Center*, Menemen, İzmir.

Black, C. A. (1965). Methods of soil analysis Part 2, Amer. *Society of Agronomy Inc., Publisher Madisson*, Wilconsin, USA, 1372, 1376.

Boutasknit, A., Anli, M., Tahiri, A., Raklami, A., Ait-El-Mokhtar, M., Ben-Laouane, R., ... ve Meddich, A. (2020). Potential effect of horse manure-green waste and olive

pomace-green waste composts on physiology and yield of garlic (*Allium sativum* L.) and soil fertility. *Gesunde Pflanzen*, 72(3), 285-295.

Boyacı, B., ve Topal, H. (2008). Dolaşımli akışkan yatakta düşük sıcaklıklarda orman ürünlerinden oluşan sentetik gazın deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4).

Brown, S., ve Cotton, M. (2011). Changes in soil properties and carbon content following compost application: Results of on-farm sampling. *Compost Science and Utilization*, 19(2), 87-96.

Chan , K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., ve Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, 45(8), 629-634.

Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., ve Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), 437-444.

Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E., ve Burton, S. D. (2008a). Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *Journal of Geophysical Research*, 113, 20-27.

Cheng, C. H., Lehmann, J., ve Engelhard, M. H. (2008b). Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(6), 1598-1610.

Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., ve Julson, J. L. (2014). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(3), 393-404.

Chirenje, T., ve Ma, L. Q. (2002). Impact of high-volume wood-fired boiler ash amendment on soil properties and nutrients. *Communications in soil science and plant analysis*, 33(1-2), 1-17.

Çerçioğlu, M., Yağmur, B., Kara, R. S., ve Bulent, O. (2017). Agro-endüstriyel kompost ve ahır gübresinin biber (*Capsicum annuum* L.) yetiştiriciliğinde toprağın bazı kimyasal özellikleri ile verim üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(1), 71-77.

- Deenik, J. L., McClellan, T., Uehara, G., Antal, M. J., ve Campbell, S. (2010). Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations. *Soil Science Society of America Journal*, 74(4), 1259-1270.
- Demirbas, A., ve Arin, G. (2002). An overview of biomass pyrolysis. *Energy sources*, 24(5), 471-482.
- Diacono, M., ve Montemurro, F. (2011). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. In *Sustainable agriculture volume 2* (pp. 761-786). Springer, Dordrecht.
- Dong, X., Ma, L. Q., ve Li, Y. (2011). Characteristics and mechanisms of hexavalent chromium removal by biochar from sugar beet tailing. *Journal of hazardous materials*, 190(1-3), 909-915.
- Dostál, J. R. (2002). Results of the long-term organic matter balance investigations in Ústí nad Orlicí district and the trends in the whole Czech Republic. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 48(2), 155-160.
- Dume, B., Berecha, G., ve Tulu, S. (2015). Characterization of biochar produced at different temperatures and its effect on acidic nitosol of Jimma, Southwest Ethiopia. *International Journal of Soil Science*, 10(2), 63.
- Ge, X., Cao, Y., Zhou, B., Wang, X., Yang, Z., ve Li, M. H. (2019). Biochar addition increases subsurface soil microbial biomass but has limited effects on soil CO₂ emissions in subtropical moso bamboo plantations. *Applied Soil Ecology*, 142, 155-165.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. "Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd ed. Agron. 9". *American Society of Agronomy*, Madison, WI, pp. 383–413.
- Glaser, B., Balashov, E., Haumaier, L., Guggenberger, G., ve Zech, W. (2000). Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*, 31(7-8), 669-678.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., ve Zech, W. (2001). The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88(1), 37-41.

- Glaser, B., Lehmann, J., ve Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and fertility of soils*, 35(4), 219-230.
- Gundale, M. J., ve DeLuca, T. H. (2007). Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/Douglas-fir ecosystem. *Biology and Fertility of soils*, 43(3), 303-311.
- Gunes, A., Inal, A., Taskin, M. B., Sahin, O., Kaya, E. C., ve Atakol, A. (2014). Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*L. actuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil use and management*, 30(2), 182-188.
- Han, H., Teng, Y., Yang, H., ve Li, J. (2017). Effects of long-term use of compost on N₂O and CO₂ fluxes in greenhouse vegetable systems. *Compost Science and Utilization*, 25(sup1), S61-S69.
- Hmid, A., Al Chami, Z., Sillen, W., De Vocht, A., ve Vangronsveld, J. (2015). Olive mill waste biochar: a promising soil amendment for metal immobilization in contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(2), 1444-1456.
- Hopkins, D. W. (2006). Carbon mineralization. *Soil sampling and methods of analysis*, 589-598.
- Ilay, R., Kavdir, Y., ve Sümer, A. (2013). The effect of olive oil solid waste application on soil properties and growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Biodeterioration and Biodegradation*, 85, 254-259.
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M. B., ve Kaya, E. C. (2015). Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*, 31(1), 106-113.
- Isler, N., Ilay, R., ve Kavdir, Y. (2022). Temporal variations in soil aggregation following olive pomace and vineyard pruning waste compost applications on clay, loam, and sandy loam soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(6), 1-17.

- Jackson, M. L. (1958). Soil chemical analysis prentice Hall. *Inc., Englewood Cliffs, NJ*, 498, 183-204.
- Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., ve Bastos, A. C. (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.
- Jindo, K., Mizumoto, H., Sawada, Y., Sanchez-Monedero, M. A., ve Sonoki, T. (2014). Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, 11(23), 6613-6621.
- Jones, D. L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T. H., ve Murphy, D. V. (2012). Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry*, 45, 113-124.
- Kammann, C., Ratering, S., Eckhard, C., ve Müller, C. (2012). Biochar and hydrochar effects on greenhouse gas (carbon dioxide, nitrous oxide, and methane) fluxes from soils. *Journal of environmental quality*, 41(4), 1052-1066.
- Kavdir, Y., ve Killi, D. (2008). Influence of olive oil solid waste applications on soil pH, electrical conductivity, soil nitrogen transformations, carbon content and aggregate stability. *Bioresource Technology*, 99(7), 2326-2332.
- Kavdir, Y., Ilay, R., Smucker, A. J., ve Kavdır, I. (2009, June). Soil structure stabilization of olive oil solid waste and compost applied soils. *In International Soil Tillage Research Organization 18th Triennial Conference, İzmir, Turkey, June (Vol. 15)*.
- Kemper, W. D., ve Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 425-442.
- Killi, D., ve Kavdir, Y. (2013). Effects of olive solid waste and olive solid waste compost application on soil properties and growth of *Solanum lycopersicum*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 82, 157-165.
- Kolb, S. E., Fermanich, K. J., ve Dornbush, M. E. (2009). Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Science Society of America Journal*, 73(4), 1173-1181.

- Krull, E. S., Baldock, J. A., Skjemstad, J. O., ve Smernik, R. J. (2012). Characteristics of biochar: organo-chemical properties. *In Biochar for environmental management* (pp. 85-98). Routledge.
- Kuzyakov, Y., Subbotina, I., Chen, H., Bogomolova, I., ve Xu, X. (2009). Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(2), 210-219.
- Laird, D. A. (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.
- Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 381-387.
- Lehmann, J., ve Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: an introduction. *Biochar for environmental management: Science and technology*, 1, 1-12.
- Lehmann, J., Gaunt, J., ve Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2), 403-427.
- Lehmann, J., Liang, B., Solomon, D., Lerotic, M., Luizão, F., Kinyangi, J., ... ve 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(1).
- Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., ve 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(2), 343-357.
- Lévesque, V., Rochette, P., Ziadi, N., Dorais, M., ve Antoun, H. (2018). Mitigation of CO₂, CH₄ and N₂O from a fertigated horticultural growing medium amended with biochars and a compost. *Applied Soil Ecology*, 126, 129-139.

- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B. J. O. J. F. J. J. E. G., ... ve Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil science society of America journal*, 70(5), 1719-1730.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., ve Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*, 333(1), 117-128.
- McClellan, A., Deenik, J., Uehara, G., ve Antal, M. (2007). Effects of flashed carbonized (C) macadamia nutshell charcoal on plant growth and soil chemical properties. *a a*, 80(100), 120.
- McLaughlin, H., Anderson, P. S., Shields, F. E., ve Reed, T. B. (2009, August). All biochars are not created equal, and how to tell them apart. *In Proceedings, North American Biochar Conference*, Boulder, Colorado (pp. 1-36).
- Mikan, C. J., ve Abrams, M. D. (1995). Altered forest composition and soil properties of historic charcoal hearths in southeastern Pennsylvania. *Canadian Journal of forest research*, 25(5), 687-696.
- Nektarios, P. A., Ntoulas, N., McElroy, S., Volterrani, M., ve Arbis, G. (2011). Effect of olive mill compost on native soil characteristics and tall fescue turfgrass development. *Agronomy journal*, 103(5), 1524-1531.
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., ve Niandou, M. A. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil science*, 174(2), 105-112.
- Ogawa, M., Okimori, Y., ve Takahashi, F. (2006). Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2), 429-444.
- OGM (2009). Türkiye’de Odunsu Biyokütle’den Temiz Enerji Üretimi. Biyoenerji Çalışma Grubu
- Peng, X. Y. L. L., Ye, L. L., Wang, C. H., Zhou, H., ve Sun, B. (2011). Temperature-and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil

- properties of an Ultisol in southern China. *Soil and Tillage Research*, 112(2), 159-166.
- Prost, K., Borchard, N., Siemens, J., Kautz, T., Séquaris, J. M., Möller, A., ve Amelung, W. (2013). Biochar affected by composting with farmyard manure. *Journal of environmental quality*, 42(1), 164-172.
- Regni, L., Nasini, L., Ilarioni, L., Brunori, A., Massaccesi, L., Agnelli, A., ve Proietti, P. (2017). Long term amendment with fresh and composted solid olive mill waste on olive grove affects carbon sequestration by prunings, fruits, and soil. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2042.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *U.S. Department of Agriculture Handbook*. 60: 160.
- Rillig, M. C., ve Mummey, D. L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171(1), 41-53.
- Sarma, B., Borkotoki, B., Narzari, R., Kataki, R., ve Gogoi, N. (2017). Organic amendments: Effect on carbon mineralization and crop productivity in acidic soil. *Journal of Cleaner Production*, 152, 157-166.
- SAS Enstitüsü 1999 SAS/STAT Kullanıcı Kılavuzu, Vol. 2, Version 6ed. SA Inst., Cary, NC.
- Schulz, H., ve Glaser, B. (2012). Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(3), 410-422.
- Shackley, S., Sohi, S., Brownsort, P., Carter, S., Cook, J., Cunningham, C., ... ve Thornley, P. (2010). An assessment of the benefits and issues associated with the application of biochar to soil. *Department for Environment, Food and Rural Affairs*, UK Government, London.
- Shenbagavalli, S., ve Mahimairaja, S. (2012). Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. *International journal of advanced biological research*, 2(2), 249-255.

- Steiner, C., Glaser, B., Geraldtes Teixeira, W., Lehmann, J., Blum, W. E., ve Zech, W. (2008). Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of plant nutrition and soil science*, 171(6), 893-899.
- Sun, J., Lian, F., Liu, Z., Zhu, L., ve Song, Z. (2014). Biochars derived from various crop straws: characterization and Cd (II) removal potential. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 106, 226-231.
- Topoliantz, S., Ponge, J. F., Arrouays, D., Ballof, S., ve Lavelle, P. (2002). Effect of organic manure and the endogeic earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta: Glossoscolecidae) on soil fertility and bean production. *Biology and fertility of soils*, 36(4), 313-319.
- Tryon, E. H. (1948). Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecological Monographs*, 18(1), 81-115.
- Tsai, W. T., Lee, M. K., ve Chang, Y. M. (2007). Fast pyrolysis of rice husk: Product yields and compositions. *Bioresource technology*, 98(1), 22-28.
- Uzun, B. B., Pütün, A. E., ve Pütün, E. (2006). Fast pyrolysis of soybean cake: product yields and compositions. *Bioresource technology*, 97(4), 569-576.
- Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., ve Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European journal of agronomy*, 34(4), 231-238.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., ... ve Cowie, A. (2010a). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*, 327(1), 235-246.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Downie, A., Morris, S., Petty, S., Rust, J., ve Chan, K. Y. (2010b). A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil. *Soil Research*, 48(7), 569-576.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., Van Der Velde, M., Diafas, I., ve Parsons, C. (2009). Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties,

processes and functions. Joint Research Centre. *Institute for Environment and Sustainability*, Ispra, Italy.

- Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W., ve Rillig, M. C. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and soil*, 300(1), 9-20.
- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., ve Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1(1), 1-9.
- Wu, D., Senbayram, M., Zang, H., Ugurlar, F., Aydemir, S., Brüggemann, N., ... ve Blagodatskaya, E. (2018). Effect of biochar origin and soil pH on greenhouse gas emissions from sandy and clay soils. *Applied Soil Ecology*, 129, 121-127.
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S., ve Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil science and plant nutrition*, 52(4), 489-495.
- Zhai, L., Cai Ji, Z., Liu, J., Wang, H., Ren, T., Gai, X., ... ve Liu, H. (2015). Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities. *Biology and Fertility of Soils*, 51(1), 113-122.
- Zhang, H., Voroney, R. P., ve Price, G. W. (2014). Effects of biochar amendments on soil microbial biomass and activity. *Journal of Environmental Quality*, 43(6), 2104-2114.