



T.C.  
Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**TUZLU VE KİREÇLİ TOPRAK  
KOŞULLARINDA BİYOKÖMÜR,  
VERMİKOMPOST VE LEONARDİT  
UYGULAMALARININ ETKİNLİKLERİ  
YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Doktora Tezi**

**TUZLU VE KİREÇLİ TOPRAK KOŞULLARINDA  
BİYOKÖMÜR, VERMİKOMPOST VE LEONARDİT  
UYGULAMALARININ ETKİNLİKLERİ YÖNÜNDEN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Saliha DORAK**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ  
ÜNİVERSİTESİ FEN  
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TUZLU VE KİREÇLİ TOPRAK KOŞULLARINDA BİYOKÖMÜR,  
VERMİKOMPOST VE LEONARDİT UYGULAMALARININ ETKİNLİKLERİ  
YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI**

Saliha DORAK  
0000-0001-5699-5690

Doç. Dr. Barış Bülent AŞIK  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME  
ANABİLİM DALI

BURSA– 2023  
**Her Hakkı Saklıdır.**

## ÖZET

Doktora Tezi

### TUZLU ve KİREÇLİ TOPRAK KOŞULLARINDA BİYOKÖMÜR, VERMİKOMPOST ve LEONARDİT UYGULAMALARININ ETKİNLİKLERİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

**Saliha DORAK**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Barış Bülent AŞIK

**Çalışmanın amacı;** biyokömürün kireçli ve tuzlu koşullarda tarımsal amaçlı kullanımı olanağının araştırılmasıdır. Bu amaçla iki farklı biyokömürün etkinliği, vermikompost ve humik madde uygulamaları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kentsel atıklardan ticari olarak elde edilen biyokömür (BA) ve laboratuvarıda pancar tohum üretim atığından elde edilen biyokömür (BB) olmak üzere bitkisel kökenli iki farklı biyokömür kullanılmıştır. Denemede kullanılan toprağa %20 tarım kireci ve 40 mM NaCl ilave edilerek kireçli ve tuzlu toprak koşulları oluşturulmuştur. Çalışmada iki biyokömür, katı vermikompost, sıvı vermikompost, NPK ve kontrol uygulaması dâhil 13 farklı uygulama konusu ele alınmıştır. Çalışmada 150 gün süre ile inkübasyon çalışması ve sera koşullarında saksı denemesi yürütülmüştür.

Çalışmada bitki kuru ağırlığında meydana gelen farklılıklar kireçli toprakta önemli bulunmuştur. En yüksek kuru ağırlık BA1, BA2, BB2 ve VKK2 uygulamalarında belirlenmiştir. Uygulamalara bağlı olarak SPAD okuma değerleri 19.30 ile 30.87 arasında değişim göstermiştir. Bitkinin toprakta kaldırdığı besin elementi miktarları uygulamalara bağlı olarak tüm topraklarda kontrol uygulamasına göre artışlar göstermiştir. Normal toprakta en yüksek N ve P değeri NPK uygulamasında iken tuzlu ve kireçli toprakta biyokömür uygulamalarında en yüksek değerler belirlenmiştir. Diğer besin elementi miktarlarında da biyokömür uygulamalarının etkisinin istatistiksel olarak önemli düzeyde olduğu belirlenmiştir.

İnkübasyon çalışmasında toprak pH değerleri uygulamalara bağlı olarak 7.49 ile 8.00 arasında EC değeri ise 596 ile 4552  $\mu\text{S cm}^{-1}$  değerleri arasında değişim göstermiştir. Tuzlu ve kireçli toprak koşullarında zamana bağlı olarak  $\text{NH}_4\text{-N}$  miktarı azalırken  $\text{NO}_3\text{-N}$  ve alınabilir P miktarı artış göstermiştir. En yüksek değerler NPK, BA ve BB uygulamalarında belirlenmiştir. Uygulamaların toprakların değişebilir katyonlar ve alınabilir mikro element içeriklerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokömür, Vermikompost, Humik Asit, Besin Elementi, İnkübasyon

**2023, xi +126 sayfa.**

## ABSTRACT

PhD Thesis

### COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF BIOCHAR WITH VERMICOMPOST AND LEONARDİT IN SALINE AND CALCAREOUS SOIL CONDITIONS

**Saliha DORAK**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Soil Science and Plant Nutrition

**Advisor:** Doç. Dr. Barış Bülent AŞIK

**The aim of the study** is to compare the possibility of using biochar for agricultural purposes in calcareous and saline conditions. For this purpose, the effectiveness of two different biochars was compared with vermicompost and humic substance applications. In the study, two different biochars of vegetable origin were used, namely biochar (BA) obtained commercially from urban waste and biochar (BB) obtained from beet seed production waste in the laboratory. Chalky and salty soil conditions were created by adding 20% agricultural lime and 40 mM NaCl to the soil used in the experiment. In the study, 13 different application topics were discussed, including two biochars, solid vermicompost, liquid vermicompost, NPK and control application. In the study, an incubation study and a pot experiment were carried out under greenhouse conditions for 150 days.

During this examination, differences in plant dry weight were found to be significant in calcareous soil. The highest dry weight was detected in BA1, BA2, BB2 and VKK2 applications. Depending on the applications, the SPAD readings varied between 19.30 and 30.87. The amount of nutrients removed by the plant in the soil increased depending on the applications compared to the control application in all soils. While the highest N and P values in normal soil were in NPK application, the highest in saline and calcareous soil were determined in biochar applications. It was deduced that biochar applications were also remarkably effective in other nutrient amounts.

In the incubation study, soil pH values differed between 7.49 and 8.00 depending on the applications, and the EC value differed between 596 and 4552  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . In salty and calcareous soil conditions, the amount of  $\text{NH}_4\text{-N}$  decreased, while the amount of  $\text{NO}_3\text{-N}$  and available P increased depending on time. The highest values were ascertained in NPK, BA and BB applications. The changes caused by the executions in the amount of exchangeable cations and the differences that occur in the micro element contents of the soils were found to be of great importance statistically.

**Keywords:** Biochar, Vermicompost, Humic Substance, Plant Nutrient, Incubation  
**2023, xi+126 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı doktora çalışmasıdır. Biyokömürün tuzlu ve kireçli toprak koşullarda etkinliğinin vermikompost ve humik madde ile karşılaştırılması konulu bir araştırma çalışmasıdır. Amaçlanan çalışma Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme serasında gerçekleştirilmiştir.

Araştırma konumun belirlenmesinden tezin son aşamasına kadar çalışmalarımın her safhasında yanımda olan, doktora serüvenim boyunca bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, desteğini her zaman yanımda hissettiğim, tanımaktan onur duyduğum danışman hocam Sayın Doç. Dr. Barış Bülent AŞIK'a,

Değerli katkılarından dolayı tez izleme komitesinde yer alan ve tezimin düzenlenmesi ve geliştirilmesinde değerli katkılarda bulunan Sayın Prof. Dr. Belgin İZGİ, Murat Ali TURAN, Doç. Dr Halil SAMET ve Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÇIKILI'ya

Ayrıca doktora çalışmama maddi destek sağlayan Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projleri Birimine (Proje Kodu: FDK-2021-185 - Biyokömürün Tuzlu ve Kireçli Toprak Koşullarda Etkinliğinin Vermikompost ve Humik Madde ile Karşılaştırılması),

Doktora eğitimim boyunca 100/2000 bursu ile bana maddi destek sağlayan Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK)'e,

Çalışmalarım sırasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen emeği geçmiş tüm hocalarıma, öğrencilerime ve arkadaşlarıma,

Tezimin bitirme aşamasında desteklerinden dolayı Nilüfer Belediyesi İklim Değişikliği ve Sıfır Atık Müdürü Sayın Zerrin GÜLEŞ, Zir. Müh. Turgay SEZER'e ve Nilkoop Başkanı Sayın Mehmet Ali YUMURTACI' ya,

Son olarak yaşamım boyunca bana benden çok güvenen, her koşulda yanımda olan, desteğinden her zaman güç aldığım, emeklerinin karşılığını asla ödeyemeyeceğim annem Zeliha DORAK, babam Ali DORAK, abim Semih DORAK ve kardeşim Emre Soner DORAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

**Saliha DORAK**

.../.....

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                          | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET.....                                                                                                | ii    |
| ABSTRACT.....                                                                                            | iii   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                                                                      | vi    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                                     | viii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                                                   | ix    |
| 1.GİRİŞ.....                                                                                             | 1     |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ.....                                                                                  | 6     |
| 2.1. Kaynak Araştırması.....                                                                             | 6     |
| 2.2. Biyokömür ve Farklı Organik Materyal Uygulanan Tuzlu Topraklar ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....   | 7     |
| 2.3. Biyokömür ve Farklı Organik Materyal Uygulanan Kireçli Topraklar ile İlgili Yapılan Çalışmalar..... | 20    |
| 3.MATERYAL ve YÖNTEM.....                                                                                | 30    |
| 3.1.Materyal.....                                                                                        | 30    |
| 3.2. Yöntem.....                                                                                         | 36    |
| 3.2.1. İnkübasyon çalışması.....                                                                         | 36    |
| 3.2.2. Sera Çalışması.....                                                                               | 39    |
| 3.2.3. İstatistiksel Analizler.....                                                                      | 40    |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....                                                                             | 41    |
| 4.1 Biyokömür ve Bazı Organik Uygulamaların Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi.....                       | 41    |
| 4.1.1. pH ve EC değeri üzerine etki.....                                                                 | 41    |
| 4.1.2 Amonyum azotu (NH <sub>4</sub> -N), nitrat azotu (NO <sub>3</sub> -N) ve fosfor üzerine etki.....  | 48    |
| 4.1.3. Değişebilir katyonlar üzerine etki.....                                                           | 58    |
| 4.1.4. Mikro elementler (Fe, Cu, Mn, Zn) üzerine etki.....                                               | 67    |
| 4.2. Biyokömür ve Bazı Organik Uygulamaların Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi.....                          | 78    |
| 4.2.1. Kuru ağırlık ve SPAD (Klorofil) değerleri.....                                                    | 78    |
| 4.2.2. Besin elementi içeriği üzerine etki.....                                                          | 81    |
| 5.SONUÇ.....                                                                                             | 92    |
| KAYNAKLAR.....                                                                                           | 96    |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                            | 125   |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

°C

cm

dS

g

ha

kg

m

mg

t

% w/w

### Açıklama

Santigrat derece

Santimetre

DesiSiemens

Gram

Hektar

Kilogram

Metre

Miligram

Ton

Ağırlıkça Yüzde

### Kısaltmalar

B

BA

BB

BC

C

Ca

CaCl<sub>2</sub>

CaCO<sub>3</sub>

CM

CMV

CO<sub>2</sub>

-COOH

Cu

DAP

DOC

EC

EM

ESP

FA

Fe

FT-IR

H

ha

HA

HCO<sub>3</sub>

K

KM

LSD

### Açıklama

Bor

Ticari Biyokömür (SYNPET Technologies)

Laboratuvar Şartlarında Elde Edilen Biyokömür

Biyokömür

Karbon

Kalsiyum

Kalsiyum Klorür

Kalsiyum Karbonat

Kompost

Tavuk Gübresi Vermikompostu

Karbondioksit

Karboksil

Bakır

Diamonyum fosfat

Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonu  
(Dissolved oxygen concentrations)

Elektriksel İletkenlik

Mikroorganizma

Değişebilir sodyum yüzdesi

Fulvik Asit

Demir

Fourier Transform Infrared Spektrofotometre  
(Fourier dönüşümlü kızılötesi)

Hidrojen

Hektar

Humik Asit

Bikarbonat

Kontrol

Kuru madde ağırlığı

En Küçük Anlamlı Fark

|                    |                                                                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Mha                | Milyon Hektar                                                   |
| mM                 | Mili Molar                                                      |
| Mn                 | Mangan                                                          |
| N                  | Azot                                                            |
| Na                 | Sodyum                                                          |
| NaCl               | Sodyum Klorür                                                   |
| NH <sub>4</sub>    | Amonyum                                                         |
| NH <sub>4</sub> -N | Amonyum Azotu                                                   |
| NO <sub>3</sub>    | Nitrat                                                          |
| NO <sub>3</sub> -N | Nitrat Azotu                                                    |
| O                  | Oksijen                                                         |
| -OH                | Hidroksil                                                       |
| OM                 | Organik Madde                                                   |
| P                  | Fosfor                                                          |
| pH                 | Reaksiyon                                                       |
| PMV                | İnek Gübresi Vermikompostu                                      |
| PO <sub>4</sub>    | Fosfat                                                          |
| RC                 | Kolza Küspesi                                                   |
| S                  | Kükürt                                                          |
| SAR                | Sodyum Adsorpsiyon Oranı                                        |
| SEM                | Taramalı Elektron Mikroskopu                                    |
| SPAD               | Signal Passed at Danger<br>(tek foton diyot teknolojisi sensör) |
| VKK                | Katı Vermikompost                                               |
| VM                 | Vermikompost                                                    |
| VKS                | Sıvı Vermikompost                                               |
| WHC                | World Halal Council (Dünya Helal Konseyi)                       |
| Zn                 | Çinko                                                           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                             | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Biyokömürün bitki besin elementi alımı üzerine etkisi.....                                                                       | 13    |
| Şekil 2.2. Biyokömürün tuzdan etkilenmiş toprakların fiziksel ve biyolojik özellikleri üzerindeki etkileri için olası mekanizmalar.....     | 16    |
| Şekil 2.3. Asidik biyokömürün toprakta bitki tarafından temin edilebilen besinler üzerindeki olumlu dolaylı etkilerinin şematik sunumu..... | 17    |
| Şekil 2.4. Farklı modifikasyon yöntemleriyle biyokömür yüzey özelliklerinde iyileştirme.....                                                | 24    |
| Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan materyallere ait FT-IR görüntüsü.....                                                                       | 34    |
| Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan BA ve BB'ye ait FT-IR görüntüsü.....                                                                        | 35    |
| Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan BB ve VKK'ya ait FT-IR görüntüsü.....                                                                       | 35    |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|               |                                                                                                                                                  | Sayfa |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1.  | Hammaddelerin ve biyokömürlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve temel bileşimleri .....                                                      | 10    |
| Çizelge 2.2.  | Piroliz sıcaklığının biyokömür özellikleri ve fonksiyonları üzerindeki etkileri                                                                  | 24    |
| Çizelge 2.3.  | Biyokömürlerin özellikleri                                                                                                                       | 28    |
| Çizelge 3.1.  | Denemede kullanılan biyokömürlerin kimi fiziksel ve kimyasal özellikleri                                                                         | 32    |
| Çizelge 3.2.  | Çalışmada kullanılan diğer organik kaynakların özellikleri                                                                                       | 32    |
| Çizelge 3.3.  | Çalışma kapsamında ele alınan uygulamalar                                                                                                        | 36    |
| Çizelge 3.4.  | Çalışma kapsamında toprak örneği alınan parselin kimi toprak özellikleri                                                                         | 37    |
| Çizelge 4.1.  | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak reaksiyonu (pH) üzerine etkileri                  | 41    |
| Çizelge 4.2.  | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak reaksiyonu (pH) üzerine etkileri.....                                    | 43    |
| Çizelge 4.3.  | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak reaksiyonu (pH) üzerine etkileri                                       | 44    |
| Çizelge 4.4.  | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak elektriksel iletkenliği (EC) değerine etkileri    | 45    |
| Çizelge 4.5.  | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak elektriksel iletkenliği (EC) değerine etkileri .....                     | 46    |
| Çizelge 4.6.  | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak elektriksel iletkenliği (EC) değerine etkileri .....                   | 47    |
| Çizelge 4.7.  | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Amonyum (NH <sub>4</sub> ) değerine etkileri..... | 48    |
| Çizelge 4.8.  | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Amonyum (NH <sub>4</sub> ) değerine etkileri...                          | 49    |
| Çizelge 4.9.  | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Amonyum (NH <sub>4</sub> ) değerine etkileri...                        | 50    |
| Çizelge 4.10. | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Nitrat (NO <sub>3</sub> ) değerine etkileri.....  | 50    |
| Çizelge 4.11. | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Nitrat (NO <sub>3</sub> ) değerine etkileri.....                         | 51    |
| Çizelge 4.12. | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Nitrat (NO <sub>3</sub> ) değerine etkileri.....                       | 52    |

|               |                                                                                                                                      |    |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.13. | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak fosfor (P) değerine etkileri.....     | 55 |
| Çizelge 4.15. | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Fosfor (P) değerine etkileri.....                            | 56 |
| Çizelge 4.16. | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Fosfor (P) değerine etkileri.....                          | 56 |
| Çizelge 4.17. | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak potasyum (K) değerine etkileri.....   | 59 |
| Çizelge 4.18. | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak magnezyum (Mg) değerine etkileri..... | 59 |
| Çizelge 4.19. | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak kalsiyum (Ca) değerine etkileri.....  | 60 |
| Çizelge 4.20. | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak sodyum (Na) değerine etkileri.....    | 60 |
| Çizelge 4.21. | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak potasyum (K) değerine etkileri.....                          | 61 |
| Çizelge 4.22. | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak magnezyum (Mg) değerine etkileri.                            | 62 |
| Çizelge 4.23. | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak kalsiyum (Ca) değerine etkileri.....                         | 62 |
| Çizelge 4.24. | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak sodyum (Na) değerine etkileri.....                           | 63 |
| Çizelge 4.25. | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak potasyum (K) değerine etkileri.....                        | 64 |
| Çizelge 4.26. | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak magnezyum (Mg) değerine etkileri                           | 64 |
| Çizelge 4.27. | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak kalsiyum (Ca) değerine etkileri.....                       | 65 |
| Çizelge 4.28. | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak sodyum (Na) değerine etkileri.....                         | 65 |
| Çizelge 4.29. | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak demir (Fe) değerine etkileri.....     | 68 |
| Çizelge 4.30. | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak demir (Fe) değerine etkileri.....                            | 68 |
| Çizelge 4.31. | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak demir (Fe) değerine etkileri.....                          | 69 |
| Çizelge 4.32. | Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak bakır (Cu) değerine etkileri.....     | 70 |
| Çizelge 4.33. | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak bakır (Cu) değerine etkileri.....                            | 71 |

|                |                                                                                                                                   |    |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.34.  | Kireç toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak bakır (Cu) değerine etkileri.....                         | 71 |
| Çizelge 4.35.  | Tuzsuz ve kirecsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak çinko (Zn) değerine etkileri.....  | 72 |
| Çizelge 4.36.  | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak çinko (Zn) değerine etkileri.....                         | 72 |
| Çizelge 4.37.  | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak çinko (Zn) değerine etkileri.....                       | 73 |
| Çizelge 4.38.  | Tuzsuz ve kirecsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak mangan (Mn) değerine etkileri..... | 74 |
| Çizelge 4.39.  | Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak mangan (Mn) değerine etkileri.....                        | 75 |
| Çizelge 4.40.  | Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak mangan (Mn) değerine etkileri.....                      | 75 |
| Çizelge 4. 41. | Uygulamaların bitki kuru ağırlığı ve SPAD değerleri üzerine etkileri.....                                                         | 79 |
| Çizelge 4. 42. | Uygulamaların topraktan kaldırılan N ve P miktarı üzerine etkileri.....                                                           | 82 |
| Çizelge 4. 43. | Uygulamaların topraktan kaldırılan K ve Ca miktarı üzerine etkileri.....                                                          | 87 |
| Çizelge 4. 44. | Uygulamaların topraktan kaldırılan Mg ve Na miktarı üzerine etkileri.....                                                         | 88 |
| Çizelge 4. 45. | Uygulamaların topraktan kaldırılan Fe ve Cu miktarı üzerine etkileri.....                                                         | 89 |
| Çizelge 4. 46. | Uygulamaların topraktan kaldırılan Zn ve Mn miktarı üzerine etkileri.....                                                         | 90 |

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda sürdürülebilir tarımsal üretimde en önemli faktör, toprakların üretkenliğini artırarak, verimlilik parametrelerinin bozulmadan (fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler) devamlılığının sağlanmasıdır. Bu durum artan dünya nüfusunun gıda ve besin ihtiyacının karşılanması noktasında büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda günümüzde insanların gıda güvenliği ve kaliteli gıdaya ulaşma noktasında sıkıntıların olduğu görülmektedir. Bu noktada kaliteli gıdaların, kaliteli ve verimli topraklarda yetiştirilebileceği de sıkça dile getirilmeye başlanmıştır.

Sürdürülebilir tarım, tarımsal üretim sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliği, çevresel uygunluğu ve sosyal olarak benimsenmesiyle ilgili sorunların ve kısıtlamaların üstesinden gelmeyi amaçlayan uzun vadeli bir hedef olarak görülmektedir. Bu bağlamda günümüzde toprak kalitesi kavramı, insan ve hayvan sağlığı, gıda güvenliği ve gıda kalitesi ile çevre kalitesi niteliklerini içerecek kapsamda değerlendirilmektedir. Sürdürülebilir toprak yönetimi yerel toprağa özgü, arazi ve iklim koşullarına uyumlu uygulamaların kullanımıyla sağlanabilmekte ve geliştirilebilmektedir. Toprak kalitesi özellikleri alternatif tarım stratejisini sürdürülebilir tarımın nihai hedefine bağlamada ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinde "anahtar" bir etken olarak kabul edilmektedir (FAO, 2019).

Toprak erozyonu, toprak kirlenmesi, toprak organik maddesinin tükenmesi, biyolojik çeşitlilikteki düşüş, tuzlanma, kabuklanma, strüktür bozulması, asitleşme/alkalileşme, toprak sıkışması, toprak sızdırmazlığı/yetersiz drenajın yüzey akış ve sızıntıdan kaynaklanan besin kayıpları gibi toprak bozucu süreçler ile nihayetinde verimsizlik ve çölleşme toprakların karşılaştığı başlıca yaşamsal tehditlerden bazılarıdır (FAO, 2019).

Tarımsal sürdürülebilirliğin devam edebilmesi için toprak özellikleri ve bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyen özelliklerin de ıslahı yönünde çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Hem ülkemiz hem de küresel düzeyde bakıldığında tarımsal üretimde verim azalmasına neden olan faktörler arasında tuzlu toprakların oluşması ve özellikle bitkiler tarafından besin elementlerinin yarıyışlılığını etkileyen bir faktör olan yüksek kireç ve buna bağlı yüksek pH değeri sayılabilir.

Tarım yapılan topraklar incelendiğinde, özellikle son yıllarda gerek sulama gerekse gübreleme ve kültürel faaliyetler sonucu topraklarda tuzluluk sorunu görülmeye başlamıştır. Tuzluluk; özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde yıkanarak yeraltı suyuna karışan çözünebilir tuzların yüksek taban suyuyla birlikte kapilarite yoluyla toprak yüzeyine çıkması ve buharlaşma sonucu suyun topraktan ayrılarak tuzun toprak yüzeyinde ve yüzeye yakın bölümünde birikmesi olayıdır (Ergene, 1982; Kwiaktowsky, 1998; Kara, 2002). Ortaya çıkan tuzlanma, toprak verimliliğini olumsuz yönde etkilediği gibi belli bir eşiği aştığında ise verimliliği tamamen ortadan kaldırabilir (FAO, 2019).

Tuzlulukla ilgili yapılan çalışmalar genellikle ele alınan bitkinin tür ve çeşidinin hangi tuz konsantrasyonlarından etkilenip etkilenmediğinin belirlenmesi yönündedir. Çözünebilir tuzlar, bitkiler tarafından kolayca alınabilirler. Bitki bünyesine giren tuz bileşikleri çeşidine ve miktarına göre belli bir konsantrasyonu aşınca bitkiye zararlı olmaktadır. Bitki üzerine, beslenme ve metabolizmayı bozmak yoluyla zehirleyici etki yaparlar. Ayrıca toprakta tuz konsantrasyonunun artmasıyla, bitkinin topraktan su alımı güçleşmekte, toprağın yapısı bozularak bitki gelişimi yavaşlamakta ve hatta durmaktadır (Kanber vd., 1992; Güngör ve Erözel, 1994). Toprak içerisinde yeterli miktarda su bulunmasına rağmen bazı koşullar altında bitkilerin solmaya başladıkları görülmüştür. Bu durum genellikle yüksek toprak tuzluluğunun yarattığı “fizyolojik kuraklık” durumundan kaynaklanmaktadır. Fizyolojik kuraklık durumunda yüksek ozmotik basınç nedeniyle bitki kökleri topraktaki mevcut suyu alamamaktadırlar (Ayyıldız, 1990).

Türkiye’de yaklaşık 1,5 milyon hektar (ha) alanda tuzluluk ve alkalilik sorunu bulunmaktadır. Bu, sulamaya uygun arazilerin yaklaşık %32,5’ine denktir. Özellikle 601145 ha alanda tuzlu toprak koşullarında tarımsal üretim yapılmaktadır (Sönmez vd., 2018). Toprakların tuzlulaşma ve alkalileşmesini sulama, drenaj toprak özellikleri ve iklim etmenleri gibi etmenler önemli ölçüde etkilemektedir. FAO’nun tahminlerine göre, sulanan alanların yaklaşık yarısı “sessiz düşman” olan tuzluluk, alkalilik ve yüzeyde göllenme tehdidi altındadır (Kanber vd., 2005). Tuzluluk nedeniyle bitkisel üretimin ya da verimin düşmesinde bitkilerin, tuz düzeyi sürekli artan çevreye uyum gösterememeleri ana etmen olarak belirtilmiştir (Kanber vd., 1992).

Topraklarda verimliliği etkileyen diğer bir faktörde yüksek kireç içeriğidir. Toprakta yüksek kireç içeriğine bağlı olarak bitki büyümesi, gelişmesi ve veriminde önemli

düzeyde kayıplar meydana gelmektedir. Kireç miktarının artmasıyla birlikte toprak pH'sı da yükselir. Kireç içeriği yüksek olan topraklarda pH değeri 8,5'e kadar çıkar kalsiyum (Ca) katyonu yaygın durumdadır. Toprakta Ca konsantrasyonu yükseldikçe ortamdaki alınabilir P ve Fe iyonları kalsiyum ile çözünemez formda Ca bileşikleri oluşturur. Böyle topraklarda en önemli sorunlardan biri de bitki yapraklarda ortaya çıkan klorozdur (Faust, 1989). Yüksek kireç içeriğine sahip topraklarda, bitkilerde "kireç klorozu" olarak adlandırılan ve Fe noksanlığından kaynaklanan sararmalar yaygın şekilde görülmektedir. Özellikle meyve türleri genel olarak toprakta yüksek kireç içeriğine oldukça duyarlı olmakla beraber şeftali ve armut gibi türler diğer türlerden daha büyük bir hassasiyete sahiptir (Loeppert, 1986). Ülkemiz toprakları genel olarak değerlendirildiğinde kireç içeriği bakımından zengindir. Türkiye topraklarının yaklaşık %27'si az kireçli geri kalan kısmı ise %19 kireçli, %24 orta kireçli, %16 fazla kireçli ve %14 çok fazla kireçli topraklar grubunda yer alırlar. Buna göre topraklarımızın kireç kapsamı genelde yüksektir (Eyüpoğlu, 1999).

Yukarıda belirtilen durumlar göz önüne alındığında, olumsuz toprak özelliklerinin ıslah edilmesi amacıyla uygulamaların yapılması gerekmektedir. Bu noktada toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin düzenlenmesi amacıyla toprak organik madde içeriğinin yükseltilmesi yönünde uygulamaların yapılması önerilmektedir. Toprakların organik madde içeriğini arttırmak amacıyla çeşitli şekillerde ortaya çıkan organik karbon (C) kaynaklarının topraklara uygulanması gerekmektedir. Ancak ülkemiz iklim ve toprak koşulları (sıcaklık, yağış ve mineralizasyon vb.) toprakların organik madde içerikleri istenilen düzeye getirilememektedir. Ancak toprak organik madde düzeylerinin belli bir oranda tutulabilmesi için ortaya çıkan organik atıkların tarımsal amaçlı toprak düzenlemek için uygun miktarlarda topraklara (özellikle yüksek kireç içeriğine sahip ve tuzluluk sorunu bulunan topraklar) uygulanması gerekmektedir.

Karbonca zengin organik bir materyal olan biyokömür, enerji amaçlı kullanımının yanı sıra, toprak verimliliğinin ve toprakların organik karbon içeriğinin iyileştirilmesi, ağır metallerin su ve topraktan uzaklaştırılması amacıyla yönelik olarak kullanılabilecek bir materyal olma özelliğini taşıdığı kimi araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Ni vd., 2006; Lehmann, 2007; Winsley, 2007; Liffé, 2009).

“Biyokömür” kelimesini odun kömüründen ayıran en önemli özellik, odun kömürü sadece yakıt olarak değerlendirilirken biyokömür ise atmosferik karbonu toprağa bağlayan, gaz emisyonlarını azaltan ve toprakları düzenleyen bir materyal olarak değerlendirilmesidir (Çağlar, 2004; Lehmann, 2007; Downie vd., 2009; Chan ve Xu, 2009).

Yakın bir zamanda Avrupa Komisyonu, biyokömürü doğal özellikleri sayesinde belirli bir alanda toprağa uygulandığında aralıksız bir biçimde karbon ayırımında bulunup eş zamanlı olarak da toprak fonksiyonlarını geliştirirken (mevcut ve gelecekte yapılacak yönetimler altında) insan ve hayvan sağlığının yanı sıra kısa ve uzun vadede daha geniş çevre üzerinde zararlı etkileri yok edeceği hususunda bilimsel bir görüş birliğine varılan odun kömürü (sıfır ya da düşük oksijenli ortamda piroliz edilen biyokütle) olarak tanımlamıştır (Verheijen vd., 2010).

Basit bir ifade ile atıkların oksijensiz ortamda yüksek sıcaklığa maruz kalarak yakılması işlemine piroliz bu işlem sonucu ortaya çıkan ürüne ise biyokömür denilmektedir. Biyokömürün toprağa uygulanmasındaki temel amaç; yüksek organik karbon içerikli, çok uzun sürede çözünen, çok ince yapılı, organik kaynaklı özelliklerinden faydalanılarak tarımda gereksiz suni gübre kullanımını azaltmak ve ürünlerdeki verimi artırmaktır.

Biyokömürün kömürleşen karbon dışındaki her şeyin gazlaşmasıyla ortaya çıkan gözenekli yapısı ve bu yapının duvarlarını meydana getiren uzun karbon zincirlerinin varlığı; biyokömürün bir toprak düzenleyici ve iyileştirici olarak gündeme gelmesinin yanı sıra iklim değişikliği ile mücadelede de önemli bir karbon bağlama aracı olarak tanımlanması sağlamıştır (Ladygina ve Rineau, 2013; Orgiazzi vd., 2016; TWB, 2012). Biyokömür, üretildiği organik maddeden 10 ile 1000 kat daha uzun süre toprağın içinde ayrıışmadan kalabilmesi, gözenekli ve boşluklu yapısı, negatif yüklü yüzeyleri ve karboksil, hidroksil, fenoksil ve karbonil gibi fonksiyonel gruplara sahip olmasından dolayı toprağa uygulandığında katyon değişim kapasitesi ve bu özellikler açısından iyileştirdiği bildirilmiştir (Nartey ve Zhao, 2014; TWB, 2012). Ağır metaller ile kirlenmiş toprakların ıslahında biyokömürün adsorpsiyon ve immobilizasyonu sayesinde metallerin yayılabilirliği ve hareketliliği azalmakta ve metallerin olumsuz etkileri önlenmiş olmaktadır (Chen vd., 2011, Regmi vd., 2012).

Yukarıda belirtilen sebepler ve biyokömürün toprak özellikleri üzerine etkileri dikkate alındığında, organik kökenli biyokütlelerden elde edilecek biyokömür sorunlu toprakların ıslahı noktasında tarımsal katkı olmasını düşündürmektedir.

Biyokömürün üretildiği koşullar ve kullanılan organik madenin türü, toprak ıslahında büyük oranda etkili olduğu bildirilmiştir (McClellan vd., 2007; McLaughlin vd., 2009). Çalışmalarda, biyokömürün toprağa karıştırıldıktan sonra zaman ilerledikçe bitki gelişimini iyileştirici yönde önemli etkiler yaptığı ifade edilmiştir (Cheng vd., 2006; Major vd., 2010). Toprağa biyokömür uygulanması; gübre ihtiyacında yaklaşık % 10 oranında azalma, toprak asitliğini giderme, toprak reaksiyonunu artırma, alüminyum toksitesini azaltma, yararlı mantar hiflerini artırarak, toprağın biyolojik yapısını düzenleme, topraktaki mevcut besinleri tutma (NPK), C mineralizasyonunu artırma, azot fiksasyonunu dengeleme ve kation değişim kapasitesini % 50 oranında artırma ve toprak geçirgenliğini yükseltme gibi hem fiziksel, kimyasal hem de biyolojik özellikler üzerine uzun vadede etkisi olduğu belirtilmiştir (Jeffery vd., 2011).

Tarımsal atıkların gazlaştırılması ile gerek atık sorununun ortadan kalkması gerekse oluşan biyokömürün gübre/toprak düzenleyici ve mikrobiyal aktivite artırıcı olarak kullanılması çevreye uyumlu ve üretim maliyeti düşük bir sistemin ülkemizde de toprak ıslahına katkı sağlayacağını göstermektedir. Başta 10. Kalkınma Planı olmak üzere iklim değişikliği, tarımsal kuraklık, çölleşmeyle mücadele, biyolojik çeşitlilik ulusal strateji belgeleri ve eylem planlarında toprakların karbon kapsamlarının artırılmasının önemine yer verilmektedir (Namlı vd., 2017).

Tez projesi kapsamında yapılan literatür çalışmalarında biyokömürün toprak verimliliğini olumsuz yönde etkileyen tuzlu ve yüksek kireç koşullarında kullanım ve etkinliği ile ilgili çalışmaların yetersiz düzeyde olduğu görülmüştür. Bu nedenle doktora tez projesinde belirtilen konularda çalışmaların yapılarak biyokömürün özellikle verimlilik yönünden sorunlu toprakların ıslahı amacıyla kullanımına yönelik verilerin elde edilmesine çalışılmıştır. Çalışma kapsamında biyokömür, solucan gübresi ve humik madde uygulamalarının tuzlu ve kireçli koşullarda bitki gelişimi ve toprak özellikleri üzerine etkileri kimyasal gübre (NPK) uygulamaları ile karşılaştırmalı olarak belirlenmesini kapsamaktadır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Kaynak Araştırması

Sürdürülebilir tarımsal üretimde en önemli faktör, toprakların bozulmasına neden olmadan toprakların üretkenliğini artırarak, verimlilik parametrelerinin kalitesinin devamlılığının sağlanmasıdır. Bu da ancak tarımsal üretim yapılan alanlarda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin değişimine neden olan etkin süreçlerin belirlenmesi ve gerekli tedbirlerin alınması ile gerçekleştirilebilmektedir (Akça vd., 2017). Bu kapsamda toprak özellikleri ve bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyen özelliklerin de ıslahı yönünde çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Dünya genelinde tarım yapılan alanların %20'sinin, 2050 yılına kadar ise %50'sinin tuzluluk sorunu ile karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir (Kang vd., 2009). Tuzluluk, dünyada olduğu gibi ülkemizde de bitki çeşitliliğini ve tarımsal üretkenliği azaltan önemli sorunlardan birisidir. Türkiye’de yaklaşık 1,5 milyon hektarda tuzluluk ve alkalilik sorunu bulunmaktadır. Bu, sulamaya uygun arazilerin yaklaşık %32,5'ine denktir. Özellikle 601145 ha alanda tuzlu toprak koşullarında tarımsal üretim yapılmaktadır (Sönmez vd., 2018). Toprakların tuzlulaşma ve alkalileşmesini sulama, drenaj toprak özellikleri ve iklimsel etmenler önemli ölçüde etkilemektedir. FAO’nun tahminlerine göre, sulanan alanların yaklaşık yarısı “sessiz düşman” olan tuzluluk, alkalilik ve yüzeyde göllenme tehdidi altındadır (Kanber vd., 2005). Tuzluluk nedeniyle bitkisel üretimin ya da verimin düşmesinde bitkilerin, tuz düzeyi sürekli artan çevreye uyum gösterememeleri ana etmen olarak belirtilmiştir (Kanber vd., 1992).

Toprak verimliliğini etkileyen diğer bir faktörde yüksek kireç içeriğidir. Toprakta yüksek kireç içeriğine bağlı olarak bitki büyümesi, gelişmesi ve veriminde önemli düzeyde kayıplar meydana gelmektedir. Kireç miktarının artmasıyla birlikte toprak pH’sı da yükselir ve bu topraklarda pH değeri 8,5’e kadar çıkar, Ca katyonu yaygın duruma gelir. Toprakta Ca konsantrasyonu yükseldikçe ortamdaki alınabilir fosfor ve demir iyonları kalsiyum ile çözünemez formda Ca bileşikleri oluşturur. Böyle topraklarda en önemli sorunlardan biri de bitki yapraklarda ortaya çıkan klorozdur (Faust, 1989). Yüksek kireç içeriğine sahip topraklarda, bitkilerde “kireç klorozu” olarak adlandırılan ve demir noksanlığından kaynaklanan sararmalar yaygın şekilde görülmektedir. Özellikle meyve türleri genel olarak toprakta yüksek kireç içeriğine oldukça duyarlı olmakla beraber

şeftali ve armut gibi türler diğer türlerden daha büyük bir hassasiyete sahiptir (Loeppert, 1986). Ülkemiz toprakları genel olarak değerlendirildiğinde kireç içeriği bakımından zengindir. Türkiye topraklarının yaklaşık % 27'si az kireçli geri kalan kısmı ise % 19 kireçli, % 24 orta kireçli, % 16 fazla kireçli ve % 14 çok fazla kireçli topraklar sınıfında yer alırlar (Eyüpoğlu, 1999).

Ülkemiz iklim ve toprak koşulları (sıcaklık, yağış ve mineralizasyon vb.) toprakların organik madde içerikleri istenilen düzeye getirilememektedir. Ancak toprak organik madde düzeylerinin belli bir oranda tutulabilmesi için ortaya çıkan özellikle bitkisel ve hayvansal kökenli organik atıkların farklı işlemlerden geçirilmesi veya yeni ürünlerin elde edilerek bunların topraklara uygulanması ile toprak özelliklerinin iyileştirilmesi uygun miktarlarda topraklara (özellikle yüksek kireç içeriğine sahip ve tuzluluk sorunu bulunan topraklar) uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla son yıllarda kompost, yanmış hayvan gübresi, leonardit, solucan gübresi ve biyokömür gibi materyallerin topraklara uygulandığı görülmüştür (Liu vd., 2014)

## **2.2. Biyokömür ve Farklı Organik Materyal Uygulanan Tuzlu Topraklar ile İlgili Yapılan Çalışmalar**

Özellikle son yıllarda biyokömür eldesi ve özelliklerinin belirlenmesi ve kullanım alanlarının geliştirilmesi noktasında birçok görüş ortaya atılmaktadır. Araştırmacılar organik kökenli atıklardan piroliz uygulaması ile biyokömür eldesi ve bu ürünün topraklara uygulanması ile ekonomik ve çevresel çok yönlü faydalar sağlanacağını belirtmektedir.

Küresel ısınmanın en önemli sebeplerinde olan karbon kaynaklarının aynı zamanda toprakların verimlilik göstergesinin bir kriteri olarak bilinmesi ve Amazon bölgesinde terra preta olarak isimlendirilen toprakların belirlenmesinden sonra topraklara karbon ilavesinin ve kazandırılmasının önemi daha da artmıştır (Kammann vd., 2017).

Bu kapsamda çeşitli piroliz uygulamaları ile organik kökenli kaynakların ve atıkların biyokömüre (biochar) dönüştürülerek tarımsal amaçlı topraklara uygulanması giderek yaygınlaşmaktadır (Ni vd., 2006; Lehman, 2007; Akgül, 2017).

Elde edilen biyokömürlerin topraklara uygulaması ile tarımsal faaliyetlerden kaynaklı atmosfere karbondioksit salınımının önemli oranlarda azaltılabileceği belirtilmektedir (Sohi vd., 2010).

Toprak özelliklerini düzenlemek amacı ile uygulanan diğer organik materyallere oranla biyokömür daha uzun süreli toprakta kararlı (stabil) kalmaktadır (Krull vd., 2006). Biyokömürün düşük azot ve yüksek karbon içerdiği, mikroorganizmalarca ayrışmaya direnç gösterdiği ve uygulanan alanlarda uzun süre kalabildiği Ortaş (2018) tarafından bildirilmiştir.

Biyokömür gözenekli yapısı, geniş yüzey alana sahip olması, su tutma ve katyon değişim kapasitesinin yüksek olmasını nedeniyle toprakta kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), potasyum (K) gibi besin elementlerini yarıyışlılığını artırmakta, aromatik ile humik maddelerce zengin olması ile diğer organik gübrelere göre kullanımını ön plana çıkarmaktadır (Lorenz ve Lal, 2014). Ayrıca biyokömür eldesi için kullanılan organik materyallerin selüloz, hemiselüloz, lignin ve uçucu bileşiklerin farklılığından dolayı bunlardan elde edilen biyokömürlerin yüzey özellikleri, yüzey alanları veya gözenekli olması gibi önemli fizikokimyasal özellikleri farklılık gösterebilmektedir (Lei ve Zhang, 2013).

Bu farklılığından dolayı biyokömürün birçok farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Özellikle toprak iyileştiricisi, organik gübre, hayvan yemlerinde katkı maddesi, absorban olarak, enerji depolama ortamı, bazı reaksiyonlarda katalizör, binaların yapımında yapı malzemesi katkısı ve sulardaki ağır metaller ile organik kirleticilerin giderilmesinde adsorbent olarak faydalanılması gibi birçok alanda kullanıldığı bildirilmektedir (Akgül, 2017).

Toprak özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılması noktasında öncelikle biyokömürün sahip olduğu alkali karakter asit reaksiyonlu toprakların pH'sını yükselterek toprak verimliliğine olumlu etki yaptığı belirtilmiştir (Chintala vd., 2014). Toprak pH'sında gözlenen bu artışın ise P, K ile Ca ve Mg gibi elementlerinin alınımında artış sağladığı bildirilmiştir (Atkinson vd., 2006; Major vd., 2010). Alkali pH'sı olan topraklarda biyokömürün uygulama dozunun fazla olması durumunda pH'da gözlenen artışa bağlı olarak mikro element alınımının azalmasına ve soya fasulyesinin

veriminde %37-71 oranında azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Kishimoto ve Sugiura, 1985). Biyokömür uygulanmamış topraklarda uygulanmış topraklara göre azotdioksitin %40-51 oranında daha fazla atmosfere salındığı bildirilmiştir (Sohi vd., 2009). Bu durumun biyokömür uygulaması ile amonyum azotunun daha fazla adsorbe olması ve aynı zamanda nitrat azotunun denitrifikasyona uğramasını azaltmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Bai vd., 2010; Sohi vd., 2010). Biyokömür uygulanmış topraklarda yetişen bitkilerin azotlu gübrelerden daha fazla yararlanabildiği belirlenmiştir. Biyokömür uygulamaları ile yapılan çalışmalarda bitki veriminin belirli oranlarda artış gösterdiği belirlenmiştir (Chan vd., 2007; Rehman ve Razzaq, 2017; Sokchea vd., 2013; Glaser vd., 2014; Baronti vd., 2010; Vaccari vd., 2011). Bazı çalışmalarda ise biyokömür uygulamalarının verim üzerine olumsuz etkisi olduğu da belirtilmiştir (Gaskin vd., 2010; Tammeorg vd., 2014; Schmidt vd., 2014).

Campos vd. (2021), toprak özelliklerini ıslah etmek amacıyla üretim bölgesinde yaygın bir şekilde bulunan pirinç kabuğu, zeytin çekirdeği ve budama kalıntılarına uygulanan farklı piroliz sıcaklıklarının biyokömürlerin fiziksel, kimyasal ve yüzey özellikleri üzerine etkilerini belirlemişlerdir (Çizelge 2.1). Genel olarak, element bileşimi ve kül içeriğinin hammadde olarak kullanılan organik atık türüne bağlı olduğu belirtilmiştir. Çalışmada sıcaklık farklılıklarına bağlı olarak elde edilen biyokömürler toprak iyileştirici olarak kullanımları için yeterli pH, yüksek su tutma kapasitesi veya yüksek gözeneklilik gibi fiziksel ve kimyasal özellikler açısından değerlendirilmiştir.

Karbon oranı yüksek olan biyokömür toprakta yaşayan özellikle heterotrof mikroorganizmalara karbon kaynağı olarak destek verebilecektir. Bu özelliği nedeniyle de karbon kaynakları heterotrof mikroorganizmaların mineralizasyon ile organik formdaki bitki besin elementlerinin inorganik forma yani bitkilerin alabileceği forma dönüştürülerek toprak verimliliği için katkıda bulunacaktır. Geniş C/N oranı nedeniyle organik maddelerin zor ayrışmasını önlemek açısından de gerekli ölçüde topraklara mineral madde verilmesi, C/N oranının dengelenmesi açısından son derece önem taşımaktadır.

**Çizelge 2.1.** Hammadde bazlı elde edilen biyokömürlerin fiziksel, kimyasal özellikleri ve temel içerikleri (Campos vd., 2021)

| Hammade                         | Sıcaklık;<br>°C | Zaman, h | Piroliz<br>verimi,% | pH   | WHC,% | VM,% | Kül,% | Fc,% | C   | H    | N    | O     | H/Cat | O/Cat | C/N |
|---------------------------------|-----------------|----------|---------------------|------|-------|------|-------|------|-----|------|------|-------|-------|-------|-----|
| Pirinç Kabuğu                   | -               | -        | -                   | 7,20 | 92    | 84,7 | 13,0  | 2,3  | 384 | 52,7 | 3,1  | 430,8 | 1,7   | 0,84  | 125 |
|                                 | 350             | 0,5      | 94,4                | 5,10 | 90    | 83,4 | 14,5  | 2,1  | 397 | 51,2 | 2,6  | 403,7 | 1,5   | 0,76  | 153 |
|                                 | 400             | 1        | 46,5                | 9,10 | 121   | 51,4 | 27,9  | 20,7 | 501 | 32,4 | 5,2  | 182,5 | 0,8   | 0,27  | 96  |
|                                 | 400             | 4        | 41,8                | 9,60 | 449   | 45,8 | 31,8  | 22,4 | 511 | 26,3 | 5,1  | 139,7 | 0,6   | 0,21  | 100 |
|                                 | 500             | 0,5      | 54,9                | 6,30 | 144   | 57,2 | 27,1  | 15,7 | 494 | 34,1 | 4,9  | 195,5 | 0,8   | 0,30  | 102 |
|                                 | 500             | 1        | 40,3                | 10,5 | 438   | 46,0 | 33,1  | 20,9 | 518 | 22,6 | 6,2  | 123,0 | 0,5   | 0,18  | 83  |
|                                 | 500             | 2        | 38,2                | 10,3 | 427   | 50,2 | 35,4  | 14,4 | 524 | 15,8 | 7,1  | 99,4  | 0,4   | 0,14  | 74  |
|                                 | 500             | 4        | 37,7                | 10,3 | 450   | 52,2 | 35,7  | 12,1 | 522 | 12,8 | 5,7  | 130,1 | 0,3   | 0,15  | 91  |
|                                 | 600             | 1        | 47,5                | 11,2 | 549   | 39,8 | 38,5  | 21,7 | 517 | 13,8 | 5,9  | 78,3  | 0,3   | 0,11  | 88  |
| Zeytin posası                   | -               | -        | -                   | 6,6  | 25    | 97,4 | 0     | 2,6  | 478 | 58,6 | 1,7  | 461,5 | 1,5   | 0,72  | 285 |
|                                 | 350             | 0,5      | 97,3                | 5,5  | 20    | 95,1 | 0,3   | 4,6  | 485 | 57,5 | 1,6  | 453,5 | 1,4   | 0,70  | 311 |
|                                 | 400             | 1        | 35,0                | 7,2  | 28    | 51,9 | 1,4   | 46,7 | 775 | 42,2 | 3,3  | 165,8 | 0,7   | 0,16  | 237 |
|                                 | 400             | 4        | 32,2                | 8,0  | 30    | 46,5 | 1,1   | 49,3 | 841 | 39,2 | 3,9  | 105,0 | 0,6   | 0,09  | 215 |
|                                 | 500             | 0,5      | 62,1                | 6,0  | 15    | 81,5 | 0,3   | 18,2 | 607 | 54,8 | 2,1  | 333,3 | 1,1   | 0,41  | 295 |
|                                 | 500             | 1        | 31,0                | 8,5  | 30    | 50,4 | 0,8   | 48,8 | 838 | 35,1 | 3,6  | 114,9 | 0,5   | 0,10  | 233 |
|                                 | 500             | 2        | 28,3                | 3,7  | 22    | 45,4 | 0,4   | 54,2 | 851 | 29,0 | 3,8  | 111,8 | 0,4   | 0,10  | 223 |
|                                 | 500             | 4        | 28,0                | 9,1  | 60    | 42,6 | 0,9   | 56,5 | 839 | 37,2 | 3,7  | 110,8 | 0,5   | 0,10  | 225 |
|                                 | 600             | 1        | 29,7                | 8,3  | 70    | 47,1 | 0,9   | 52,0 | 818 | 29,4 | 3,1  | 139,8 | 0,4   | 0,13  | 264 |
| Zeytin dalları ve<br>yaprakları | -               | -        | -                   | 6,80 | 24    | 92,2 | 4,5   | 3,3  | 478 | 61,9 | 9,0  | 406,6 | 1,6   | 0,64  | 53  |
|                                 | 350             | 0,5      | 87,1                | 6,30 | 42    | 90,8 | 5,5   | 3,7  | 534 | 65,0 | 11,7 | 334,3 | 1,5   | 0,47  | 46  |
|                                 | 400             | 1        | 44,8                | 10,7 | 28    | 64,4 | 10,2  | 25,4 | 670 | 51,5 | 12,9 | 163,3 | 0,9   | 0,18  | 52  |
|                                 | 400             | 4        | 36,6                | 10,6 | 24    | 50,4 | 13,5  | 36,1 | 620 | 34,0 | 16,3 | 195,5 | 0,7   | 0,24  | 38  |
|                                 | 500             | 0,5      | 52,6                | 9,80 | 34    | 76,1 | 7,6   | 16,3 | 630 | 59,8 | 14,0 | 219,8 | 1,1   | 0,26  | 45  |
|                                 | 500             | 1        | 32,2                | 10,3 | 147   | 48,0 | 17,8  | 34,2 | 605 | 25,6 | 15,7 | 175,8 | 0,5   | 0,22  | 38  |
|                                 | 500             | 2        | 29,8                | 10,1 | 105   | 64,7 | 12,0  | 23,2 | 589 | 17,7 | 14,4 | 258,6 | 0,4   | 0,33  | 41  |
|                                 | 500             | 4        | 30,8                | 10,1 | 193   | 39,9 | 19,8  | 40,3 | 587 | 13,8 | 13,7 | 187,5 | 0,3   | 0,24  | 43  |
|                                 | 600             | 1        | 29,5                | 12,0 | 184   | 46,1 | 15,6  | 38,2 | 627 | 19,3 | 13,9 | 182,9 | 0,4   | 0,22  | 45  |

Karbon oranı yüksek olan biyokömür toprakta yaşayan özellikle heterotrof mikroorganizmalara karbon kaynağı olarak destek verebilecektir. Bu özelliği nedeniyle de karbon kaynakları heterotrof mikroorganizmaların mineralizasyon ile organik formdaki bitki besin elementlerinin inorganik forma yani bitkilerin alabileceği forma dönüştürülerek toprak verimliliği için katkıda bulunacaktır. Geniş C/N oranı nedeniyle organik maddelerin zor ayrışmasını önlemek açısından de gerekli ölçüde topraklara mineral madde verilmesi, C/N oranının dengelenmesi açısından son derece önem taşımaktadır.

Ülkemiz yüzölçümünün yarısından fazlasını tarım ve orman alanları ile kaplı olması (%58) ve buna bağlı olarak açığa çıkan bitkisel ve hayvansal atıkların toplam olarak 109,4 milyon ton olduğu (Sümer vd., 2016) düşünüldüğünde biyokömüre dönüştürülecek önemli miktarda organik karbon kaynağının mevcut olduğu söylenebilir.

Kireçli topraklara kompost, solucan gübresi ve biyokömür uygulamasının biyolojik aktivite üzerine olumlu etki yaptığı Cardelli, vd. (2017) tarafından bildirilmiştir.

Raza vd. (2021), toprak verimliliği ve insan sağlığının iyileştirilmesi için sürdürülebilir tarımsal ekosistemin sağlanması amacıyla yürüttükleri çalışmalarında; farklı organik uygulamaların (kompost, solucan gübresi, biyokömür, organik gübre ve kolza tohumu

küspesi) mısır bitkisinin gelişimi ve kireçli toprakta besin alımı üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu sebeple farklı kaynaklardan elde edilen kompost, solucan gübreleri, farklı biyokömürler ve kimyasal gübre ve kontrol uygulamalarını da içeren 11 farklı uygulamayı ele almışlardır. En yüksek verim parametresi kolza küspesi ve solucan gübresi uygulamalarında belirlenmiştir. Solucan gübresi uygulamaları ise besin elementi yarayışlılığını olumlu yönde etkilemiştir.

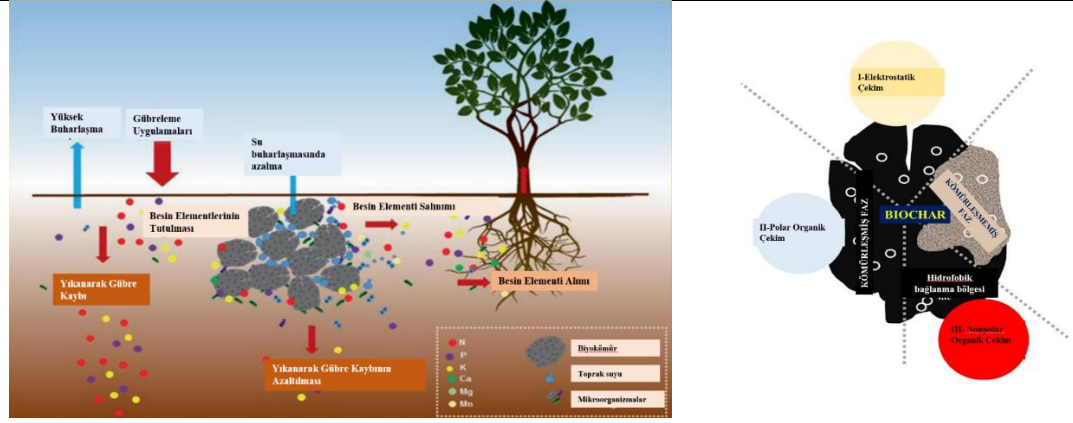
Güneş vd. (2015), farklı sıcaklık uygulanan tavuk gübresinden elde olunan biyokömürün özellikleri ile bitki gelişimi (marul ve mısır) üzerine etkilerini belirledikleri çalışmada; her iki bitkide kuru ağırlığın kontrole göre artış gösterdiğini, P ve K içeriklerinin arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar marul bitkisinde Ca, Mg, demir (Fe), mangan (Mn) ve bor (B) içeriğinde azalma ve mısır bitkisinde ise Zn içeriğinin artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Çalışma sonuçları ile ilgili olarak araştırmacılar özellikle piroliz sıcaklığının biyokömür özelliklerini etkilediğini, düşük sıcaklık uygulamaları ile elde edilen biyokömürün tarımsal açıdan daha verimli kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Özellikle piroliz sıcaklığının biyokömürlerin suda çözünebilir besin elementi miktarı üzerine etkili olduğunu bildirmişlerdir.

İnal vd. (2015), kireçli toprak koşullarında tavuk atığından elde ettikleri biyokömürün fasulye bitkisi gelişimi ve toprak özellikleri üzerine etkisini tavuk gübresi (0-5-10-20 g kg<sup>-1</sup>) ve biyokömür (0-2.5-5-10-20 g kg<sup>-1</sup>) uygulamaları ile belirlemişlerdir. Yapılan inkübasyon çalışmasında tavuk gübresi ve biyokömür uygulamaları ile toprak pH değeri ve alınabilir Fe miktarı azalırken, alınabilir P, çinko (Zn), Mn ve bakır (Cu) ile değişebilir katyon (K, Ca ve Mg) miktarının arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar tavuk gübresi ve biyokömür uygulamaları fasulye ve mısır bitkisinde gelişim ve besin elementi içeriğinde (N, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu ve Mn) artışa neden olurken Ca ve Mg içeriğinde azalmalar görüldüğünü bildirmişlerdir.

Araştırmacılar organik kökenli uygulamaların toprak tuzluluğu sorununu çözme de bu koşullarda yetiştiricilik yapılması için gerekli olan toprak kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin iyileştirilmesi ile bitki gelişiminin iyileştirilebileceğini belirtmişlerdir. Organik kökenli uygulamaların tuzlu koşullarda toprak özelliklerini geliştirmesi ve bitki beslenmesini teşvik etmesinin özellikle bitki turgorunu ve ozmotik koşulları dengeleme açısından önemli olduğu Munns vd. (2020) tarafından da belirtilmiştir.

Olego vd. (2022), kireçli toprak koşullarında bağ tarımında leonardit ve leonardit ile birlikte uygulanan Fe bileşiğinin ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) toprak özelliği ve üzümlerin verim parametreleri üzerine etkilerini belirledikleri çalışmalarında leonardit uygulamasının özellikle toprak organik madde içeriği ve besin elementi yararlanılabilirliğini arttırdığını bildirmişlerdir. Özellikle kireçli toprak koşullarında toprak pH değeri üzerine ve bitki kök gelişiminin artışlarının dikkate değer olduğunu da belirtmişlerdir. Bazı araştırmacılar, leonarditin kireçli koşullarda uygulanması ile humik ve fulvik asitin toprak özelliklerini düzenleyici özelliği ve bitki gelişim düzenleyici etkisi ile verim ve kalite üzerine etkili olduğunu bildirmişlerdir (Della Lucia vd., 2021; Olego vd., 2015; Akimbekov vd., 2020). Kimi araştırmacılar ise leonardit uygulaması ile toprak mikro element yararlanılabilirliği, mikroorganizma faaliyetlerindeki artış, toprak agregat stabilitesindeki iyileşme, kuraklık ve tuz stresine toleransında artış sağladığını belirtmişlerdir (Moreno vd., 2017; Wang vd., 2021)

Gunarathne vd. (2017), biyokömürün, son zamanlarda artan küresel bir endişe olarak ortaya çıkan besin elementince fakir toprakların yönetimi açısından alternatif bir seçenek haline geldiğini belirtmiştir. Biyokömür biyokütleden üretildiği için karbon içeriği ve bazı makro ve mikro besin elementlerini içerdiğini belirtmiştir. Ek olarak, biyokömürün fiziksel mikro poroz yapısı, toprak çözeltisinde mineralize olan besin elementlerinin bitki kökleri tarafından alınma mekanizmasını ve toprakta mikrororganizma faaliyetlerini belirleyen önemli ölçüde etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Biyokömürün, verim artışı ve toprak kalitesi açısından bir toprak ıslah maddesi olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir (Şekil 2.1).



**Şekil 2. 1.** Biyokömürün bitki besin elementi alımı üzerine etkisi (Gunaratne vd., 2017; Hou vd., 2022)

Çalışma kapsamında biyokömürün topraklara uygulanması ile ilgili olarak; biyokömür besin elementi içerdiği için bitki besin elementi alımı üzerine direkt olarak etki ettiği, dolaylı etkinin ise besin elementi adsorpsiyonu şeklinde (Lehmann vd., 2003), toprak pH değerini artırdığı (Rondon vd., 2007), katyon değişim kapasitesinde artış (Liang vd. 2006); fiziksel özelliklerin düzenlenmesi (Chan vd., 2008), su tutma kapasitesinde artış (Laird vd., 2010), toprak mikroorganizma sayısında artış (Pietikäinen vd., 2000), besin elementi yıkanmasının engellenmesi ve gübre kullanım etkinliğinin artması (Lehmann vd., 2003) şeklinde etkilerinin olduğu bildirilmiştir

Saygan ve Aydemir, (2016), antepfıstığı dış kabuğu biyokömürü uygulamalarının, toprağın bazı kimyasal özellikleri üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla, Harran Ovası İkizce serisi toprağında 180 günlük bir inkübasyon çalışması yürütmüşlerdir. Biyokömür materyali (%) 0-0,2-0,4-0,6-1,2 ve 2,4 oranında uygulanmış, inkübasyon çalışmasında 15, 60, 120 ve 180. günlerde örnekleme yapılmıştır. Çalışmada; artan doza bağlı incelenen parametre değerinde artış olduğu görülmüştür. Örnekleme zamanı bakımından ise organik madde dışındaki tüm sonuçlarda artan süreyle değerlerin artış gösterdiği belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında, biyokömür materyalinin çalışılan topraklarda, organik toprak düzenleyicisi olarak kullanılabilecek bir potansiyele sahip olduğu değerlendirilmiştir.

Namlı vd. (2017) tarafından tavuk altlığı ve fındık kabuğu biyokömürü uygulamalarının, toprağın bazı kimyasal özellikleri ve buğday verim parametreleri üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla, Ankara İli Haymana ilçesinde bir yıl süreli tarla denemesi

kurulmuştur. Bu kapsamda, biyokömür materyalleri tek başlarına 150 ve 300 kg da<sup>-1</sup> dozlarında ve kimyasal gübrelerle birlikte uygulanmıştır. Hasat sonrası alınan toprak örneklerinde yapılan analizlere göre, toprağa uygulanan biyokömürler, toprağın organik madde, azot, kireç, pH, EC, iz element ve ağır metal kapsamı üzerinde önemli etkide bulunmamış, ancak P, K, Ca ve Mg miktarlarını önemli derecede artırmıştır. Tavuk altlığı biyokömürünün fındikkabuğu biyokömürüne oranla daha etkili olmuş, biyokömürlerin tek başlarına uygulanmasından ziyade DAP gübresiyle birlikte uygulanması durumunda verim, bitki boyu ve başaklarda tane sayısı üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Toprağa uygulanan biyokömürler danenin P, K, Ca ve Mg kapsamına etki etmiş ve danede en yüksek element içerikleri ise biyokömürün kimyasal gübreyle birlikte uygulandığında elde edildiği bildirilmiştir.

Pituello vd. (2015), beş farklı organik materyalin uygulanan piroliz sıcaklığına bağlı olarak özelliklerinde meydana gelen değişimleri ve topraklara uygulanabilme potansiyellerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında kanalizasyon arıtma çamuru, belediye organik atıkları, sığır gübresi, silaj çürütülmüş atıklar, kümes hayvanı çöpü ve bağ budama artıkları kullanılmıştır. Çalışmanın deneysel kısmında FT-IR, SEM, hiperspektral geliştirilmiş karanlık alan mikroskobu kullanılmıştır. Biyokömürün mikro boşluk yapısı, CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> adsorpsiyon kapasiteleri araştırılmıştır. Ayrıca spesifik yoğunlukta parametresi helyum piknometresi ile tesbit edilmiştir. Uygulanan sıcaklığa bağlı olarak kimyasal, yapısal ve morfolojik farklılıklar belirlenmiştir. Uygulanan sıcaklığa bağlı olarak özgül yoğunluk ve yüzey alanı değerlerinde artış göstermiştir. Araştırmacılar topraklara uygulanabilecek biyokömürün belirlenebilmesi için özel sıcaklık ve organik materyal kaynakları üzerinde çalışılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Moradi vd. (2019), bağ budama atıklarından elde edilen biyokömür ve zenginleştirilmiş olarak tanımlanan (kaya fosfat ve ahır gübresi) biyokömürün etkinliğini tuzlu toprak koşullarında belirlemeye çalışmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; toprak pH'sı, EC değeri, organik C, toplam N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cu, solunum ve nitrifikasyon bakteri aktivitesi üzerine önemli etki yaptığını belirlemişlerdir. Ancak pH değerinde azalma yanında, P, Fe ve Zn miktarında artış gözlenmiştir. Her iki biyokömür uygulaması da toprak Na içeriğinde azalmalara neden olmuştur. Araştırmacılar bu etkiyi biyokömürün

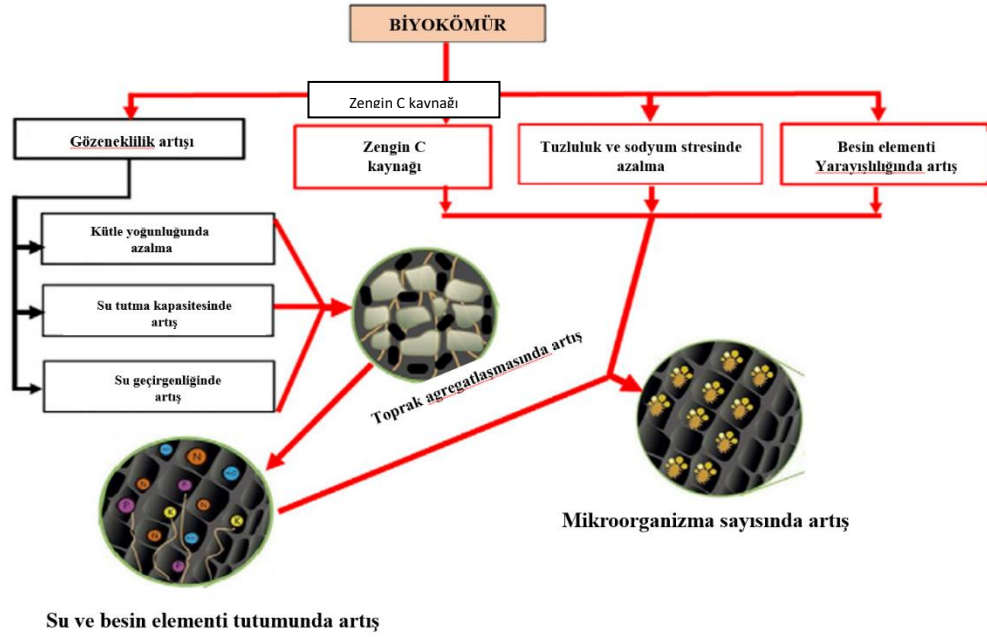
yüksek Na absorpsiyon kapasitesi ile açıklamış ve tuzlu toprakların ıslahında biyokömürün kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Nguyen vd. (2021), biyokömürün tuzlu koşullarda Na absorpsiyon ve EC değerini azaltma potansiyeli ile ilgili yaptıkları çalışmada farklı sıcaklık uygulayarak elde edilen biyokömürün piroliz sıcaklığı arttıkça Na adsorpsiyon kapasitesi ve EC değerini azaltma yönünde davranış gösterdiğini bildirmişleridir. Na adsorpsiyonundaki azalma K miktarı ile ters ilişkili olarak açıklanmıştır. Adsorpsiyon mekanizmasının ise fiziksel olarak gerçekleştiğini belirlemişlerdir. EC değeri azalırken K/N oranı artış göstermiştir

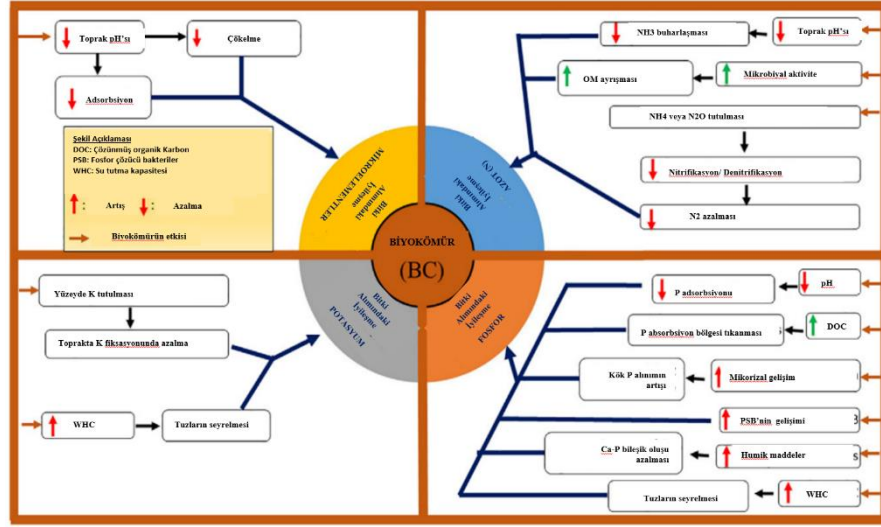
Abdullaeva, (2014), alkali ve tuzlu toprakların ve yönetiminin, kurak ve yarı kurak bölgelerde olduğu gibi dünyanın diğer bölgelerinde de tarım arazilerinde önemli bir sorun olduğunu belirtmiş ve tuzlu ve alkali toprak verimliliğini korumak için, biyokömür gibi organik düzenleyicilerin etkilerinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Elma ağacı budama atıklarından 450 °C’de 4 saat süre ile piroliz işlemi ile elde ettikleri biyokömürü artan düzeylerde uygulamışlardır. 8 ay süre sonunda toprakta meydana gelen değişimleri belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre; artan biyokömür uygulama oranı ile toplam C içeriği ve OM içeriğinde önemli bir artış göstermiştir. C/N oranı 25 ve 30 g/kg uygulamalarında artmıştır. Bununla birlikte, su tutma kütle yoğunluğu ve KDK, çalışma süresi boyunca biyokömür uygulaması ile meydana gelen artışlar önemli bulunmamıştır. Elde edilen tüm sonuçlar, elma odunu biyokömürünün toprak C ve OM miktarını artırdığını, ancak toprak alkaliliğini de artırdığını ortaya koymuştur. Araştırmacı optimum biyokömür uygulama düzeyinin belirlenmesi gerektiğini ve alkali toprak koşullarında mineral ve organik gübre uygulamalarının birlikte yapıldığı çalışmalara gerek olduğunu belirtmiştir.

Gunarathne vd. (2020), asidik koşullarda tuzdan etkilenen toprakların iyileştirilmesi amacıyla farklı organik uygulamalar ve kakao ağaç atığına farklı piroliz uygulaması sonucu elde edilen biyokömürün kullanım olanaklarını araştırmışlardır. İnkübasyon süreci sonunda toprak pH, EC, nitrat (NO<sub>3</sub>), (PO<sub>4</sub>), toplam organik C, katyon değişim kapasitesi (KDK), SAR, ESP ve mikrobiyal enzim aktivitesinde iyileşmeler belirlemişlerdir. Uygulama düzeyinde artış ve zamana bağlı olarak etkiler daha belirgin olmuştur. Sıcaklık olarak 500 °C’de elde edilen biyokömürün %5 uygulama düzeyi optimum uygulama olarak belirtilmiştir.

Ullah vd. (2018), toprak tuzlanmasının ekilebilir tarım alanlarında toprak verimliliğine yönelik yaygın olarak ortaya çıkan büyük tehdit olduğunu ve dünyada 100'den fazla ülkede bu sorunun yaşandığını belirtmiştir. Küresel gıda güvenliği açısından bu toprakların geri kazanılmasına yönelik organik uygulamaların yapıldığını bildirmiştir. Araştırmacılar sürdürülebilir bir iyileştirme ve ıslah için coğrafi şartlar ve toprak özelliklerine uygulamaların yapılması gerektiğini ifade etmiş ve son yıllarda 300 ile 1000 °C arasında değişen piroliz işlemleri ile elde edilen biyokömürün toprak ıslahı amacı ile kullanıldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar biyokömür kullanımı ile toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirildiğini belirtmiş (Şekil 2.2 ve Şekil 2.3) ve biyokömür uygulamalarında, uygulama düzeyi ve ekonomik analizin yapılması gerektiğini belirtmiştir.



**Şekil 2.2.** Biyokömürün tuzdan etkilenmiş toprakların fiziksel ve biyolojik özellikleri üzerindeki etkileri için olası mekanizmalar



**Şekil 2.3.** Asidik biyokömürün toprakta bitki tarafından temin edilebilen besinler üzerindeki olumlu dolaylı etkilerinin şematik sunumu

Tuzlu toprak koşullarında biyokömür uygulamalarının bitki gelişimi üzerine olumlu etkisi ile ilgili olarak; toprağın organik C içeriğinin artış gösterdiği, bitki besin elementi içeriğinin ve kation değişim kapasitesinin arttığı, toprakta Na ile Ca'un değişim gösterdiği, toprak strüktürü gibi fiziksel özelliklerin iyileştiği, su tutma kapasitesi ve porozitenin geliştiği ve ayrıca toprak mikroorganizmaları için uygun ortam sağlanması şeklinde tuz stresi altındaki bitkilerin gelişimini teşvik ettiği Amini vd. (2016) ve Zheng vd. (2018) tarafından bildirilmiştir. Özellikle kurak koşullarda biyokömür uygulaması ile toprak su rejiminin düzenlenebileceği de Rezaei vd. (2018) tarafından belirtilmiştir.

Yue vd. (2016), biyokömür uygulaması ile toprakta tuzluluğun yıkanmasını teşvik ettiği ve toprak tuzlanma sürecini uzattığı, ayrıca biyokömürün toprağa kazandırdığı organik C'nun diğer organik düzenleyicilere oranla toprak agregatlaşması üzerine etkisinin daha uzun süreli olduğu belirtilmiştir (Yeboah vd., 2009).

Topraklara biyokömür uygulaması ile tuz stresi koşullarında bitki gelişiminde artış olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir (Saifullah vd., 2018). Biyokömür uygulaması ile bitkide oksidatif stresin azalması, su kullanım etkinliğinin artış göstermesi, fitohormonların sentezi, stoma yoğunluğu ve iletkenliğinin artış göstermesi, mikroorganizma aktivitesinde artış, absisik asit (ABA) sentezinde artış, su varlığındaki iyileşmeye bağlı olarak tohum çimlenmesinde ve besin elementi yararlanılabilirliğindeki artışlar ile açıklanmıştır (Duan vd., 2013). Ancak Thomas vd., (2013) biyokömür uygulamasının

verimde azalmaya neden olduğunu ve bunun biyokömürün spesifik özellikleri ile ilişkilendirilebileceğini belirtmiştir.

İbrahim vd. (2020), farklı tuzluluk koşullarında (0,26, 5,8, ve 12,6 dS m<sup>-1</sup>) artan düzeylerde biyokömür uygulamasının (% (w/w) 0, 2,5, 5 ve 10.) sorgum bitkisi gelişim parametreleri üzerine etkini araştırmışlardır. 12,6 dS cm<sup>-1</sup> tuzluluk düzeyinde %5 biyokömür uygulamasının bitki boyu, kök gelişimi, taze ağırlık, kuru madde miktarı, fotosentez oranı ve stoma iletkenliğinde artış sağlarken, katalazi peroksidaz, süperoksit düzmitaz enzim aktivitesinde azalmalar belirlenmiştir. Araştırmacılar tuzlu koşullarda düşük biyokömür uygulamalarının olumlu etkide olduğunu ancak yüksek biyokömür uygulamalarının ise olumsuz etkide bulunduğunu bildirmişlerdir.

Jin vd. (2018), tuzlu ve sodik toprak koşullarında biyokömür uygulamasının pirinç bitkisinde gelişim parametreleri üzerine etkisi ile ilgili yaptıkları çalışma sonucunda; biyokömür uygulamasının pirinç bitkisi aksamalarında sodyum iyonu birikimini önemli ölçüde azalttığını, pirinç kuru ağırlığını, tane verimini ve pirinç kalitesini iyileştirdiğini açıkça göstermiştir. Sonuçlar, tuzlu-sodik çeltik toprağına biyokömür uygulamasının stresi azaltmak ve pirinç verimini ve kalite parametrelerini artırmak için yararları olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar biyokömürün yüksek adsorpsiyon kapasitesi nedeniyle Na adsorpsiyonu ve besinleri (özellikle K, Ca, Mg) toprak çözeltisine vermesi nedeniyle tuz stresi altındaki toprakta bitki sodyum alımını azaldığını belirtmişlerdir.

Çimrin vd. (2010), organik madde ayrışmasından kaynaklanan ürünlerden biri olan hümik asitlerin (HA) toprak tuzluluğunun azaltılması üzerindeki etkisini belirledikleri çalışmada, kompostun, toprak verimliliğini artırabileceğini ve mahsulün besinlere erişimini artırabileceğini, bunun da tuz stresinin zararlı etkilerini azaltmanın yanı sıra iyi bitki büyümesine yol açabileceğini bildirmişlerdir. Ek olarak, Tejada ve Gonzalez, (2005) tuzlu topraklarda uygun miktarda OM varlığı, toprak kütle yoğunluğunu, toprak yapısal kararlılığını ve sonuç olarak toprak mikrobiyal biyokütlesini artırabileceğini bildirmişlerdir.

Araştırmacılar tarafından hümik maddelerin yaklaşık %65 ile %70'i sadece fulvik ve hümik asitlerden oluştuğunu (Hatami vd., 2018), ayrıca, fulvik asit ile karşılaştırıldığında humik asitin daha koyu renk ve daha yüksek moleküler ağırlık ile karakterize edildiğini (Badr

vd., 2012; Zingaretti vd., 2018) ve daha yüksek karbon içeriği ve daha düşük oksijen içeriği ile karakterize edildiğini bildirmişlerdir (Zingaretti vd., 2018).

Organik maddenin parçalanmasından elde edilen bu ürünlerin arasında, toprak tuzluluğunu azaltmada ve toprak verimliliğini artırmada özel bir potansiyel sergilediğini bildirmişlerdir (Al-Faiyz, 2017) Çeşitli çalışmalar, HA'nın tuzlu koşullar altında bitkiler için anti-stres maddesi olarak ve toprak özelliklerini iyileştirmek, bitki besin alımını desteklemek ve ardından verimliliği artırmak için önemli rol oynadığını ortaya koymuşlardır (Bacilio vd., 2016; Aşık vd., 2009; Javanshah ve Nasab, 2016; Kulikova vd., 2005; Mosa, 2012; Ouni vd., 2014; Xudan, 1986). Ancak Aydın vd. (2012) ve Liu ve Cooper (2002) bazı durumlarda bazı bitkiler için toprak tuzluluğunu azaltırken bile besin alımını azaltarak olumsuz etkileri olduğunu bildirilmiştir.

Akhzari vd. (2016), solucan gübresi kompostunun ve tuzluluk stresinin yonca bitkisinin büyümesi ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için yapmış oldukları çalışmada solucan kompostunun tuzluluk stresi koşullarında biyolojik gübre olarak kullanımı araştırmayı amaçlamışlardır. Çalışma kapsamında, (0, 50 ve 100 mM sodyum klorür (NaCl) üç seviyeden oluşan tuzluluk koşullarında %0, 10, 20 ve 30 oranlarında solucan gübresi uygulamışlardır. Sonuç olarak toprak tuzluluğunun bitki dokularında K içeriğinde önemli bir azalmaya yol açtığını bildirmişlerdir.

Dünya çapındaki arazinin %6'sından fazlası, yani 800 milyon hektardan (Mha) fazla alan ya tuzluluktan ya da sodiklikten etkilenmiş durumdadır. Toprak tuzluluğunun ve sodikliğinin çoğu doğal olsa da, son yıllarda ekili tarım arazilerinin önemli bir kısmı arazi temizleme ve sulama nedeniyle tuzlu ve/veya sodalı hale geldi (Munns, 2003). Ayrıca, iklim değişiklikleri sorunu daha da vurgulayabilir. Aslında, küresel ısınma sıcaklık artışlarına ve yağış dalgalanmalarına yol açarak buharlaşma-terleme talebinde bunun sonucunda artışlar ve tuz sızıntısının azalmasıyla kök bölgesinde tuz birikimini teşvik ediyor (Kang vd., 2009).

Aşırı tuz miktarları, özellikle Na'un toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, mikrobiyolojik süreçleri ve dolayısıyla mahsulün büyümesi ve verimi üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğunu Parvaiz ve Satyawati, (2008) bildirmişlerdir. Toprak organik maddesi, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde toprak verimliliğini, mahsul üretimini

ve kirlenme, bozulma, erozyon ve çölleşmeden arazi korumasını etkileyen önemli bir faktör olarak kabul edildiğinden dolayı (Senesi vd., 2007; Ara ujo vd., 2008) organik gübrelerin ve katkı maddelerinin toprağa uygulanması (gübre, gıda endüstrisinden elde edilen yan ürünler, kompost vb.) ve mahsul kalıntısı yönetimi, tuzlu ve/veya sodalı toprakları geri kazanmak ve sürdürülebilir bir tarımsal ekosistem geliştirmek için olası çözümler olabileceği ve farklı organik maddelerin toprağa dahil edilmesi, toprak organik maddesinin korunmasında büyük öneme sahip olabileceği aynı zamanda karbon tutulmasında ve artan küresel ısınmanın önlenmesinde etkili bir role sahip olabileceği Mahmoodabadi ve Heydarpour, (2014) tarafından bildirilmiştir.

Genellikle iyi bir yapı ve yüksek geçirgenlik ile karakterize edilen tuzlu toprakların ıslahı, görünüşe göre fazla tuzların yıkanmasına dayanan basit bir süreç gibi görünse de organik katkı maddelerinin uygulanması, tüm olumlu/negatif sonuçlarla birlikte katyon KDK ve iyon adsorpsiyonunun artmasına yardımcı olabilmektedir. Bu nedenle toprak çözeltisindeki çözünür tuz konsantrasyonunu azaltabilir. Aslında organik madde, toprak parçacıklarının net yüzey yükünün işaretini ve büyüklüğünü belirleyen ve toprak tuzlarının tutulmasını artıran, genellikle topraktaki KDK'ya en önemli katkıda bulunanlardan biri olarak kabul edilebileceğini Oorts vd., (2003) bildirmişlerdir.

### **2.3. Biyokömür ve Farklı Organik Materyal Uygulanan Kireçli Topraklar ile İlgili Yapılan Çalışmalar**

You vd. (2019), atıksu arıtma çamurundan elde edilen biyokömürün tınlı kum tekstüre sahip bir toprağın özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada arıtma çamurundan kaynaklı çevre kirliliğinin engellenmesini amaçlamışlardır. Çalışmada 20, 40, 60 t ha<sup>-1</sup> düzeylerinde uygulama yapmışlar ve yerfistığı yetiştirmişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre; uygulamalara bağlı olarak toplam organik C, toplam N, alınabilir K, C/N oranı artmış, özgül ağırlık, ve pH değeri ve çözünebilir organik C azalmıştır. Uygulamalara bağlı olarak toplam mikrobiyal biyokütle ve gram pozitif bakteri sayısı artmış, mantar ve aktinomiset sayısı azalmıştır. En yüksek verim 40 ton uygulamasında belirlenmiştir. Araştırmacılar atıksu arıtma çamurunun toprak özellikleri üzerine olumlu etki yaptığını ancak yüksek uygulama düzeylerinin mikrobiyal çeşitlilik üzerine olumsuz etki yaptığını belirtmişlerdir.

Liao vd. (2021), alkali pH'ya sahip kireçli bir toprakta biyokömür uygulamasının toprak özellikleri ve domates bitkisi gelişimi üzerine etkisini belirlemişlerdir. Biyokömür uygulaması ile toprak pH değeri ve organik C içeriği artış göstermiştir.  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  ve alınabilir P içeriğindeki değişim düşük düzeylerde olmuştur. Bitki gelişimindeki değişimde aynı şekilde belirlenmiştir. Çalışmada domates bitkisi rizosfer bölgesindeki bakteri değişimi önemli bulunmamıştır.

Arif vd. (2016), toprak kalitesinin bozulması ve gelecek nesiller için gıda güvenliğini sağlamak üzere bu durumu tersine çevirmek için sürdürülebilir stratejilerin gerekli olduğunu ve bunun için kimyasal gübreler ile organik uygulamaların birlikte yapılması gerektiğini ancak bu durumda da toprak organik C durumunun kısa sürede azaldığını bildirmişlerdir. Toprak organik C düzeyinin uzun süreli korunabilmesi için biyokömür uygulamalarının önemli bir alternatif olacağını ifade etmişlerdir. 2 yıl süre ile yürüttükleri çalışmada 25 ve 50 t ha<sup>-1</sup> biyokömür uygulamaları arasındaki farkın benzer olduğunu ve verimi önemli düzeyde arttırdığını bildirmişlerdir. Toprak kalitesi açısından, biyokömür ilavesi topraktaki organik karbon, inorganik N, P ve bazik katyon düzeylerini artırmış ve bu kireçli toprakta pH ve tuzluluk üzerinde zararlı bir etkisi olmadığı belirtilmiştir.

Ippolito vd. (2016), farklı organik materyallerden hızlı piroliz ile elde ettikleri biyokömürleri artan düzeylerde (%1, 2, 10) toprağa uygulamışlardır. 12 ay süre ile yürüttükleri inkübasyon çalışması süresince; artan biyokömürün uygulama oranı ile toprak su yarıyışlılığı, organik C, alınabilir Fe ve Mn miktarı artış göstermiştir. Zn ve Cu miktarları ilk dönemlerde azalış inkübasyonun son döneminde ise artışlar belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak mineralizasyon ile  $\text{NO}_3$  miktarı artış gösterirken en yüksek uygulama düzeyinde daha düşük miktarlar belirlenmiştir. Sadece %10 düzeyindeki uygulamalar toprak mikrobiyal topluluk yapısı üzerine etkili olmuştur.

El-Naggar vd. (2015), kireçli toprak koşullarında farklı organik materyaller ile birlikte biyokömür uygulamalarının 90 gün inkübasyon çalışması ile toprak özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Biyokömürün yalnız uygulaması yerine organik materyal ile birlikte uygulanmasının toprak besin elementi miktarı üzerine daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Inkübasyon zamanına bağlı olarak alınabilir Cu ve Mn miktarı azalış göstermiştir.

Wang vd. (2019), farklı sıcaklık (400-800 °C) ile elde edilen biyokömürün %1 ve %2 düzeylerinde mineral gübre kombinasyonu ile toprağa uygulanmış ve inkübasyon çalışması yürütülmüştür. Çalışmada sıcaklık uygulamasının biyokömür özelliklerini ve etki derecesini değiştirdiğini belirtmişlerdir. Sıcaklık artışı ile karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu azalmıştır. Zamana bağlı olarak NH<sub>4</sub> miktarı azalış NO<sub>3</sub> miktarı artış göstermiştir.

Safian vd. (2020), kireçli toprakta P yarayışlılığı ve P fraksiyonlarındaki değişimi inkübasyon denemesi ile belirlemişlerdir. Şeker kamışından elde ettikleri biyokömürü 120 günlük çalışmada kullanmışlardır. Biyokömür uygulaması toprağın alınabilir P içeriğini önemli düzeyde artırmıştır. Araştırmacılar şeker kamışından 400 C<sup>0</sup>'de elde olunan biyokömürün kullanılabileceğini belirtmiştir. Araştırmacılar çalışmada inkübasyon zamanına bağlı olarak pH değerinin düştüğünü de ifade etmişlerdir.

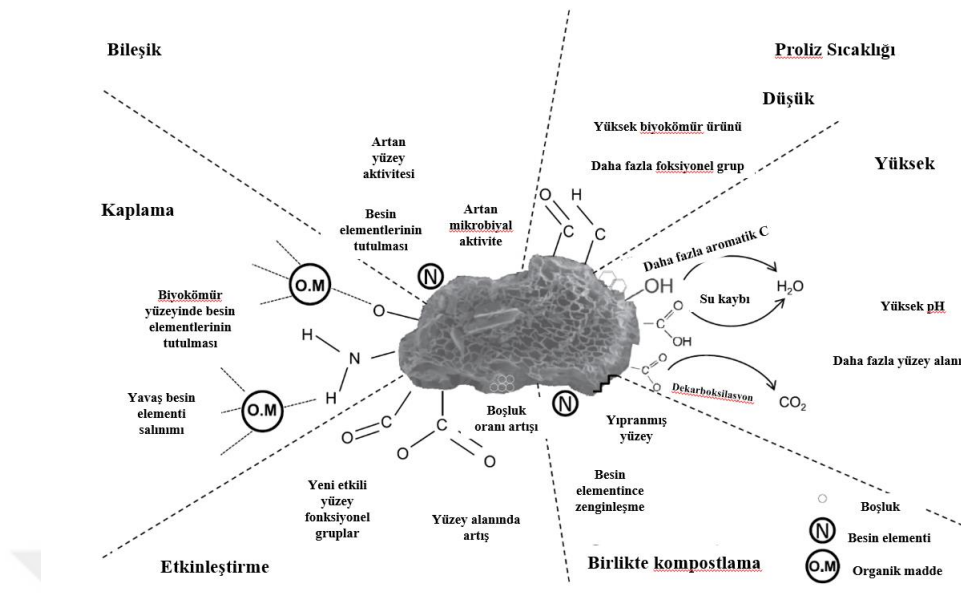
Riaz vd. (2018), şeker kamışından elde edilen biyokömürü, ahır gübresi ve kimyasal NPK ile karşılaştırmışlardır. Toprak özelliklerinde meydana gelen değişim ve bitki gelişim parametrelerini incelemişlerdir. Çalışmada ahır gübresi ve biyokömürü 10 t ha<sup>-1</sup> ve NPK uygulamasını (NPK; 12:10:8 kg da<sup>-1</sup>) şeklinde değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre; şeker kamışı atığı biyokömürünün daha yüksek EC değeri ve önemli miktarda azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kükürt (S) ve magnezyum (Mg) içerdiği ifade edilmiştir. Araştırmacılar genel olarak, şeker kamışı atığı biyokömürünün kireçli toprak koşullarında geleneksel organik ve inorganik uygulamalara iyi bir alternatif olduğu kanıtlanmıştır.

Karimi vd. (2020), kireçli toprakların düşük besin elementi yarayışlılığı, düşük organik madde ve biyolojik aktivite özelliklerini iyileştirme amacıyla mısır atığından farklı sıcaklık uygulamaları ile elde edilen biyokömürün kullanım etkinliğini araştırmışlardır. 200, 350 ve 500 °C'de elde edilen biyokömürü %1 ve %2 düzeylerinde toprağa uygulamışlardır. Biyokömür uygulaması toprağın organik C, EC, KDK, toplam N, alınabilir P, K ve Mn içeriğini artırmıştır. Düşük piroliz sıcaklığı uygulanan biyokömür inorganik azot formları, alınabilir Fe, Zn ve Cu içeriğinde artış sağlamıştır. Yüksek piroliz sıcaklığı uygulanan biyokömür ise alınabilir Fe, Zn ve Cu miktarında azalmaya neden olmuştur. Araştırmacılar düşük piroliz sıcaklığını kireçli topraklarda biyokömür uygulaması için önermişlerdir. Araştırmacı yapmış olduğu diğer çalışmalarda farklı piroliz uygulamalarının biyokömür özelliklerinde meydana getirdiği değişimler, kireçli

topraklara uygulanması, besin elementi ve ağır metal yarayışlılığı üzerine çalışmalar yapmıştır (Karimi vd., 2019; Karimi vd., 2020)

Rasuli vd. (2022), biyokömürün çevre dostu bir materyal olduğunu ve toprak özellikleri üzerine etkisinin biyokömür özelliklerine bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir. Buğday ve mısır atıklarına farklı piroliz sıcaklıkları (250-450-650 °C) uygulayarak %2 düzeyinde toprağa uygulamışlar ve 90 günlük inkübasyon çalışması yürütmüşlerdir. Araştırmacılar, biyokömür uygulamalarına bağlı olarak toprakların KDK ve EC değerleri ile alınabilir K, P, Fe, Zn, Cu ve Mn miktarı artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Yüksek piroliz sıcaklığı uygulamasının etkinliği daha belirgin olmuştur. Buğday atığından elde edilen biyokömürün toprak K içeriği üzerine etkinliği daha fazla olmuştur. Araştırmacılar buğday atığından yüksek sıcaklık piroliz uygulaması ile elde edilen biyokömürün K noksanlığı gösteren topraklara uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

El-Naggar vd. (2019), toprak özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla biyokömür uygulamalarının önemini belirtmişlerdir. Araştırmacılar biyokömürün topraklara uygulanması noktasında materyalin seçiminin uygulanacak piroliz sıcaklığının, biyokömüre uygulanan işlemlerin ve toprak özelliklerinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Biyokömür ve yüzey özelliklerinin geliştirilmesi noktasında kabul gören yaklaşımlarla ilgili bilgiler vermişlerdir (Rajapaksha vd., 2016; Godlewska vd., 2017; Wang vd., 2017) Farklı modifikasyon yöntemleriyle biyokömür yüzey özelliklerinde iyileştirdiğini Şekil 2.4 ve Çizelege 2.2’de açıklamışlardır.



**Şekil 2. 4.** Farklı modifikasyon yöntemleriyle biyokömür yüzey özelliklerinde iyileştirme (Rajapaksha vd. 2016; Godlewska vd. 2017; Wang vd. 2017).

**Çizelge 2.2.** Piroliz sıcaklığının biyokömür özellikleri ve fonksiyonları üzerindeki etkileri

| Özellikler                        | Piroliz Sıcaklığı |        |
|-----------------------------------|-------------------|--------|
|                                   | Düşük             | Yüksek |
| Yüzey alanı                       | Az                | Fazla  |
| Aromatik gruplar                  | Az                | Fazla  |
| pH                                | Fazla             | Az     |
| Besin elementi yarıyışlılığı      | Fazla             | Az     |
| Alifatik gruplar                  | Fazla             | Az     |
| Hidrofobiklik                     | Az                | Fazla  |
| OM adsorbsiyonu                   | Az                | Fazla  |
| Fonksiyonel gruplar/iyon değişimi | Fazla             | Az     |
| C tutunumu                        | Az                | Fazla  |

Bu vd. (2020), kireçli toprak koşullarında pirinç kavuzu ve talaştan elde edilen biyokömürü %1, 2 ve 5 oranlarında kullanarak bitki (*Robinia pseudoacacia* L) çimlenme ve gelişimi üzerine etkisini belirlemişlerdir. Çalışmada %1 ve %2 düzeyinde biyokömür uygulamaları çimlenme ve bitki gelişimini (kök ve gövde) önemli düzeyde etkilediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu sonucun biyokömür uygulaması ile toprak su tutma kapasitesi, artan kapilarite ve bitki besin maddesindeki (P ve K vb.) artışlarla ilgili olduğunu bildirmişlerdir.

Manolikaki ve Diamadopoulos, (2020), bira fabrikası yan ürünü tahıl ve fazla mayadan üretilen biyokömürün kireçli tın bünyeli bir toprakta mısır bitkisi gelişimi ve toprak özellikleri üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Elde olunan sonuçlara göre; organik bira fabrikası yan ürünlerinden elde edilen biyokömürün bitki kuru ağırlığını önemli ölçüde artırdığını, inorganik N gübresi olmadan kontrole göre bitkinin toprak üstü aksamını %59-186, kök aksamını ise kontrole göre %83-92 ve %46-106 oranında önemli ölçüde artırmıştır. Biyokömürün %5 düzeyinde uygulanması bitki azot, fosfor ve potasyum içeriğini önemli düzeyde arttırmıştır. Bu etki özellikle maya atığından elde edilen biyokömürde daha belirgin olduğunu belirtmişler ve bira fabrikası atıklarından elde olunan biyokömürün sürdürülebilir tarım için kullanılabilecek bir materyal olduğunu belirtmişlerdir.

Nahidan ve Ghasemzadeh, (2022), ham ve biyokömür elde edilmiş ahır gübresinin toprak solucan aktivitesi ve P formları ve yarıyışlılığı üzerine etkisine ilişkin çalışma yürütmüşlerdir. Kireçli toprak koşullarında yapılan çalışmada organik P, inorganik P, alkali fosfor aktivitesi ve P çözen bakteri etkinliğini değerlendirmişlerdir. Çalışmada % 0, 1, 2 ve 5 düzeyinde uygulama yapılmış ve 90 günlük inkübasyon çalışması yürütülmüştür. Biyokömürün etkisi  $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$  ve  $\text{NaOH-Pi}$  fraksiyonlarını ham ahır gübresine oranla daha fazla arttırmıştır. Ancak solucan varlığı ile ilgili olarak olumsuz sonuçlar elde edildiğini bunun ise diğer toprak özellikleri ile ilgili olabileceğini belirtmişlerdir.

Abrishamkesh vd. (2015), pirinç kavuzundan elde edilen iki biyokömürün mercimek bitkisi gelişimi ve toprak özellikleri üzerine etkisini belirlemek için artan düzeylerde uygulama yaparak (%0,4, 0.8, 1.6, 2.4 ve 3.3) çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre artan düzeylerde biyokömür uygulaması ile toprağın organik C, EC değeri, alınabilir P ve K içeriği artış göstermiş hacim ağırlığı ise azalmıştır. Mercimek bitkisinin kuru ağırlığı artan düzeylere bağlı olarak artış göstermiştir.

Liang vd. (2014), tarla koşullarında biyokömür, organik uygulama ve inorganik gübre uygulama kombinasyonlarının bitki gelişimi ve toprak özellikleri üzerine etkilerini belirlemek için çalışma yürütmüşlerdir. Özellikle buğday ve yazlık mısır bitkilerinin gelişimi ilk 4 yıl daha belirgin olmuştur. Çalışmanın 2. ve 3. yıl sonunda pH değeri 0,35 birim artış göstermiştir. Bu süreçte toprak su tutma kapasitesi artış göstermiştir. Deneme

sonuçlarına göre alkalide çözünebilir N miktarı azalmış, alınabilir P miktarındaki değişim belirgin olmamıştır.

Najafi-Ghiri vd., (2019), koyun gübresi ve koyun gübresinden elde edilen solucan gübresi ve biyokömürün 5 farklı arpa çeşidinde gelişim ve toprak özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla çalışma yürütmüşlerdir. Biyokömür ve uygulamalar kontrole göre verimi arttırmıştır. Araştırmacılar biyokömür uygulamasının toprak pH ve tuzluluk değerini arttırdığını, tüm organik uygulamaların toprağın KDK değerinde artış sağladığını, göreceli olarak alınabilir P ve K miktarının biyokömür uygulamalarında, toplam N içeriğini ise koyun gübresi uygulamasında elde edildiğini belirtmişlerdir. Biyokömür uygulamaları alınabilir mikro element içerikleri üzerine önemli düzeyde etki etmemiştir. Ancak solucan gübresi ve koyun gübresi uygulamalarında alınabilir Fe ve Zn içeriğinde artışlar belirlendiğini bildirmişlerdir.

Boostani vd. (2020), koyun gübresi ve koyun gübresinden elde edilen solucan gübresi ve 300 ile 500 °C’de piroliz uygulaması ile elde olunan biyokömürü %5 düzeyinde kumlu ve kireçli toprağa uygulamışlardır. Organik uygulamalar alınabilir K, P ve Zn içeriğini arttırmış Cu içeriği ise azalmıştır. Koyun gübresinde 300C’de elde edilen biyokömür bitki gelişimi ve alınabilir P ve K açısından en iyi sonucu verirken alınabilir Zn içeriğinin solucan gübresi ve koyun gübresinde elde edildiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar düşük sıcaklıkta elde olunan biyokömüre ham materyal ilavesi ile uygulamaların yapılması gerektiğini önermişlerdir.

Najafi-Ghiri vd. (2022), buğday atığından elde olunan biyokömürün (300 C<sup>0</sup>-4 saat) kireçli bir toprakta farklı su stresi koşullarında aspir yetiştiriciliğinde kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Biyokömür uygulaması toprak EC değerini, alınabilir P, K, Fe, Mn miktarını arttırmıştır. Araştırmacılar su stresi koşullarında bitki kuru ağırlığındaki azalma oranlarının %1,5 ve %3 biyokömür uygulamalarında azalış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Manirakiza ve Şeker, (2020,) iğde ağacı budama artıklarından elde edilen kompost ve biyokömürün bitki gelişimi ve toprak özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla materyalleri %1, 2 ve 4 düzeylerinde topraklara uygulamışlardır. Kompost uygulaması toprağın pH, EC değeri, değişebilir katyonlar, alınabilir P, amonyum-azotu (NH<sub>4</sub>-N),

nitrat azotu ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), toplam N, organik madde kapsamını ve bitki gelişimi parametrelerini biyokömür uygulamasına göre daha fazla etkilemiştir. Araştırmacılar kireçli toprak koşullarında kompost ve biyokömürün etkinliklerinin tarla koşullarında da denenmesi gerektiğini önermişlerdir.

Âmin, (2018), özellikle kumlu ve kireçli toprakların organik madde eksikliği ve sahip olduğu özelliklerden dolayı bitkilerin P ile beslenmesinde sorunlar olduğunu ve bu konu ile ilgili olarak biyokömürün ahır gübresi ve tavuk gübresi ile birlikte uygulanmasının toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkisini araştırmıştır. Saksı koşullarında yapılan çalışmada; biyokömürün belirli oranlarda organik gübre ile karıştırılarak uygulanması toprak organik maddesi, su tutma kapasitesi içeriğini arttırmıştır. Yapılan uygulamalar bitki gelişimi ve bitkinin fosfor kullanım etkinliğini arttırmıştır. Araştırmacı biyokömürün tek başına veya organik gübreler ile karıştırılarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Khadem vd., (2021), biyokömürün farklı tekstüre sahip iki kireçli toprak özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada 2 saat süreyle mısır atığı ve farklı piroliz sıcaklıkları kullanarak ( $200\text{-}400\text{-}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) elde ettikleri biyokömürleri iki düzey ( $5\text{-}10\text{ g kg}^{-1}$ ) uygulamışlardır. Uygulanan piroliz sıcaklıklarına bağlı olarak elde edilen biyokömürün özellikleri değişmiştir. Özellikler Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Araştırmacılar biyokömürün toprak pH ve EC değerini, alınabilir P ve K, toplam N, organik C miktarlarında artış sağladığını, artan piroliz sıcaklığı ile toprağın C miktarında da artış sağlamıştır. Bu etki hafifi bünyeli toprakta daha belirgin olmuştur. Araştırmacılar biyokömür uygulaması ve toprak özellikleri üzerine etki açısından piroliz sıcaklığı ve toprak bünyesinin de dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

**Çizelge 2.3.** Biyokömürlerin özellikleri (Khadem vd., 2021).

| Değişkenler            | Birim                          | Biyokömür uygulamaları |                  |                  |                  |
|------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                        |                                | Ham materyal           | 200 °C<br>2 saat | 400 °C<br>2 saat | 600 °C<br>2 saat |
| pH                     | -                              | 5,67                   | 6,25             | 10,7             | 11,2             |
| EC                     | dS m <sup>-1</sup>             | 3,68                   | 3,67             | 3,38             | 4,75             |
| Biyokömür geri kazanım | -                              | -                      | 80,0             | 48,0             | 30,0             |
| Kül                    | %                              | 8,00                   | 14,0             | 26,0             | 39,0             |
| Spesifik yüzey alanı   | m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> | 5,62                   | 12,4             | 35,7             | 88,4             |
| C                      | %                              | 40,8                   | 48,7             | 56,4             | 63,0             |
| O                      | %                              | 29,7                   | 24,9             | 11,1             | 4,83             |
| N                      | %                              | 1,07                   | 1,61             | 2,55             | 1,61             |
| H                      | %                              | 6,65                   | 6,06             | 3,87             | 1,76             |
| C/N                    | -                              | 38,1                   | 30,3             | 22,1             | 39,1             |
| O/C                    | -                              | 0,73                   | 0,51             | 0,197            | 0,077            |
| H/C                    | -                              | 0,163                  | 0,124            | 0,069            | 0,027            |
| H/O                    | -                              | 0,22                   | 0,24             | 0,35             | 0,36             |
| (O+N)/C                | -                              | 0,75                   | 0,54             | 0,21             | 0,10             |
| KDK                    | cmol(+)kg <sup>-1</sup>        | 21,2                   | 18,6             | 14,3             | 11,7             |
| Uçucu madde            | %                              | 81,0                   | 68,0             | 34,0             | 24,0             |
| Sabit C                | %                              | 11,0                   | 18,0             | 40,0             | 37,0             |
| C-sabit faktör         | -                              | 1,00                   | 1,20             | 1,38             | 1,54             |
| K                      | mg kg <sup>-1</sup>            | 4200                   | 6200             | 12000            | 15700            |
| P                      | mg kg <sup>-1</sup>            | 1900                   | 3600             | 5200             | 10500            |
| Ca                     | mg kg <sup>-1</sup>            | 700                    | 1400             | 5000             | 5500             |
| Mg                     | mg kg <sup>-1</sup>            | 2500                   | 4000             | 7000             | 7700             |
| Fe                     | mg kg <sup>-1</sup>            | 105                    | 210              | 225              | 370              |
| Zn                     | mg kg <sup>-1</sup>            | 5,30                   | 20,1             | 45,5             | 45,2             |
| Cu                     | mg kg <sup>-1</sup>            | 5,60                   | 10,8             | 10,5             | 15,3             |
| Mn                     | mg kg <sup>-1</sup>            | 20,5                   | 40,1             | 70,5             | 75,7             |

Zahedifar (2020), üç farklı toprakta (tarım, mera ve orman), biyokömürü topraktaki Fe fraksiyonları miktarı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yürüttüğü çalışmada farklı düzeylerde (%1,5 ve 3) buğday samanından elde edilen biyokömür kullanmıştır. Araştırmacı biyokömür uygulaması ile tarım toprağında organik maddeye bağlı Fe miktarı en yüksek düzeyde olmuş ancak %3 düzeyinde azalmıştır. Biyokömürü %3 düzeyinde uygulaması rezidual Fe miktarını arttırmıştır. Araştırmacılar çevre kirliliğini azaltılması amacıyla biyokömür gibi organik materyallerin kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

İnal vd. (2015), tavuk gübresi uygulamalarının çevresel açıdan riskler oluşturulduğunu ancak tavuk gübresinden elde edilen biyokömürün kireçli toprak koşullarında toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkinliğini (fasulye ve mısır) belirlemek amacıyla çalışma yürütmüşlerdir. Artan düzeylerde toprağa uygulanan tavuk gübresi ve biyokömürün toprak pH değerini ve alınabilir Fe miktarını düşürdüğünü ancak P, Zn, Cu ve Mn miktarında artış sağladığını bildirmişlerdir. Uygulamalar mısır ve fasulye bitkisinin gelişimi üzerine olumlu etkide bulunmuş ve genel olarak Ca ve Mg haricinde

besin elementi içeriğini arttırmıştır. Araştırmacılar tavuk gübresinden elde edilen biyokömürün tarımsal amaçlı olarak etkin bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Mehrizi vd. (2015), hümik maddelerin toprakta P ekstrakte edilebilirliğini ve bulunabilirliğini artırabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca HA, FA, vermikompost ve bunların karışımlarının toprağa uygulanmasının P mevcudiyeti üzerinde farklı etkilere sahip olduğunu çalışmaları sonucunda ortaya koymuşlardır. Toprakta salınan P'daki azalma, P'un gözenekli katılara nüfuz etmesi ve adsorpsiyonuna (Jalali ve Ranjbar, 2010) ve inkübasyon sırasında Ca-P minerallerinin çökmesine bağlanabilir. Short vd., (2007) yaptıkları çalışmada, Avustralya topraklarına monokalsiyum fosfat olarak uygulanan P'un çoğunun 4 hafta sonra hızla çözünmeyen formlara dönüştüğünü ve eklenen P'un yalnızca %10'unun bitki için kullanılabilir kaldığını (%90 sabit) bildirmiştir. Kalsiyum karbonatın topraklarda P için çok güçlü bir kompleks oluşturuşunu bildirmişlerdir.

Uz vd. (2016), yüksek kireç içeriğine sahip alkali bir toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerine vermikompostun etkisini araştırmak amacı ile yürüttükleri çalışmada, vermikompostun çiftlik gübresine kıyasla organik madde, N, P ve Ca'ı artırmada daha etkili olduğunu ortaya koymuşlar ve genel olarak vermikompostun tarla koşullarında kireç içeriği yüksek alkali toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerini çiftlik gübresine kıyasla önemli ölçüde değıştirdiğini ve geleneksel organik gübrelere alternatif olarak kullanılma potansiyelinin yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Najiafi-Ghiri vd. (2019), koyun gübresi, üretilen solucan gübresi ve biyokömür'ün arpa hasatından sonra kireçli toprağın özelliklerine etkisine ilişkin yürütmüş oldukları çalışmada, beş çeşit arpa (Behrokh, Khatam, Reyhaneh03, Fajr) ekilen kireçli bir toprağın özellikleri üzerindeki koyun gübresi ve ondan elde edilen solucan gübresi ve biyokömürün (400°C'de 4 saat pirolize edilmiş) etkilerini karşılaştırmışlardır. Biyokömür uygulamasının arpa verimini artırdığını, gübre ve vermikompostun ise herhangi bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca organik materyal uygulamasının arpa hasadından sonra toprak özellikleri üzerinde de önemli etkileri olduğunu, işlenmiş toprakların EC, KDK ve OM içeriğini arttırırken, sadece biyokömürün toprak pH'ını arttırdığını belirtmişlerdir. N, P ve K miktarları tüm organik materyallerin uygulanmasıyla artarken, mikro besinlerin mevcudiyeti yalnızca gübre ve vermikompost uygulamasıyla iyileştğini, bu nedenle, gübrenin biyokömüre dönüştürölmesi ve kireçli

topraklara uygulanması, arpa veriminin ve topraktaki makro besin elementlerinin miktarlarının iyileştirilmesi için etkili bir stratejiyi temsil ettiğini bildirmişlerdir.

Turab-Raza vd. (2021), organik katkı maddelerinin (kompost, vermikompost, biyokömür, organik gübre ve kolza tohumu küspesi) mısırın mahsul büyümesi ve kireçli toprakta besin elementi alımı üzerindeki etkilerini tahmin etmek için kompost (CM), inek gübresi vermikompostu (CMV) içeren on bir uygulamayı içeren çalışma yürütmüşlerdir. Domuz gübresi vermikompostu (PMV), biyokömür solucan gübresi (BCV), biyokömür (BC), konvansiyonel sentetik gübreler (NPK), NPK'ya ek olarak CMV (CMV + NPK) ve NPK'ye ek olarak PMV (PMV + NPK), organik gübre (OM), kolza küspesi (RC) ve gübrelemesiz kontrol (CK) uygulamalarını gerçekleştirmişler. Çalışmanın sonucunda azot ve karbon içeriklerinin arasında önemli farklılıklar gösterdiğini tespit etmişlerdir. Vermikompost, RC hariç inorganik gübrelere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek biyokütle varlığını göstermiştir. Tüm vermikompost uygulamaları NPK ve CK uygulamaları ile karşılaştırıldığında daha iyi besin elementi alınımı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Geleneksel kompost, vermikompost ve ilave etkili mikroorganizmalar (EM) ile kompost haline getirilmiş malzemenin bakla verimi ve ilgili özellikler üzerindeki etkisini değerlendirmek için Woldu-Bezabeh vd., (2021) yürütmüş oldukları çalışmada, 18, 27 ve 36 kg ha<sup>-1</sup> N seviyelerinde 3 farklı dozlarda kompost uygulamış ve her üç kompost uygulamasında, mineral gübreye kıyasla önemli ölçüde daha yüksek tahıl ve biyokütle verimini elde etmişlerdir. Ayrıca EM kompost ve vermikompost uygulaması verim ve verim parametrelerini, besin alımını, nodül sayısını ve artık azotu aynı azot oranında mineral gübre ve geleneksel komposttan daha fazla arttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, kompost uygulamasının marjinal geri dönüş oranı, EM kompostun, kireçli topraklarda bakla üretiminde kullanım için vermikomposttan ekonomik olarak daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

### 3. MATERİYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Çalışmada iki farklı biyokömür kullanılmıştır. Kullanılan biyokömürün birincisi; atık ürünlerin bertarafı konusunda faaliyet gösteren ve kentsel atıklardan biyokömür elde eden SYNPET Teknolojiler firmasından sağlanmıştır (BA). İkinci biyokömür ise tarımsal üretim yapan fabrika atıklarından (pancar tohumu üretim atığı) laboratuvar şartlarında üretilmiş ve çalışmada kullanılmıştır (BB). Piroliz uygulaması olarak; atıklar kül fırınında havasız koşullar sağlanarak sıcaklık dakikada bir 15- 20 °C artırılarak 350 °C’de bir saat süre tutularak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında sağlanan biyokömürlerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Biyokömür örneklerinde yapılan analizler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çalışmada tuzlu ve kireçli toprak koşullarında, biyokömür uygulamaları ile karşılaştırmak amacıyla katı solucan gübresi (vermikompost) (VKK) ve sıvı solucan gübresi (VKS) ile hümkik asit kaynağı olarak leonardit (HA) kullanılmıştır. Katı ve sıvı solucan gübreleri özel bir firmadan (Ekosol Tarım ve Hayvancılık A.Ş) temin edilmiştir. Organik materyaller (solucan gübreleri ve leonardit) materyallerin analizleri, biyokömür analizlerinde kullanılan yöntemlerle yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Reaksiyon (pH):** Biyokömür örneklerinin pH değerleri saf su ile 1:10 oranında sulandırılmış ortamda WTW 3110 model pH metre ile belirlenmiştir (Nilsson vd., 2005).

**Elektriksel iletkenlik (EC):** Biyokömür örneklerinin elektriksel iletkenlik değeri 1:10 oranında sulandırılmış ortamda WTW LF 92 model kondaktivitimetre ile ölçülerek belirlenmiştir (Singh vd., 2017).

**Kasyon değişim kapasitesi:** 1 mol NH<sub>4</sub>OAc ve 1 mol KCl ile ekstraksiyon yöntemine göre belirlenmiştir (Munera-Echeverri vd., 2018).

**Toplam azot (N):** Biyokömür örneğinin toplam azot içeriği Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir. Buchi K-437 yakma blokunda yakılan örnekler Buchi K-350 model buharlı damıtma cihazında damıtılmıştır (Bremmer, 1965).

**Toplam P, K, Ca, Na:** Biyokömür örnekleri Berghof MWS2 mikrodalga yakma ünitesinde HNO<sub>3</sub>+HCl ile yaş yakma sonucu elde olunan çözeltide Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES ile belirlenmiştir (Isaac ve Johnson, 1998).

**Toplam mikroelementler (Fe, Mn, Cu ve Zn):** Biyokömür örnekleri Berghof MWS2 mikrodalga yakma ünitesinde HNO<sub>3</sub>+HCl ile yaş yakma sonucu elde olunan çözeltide Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES ile belirlenmiştir (Isaac ve Johnson, 1998).

**Çizelge 3.1.** Denemede kullanılan biyokömürlerin kimi fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Özellikler                        | BA    | BB   |
|-----------------------------------|-------|------|
| pH                                | 5,23  | 7,41 |
| EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )      | 742   | 2100 |
| Toplam N (%)                      | 1,55  | 2,30 |
| Toplam P (%)                      | 2,37  | 0,52 |
| Toplam K (%)                      | 0,89  | 9,86 |
| Toplam Ca (%)                     | 7,93  | 0,65 |
| Toplam Mg (%)                     | 0,61  | 1,08 |
| Toplam Na (%)                     | 0,07  | 0,03 |
| Toplam Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 26645 | 289  |
| Toplam Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 698   | 54,0 |
| Toplam Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 1494  | 58,0 |
| Toplam Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 405   | 167  |

**Çizelge 3.2.** Çalışmada kullanılan diğer organik kaynakların özellikleri

| Özellikler                        | Katı Solucan Gübresi<br>(VKK) | Sıvı Solucan Gübresi<br>(VKS) | Leonardit<br>(HA) |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| pH                                | 9,21                          | 9,25                          | 3,98              |
| EC, ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )     | 7100                          | 7000                          | 129               |
| N (%)                             | 0,96                          | 1,06                          | 0,40              |
| Toplam P (%)                      | 0,38                          | 0,62                          | 0,02              |
| Toplam K (%)                      | 0,88                          | 2,11                          | 0,63              |
| Toplam Ca (%)                     | 1,70                          | 0,33                          | 0,30              |
| Toplam Mg (%)                     | 0,43                          | 0,07                          | 0,17              |
| Toplam Na (%)                     | 0,01                          | iz                            | 0,01              |
| Toplam Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 9596                          | 1882                          | 12743             |
| Toplam Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 41,0                          | 18,0                          | 26,0              |
| Toplam Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 95,0                          | 21,0                          | 11,0              |
| Toplam Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 283                           | 24,0                          | 26,0              |

**Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrumu (Fourier Transform Infrared Spectrofotometer) (FT-IR):** Farklı sıcaklıklar uygulayarak elde edilen biyokömür örneklerinin FT-IR spectrumu hizmet alımı şeklinde Bursa Udağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi'nde yapılmıştır. Çalışmada kullanılan materyallere ait FT-IR spectrumu  $650-4000\text{ cm}^{-1}$  dalga sayısı aralığında, zayıflatılmış toplam yansıma (Attenuated Total Reflectance) (ATR) hücresi ile gerçekleştirilmiştir. FT-IR görüntüleri Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de özetlenmiştir.

Temelde kızılötesi (IR) spektroskopisi kızılötesi ışığın madde tarafından soğurulmasına ilkesine dayanmaktadır. Soğurulma, moleküldeki bağların titreşimi ve dönüşleri için gerekli miktarda dalga enerjisinin, cihaz tarafından elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölgesinden gönderilmesiyle gerçekleşmektedir.

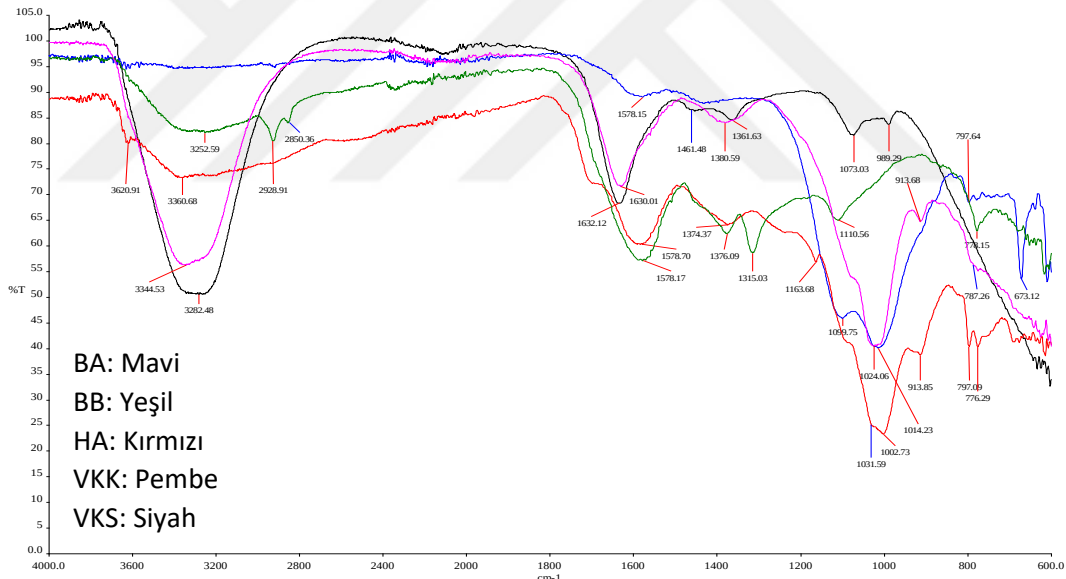
Materyallerin yapısında bulunan karboksil, amino ve hidroksil grupları gibi fonksiyonel gruplar ağır metal tutulumunda önemli rol oynamaktadırlar. Biyokömür yüzeyindeki fonksiyonel grupların oluşumunda hammadde kaynağı, piroliz sıcaklığı ve piroliz süresi en etkili faktörlerdir. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıkla genel olarak artan yüzey alanının aksine, biyokömür içindeki fonksiyonel gruplar, özellikle daha yüksek bir karbonizasyon derecesi nedeniyle azalmaktadır. Hidroksil, karboksil ve amino gruplarının miktarlarındaki azalış, artan sıcaklıkla birlikte H/C, O/C ve N/C atom oranlarının azalmasıyla açıklanmaktadır (Akça, 2020).

FT-IR spektrumları, biyokömür yüzeylerindeki fonksiyonel grupları karakterize etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyokömürlerdeki fonksiyonel grupların FT-IR spektrumları farklıdır. Piroliz sıcaklığı  $100-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında olursa fonksiyonel gruplarda herhangi bir değişiklik olmadığı bilinmektedir. Biyokömür içindeki selülozik ve lignitik bileşenler  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de dehidrasyona uğramaya başlamakta ( $3500-3200\text{ cm}^{-1}$ , dalga boyu), bunun aksine lignitik/selülozik kaynaklı oluşum ürünleri  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de (çoklu pik,  $1600-700\text{ cm}^{-1}$ ) ortaya çıkmaktadır.

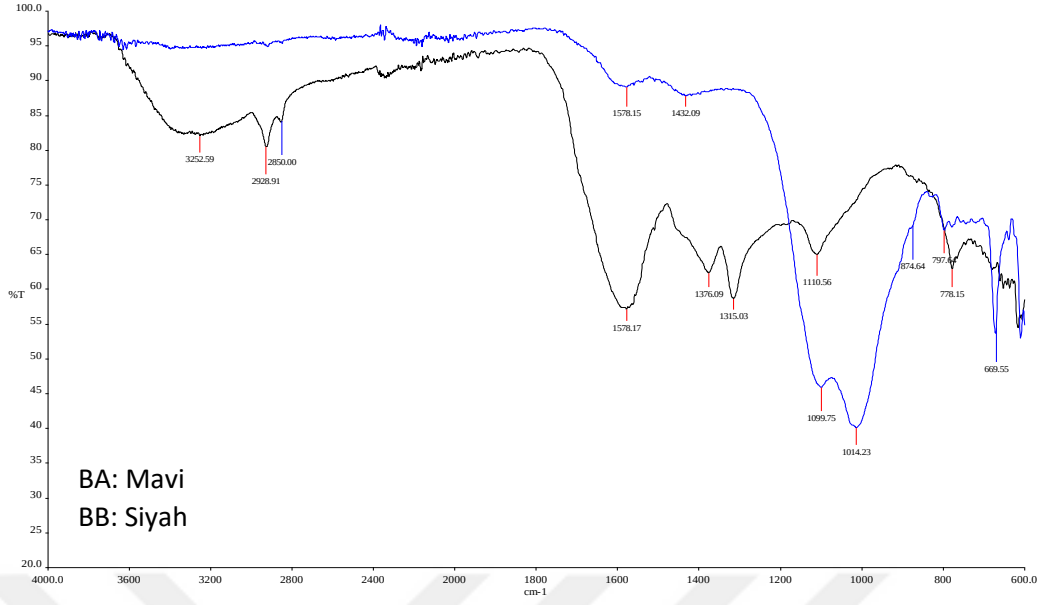
Biyokömür materyaline ait spektrumda bulunan fonksiyonel gruplar aşağıda özetlenmiştir:

Özetle;

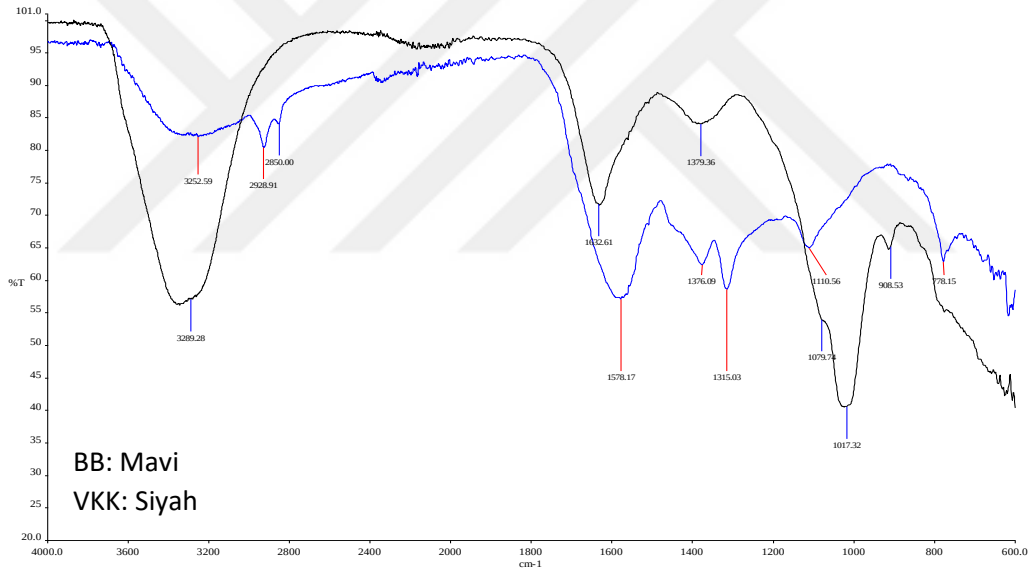
- ✓ 3600-3200  $\text{cm}^{-1}$  aralığında -OH bağı bulunmaktadır. Elde edilen spektrumda bu bölgede gözlenen pikin büyüklüğü -OH grupları içeren bileşiklerin az miktarda olduğunu göstermektedir. Bu bölgede dehidrojenizasyon yüksek ancak, -OH parçalanmış olup aromatikliğe geçiş olduğu görülmektedir.
- ✓ 2950-2850  $\text{cm}^{-1}$  aralığı aromatik C-H gerilmesini göstermektedir.
- ✓ 1740-1700  $\text{cm}^{-1}$  aralığı az miktarda karboksil yapıdaki C=O bağı göstermektedir. Spektrumda 1600  $\text{cm}^{-1}$  ve ~1400  $\text{cm}^{-1}$  civarında gözlenen pikler yapıdaki C=C bağı göstermektedir.
- ✓ 1071  $\text{cm}^{-1}$  'de gözlenen pik C-O-C fonksiyonel grubunu içeren hemiselüloz selüloz yapıyı ortaya koymaktadır (Keiluweit vd. 2010).



Şekil 3. 1. Çalışmada kullanılan materyallere ait FT-IR görüntüsü



**Şekil 3. 2.** Çalışmada kullanılan BA ve BB 'ye ait FT-IR görüntüsü



**Şekil 3. 3.** Çalışmada kullanılan BB ve VKK'ya ait FT-IR görüntüsü

### 3.2. Yöntem

Çalışma kapsamında tuzlu ve kireçli toprak koşullarında biyokömürlerin etkinliğini belirlemek amacıyla oda ve sera koşullarında iki farklı çalışma yürütülmüştür.

#### 3.2.1. İnkübasyon çalışması

İnkübasyon çalışması; iki farklı biyokömürün (BA ve BB) toprak özellikleri üzerine etkisi katı vermikompost (VKK), sıvı vermikompost (VKS) ve hümik asit (HA) ile karşılaştırmalı olarak belirlemek amacıyla planlanmış ve yürütülmüştür.

İnkübasyon denemesi Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nde oda koşullarında yürütülmüştür. İnkübasyon çalışmasında topraklara %20 düzeyinde tarımsal kireç olarak adlandırılan kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) ve 60 mM NaCl tuzluluk düzeyi uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan toprak Bursa Uludağ Üniversitesi Uygulama ve Araştırma Merkezi Çiftlik Serisi olarak sınıflandırılan tarladan verimlilik ilkesine göre alınmıştır (Aksoy vd., 2001).

İnkübasyon çalışması; iki farklı atıktan elde edilen biyokömürler (BA ve BB), katı ve sıvı vermikompost ve humik madde kaynağı olarak leonardit, temel gübre uygulaması (NPK) ve kontrol olmak üzere toplam 13 farklı uygulamadan oluşturulmuştur (Çizelge 3.3).

**Çizelge 3.2.** Çalışma kapsamında ele alınan uygulamalar

| Çalışma konuları | Uygulamalar (da) |
|------------------|------------------|
| Kontrol          | 0                |
| BA1              | 250 kg           |
| BA2              | 500 kg           |
| BB1              | 250 kg           |
| BB2              | 500 kg           |
| HA1              | 200 kg           |
| HA2              | 400 kg           |
| VKK1             | 200 kg           |
| VKK2             | 400 kg           |
| VKS1             | 4 L              |
| VKS2             | 8 L              |
| NPK1             | 12,5-10-12,5 kg  |
| NPK2             | 25-20-25 kg      |

İnkübasyon çalışması, 250 g toprak alan inkübasyon kaplarında 150 gün süre ile yürütülmüş ve belirli dönemlerde (0 (İnk0), 30. Gün (İnk1), 60. Gün (İnk2), 90. Gün

(İnk3), 120.Gün (İnk4), 150. Gün (İnk5) toprak örnekleri alınarak zamana bağlı olarak toprak özellerinde meydana gelen değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Deneme planına göre inkübasyon kaplarından belirli dönemlerde alınan toprak örneğinde aşağıdaki analizler yapılmıştır. Çalışmada kullanılan toprağın kimi özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Çalışmada kapsamında toprak örneği alınan parselin kimi toprak özellikleri

| Özellikler                              | Miktarlar |
|-----------------------------------------|-----------|
| % Kum                                   | 25.08     |
| % Silt                                  | 26.67     |
| % Kil                                   | 48.25     |
| Tekstür sınıfı                          | Kil       |
| pH                                      | 7.79      |
| EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$               | 461       |
| Kireç, %                                | 0.39      |
| Org.mad., %                             | 1.76      |
| Toplam N, %                             | 0.079     |
| NH <sub>4</sub> -N, mg kg <sup>-1</sup> | 8.42      |
| NO <sub>3</sub> -N, mg kg <sup>-1</sup> | 5,45      |
| Alınabilir P, mg kg <sup>-1</sup>       | 7.17      |
| Değişebilir Na, mg kg <sup>-1</sup>     | 89,8      |
| Değişebilir K, mg kg <sup>-1</sup>      | 150,3     |
| Değişebilir Ca, mg kg <sup>-1</sup>     | 7896      |
| Değişebilir Mg, mg kg <sup>-1</sup>     | 638,9     |
| DTPA eks Cu, mg kg <sup>-1</sup>        | 1.285     |
| DTPA eks Zn, mg kg <sup>-1</sup>        | 1.964     |
| DTPA eks Mn, mg kg <sup>-1</sup>        | 10.52     |
| DTPA eks Fe, mg kg <sup>-1</sup>        | 11.34     |

**Mekanik analiz (Tekstür):** Denemede kullanılan toprak örneğinin kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucos, (1951) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemine göre belirlenmiş, tekstür sınıfları Soil Survey Manual, (1951)’a göre değerlendirilmiştir.

**Toprak reaksiyonu (pH):** Toprak örneklerinin pH değerleri saf su ile 1:1 oranında sulandırılmış ve WTW 3110 model pH metre ile belirlenmiştir (McLean, 1982).

**Elektriksel iletkenlik (EC):** Toprak örneklerinin elektriksel iletkenlik değeri 1:1 oranında sulandırılmış ekstrakta WTW LF 92 model EC metre ile belirlenmiştir (Rhoades, 1982).

**Kireç (CaCO<sub>3</sub>, %):** Tez projesinde kullanılan toprak örneğinin kireç miktarı Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Nelson, 1982).

**Tarla kapasitesi:** Tez projesinde kullanılan toprak örneğinin tarla kapasitesi, Alpaslan vd., (1998) tarafından bildirildiği şekilde 100 g kuru toprak örneği 100 ml'lik ölçü silindiri içerisine konulmuş ve toprağın kapladığı hacim ölçülmüştür (KTH). 10 ml saf su ilave edildikten sonra, buharlaşmayı önlemek için ölçü silindirinin ağzı kapatılmış ve 24 saat sonra ölçü silindiri içerisinde ıslanan toprağın hacmi ölçülmüştür (ITH). Toprağın tarla kapasitesinde tuttuğu su miktarı hesap edilmiştir. Tarla kapasitesi:  $(A \times C)/B$ , [(A: Kuru toprak hacmi (cm<sup>3</sup>), B: Islak toprak hacmi (cm<sup>3</sup>), C: su miktarı (ml)]

**Organik madde (OM, %):** Tez projesinde kullanılan toprak örneğinin organik madde miktarı Nelson ve Sommers, (1996), tarafından bildirildiği şekilde Walkley-Black yaş yakma yöntemine göre belirlenmiştir.

**Toplam azot (N, %):** Tez projesinde kullanılan toprak örneğinin toplam azot içeriği Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir. Buchi K-437 yakma blokunda yakılan örnekler Buchi K-350 model buharlı damıtma cihazında damıtılmıştır (Nelson ve Sommer, 1996).

**Amonyum (NH<sub>4</sub>) ve Nitrat (NO<sub>3</sub>):** 2 M KCl çözeltisi ile ekstraksiyon sonucu elde olunan amonyum, indofenol mavisini yöntemi ile, nitrat salisilik asitin sülfürik asit varlığında nitrasyonu esasına dayanılarak ile kolorimetrik olarak spektrofotometre ile belirlenmiştir (Robarge vd., 1983; Solorzano, 1969).

**Alınabilir fosfor (P):** Toprak örneğinin bitki tarafından alınabilir fosfor içeriği 0,5 M sodyum bikarbonat (pH 8,5) ile ekstrakte edilmesi sonucu elde edilen süzükte askorbik asit yöntemi ile belirlenmiştir (Watanabe ve Olsen, 1965).

**Alınabilir katyonlar (Na, K, Ca, Mg):** Toprak örneğinin 1 N amonyum asetat (pH 7,0) çözeltisi ile ekstrakte edilmesiyle elde edilen süzükte sodyum, potasyum ve kalsiyum Eppendorf Elex 6361 fleymfotometresi ile ve magnezyum ise Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES cihazı ile belirlenmiştir (Thomas, 1982).

**Alınabilir metaller (Fe, Cu, Zn, ve Mn):** Toprağın DTPA ile ekstrakte edilmesi sonucunda elde edilen süzükte alınabilir metaller Perkin Elmer Optima 2100 DV model ICP OES cihazı ile belirlenmiştir (Jones, 2001).

### 3.2.2. Sera Çalışması

İnkübasyon çalışmasında kullanılan biyokömürler ve diğer organik kaynakların bitki gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla sera koşullarında mısır bitkisi kullanılarak ikinci bir deneme yürütülmüştür. İnkübasyon denemesinde kullanılan kireç (%20) ve tuz (60 mM NaCl) düzeyleri 3,5 kg toprak alan saksılara uygulanmıştır. Biyokömürler, hümkik asit, katı ve sıvı formda vermikompost, NPK ve kontrol uygulamaları Çizelge 3.3'te verilen düzeylerde hesaplanarak toprakla homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Saksılar tarla kapasitesinin %70'i düzeyinde saf su ile sulandıktan sonra sera koşullarında 40 gün süre ile inkübasyona bırakılmış ve bu süre içinde toprakların nem düzeyi belirli aralıklarla saf su ile sulamak suretiyle korunmuştur. Bu süreç sonunda saksılara 6 adet mısır tohumu ekilmiş ve çıkış sonrası seyreltme yapılarak her saksıda 3'er adet bitki bırakılmıştır. Bitkilerin gelişimi boyunca saksılar tarla kapasitesinin %70'i oranında saf su ile sulanmıştır. Gelişme periyodu boyunca belli aralıklarla fenolojik gözlemler yapılmış ve gelişim farklılıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada SPAD okuma değerleri gelişim periyodunda hasat öncesi bayrak yapraklarda ölçülmüştür. Uygulamalar arası farklılıklar gözlemlenerek 50 gün gelişme periyodu sonunda bitkiler toprak seviyesinden kesilerek hasat edilmiştir. Hasattan hemen sonra saksı başına toplam yaş ağırlıklar belirlenmiştir. Daha sonra iki kez çeşme suyundan geçirilen örnekler saf su ile iyice durulandıktan sonra 65 °C 'de kurutulmuş ve kuru ağırlığı (KM) belirlenmiştir. Aynı zamanda kurutulup öğütülen bitki örneklerinde bazı bitki besin elementleri ve ağır metal içerikleri belirlenmiştir. Bitki örneklerinde toplam azot modifiye edilmiş Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Buchi K-437 yakma blokunda yakılan örnekler Buchi K-350 model buharlı damıtma cihazında damıtılmıştır (Bremner, 1965). Bitki örnekleri Berghof MWS 2 model mikrodalga fırınında HNO<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılarak yakılmıştır. Elde edilen ekstrakta bazı makro besin elementleri (P, K, Ca, Mg, Na) ve mikro besin elementleri (Cu, Fe, Mn ve Zn) Perkin Elmer OPTİMA 2100DV model ICP OES cihazı ile belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen kuru ağırlıklar ve yaş yakma sonucu elde edilen çözeltide belirlenen besin elementi konsantrasyonları değerlendirilerek

bitkiler tarafından topraktan kaldırılan miktarlar hesaplanmıştır. Bitki gelişimi parametresi olarak çalışmada besin elementi içeriği yerine kaldırılan miktarlar (mg bitki  $KM^{-1}$ ) değerlendirilmiştir.

### **3.2.3. İstatistiksel Analizler**

Tez çalışmasında inkübasyon ve sera denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı planlanmış ve yürütülmüştür. Elde edilen verilerin istatistiksel analizi JUMP paket programı ile yapılmıştır. Ortalamalar arası farklılıkların karşılaştırılmasında asgari önemli fark (LSD) testi ( $p<0,05$ ) kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında normal, kireçli ve tuzlu toprak koşullarında uygulamalara bağlı olarak meydana gelen farklılıklar her toprak için ayrı olarak değerlendirilmiştir.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. Biyokömür ve Bazı Organik Uygulamaların Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi

Tez projesi kapsamında tuzlu ve kireçli toprak şartlarında iki farklı biyokömür ve farklı organik materyal uygulamaları, NPK ve kontrol uygulamaları da dahil olmak üzere toplam 13 farklı uygulamanın toprak özellikleri üzerine etkisi 150 gün inkübasyon süresince 6 dönem örnekleme (1.gün: İnk0, 30.gün: İnk1, 60.gün: İnk2, 90. gün: İnk3, 120.gün: İnk4, 150.gün: İnk5) yapılarak belirlenmiştir. İnkübasyon süresince zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler tez çalışması kapsamında alt başlıklar şeklinde değerlendirilmiştir.

#### 4.1.1. pH ve EC değeri üzerine etki

Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında iki farklı biyokömür ve farklı organik materyal uygulamaları ile NPK uygulamalarının, inkübasyon koşullarında belirlenen toprak pH değeri üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Meydana gelen değişimler Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak kontrol toprağında en yüksek pH değeri VKS2 uygulamasında ink2'de (pH 8,06) en düşük pH değeri ise BA2 uygulamasının ink0'da (pH 7,52) belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak BA uygulamalarında değişim belirgin olmazken özellikle BB2 uygulamasında pH artışı daha belirgin olmuştur.

**Çizelge 4.1.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak reaksiyonu (pH) üzerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 7,92 d-m             | 7,76 q-x | 7,91 d-l | 7,98 b-f | 7,84 j-t | 7,82 k-u |
| <b>BA1</b>     | 7,91 d-m             | 7,76 q-x | 7,90 d-n | 7,82 k-u | 7,66 yz  | 7,99 bcd |
| <b>BA2</b>     | 7,91 d-m             | 7,72 v-z | 7,84 j-t | 7,77 p-w | 7,60 z   | 7,85 ı-r |
| <b>BB1</b>     | 7,80 n-w             | 7,80 p-z | 7,90 f-o | 7,91 d-m | 7,66 xyz | 7,85 j-s |
| <b>BB2</b>     | 7,81 n-z             | 7,80 o-w | 7,90 d-o | 7,98 b-f | 7,73 u-z | 8,12 a   |
| <b>HA1</b>     | 7,91 d-m             | 7,82 l-u | 7,98 b-f | 7,78 p-w | 7,74 t-z | 7,90 d-n |
| <b>HA2</b>     | 7,82 l-z             | 7,78 p-w | 7,90 d-n | 7,80 o-w | 7,71 w-z | 7,90 g-p |
| <b>VKK1</b>    | 7,91 d-m             | 7,90 e-o | 7,97 b-f | 7,80 o-w | 7,85 j-s | 7,97 b-g |
| <b>VKK2</b>    | 7,91 d-m             | 7,81 m-v | 7,92 d-l | 7,81 m-v | 7,94 b-ı | 7,90 d-n |
| <b>VKS1</b>    | 7,91 d-m             | 7,91 d-m | 7,97 b-h | 7,85 ı-r | 7,82 l-u | 7,90 d-n |
| <b>VKS2</b>    | 7,91 d-m             | 7,99 d-l | 8,06 ab  | 7,97 b-f | 7,75 s-z | 7,90 d-n |
| <b>NPK1</b>    | 7,91 d-m             | 7,93 d-j | 7,95 c-ı | 7,96 b-h | 7,74 u-z | 7,45 z   |
| <b>NPK2</b>    | 7,91 d-m             | 7,91 d-m | 7,92 d-k | 7,97 b-f | 7,65 z   | 7,49 z   |
| <b>F-Test</b>  | 7,57**               |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Topraklara biyokömür uygulaması ve pH değerinde meydana gelen değişimlerle ilgili olarak pH değerinin genelde yükseldiği ve bu artışın biyokömürün toprağın katyon değişim kapasitesini artırması, yüksek yüzey alanı ve gözenekli doğası olabileceğinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Arocena ve Opia, 2003). Chan ve Xu (2009), biyokömürün pH'nın hafif asidik ile alkali arasında değişebileceğini, Lehmann (2007) ise biyokömürün pH değerinin kullanılan hammaddeye ve piroliz koşullarına bağlı olarak 4 ile 12 değerleri arasında değişebileceğini bildirmişlerdir. Piroliz sıcaklığının artmasıyla biyokömürün pH değeri ve  $\text{CaCO}_3$  eşdeğerliğinin arttığı (Singh vd., 2010) ve ayrıca biyokömürün topraktaki yüzey oksidasyonu nedeniyle pH değerinin zamanla arttığı bildirilmiştir (Cheng vd., 2008). Çalışmamızda pH değerlerinde meydana gelen farklılıkların biyokömürlerin hem orjinlerinin hem de piroliz sürecinin farklılığından kaynaklandığını düşünülmektedir.

Humik asitler veya humik asit içeriği yüksek materyallerin toprağa uygulanması ile meydana gelen değişimler genelde humik asidin yüksek tamponlama kapasitesi ve birçok fonksiyonel grup (karboksil, fenolik vb.) içermesi ile alakalıdır. Bu nedenle toprak pH değerini önemli derecede etkiler. Genelde humik asidin toprak pH değerini 0,1 ile 0,15 birim arasında değiştirdiği Meng vd., (2022) tarafından bildirilmiştir.

Zhao vd., (2017), vermikompostun geniş yüzey alanı ve ince granüler yapıya sahip olduğunu bildirmiştir. Aynı zamanda fazla miktarda bitki hormonu (IAA,  $\text{GA}_3$ , kinetin) içerdiğini ve genel olarak pH değerini düşürme yönünde etki yaptığını bildirmiştir. Aynı zamanda F. Wang vd., (2021), solucan gübresi uygulamalarına bağlı olarak toprak pH değerinin artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Cai vd., (2020) tarafından pH değişimleri vermikompostun minerilizasyonu ve hüminleşmesi esnasında oluşan hidroksil, fenolik ve diğer fonksiyonel grupları tarafından ortamdaki  $\text{H}^+$  iyonlarının tutulması ile açıklamıştır.

Tuz uygulanan topraklarda iki farklı biyokömür ve farklı organik materyal uygulamaları ile NPK uygulamalarının, inkübasyon koşullarında belirlenen toprak pH değeri üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak tuz uygulanan toprakta en düşük pH değeri HA2 uygulamasının inkO'da (pH 7,45) ve en yüksek pH değeri ise NPK2 uygulamasının ink5'de (pH 7,86) belirlenmiştir. Genel olarak biyokömürler ve diğer uygulamalarda

inkübasyonun ilk 3 dönemi pH değeri artarken inkübasyon sonunda azalmalar belirlenmiştir. NPK uygulamalarında ise inkübasyonun son dönemlerinde de artışlar devam etmiştir.

**Çizelge 4.2.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak reaksiyonu (pH) üzerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 7,58 e-p             | 7,56 ı-s | 7,65 def | 7,48 u-z | 7,37 z   | 7,49 s-z |
| <b>BA1</b>     | 7,80 ab              | 7,45 z   | 7,61 d-l | 7,52 p-z | 7,42 z   | 7,48 t-z |
| <b>BA2</b>     | 7,44 z               | 7,47 xyz | 7,58 e-p | 7,57 h-q | 7,42 z   | 7,47 xyz |
| <b>BB1</b>     | 7,52 o-z             | 7,52 p-z | 7,61 d-m | 7,59 e-o | 7,50 r-z | 7,56 ı-s |
| <b>BB2</b>     | 7,62 d-ı             | 7,54 l-w | 7,68 cd  | 7,68 cd  | 7,57 h-r | 7,62 d-ı |
| <b>HA1</b>     | 7,47 yz              | 7,48 t-z | 7,57 ı-r | 7,59 h-o | 7,50 r-z | 7,54 m-y |
| <b>HA2</b>     | 7,45 z               | 7,54 m-y | 7,65 de  | 7,56 ı-r | 7,48 t-z | 7,51 q-z |
| <b>VKK1</b>    | 7,48 t-z             | 7,55 k-v | 7,64 d-h | 7,55 ı-r | 7,53 n-y | 7,53 n-y |
| <b>VKK2</b>    | 7,55 k-v             | 7,56 ı-s | 7,73 bc  | 7,62 d-j | 7,54 m-y | 7,54 l-w |
| <b>VKS1</b>    | 7,48 u-z             | 7,61 d-l | 7,62 d-h | 7,51 q-z | 7,57 h-r | 7,55 ı-t |
| <b>VKS2</b>    | 7,47 w-z             | 7,65 d-g | 7,61 d-h | 7,58 e-p | 7,58 g-q | 7,56 ı-s |
| <b>NPK1</b>    | 7,53 n-y             | 7,58 f-p | 7,52 o-z | 7,54 l-x | 7,74 bc  | 7,79 ab  |
| <b>NPK2</b>    | 7,54 l-x             | 7,65 def | 7,52 o-z | 7,58 f-p | 7,82 a   | 7,86 a   |
| <b>F-Test</b>  | 12,99**              |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*:p<:0,01, öd; önemli değil

Thomas vd. (2013), tuz stresi koşullarında biyokömür uygulamasının toprak pH değerini etkilemediğini ancak EC değerinde artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Egamberdieva vd. (2019) ise, tuzlu koşullarda biyokömürün toprak pH değerini azalttığını bildirmişlerdir. Hammam (2019), biyokömür uygulamasının toprak pH değerini istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemediğini ve bunun inkübasyon süresi ve uygulama dozu ile ilişkili olduğunu bildirmiştir.

Sun vd. (2016), tuzlu topraklarda biyokömür uygulaması ve toprak pH değerinde meydana gelen değişimlerin biyokömürün pH değeri ile yakından ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Sandoval vd. (2015), tuzlu toprak koşullarında da vermikompost uygulamalarının toprak pH değerini azalttığını bildirmişlerdir.

Kireç uygulanan topraklarda iki farklı biyokömür ve farklı organik materyal uygulamaları ile NPK uygulamalarının, inkübasyon koşullarında belirlenen toprak pH değeri üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Uygulamalara bağılı olarak tuz uygulanan toprakta en düşük pH değeri NPK1 uygulamasının ink5'te (pH 7,45) ve en yüksek pH değeri ise BB1 uygulamasının ink0'da (pH 8,17) belirlenmiştir. Genel olarak biyokömürler ve diğerk uygulamalarda inkübasyonun ilk 4 dönemi pH değeri artarken inkübasyon sonunda azalmalar belirlenmiştir.

**Çizelge 4.3.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak reaksiyonu (pH) üzerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 7,90 s-z             | 8,01 f-n | 8,04 d-j | 8,10 a-e | 7,86 xyz | 7,82 z   |
| <b>BA1</b>     | 7,99 g-q             | 7,82 z   | 7,93 n-x | 8,10 a-f | 7,98 h-t | 8,00 g-p |
| <b>BA2</b>     | 7,87 w-z             | 7,90 t-z | 7,96 ı-u | 8,00 g-o | 7,76 z   | 7,86 z   |
| <b>BB1</b>     | 8,17 a               | 7,96 ı-u | 8,02 ı-u | 8,13 abc | 7,62 z   | 7,85 yz  |
| <b>BB2</b>     | 7,98 h-s             | 7,99 g-r | 8,05 c-h | 8,13 abc | 8,05 c-h | 8,12 a-d |
| <b>HA1</b>     | 8,01 f-m             | 7,95 l-w | 8,07 d-g | 8,07 b-g | 7,87 w-z | 7,90 s-z |
| <b>HA2</b>     | 7,96 ı-v             | 7,96 ı-v | 8,03 d-k | 8,04 d-j | 7,82 z   | 7,87 w-z |
| <b>VKK1</b>    | 7,89 t-z             | 8,03 d-k | 8,10 a-e | 8,11 a-e | 7,92 o-y | 7,97 ı-u |
| <b>VKK2</b>    | 8,01 d-m             | 7,92 r-z | 8,08 b-ı | 8,08 a-f | 7,86 c-h | 7,91 l-y |
| <b>VKS1</b>    | 7,98 g-t             | 7,95 h-w | 8,13 ab  | 8,10 a-e | 7,92 m-y | 7,91 n-z |
| <b>VKS2</b>    | 7,96 ı-w             | 7,91 p-z | 8,05 c-h | 8,02 c-l | 7,85 xyz | 7,87 v-z |
| <b>NPK1</b>    | 7,92 o-y             | 7,92 o-y | 7,95 k-w | 7,91 q-y | 7,47 z   | 7,45 z   |
| <b>NPK2</b>    | 8,03 o-y             | 8,03 e-l | 7,99 g-r | 7,97 h-u | 7,47 z   | 7,49 z   |
| <b>F-Test</b>  | 24,32**              |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0,01, öd; önemli değil

Düşük pH'ya sahip biyokömürün uygulama düzeylerine bağılı olarak kireçli toprakta pH değerini 0,2 birim düşürdüğünü belirlemişlerdir. Araştırmacılar başka bir çalışmalarında, toprak pH değerinde meydana gelen değişimlerin toprak tamponlama kapasitesi ile de ilişkili olduğunu bildirmişlerdir (Ippolite vd., 2016).

Sönmez ve Alp, (2019) kireçli koşullarda uyguladıkları humik asidin toprak pH değerini düşürdüğünü ve kireç etkisini azalttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, bu durumun oluşan CO<sub>2</sub>'in toprak çözeltisindeki su ile karışarak karbonik asit oluşturması; daha sonra karbonik asitteki hidrojen iyonlarının toprak pH'sını düşürmeye yardımcı olan iyonlarına ayrışması ile açıklamışlardır (Larcher, 2003).

Köksal vd. (2017), vermikompost uygulamalarının toprak pH'sı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığını, çalışma bulgularımıza paralel olarak Uz ve Tavali (2014) vermikompost uygulamasının toprak pH'sını düşürücü etkide bulunduğunu ve

bunların aksine Özkan vd. (2016) ise toprak pH'sının vermikompost uygulamaları ile artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Kontrol toprağında iki farklı biyokömür ve farklı organik materyal uygulamaları, NPK ve kontrol uygulamalarında toprak EC değerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir. Toprakta en düşük EC değeri NPK1 uygulamasının ink5'te ( $500 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) ile en yüksek EC değeri NPK1 uygulamasının ink0'da ( $1150 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) belirlenmiştir. Tüm uygulamalarda zamana bağlı olarak hiçbir uygulama yapılmayan kontrol toprağına göre daha yüksek EC değeri belirlenmiştir.

**Çizelge 4.4.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak elektriksel iletkenliği (EC) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 644 yz               | 745 p-z  | 779 n-z  | 822 l-z  | 816 l-z  | 1017 f-m |
| <b>BA1</b>     | 638 yz               | 690 v-z  | 838 k-z  | 989 f-n  | 1022 f-m | 1067 d-j |
| <b>BA2</b>     | 743 q-z              | 938 a-m  | 1006 f-m | 1009 f-m | 1190 a-f | 1242 a-e |
| <b>BB1</b>     | 616 klm              | 701 u-z  | 734 s-z  | 862 j-x  | 920 h-t  | 1041 e-k |
| <b>BB2</b>     | 683 w-z              | 695 u-z  | 767 o-z  | 900 h-v  | 907 h-u  | 1076 c-ı |
| <b>HA1</b>     | 513 lm               | 588 lm   | 650 xyz  | 771 o-z  | 881 i-w  | 842 l-z  |
| <b>HA2</b>     | 542 m                | 729 s-z  | 731 s-z  | 741 r-z  | 951 g-r  | 1029 e-l |
| <b>VKK1</b>    | 673 w-z              | 699 u-z  | 810 m-z  | 817 l-z  | 959 g-p  | 1266 a-d |
| <b>VKK2</b>    | 692 v-z              | 707 t-z  | 846 k-y  | 925 b-m  | 9567 g-q | 956 g-q  |
| <b>VKS1</b>    | 631 z                | 697 u-z  | 779 n-z  | 967 g-o  | 973 g-o  | 866 i-w  |
| <b>VKS2</b>    | 724 s-z              | 759 o-z  | 741 r-z  | 877 i-w  | 873 i-w  | 1143 b-g |
| <b>NPK1</b>    | 781 n-z              | 1390 a   | 1394 a   | 1340 ab  | 1278 a-d | 959 g-p  |
| <b>NPK2</b>    | 829 k-z              | 1283 abc | 1110 c-h | 1108 a-j | 1107 a-j | 959 g-p  |
| <b>F-Test</b>  | 0,83**               |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ).

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , öd; önemli değil

EC değerinin yükselme eğilimi göstermesinin nedeni, muhtemelen organik materyaldeki tuzların ve mineral maddelerin varlığından kaynaklanmaktadır. Biyokömür, daha yüksek bir yüzey alanına (Sombroek vd., 2003) ve negatif yüzey yüküne (Jaafar vd., 2015) sahip olması nedeniyle katyonları adsorbe etme yeteneğine sahiptir. Bu da biyokömürün tuzları ve mineral maddeyi nasıl daha fazla adsorbe edebileceğini gösterir ve dolayısıyla EC'yi azalttığı ifade edilse de, yapmış olduğumuz çalışmaya paralel olarak Naeem vd. (2017) uygulanan biyokömürün yüksek miktarda kül ve metal içermesi nedeniyle biyokömürün EC'yi  $0,05 \text{ dS m}^{-1}$  artırdığını bildirmiş ve benzer sonuçlar Ghosh vd. (2015) tarafından da rapor edilmiştir.

Tuzlu toprak koşullarında iki farklı biyokömür, farklı organik materyal ve NPK uygulamalarında inkübasyon süresince belirlenen toprak EC değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir. Tuzlu toprak koşullarında en düşük toprak EC değerleri VKK2 uygulamasının ink1'de ( $3570 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) en yüksek EC değeri ise NPK1 uygulamasının ink5'te ( $5210 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) arasında değişim göstermiştir. Zamana bağlı olarak EC değerlerinde önce azalma inkübasyon sonunda ise artışlar belirlenmiştir.

**Çizelge 4.5.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak elektriksel iletkenliği (EC) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 4417 b-l             | 3847 r-z | 3897 o-z | 4340 b-n | 4433 b-j | 4397 b-l |
| <b>BA1</b>     | 3833 s-z             | 3823 t-z | 3870 p-z | 4417 b-l | 4233 b-d | 4270 c-q |
| <b>BA2</b>     | 4200 e-u             | 3847 r-z | 3857 q-z | 4670 bc  | 4137 f-v | 4547 b-f |
| <b>BB1</b>     | 3800 u-z             | 3728 v-z | 3677 w-z | 3937 n-z | 4163 f-u | 4530 b-g |
| <b>BB2</b>     | 4250 d-r             | 3857 q-z | 3593 yz  | 4370 b-m | 4247 d-s | 4547 b-f |
| <b>HA1</b>     | 3980 m-z             | 3797 u-z | 3883 o-z | 4003 l-y | 4287 b-o | 4423 b-k |
| <b>HA2</b>     | 3963 m-z             | 3840 r-z | 3897 o-z | 3913 o-z | 4223 d-t | 4197 e-u |
| <b>VKK1</b>    | 3893 o-z             | 3647 xyz | 4140 f-v | 4690 b   | 4280 b-p | 4593 b-e |
| <b>VKK2</b>    | 3853 r-z             | 3570 z   | 3833 s-z | 4113 h-v | 4417 b-l | 3873 o-z |
| <b>VKS1</b>    | 4110 h-v             | 3923 o-z | 3857 q-z | 4127 g-v | 4017 k-x | 4350 b-n |
| <b>VKS2</b>    | 4160 f-u             | 4030 j-x | 4067 i-w | 4597 b-e | 4153 f-u | 4627 bcd |
| <b>NPK1</b>    | 4347 b-n             | 4490 b-h | 4510 b-h | 4510 b-h | 5210 a   | 4680 bc  |
| <b>NPK2</b>    | 4022 j-x             | 3840 r-z | 4400 b-l | 4470 b-l | 4490 b-h | 4140 b-f |
| <b>F-Test</b>  | 9,91**               |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ).

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , öd; önemli değil

Organik bileşiklerin adsorbsiyon kapasitelerinin yüksek olması nedeni ile özellikle tuzlu topraklarda toprak çözeltisindeki tuzları adsorbe ederek çözeltinin EC değerini düşürdüğünden dolayı tuzlu topraklarda organik materyaller uygulamasının toprak EC değerinde azalmaları meydana getirdiğini bildirmişlerdir (Tejada vd., 2005), Hammer vd. (2015), biyokömür uygulamasının toprak EC değerini azalttığını öne sürmüşlerdir.

Kireçli toprak koşullarında iki farklı biyokömür ve farklı organik materyal uygulamalarının inkübasyon süresince toprak EC değerindeki meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.6'da verilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak kireçli toprak koşullarında en düşük EC değeri NPK1 uygulamasının ink0'da ( $365 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), en yüksek EC değeri ise yine NPK 1 uygulamasının ink1'de ( $1348 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) arasında değişim göstermiştir. Zamana bağlı olarak kontrol uygulamasına göre ink1 ve 2'de EC değeri göreceli olarak azalma

gösterirken, inkübasyon dönemi sonunda EC değerleri kontrol uygulamasına göre daha yüksek belirlenmiştir.

**Çizelge 4.6.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak elektriksel iletkenliği (EC) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | İnk0                 | İnk1    | İnk2    | İnk3    | İnk4    | İnk5    |
| <b>Kontrol</b> | 529 z                | 563 v-z | 762 hıj | 707 ı-n | 717 h-l | 552 xyz |
| <b>BA1</b>     | 724 h-l              | 870 fg  | 679 l-q | 752 h-k | 709 ı-m | 546 yz  |
| <b>BA2</b>     | 711 h-m              | 635 p-u | 619 q-x | 895 efg | 925 ef  | 729 h-l |
| <b>BB1</b>     | 597 s-z              | 547 yz  | 690 k-p | 703 j-o | 772 hı  | 636 p-u |
| <b>BB2</b>     | 549 yz               | 620 q-w | 465 z   | 665 l-r | 778 h   | 552 xyz |
| <b>HA1</b>     | 570 u-z              | 685 l-q | 589 s-z | 546 yz  | 683 l-q | 648 m-s |
| <b>HA2</b>     | 553 w-z              | 667 l-r | 574 t-z | 623 p-v | 610 r-y | 605 r-y |
| <b>VKK1</b>    | 605 r-y              | 588 s-z | 537 z   | 487 z   | 768 hıj | 770 hıj |
| <b>VKK2</b>    | 716 h-l              | 634 p-u | 559 v-z | 647 m-s | 716 h-l | 668 l-r |
| <b>VKS1</b>    | 499 z                | 436 z   | 601 r-z | 665 l-r | 640 n-t | 532 z   |
| <b>VKS2</b>    | 516 z                | 559 v-z | 631 p-u | 639 o-t | 711 h-m | 520 z   |
| <b>NPK1</b>    | 500 z                | 1348 a  | 1162 b  | 1019 cd | 1038 c  | 928 ef  |
| <b>NPK2</b>    | 489 z                | 1022 cd | 933 ef  | 1007 cd | 852 g   | 956 de  |
| <b>F-Test</b>  | 51,79**              |         |         |         |         |         |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, öđ: önemli değil

Dume vd. (2016), biyokömür uygulamalarının toprak EC değerini artırdığını ve bu artışın özellikle biyokömürün organik madde ve besin elementi içeriğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Rekaby vd. (2021), toprakta biyokömür uygulamasının Entisol ve Aridisol toprakların EC değerindeki değişimlerin farklı olduğunu ve bu farklılığın biyokömür ve toprak özelliklerine bağlı olarak değiştiğini de ifade etmişlerdir. Özellikle, piroliz sürecinde kül içeriğinde artış, hidroksil (-OH) ve karboksil (-COOH) gibi fonksiyonel gruplarda azalma ve biyokömürün içermiş olduğu alkali katyonların EC değerinde meydana gelen değişimle ilişkili olduğu Boostani vd. (2019) ve Conz vd. (2017) tarafından ifade edilmiştir.

#### 4.1.2 Amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N), nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N) ve fosfor üzerine etki

İki farklı biyokömür, farklı organik materyaller, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir NH<sub>4</sub> değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Kontrol toprağında en düşük  $\text{NH}_4$  değeri HA uygulamasının ink5'te ( $9,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en yüksek  $\text{NH}_4$  değeri ise NPK2 uygulamasının ink0'da ( $35,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) olarak belirlenmiştir. İnkübasyon zamanına bağlı olarak tüm uygulamalarda  $\text{NH}_4$  değeri göreceli olarak azalış göstermiştir.

**Çizelge 4.7.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Amonyum ( $\text{NH}_4$ ) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 27,4 def             | 19,1 k-r | 15,1 o-x | 15,9 n-w | 13,5 q-x | 14,3 p-x |
| <b>BA1</b>     | 25,2 d-j             | 15,3 o-x | 17,3 m-v | 17,4 m-v | 14,9 o-x | 13,3 r-x |
| <b>BA2</b>     | 37,7 a               | 19,8 ı-p | 15,1 o-x | 16,7 m-v | 16,5 m-v | 12,9 s-x |
| <b>BB1</b>     | 29,5 cd              | 16,1 n-w | 18,9 k-r | 19,4 j-p | 14,3 p-x | 14,9 o-x |
| <b>BB2</b>     | 34,9 abc             | 17,8 k-u | 22,2 f-m | 19,6 j-p | 14,9 o-x | 12,5 t-x |
| <b>HA1</b>     | 23,4 e-l             | 21,4 g-n | 16,7 m-v | 17,6 l-v | 16,1 n-w | 9,7 x    |
| <b>HA2</b>     | 21,4 g-n             | 18,4 k-s | 18,4 k-s | 19,2 k-q | 12,1 u-x | 12,7 s-x |
| <b>VKK1</b>    | 28,4 de              | 19,6 j-p | 23,6 e-f | 18,8 k-r | 14,9 o-x | 13,5 q-x |
| <b>VKK2</b>    | 26,6 d-g             | 27,8 def | 17,0 m-v | 15,1 o-x | 14,5 p-x | 15,5 o-x |
| <b>VKS1</b>    | 28,0 def             | 25,6 d-ı | 18,4 k-s | 18,4 k-s | 16,1 n-w | 11,9 vwx |
| <b>VKS2</b>    | 26,0 d-h             | 16,1 n-w | 22,2 f-m | 18,4 k-s | 17,1 m-v | 10,3 w-x |
| <b>NPK1</b>    | 37,5 ab              | 22,4 f-m | 19,4 j-p | 18,2 k-t | 16,3 n-v | 12,7 s-x |
| <b>NPK2</b>    | 35,7 a               | 30,9 bcd | 20,6 h-o | 20,0 ı-p | 18,2 k-t | 13,3 q-x |
| <b>F-Test</b>  | 8,60**               |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ).

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , öd; önemli değil

Tuz uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın  $\text{NH}_4$  değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.8'de verilmiştir. Tuz uygulanan toprakta en düşük  $\text{NH}_4$  değeri VKK1 uygulamasının ink5'te ( $11,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en yüksek alınabilir  $\text{NH}_4$  değeri ise BA1 uygulamasının ink0'da ( $45,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) olarak belirlenmiştir. Tuzlu toprak koşullarında da zamana bağlı olarak  $\text{NH}_4$  değeri azalış göstermiştir

**Çizelge 4.8.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Amonyum (NH<sub>4</sub>) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 38,9 abc             | 19,9 m-w | 13,2 v-z | 19,9 m-w | 15,4 r-z | 15,9 r-z |
| <b>BA1</b>     | 45,4 a               | 21,3 k-s | 17,9 p-z | 17,2 p-z | 16,3 q-z | 13,8 t-z |
| <b>BA2</b>     | 34,0 b-f             | 16,8 p-z | 20,1 l-w | 20,8 k-u | 13,7 t-z | 14,5 s-z |
| <b>BB1</b>     | 32,0 c-h             | 18,8 o-z | 17,0 p-z | 27,5 f-l | 16,5 q-z | 11,4 z   |
| <b>BB2</b>     | 39,8 ab              | 16,6 q-z | 22,4 k-r | 21,0 k-t | 14,5 s-z | 17,2 p-z |
| <b>HA1</b>     | 28,2 e-k             | 23,5 l-q | 16,8 p-z | 20,4 l-v | 11,9 yz  | 13,2 v-z |
| <b>HA2</b>     | 30,2 d-j             | 16,3 q-z | 18,8 n-z | 19,4 n-x | 12,7 w-z | 15,7 r-z |
| <b>VKK1</b>    | 32,0 c-h             | 16,5 q-z | 27,1 f-m | 19,4 n-x | 16,1 q-z | 11,4 z   |
| <b>VKK2</b>    | 27,5 f-l             | 17,9 p-z | 30,6 d-j | 19,0 n-y | 14,1 s-z | 12,3 xyz |
| <b>VKS1</b>    | 35,1 b-e             | 19,2 n-y | 19,9 m-w | 22,1 k-r | 16,6 q-z | 20,6 l-v |
| <b>VKS2</b>    | 25,9 h-o             | 17,5 p-z | 25,5 h-o | 19,7 m-x | 21,0 k-t | 15,9 r-z |
| <b>NPK1</b>    | 36,9 bcd             | 26,2 g-n | 13,4 u-z | 18,1 p-z | 16,8 p-z | 16,1 q-z |
| <b>NPK2</b>    | 27,5 f-l             | 33,5 b-g | 31,5 d-ı | 24,2 ı-p | 20,1 l-w | 21,5 k-s |
| <b>F-Test</b>  | 27,64**              |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, öđ; önemli değil

Kireç uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir NH<sub>4</sub> değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.9’da verilmiştir. Kireç uygulanan toprakta uygulamalarda en düşük NH<sub>4</sub> değeri NPK2 uygulamasının ink2’de (11,4 mg kg<sup>-1</sup>) ve en yüksek NH<sub>4</sub> değeri ise BA1 uygulamasının ink0’da (38,3 mg kg<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak NH<sub>4</sub> içerikleri İnk0’a göre düşüş göstermiştir.

**Çizelge 4.9.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Amonyum (NH<sub>4</sub>) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 36,7 abc             | 22,6 h-q | 19,2 l-w | 20,3 j-v | 14,8 t-x | 15,7 q-x |
| <b>BA1</b>     | 38,3 a               | 22,3 h-s | 24,9 g-n | 18,8 m-w | 15,7 q-x | 14,3 u-x |
| <b>BA2</b>     | 34,2 a-f             | 19,0 m-w | 19,7 k-w | 19,7 k-w | 13,9 u-x | 15,0 t-x |
| <b>BB1</b>     | 37,3 ab              | 18,3 n-x | 16,1 q-x | 19,2 l-w | 14,1 u-x | 13,2 vwx |
| <b>BB2</b>     | 35,8 a-d             | 12,8 wx  | 22,4 h-r | 16,8 p-x | 13,6 vwx | 15,4 r-x |
| <b>HA1</b>     | 26,6 g-k             | 21,9 h-t | 21,5 ı-t | 19,0 m-w | 15,4 r-x | 17,6 o-x |
| <b>HA2</b>     | 27,7 e-ı             | 25,0 g-n | 27,5 e-ı | 17,5 o-x | 13,9 u-x | 23,7 g-p |
| <b>VKK1</b>    | 34,6 a-e             | 18,1 n-x | 26,4 g-l | 17,2 p-x | 15,2 s-x | 15,4 r-x |
| <b>VKK2</b>    | 28,9 d-h             | 15,9 q-x | 24,4 g-o | 18,8 m-w | 13,6 vwx | 13,9 u-x |
| <b>VKS1</b>    | 30,2 c-g             | 17,4 o-x | 26,4 g-l | 20,8 ı-u | 15,2 s-x | 13,8 u-x |
| <b>VKS2</b>    | 27,3 f-j             | 20,1 k-v | 24,8 g-n | 17,7 o-x | 17,2 p-x | 16,6 q-x |
| <b>NPK1</b>    | 30,2 b-g             | 18,1 n-x | 14,8 t-x | 25,5 g-m | 20,1 k-v | 20,8 ı-u |
| <b>NPK2</b>    | 25,5 g-m             | 20,8 ı-u | 11,4 x   | 16,8 p-x | 18,1 n-x | 27,5 e-ı |
| <b>F-Test</b>  | 6,29**               |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, öđ; önemli değil

Kontrol toprağına uygulanan iki farklı biyokömür, farklı organik materyaller, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağı olarak toprağıın alınabilir NO<sub>3</sub> değeri üzerinde meydana getirdiğı değışimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Elde edilen değler Çizelge 4.10'da verilmiştir. En düşük NO<sub>3</sub> değeri VKS2 uygulamasının ink2'de (4 mg kg<sup>-1</sup>) bulunurken en yüksek NO<sub>3</sub> değeri ise NPK1 uygulamasının ink5'te (38,97 mg kg<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.10.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Nitrat (NO<sub>3</sub>) değrine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |       |       |       |       |       |
|----------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | İnk0                 | İnk1  | İnk2  | İnk3  | İnk4  | İnk5  |
| <b>Kontrol</b> | 8,13                 | 8,30  | 7,57  | 13,73 | 18,87 | 22,30 |
| <b>BA1</b>     | 14,93                | 8,93  | 6,63  | 15,87 | 17,30 | 21,67 |
| <b>BA2</b>     | 7,73                 | 5,87  | 16,23 | 19,80 | 21,63 | 19,33 |
| <b>BB1</b>     | 6,43                 | 8,97  | 12,00 | 17,2  | 20,33 | 21,27 |
| <b>BB2</b>     | 5,07                 | 9,37  | 10,4  | 17,50 | 16,00 | 20,90 |
| <b>HA1</b>     | 7,83                 | 8,73  | 6,97  | 17,20 | 16,20 | 19,03 |
| <b>HA2</b>     | 5,60                 | 10,3  | 14,93 | 15,97 | 21,17 | 21,73 |
| <b>VKK1</b>    | 6,27                 | 8,03  | 16,33 | 16,47 | 18,33 | 24,3  |
| <b>VKK2</b>    | 6,93                 | 12,93 | 11,23 | 17,13 | 17,03 | 17,4  |
| <b>VKS1</b>    | 12,80                | 7,53  | 3,87  | 16,30 | 20,17 | 15,93 |
| <b>VKS2</b>    | 7,87                 | 7,27  | 4,00  | 18,80 | 16,43 | 19,03 |
| <b>NPK1</b>    | 14,93                | 16,87 | 25,7  | 35,90 | 36,47 | 38,97 |
| <b>NPK2</b>    | 10,23                | 14,37 | 13,27 | 19,90 | 28,17 | 32,60 |
| <b>F-Test</b>  | 24,08 <sup>öd</sup>  |       |       |       |       |       |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, öd; önemli değıl

Tuz uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağı olarak toprağıın NO<sub>3</sub> değeri üzerinde meydana getirdiğı değışimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değler Çizelge 4.11'de verilmiştir. En düşük alınabilir NO<sub>3</sub> değeri VKS1 uygulamasının ink2'de (3,40 mg kg<sup>-1</sup>) ve en yüksek alınabilir NO<sub>3</sub> değeri ise NPK1 uygulamasının ink5'te (36,43 mg kg<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir. İnkübasyon zamanına bağı olarak tuzlu toprak koşullarında da NO<sub>3</sub> değeri göreceli olarak artış göstermiştir.

**Çizelge 4.11.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Nitrat (NO<sub>3</sub>) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |           |           |           |           |           |
|----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                | İnk0                 | İnk1      | İnk2      | İnk3      | İnk4      | İnk5      |
| <b>Kontrol</b> | 36,23 a              | 8,37 k-x  | 5,70 t-x  | 15,07 e-r | 12,80 e-w | 8,50 e-h  |
| <b>BA1</b>     | 7,30 n-x             | 6,00 r-x  | 4,73 wx   | 15,67 e-o | 16,70 e-l | 11,77 g-x |
| <b>BA2</b>     | 13,37 e-f            | 5,87 s-x  | 5,60 u-x  | 16,23 e-n | 19,63 d-g | 15,27 e-q |
| <b>BB1</b>     | 10,90 g-x            | 8,73 j-x  | 7,00 o-x  | 14,53 e-v | 17,87 e-j | 15,47 e-p |
| <b>BB2</b>     | 7,77 l-x             | 5,70 t-x  | 6,33 p-x  | 14,90 e-s | 12,27 f-x | 15,93 e-o |
| <b>HA1</b>     | 8,90 j-x             | 10,63 g-x | 7,13 n-x  | 14,43 e-v | 11,87 g-x | 21,33 c-f |
| <b>HA2</b>     | 8,57 k-x             | 6,47 p-x  | 9,77 h-x  | 13,87 e-w | 13,67 e-w | 21,13 c-f |
| <b>VKK1</b>    | 9,67 h-x             | 8,33 k-x  | 12,27 f-x | 15,47 e-p | 14,43 e-v | 21,80 b-e |
| <b>VKK2</b>    | 12,20 f-x            | 8,53 k-x  | 6,27 q-x  | 14,63 e-u | 16,03 e-o | 17,40 e-k |
| <b>VKS1</b>    | 8,03 l-x             | 5,90 r-x  | 3,40 x    | 16,50 e-m | 16,10 e-o | 15,93 e-o |
| <b>VKS2</b>    | 9,10 ı-x             | 12,27 f-x | 7,40 m-x  | 16,23 e-n | 21,07 c-f | 16,73 e-l |
| <b>NPK1</b>    | 15,0 7e-r            | 10,23 h-x | 21,63 b-e | 27,87 a-d | 33,57 a   | 36,43 a   |
| <b>NPK2</b>    | 5,43 vwx             | 14,80 e-t | 14,80 e-t | 18,23 e-ı | 30,17abc  | 30,73 ab  |
| <b>F-Test</b>  | 4,76*                |           |           |           |           |           |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Tuz uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın NO<sub>3</sub> değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.12’de verilmiştir. En düşük alınabilir NO<sub>3</sub> değeri HA2 uygulamasının ink0’da (8,1 mg kg<sup>-1</sup>) ve en yüksek alınabilir NO<sub>3</sub> değeri ise NPK2 uygulamasının ink3 ‘te (36,5 mg kg<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir. İnkübasyon zamanına bağlı olarak tuzlu toprak koşullarında da NO<sub>3</sub> değeri göreceli olarak artış göstermiştir.

**Çizelge 4.12.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Nitrat (NO<sub>3</sub>) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 13,3 k-u             | 9,3 v-z  | 6,4 e-h  | 18,7 def | 20,5 g-q | 15,7 ı-s |
| <b>BA1</b>     | 11,9 p-z             | 8,5 yz   | 8,3 yz   | 16,0 g-o | 18,3 f-ı | 14,3 j-s |
| <b>BA2</b>     | 11,2 r-z             | 8,5 yz   | 9,4 u-z  | 16,0 g-o | 15,7 g-q | 15,9 g-p |
| <b>BB1</b>     | 8,7 xyz              | 10,1 t-z | 5,5 <z   | 14,4 ı-s | 14,3 j-s | 14,8 h-s |
| <b>BB2</b>     | 8,5 yz               | 8,1 z    | 8,8 w-z  | 13,0 l-v | 17,3 f-k | 13,8 j-t |
| <b>HA1</b>     | 8,6 xyz              | 8,7 xyz  | 7,3 <z   | 12,1 o-y | 16,3 g-n | 24,3 cd  |
| <b>HA2</b>     | 8,1 z                | 4,9 <z   | 8,1 z    | 14,4 ı-s | 15,3 h-q | 22,4 cde |
| <b>VKK1</b>    | 11,8 qz              | 7,0 <z   | 7,0 <z   | 12,5 n-x | 12,8 m-w | 16,4 g-n |
| <b>VKK2</b>    | 11,0 r-z             | 9,7 u-z  | 5,2 <z   | 12,5 n-x | 14,8 h-r | 14,2 j-s |
| <b>VKS1</b>    | 12,0 p-z             | 9,0 w-z  | 4,4 <z   | 16,4 g-n | 25,4 c   | 16,6 f-m |
| <b>VKS2</b>    | 11,0 r-z             | 12,1 o-y | 13,5 <z  | 16,9 f-l | 15,7 g-q | 17,3 f-k |
| <b>NPK1</b>    | 14,5 ı-s             | 8,3 yz   | 16,8 f-l | 30,2 b   | 20,5 def | 32,5 b   |
| <b>NPK2</b>    | 17,7 f-j             | 10,8 s-z | 9,1 v-z  | 36,5 a   | 19,4 efg | 30,2 b   |
| <b>F-Test</b>  | 19,78**              |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Clough vd. (2013), Luo vd. (2016) ve Li vd. (2021), topraklara biyokömür uygulamasının azot döngüsü üzerine önemli etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Örneğin, biyokömürün asit fonksiyonel grupları (karboksil ve hidroksil) ve zayıflatılmış nitrifikasyon süreci yoluyla topraklarda daha fazla  $\text{NH}_4^+$ -N adsorbe edebileceği Zheng vd. (2018) tarafından belirtilmiştir.

Biyokömür, bitkiler için potansiyel bir N kaynağı olabileceğini, azotun organik formlarına (örneğin; hidrolize edilebilir-N, suda çözünür-N ve hidrolize edilemez-N) ek olarak, ayrıca  $\text{NH}_4$  gibi inorganik N formları ( $\text{N}$ ,  $\text{NO}_3$ -N ve  $\text{N}_2\text{O}$ -N) içerdiği Li vd. (2020) tarafından bildirilmiştir.

Leng vd. (2020), çoğu biyoküttelede N içeriği düşük olmasına rağmen, biyokütlenin kütlesinin (esas olarak nemi) azalması nedeniyle N içeriğinin çoğunlukla pirolizden sonra artacağını, elementel N durumunda, elementin gaz halindeki emisyonları nedeniyle biyokütlenin pirolizi sırasında dEa bazı kayıplar olabileceğini ve bu nedenle, hammaddede bulunan N'nin tüm formlarının biyokömürde bulunamayacağını bildirmişlerdir. Örneğin; arginin içeren amid grupları gibi bazı amino asitler, biyokütle pirolizi sırasında çoğunlukla amonyağa veya N'nin diğer gaz formlarına dönüştürülür ve sonuç olarak kaybolurlar (Leng vd.,2020).

Xiao vd. (2018), biyokömür üretilen organik materyallerin diğer besin elementi içerikleri biyokömürün N içeriğini değiştirebileceğini bildirmişlerdir. Organik materyalin kökenine bağlı olarak toplam N içeriğinin  $<1,5$  ile  $6,8$  arasında değişebileceğini belirtmişlerdir. Figueredo vd. (2017) yaptıkları çalışmada, farklı organik materyallerin N içeriğinin  $0,40$  ile  $3,17$  arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir.

Biyokömür eldesi için uygulanan piroliz sıcaklığının biyokömürün N içeriğini azalttığı Leng vd. Biyokömür eldesi için uygulanan piroliz sıcaklığının biyokömürün N içeriğini azalttığı Leng vd. (2020) ve El-Naggar vd. (2019) tarafından bildirilmiştir. Araştırmacılar bunu amonyumun amonyak şeklinde kaybı (amino asit parçalarının piridin-N ve pirrolük-N'ye dönüştürülmesi), biyokömürün N içeren bileşenleri, biyokömür yüzeylerinde veya gözeneklerin içinde nitratlar, amonyum tuzları veya heterosiklik bileşikler ((O, N ve kükürt (S ))

Liao vd. (2020), biyokömür uygulamasının nitrifikasyon oranını artırdığını bildirmişlerdir. Shan and Coleman (2020) yapmış oldukları inkübasyon çalışmasında amonyum ve nitrat içeriğini azalttığını bildirmiştir.

Kameyama vd. (2017) ve Yao vd. (2019), yüksek sıcaklıkta elde edilen biyokömür tarafından nitratın adsorpsiyonunu bildirmişlerdir. Yao vd. (2019), 600 °C’de çeşitli organik atıklardan (biber ağacı, elma dalı) elde edilen biyokömürde nitratın %2 ile %34 arasında azaldığını ve özellikle N bakımından zengin olan topraklarda nitrat içeriğinin daha fazla azaldığını tespit etmişler, bunun nedenlerinden birinin yüksek sıcaklıkta biyokömürün sorpsiyon etkisi ve diğer bir nedeninin ise biyokömürün geniş C/N oranı nedeni ile immobilizasyonu olabileceğini bildirmişlerdir. Kwon ve Pignatello (2005) ve Kasozi vd. (2010), biyokömür ilavesinden sonra toprağın pH’ındaki artışın, pH ortamının uygunluğu nedeniyle mikrobiyal aktiviteyi artırabileceği ve bunun toprak nitratının daha fazla kullanılmasına ve immobilizasyonuna yol açabileceği, ayrıca organik madde ve mikrobiyal enzimlerin emilmesiyle nitratların azalmasına neden olabileceği, bunun da azotun birincil kaynağı olan organik maddenin ayrışmasını önleyeceğini belirtmişlerdir.

Jones vd. (2012), topraklarda muhtemelen düşük  $N-NH_4^+$  ( $\leq 6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) nedeniyle önemsiz bir değişiklik görüldüğünü ve biyokömür uygulamasının  $50 \text{ t ha}^{-1}$  oranında önemsiz etkileri olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, biyokömürün amonyumun emilmesi ve/veya salınması üzerindeki bu önemsiz etkisi, muhtemelen biyokömürün çoğu inkübe edilen toprağa kıyasla düşük KDK’sına ve inkübe edilen topraklardaki düşük amonyum seviyesine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Gai vd. (2014), biyokömürün yüksek üretim sıcaklığının biyokömürün düşük KDK’sına neden olabileceği, düşük sıcaklıktaki biyokömüre (400-500 °C) kıyasla yüksek sıcaklıktaki biyokömürler (600-700 °C) tarafından amonyağın düşük adsorpsiyona neden olabileceğini rapor etmişlerdir. Bunun nedeninde, düşük polarite (düşük O/C oranı) ve biyokömür yüzeyindeki asidik fonksiyonel grupların, özellikle karboksil grubunda, oksijen içeren fonksiyonel gruplarını kaybettikten sonra amonyumlarını azaltabilen adsorpsiyon yeteneği sayesinde nötr veya bazik erimiş aromatik gruba dönüşmesi olabileceğini açıklamışlardır. Gai vd. (2014), düşük sıcaklıkta üretilen biyokömürün her zaman daha yüksek bir KDK’ya sahip olduğunu, bu da amonyumun daha yüksek adsorpsiyon etkisine işaret ettiğini belirtmişler ve örneğin; KDK değeri  $190\text{--}686 \text{ mmol kg}^{-1}$  olan biyokömürün KDK değeri  $3\text{--}85 \text{ mmol}$

kg<sup>-1</sup> olan biyokömürden daha yüksek amonyum emme kapasitesi sahip olduğunu açıklamışlardır. Gai vd. (2014), biyokömür üretimi için kullanılan hammadde tipinin, ağırlıklı olarak amonyum veya nitratın adsorbe edilip edilmediğini belirleyebileceğini de açık olduğunu ifade etmişlerdir. Harvey vd. (2012), farklı organik materyallerden üretilen biyokömürlerinin (odunsu ve çimenli) amonyum üzerinde adsorpsiyonlarının farklı olacağını bildirmişler ve bunun başlıca nedenini de farklı organik yapılardan oluşan biyokömürlerin yüzeylerindeki karboksilik fonksiyonel gruplarının farklı konsantrasyonlarda olduğundan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Bir başka neden olarak, ekstraksiyon işlemi sırasında adsorbe edilmiş amonyumun kalsiyum klorür (CaCl<sub>2</sub>) tarafından biyokömürden uzaklaştırılması olabileceğini açıklamışlardır.

İki farklı biyokömür, farklı organik materyaller, NPK ve kontrol uygulamaları ve zamana bağlı olarak toprağın alınabilir P değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Kontrol toprağında P değeri en düşük kontrol uygulamasının ink0’da (7,15 mg kg<sup>-1</sup>) ve en yüksek P değeri ise NPK2 uygulamasının ink1’de (45,72 mg kg<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir. İnkübasyon zamanına bağlı olarak tüm uygulamalarda P değeri göreceli artış göstermiştir. En yüksek artışlar BB2, NPK1 ve NPK2 uygulamalarında belirlenmiştir.

**Çizelge 4.13.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak fosfor (P) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |           |           |           |           |           |
|----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                | İnk0                 | İnk1      | İnk2      | İnk3      | İnk4      | İnk5      |
| <b>Kontrol</b> | 7,15 q               | 13,34 op  | 13,63 nop | 15,02 h-p | 16,33 h-p | 16,18 h-p |
| <b>BA1</b>     | 14,35 l-p            | 17,60 h-p | 14,79 ı-p | 15,72 h-p | 17,82 h-p | 20,54 ghı |
| <b>BA2</b>     | 17,57 h-p            | 20,32 g-k | 16,39 h-p | 17,47 h-p | 17,99 h-p | 20,91 fgh |
| <b>BB1</b>     | 16,93 h-p            | 18,14 h-p | 16,22 h-p | 17,56 h-p | 17,64 h-p | 18,18 h-o |
| <b>BB2</b>     | 17,91 h-p            | 18,60 h-o | 19,65h-m  | 20,68 ghı | 27,09 e   | 32,11 de  |
| <b>HA1</b>     | 12,24 pq             | 13,88 m-p | 15,86 h-p | 14,41 k-p | 16,86 h-p | 17,73 h-p |
| <b>HA2</b>     | 15,83 h-p            | 13,97 m-p | 16,48 h-p | 16,33 h-p | 17,91 h-p | 18,09 h-p |
| <b>VKK1</b>    | 13,43 nop            | 16,87 h-p | 15,77 h-p | 17,99 h-p | 16,51 h-p | 18,82 h-o |
| <b>VKK2</b>    | 13,89m-p             | 16,24 h-p | 19,34 h-n | 18,95 h-o | 20,53 g-j | 20,18 h-l |
| <b>VKS1</b>    | 14,91 ı-p            | 14,61 j-p | 13,90 m-p | 17,91 h-p | 19,13 h-o | 18,27 h-o |
| <b>VKS2</b>    | 15,24 h-p            | 15,15 h-p | 18,43 h-o | 18,78 h-o | 18,64 h-o | 26,22 efg |
| <b>NPK1</b>    | 28,43 de             | 31,57 de  | 26,73 e   | 29,61 de  | 27,78 de  | 28,91 de  |
| <b>NPK2</b>    | 33,67 cd             | 45,72 a   | 33,41 cd  | 40,09 bc  | 38,52 bc  | 40,09 ab  |
| <b>F-Test</b>  | 11,35*               |           |           |           |           |           |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0,01, öd; önemli değil

Tuz uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamaları ve zamana bağlı olarak toprağın alınabilir P değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.15'te verilmiştir. Tuz uygulanan toprakta P değeri en düşük BA2 uygulamasının ink3'te (12,104 mg kg<sup>-1</sup>) ve en yüksek P değeri ise NPK1 uygulamasının ink3'te (49,132 mg kg<sup>-1</sup>) belirlenmiştir. İnkübasyon zamanına bağlı olarak tüm uygulamalarda P değeri göreceli artış göstermiştir. En yüksek artışlar BB2, NPK1 ve NPK2 uygulamalarında belirlenmiştir.

Kireç uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamaları ve zamana bağlı olarak toprağın alınabilir P değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.16'da verilmiştir. Kireç uygulanan toprakta P değeri en düşük 7,15 mg kg<sup>-1</sup> değeri ile VKS2 uygulamasının ink0'da belirlenirken en yüksek P değeri ise 45,72 mg kg<sup>-1</sup> ile NPK1 uygulamasının ink5'te belirlenmiştir. İnkübasyon zamanına bağlı olarak tüm uygulamalarda P değeri göreceli artış göstermiştir. En yüksek artışlar BB2, NPK1 ve NPK2 uygulamalarında belirlenmiştir.

**Çizelge 4.15.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Fosfor (P) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |           |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4      | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 16,5 m-w             | 17,3 l-w | 22,5 h-l | 18,0 xyz | 18,3 k8-v | 19,7 j-q |
| <b>BA1</b>     | 15,1 p-x             | 19,0 j-s | 16,5 m-w | 15,6 n-x | 19,3 j-r  | 19,9 j-p |
| <b>BA2</b>     | 15,9 n-x             | 23,1 h-k | 12,1 z   | 15,0 p-y | 20,8 ı-o  | 20,2 j-p |
| <b>BB1</b>     | 9,7 yz               | 15,9 n-x | 17,8 k-v | 15,6 n-x | 18,5 k-v  | 19,2 j-r |
| <b>BB2</b>     | 16,5 m-w             | 19,0 j-s | 19,7 j-q | 18,9 k-t | 20,9 ı-n  | 22,0 h-m |
| <b>HA1</b>     | 16,4 m-w             | 17,7 l-v | 15,6 n-x | 13,6 t-z | 15,3 p-x  | 19,2 j-r |
| <b>HA2</b>     | 14,4 q-y             | 16,3 n-x | 16,4 m-x | 13,3 v-z | 15,8 n-x  | 19,2 j-r |
| <b>VKK1</b>    | 18,7 k-u             | 22,4 h-l | 17,6 l-v | 13,3 u-z | 15,8 n-x  | 18,5 k-v |
| <b>VKK2</b>    | 18,1 k-v             | 19,9 j-p | 17,8 k-v | 14,3 r-y | 16,1 n-x  | 17,7 l-v |
| <b>VKS1</b>    | 17,5 l-w             | 20,1 j-p | 15,1 p-y | 13,8 s-z | 15,6 n-x  | 26,5 fgh |
| <b>VKS2</b>    | 21,7 h-m             | 17,4 l-w | 16,4 m-x | 12,2 w-z | 15,4 o-x  | 17,5 l-v |
| <b>NPK1</b>    | 31,5 def             | 40,1 bc  | 48,0 a   | 49,1 a   | 42,2 bc   | 40,6 bc  |
| <b>NPK2</b>    | 30,9 efg             | 32,0 de  | 42,2 bc  | 36,9 cd  | 25,9 ghi  | 24,3 hij |
| <b>F-Test</b>  | 19,30**              |          |          |          |           |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

**Çizelge 4.16.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak Fosfor (P) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |           |           |           |           |           |
|----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                | İnk0                 | İnk1      | İnk2      | İnk3      | İnk4      | İnk5      |
| <b>Kontrol</b> | 13,63 mno            | 14,90 ı-o | 16,33 h-o | 16,51 h-o | 16,87 h-o | 18,82 h-n |
| <b>BA1</b>     | 15,72 h-o            | 17,99 h-o | 16,39 h-o | 14,35 k-o | 17,60 h-o | 20,91 fgh |
| <b>BA2</b>     | 17,47 h-o            | 17,82 h-o | 14,79 ı-o | 17,57 h-o | 20,32 g-j | 20,54 ghı |
| <b>BB1</b>     | 17,56 h-o            | 17,64 h-o | 16,22 h-o | 16,93 h-o | 18,14 h-n | 18,18 h-n |
| <b>BB2</b>     | 17,91 h-o            | 18,60 h-n | 19,65 h-l | 20,68 ghı | 27,09 e   | 32,11 de  |
| <b>HA1</b>     | 13,97 l-o            | 15,02 h-o | 16,86 h-o | 15,86 h-o | 15,82 h-o | 17,73 h-o |
| <b>HA2</b>     | 12,24 op             | 13,88 l-o | 14,41 k-o | 16,48 h-o | 17,91 h-o | 18,09 h-o |
| <b>VKK1</b>    | 13,33 no             | 13,89 l-o | 16,33 h-o | 17,99 h-o | 19,33 h-m | 20,18 h-k |
| <b>VKK2</b>    | 13,43 mno            | 15,77 h-o | 16,24 h-o | 16,18 h-o | 18,95 h-n | 20,52 ghı |
| <b>VKS1</b>    | 14,60 j-o            | 15,15 h-o | 17,90 h-o | 18,64 h-n | 19,13 h-n | 26,22 efg |
| <b>VKS2</b>    | 7,15 p               | 13,90 l-o | 15,24 h-o | 18,27 h-n | 18,43 h-n | 18,78 h-n |
| <b>NPK1</b>    | 33,41 cd             | 33,67 cd  | 38,52 bc  | 40,09 ab  | 40,09 ab  | 45,72 a   |
| <b>NPK2</b>    | 26,73 ef             | 27,78 de  | 28,43 de  | 28,91 de  | 29,61 de  | 31,57 de  |
| <b>F-Test</b>  | 11,35*               |           |           |           |           |           |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ).

\*:  $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , öd; önemli değil

Glaser ve Lehr (2019), biyokömür uygulamalarının toprakların P yarayırlılığı üzerine önemli etkide bulunduğunu özellikle bu etkinin pH değeri 6,5 ‘tan küçük topraklarda en fazla, nötral topraklarda (pH: 6,5-7,5) orta düzeyde pH 7,5 üzerindeki topraklarda ise önemli bir farklılık olmadığını bildirmiştir. Araştırmacı organik materyallere uygulanan piroliz sıcaklığı ile fosfor yarayırlılığı arasında da önemli ilişkiler olduğunu ve piroliz sıcaklığı azaldıkça fosfor yarayırlılığının arttırdığını, piroliz sıcaklığının artışı ile birlikte biyokömürün toprak fosfor yarayırlılığını azalttığını bildirmiştir. Aynı zamanda organik materyalin fosfor içeriğinin topraktaki fosfor yarayırlılığının üzerine etkili olduğunu bildirmiştir.

Guo vd. (2014), aşırı biyokömür uygulamalarının veya optimum uygulama düzeyinin belirlenmesinin; toprakta fosfor yarayırlılığının artması, bitki tarafından alınma, fosforun toprakta tutulması veya yıkanma gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması gerektiğini bildirmiştir.

Ca ve Mg içeriği yüksek biyokömürlerin toprağa uygulanması noktasında Ca ve Mg fosfat bileşiklerinin oluştuğu, alınabilir fosfor miktarının ve bitki fosfor alımının azaldığını Chintala vd., (2014) tarafından bildirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda biyokömürün diğer organik materyallere göre daha yüksek katyon değişim kapasitesinin yüksek olması ve besin elementi yarayışlılığı üzerine daha fazla etkili olduğunu Li vd., (2014) tarafından bildirilmiştir. Biyokömürün yüksek yüzey alanı, kompleks poroz yapısı, bakteri ve mantarlar için uygun gelişim alanı sağlaması kullanım etkinliğini (Jin vd., 2018; Li vd., 2014). Ayrıca biyokömürün yüksek kül ve mineral içeriği toprakta besin elementi yarayışlılığı ve kararlılığı üzerine önemli etki etmektedir. (Han vd., 2018; Yang vd., 2018).

Tuzlu koşullarda biyokömür veya organik materyal uygulanmasında temel amaç toprak özelliklerinin ıslah edilmesidir. Bu nedenle biyokömür gibi organik uygulamaların tuzlu topraklara uygulanmasındaki temel amaç toprağın organik C tarafından iyileştirilmesi, toprakların bitki gelişimi ve toprak mikroorganizmaları gelişimi açısından uygun ortamların sağlanmasıdır (Gunarathne vd., 2020)

Rasuli vd. (2022), biyokömür uygulamasına bağlı olarak kireçli toprak koşullarında yaptıkları çalışmada artan uygulama düzeylerine bağlı olarak toprakların kontrole göre alınabilir fosfor miktarının arttığını, bu artışın biyokömürün alınabilir fosfor içeriği, organik materyalin orjini ve piroliz sıcaklığına bağlı olarak farklılık gösterdiğini bildirmiştir.

Zhou vd. (2020), biyokömürün toprak fosfor yarayışlılığı üzerine etkisinin iki farklı yönde olduğunu, bunlardan birincisinin biyokömürün fosfor içeriği diğerinin ise pH, Al, Fe, Ca ve organik C parametreleri üzerine etkisi ile ilişkili olduğunu açıklamıştır.

Azarmi vd. (2008), topraklara vermikompost uygulamasının; mikroorganizma faaliyetlerini artırması, fosfataz enzim aktivitesinin artması ve vermikompostun içerdiği fosforun yavaş alınabilir forma geçmesi açısından toprakta fosfor yarayışlılığı açısından önem taşıdığını bildirmiştir.

Zhang vd. (2020), vermikompost uygulamasının toprak fosfor yarayışlılığı üzerine özellikle içermiş olduğu organik asitlerin orta fosfatlar ve metallerle kompleks oluşturmak sureti ile fosfor fiksasyonunu azaltarak toprak fosfor miktarı üzerine etkili olduğunu bildirmiştir. Vermikompost uygulamasının topraktaki farklı fosfataz aktivitesi ve organik fosfor miktarını artırdığını belirtmişlerdir.

Turgay vd. (2011), humik madde uygulamalarının toprak alınabilir fosfor içeriğini uygulama düzeylerine bağlı olarak artırdığını bildirmişlerdir. Toprağa hümik asit uygulaması ile toprak organik maddesi toprak alınabilir fosfor miktarı ile ilişkili olarak humik asidin şelatlayıcı özelliğinden dolayı oluşan fosfor humik bileşiklerin toprakta fosfor fiksasyonunu azalttığını ve toprak çözeltisinde fosfor miktarının artışı sağladığını bildirmişlerdir.

#### 4.1.3. Değişebilir katyonlar üzerine etki

Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprağında iki farklı biyokömür ve farklı organik materyal, NPK uygulamalarının ve zamana bağlı olarak (uygulama x zaman interaksyonu) ekstrakte edilebilir katyonlar (K, Mg, Ca ve Na) içeriğinde meydana getirdiği değişimler Ca haricinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 4.17-4.20’de verilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak değişebilir K değeri 167 (Kontrol x İnk0) ile 361(BB2 x İnk2) mg kg<sup>-1</sup> arasında, 579 (Kontrol x İnk0 ve NPK1 x İnk0) ile 1038 (BB2 x İnk3) mg kg<sup>-1</sup>, Ca 5460 (Kontrol x İnk3) ile 9254 (BB2 x İnk0) mg kg<sup>-1</sup>, Mg ve Na değeri ise 67 (BBA1 x İnk0) ile 158 (BB2 x İnk4) mg kg<sup>-1</sup> değerleri arasında değişim göstermiştir. İnkübasyon zamanına bağlı olarak kontrole göre biyokömür ve diğer organik uygulamalar ve NPK uygulamalarında değişebilir K, Mg, ve Na miktarlarında artışlar belirlenmiştir. Ca içeriğinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

**Çizelge 4.17.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak potasyum (K) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | İnk0                 | İnk1    | İnk2    | İnk3    | İnk4    | İnk5    |
| <b>Kontrol</b> | 167 y                | 197 x   | 228 v-z | 236 r-y | 230 v-z | 208 u-x |
| <b>BA1</b>     | 201 vwx              | 204 u-x | 234 r-z | 236 r-y | 230 v-z | 211 s-x |
| <b>BA2</b>     | 207 t-x              | 210 t-x | 230 v-z | 242 o-w | 232 t-z | 224 xyz |
| <b>BB1</b>     | 266 klm              | 285 ghı | 298 fgh | 302 ef  | 294 fgh | 238 q-x |
| <b>BB2</b>     | 337 bc               | 352 ab  | 361 a   | 358 a   | 324 cd  | 289 f-ı |
| <b>HA1</b>     | 201 wx               | 216 r-w | 231 t-z | 250 m-r | 247 o-t | 232 r-z |
| <b>HA2</b>     | 193 x                | 214 r-w | 231 t-z | 252 m-q | 245 o-v | 243 o-w |
| <b>VKK1</b>    | 204 vwx              | 216 s-x | 236 l-q | 269 jkl | 241 o-w | 240 p-w |
| <b>VKK2</b>    | 213 s-x              | 220 yz  | 242 o-w | 245 o-v | 245 o-v | 247 o-u |
| <b>VKS1</b>    | 201 wx               | 207 u-x | 231 u-z | 257 l-o | 235 r-z | 234 s-z |
| <b>VKS2</b>    | 211 t-x              | 220 z   | 228 w-z | 254 l-p | 239 p-x | 240 p-x |
| <b>NPK1</b>    | 249 n-s              | 250 m-r | 277 ijk | 319 de  | 301 fg  | 304 ef  |
| <b>NPK2</b>    | 237 q-x              | 255 l-p | 264 k-n | 283 hıj | 283 efg | 265 k-n |
| <b>F-Test</b>  | 47,66**              |         |         |         |         |         |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0,01, öd; önemli değil

**Çizelge 4.18.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak magnezyum (Mg) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | İnk0                 | İnk1    | İnk2    | İnk3    | İnk4    | İnk5    |
| <b>Kontrol</b> | 579 q                | 719 p   | 791 ı-p | 800 g-p | 729 op  | 859 b-n |
| <b>BA1</b>     | 752 nop              | 788 j-p | 896 b-j | 901 b-ı | 759 m-p | 883 b-k |
| <b>BA2</b>     | 796 g-p              | 881 b-k | 902 b-ı | 911 b-f | 806 f-p | 891 b-j |
| <b>BB1</b>     | 806 f-p              | 867 b-m | 912 b-f | 929 a-d | 830 c-p | 872 b-l |
| <b>BB2</b>     | 839 c-o              | 921 b-e | 938 abc | 1038 a  | 842 c-p | 897 b-j |
| <b>HA1</b>     | 825 d-p              | 846 b-o | 847 c-n | 892 b-j | 850 c-n | 882 b-j |
| <b>HA2</b>     | 848 c-n              | 848 c-n | 875 b-l | 893 b-j | 871 b-l | 890 b-k |
| <b>VKK1</b>    | 769 l-p              | 820 d-p | 847 c-n | 876 b-l | 867 b-m | 870 b-l |
| <b>VKK2</b>    | 848 c-n              | 865 b-m | 888 b-k | 938 abc | 916 b-f | 895 b-j |
| <b>VKS1</b>    | 811 e-p              | 862 b-n | 866 b-m | 903 b-h | 870 b-m | 882 b-k |
| <b>VKS2</b>    | 829 c-p              | 872 b-l | 874 b-l | 906 b-g | 877 b-l | 899 b-ı |
| <b>NPK1</b>    | 579 q                | 719 p   | 791 ı-p | 800 g-p | 729 op  | 859 b-n |
| <b>NPK2</b>    | 752 nop              | 787 j-p | 896 b-j | 901 b-ı | 759 m-p | 883 b-k |
| <b>F-Test</b>  | 2,46*                |         |         |         |         |         |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<:0,01, öd; önemli değil

**Çizelge 4.19.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak kalsiyum (Ca) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |      |      |      |      |      |
|----------------|----------------------|------|------|------|------|------|
|                | İnk0                 | İnk1 | İnk2 | İnk3 | İnk4 | İnk5 |
| <b>Kontrol</b> | 8456                 | 8372 | 6258 | 5460 | 6769 | 7336 |
| <b>BA1</b>     | 8705                 | 8624 | 7665 | 7287 | 7301 | 7798 |
| <b>BA2</b>     | 8890                 | 8778 | 7728 | 7805 | 7483 | 7812 |
| <b>BB1</b>     | 8960                 | 8351 | 7427 | 7245 | 7133 | 7455 |
| <b>BB2</b>     | 9254                 | 8470 | 7686 | 8134 | 7616 | 8106 |
| <b>HA1</b>     | 8799                 | 8449 | 7476 | 7840 | 7378 | 7777 |
| <b>HA2</b>     | 8010                 | 8435 | 7644 | 8015 | 7959 | 7812 |
| <b>VKK1</b>    | 8498                 | 8386 | 7350 | 7245 | 7945 | 7490 |
| <b>VKK2</b>    | 8673                 | 8435 | 7658 | 7980 | 8120 | 7777 |
| <b>VKS1</b>    | 8764                 | 8295 | 7735 | 7315 | 7308 | 7721 |
| <b>VKS2</b>    | 8003                 | 8652 | 7784 | 7497 | 7546 | 8365 |
| <b>NPK1</b>    | 6500                 | 8589 | 7287 | 6972 | 7140 | 7686 |
| <b>NPK2</b>    | 6401                 | 9219 | 7434 | 7707 | 7539 | 8064 |
| <b>F-Test</b>  | 38,47**              |      |      |      |      |      |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<:0,01, öd; önemli değil

**Çizelge 4.20.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak sodyum (Na) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | İnk0                 | İnk1    | İnk2    | İnk3    | İnk4    | İnk5    |
| <b>Kontrol</b> | 104 no               | 106 mno | 128 d-l | 124 e-n | 124 e-n | 118 f-n |
| <b>BA1</b>     | 67 p                 | 116 g-n | 123 e-n | 128 d-l | 129 d-l | 121 e-n |
| <b>BA2</b>     | 115 h-n              | 119 f-n | 127 e-l | 125 e-m | 126 e-m | 117 f-n |
| <b>BB1</b>     | 88 o                 | 110 k-n | 130 d-j | 134 c-h | 136 b-f | 133 c-ı |
| <b>BB2</b>     | 113 ı-n              | 135 c-g | 153 abc | 155 ab  | 158 a   | 147 a-d |
| <b>HA1</b>     | 112 h-n              | 118 f-n | 121 e-n | 123 e-n | 136 b-f | 129 d-k |
| <b>HA2</b>     | 108 lmn              | 116 f-n | 117 f-n | 122 e-n | 130 d-k | 126 e-l |
| <b>VKK1</b>    | 116 g-n              | 121 e-n | 124 e-n | 127 d-l | 140 a-e | 131 d-j |
| <b>VKK2</b>    | 119 f-n              | 121 e-n | 125 e-m | 128 d-l | 133 c-ı | 119 f-n |
| <b>VKS1</b>    | 111 j-n              | 118 f-n | 118 f-n | 119 f-n | 133 c-h | 123 e-n |
| <b>VKS2</b>    | 112 j-n              | 116 f-n | 116 g-n | 119 f-n | 120 e-n | 126 e-m |
| <b>NPK1</b>    | 124 e-n              | 121 e-n | 116 g-n | 140 a-e | 123 e-n | 123 e-n |
| <b>NPK2</b>    | 122 e-n              | 113 j-n | 111 f-n | 140 a-e | 130 d-k | 123 e-n |
| <b>F-Test</b>  | 4,92**               |         |         |         |         |         |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Tuz uygulaması yapılan toprakta biyokömür ve diğer uygulamaların ve zamana bağlı olarak toprakta değişebilir katyonlar (K, Mg, Ca ve Na) miktarında meydana getirdiği değişimler Ca ve Mg değeri üzerine istatistiksel olarak önemli bulunmazken K ve Na değeri üzerine istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.21-4.24'te verilmiştir. K değerleri 191 (HA2 x İnk1) ile 383 (BB2 x İnk3) mg kg<sup>-1</sup> arasında, Mg değerleri 716 (BA1 x İnk3) ile 1068 (BB2 x İnk5) mg kg<sup>-1</sup> arasında, Ca değerleri 6220 (NPK2 x İnk0) ile 10598 (VKK2 x İnk0) mg kg<sup>-1</sup> ve Na değeri 781 (BB1 x İnk2) ile 1063 (BA1 x İnk3) mg kg<sup>-1</sup> arasında belirlenmiştir.

İnkübasyon zamanına bağlı olarak tuzlu toprakta K değeri artış göstermiş. Mg değeri ise inkübasyonun ilk dönemlerinde azalma meydana gelirken inkübasyon sonunda göreceli olarak daha yüksek değerler belirlenmiştir. Ca değeri inkübasyon sonunda kontrol uygulamasına göre NPK1 ve NPK2 uygulamaları dışında daha düşük değerler belirlenmiştir. Tuzlu toprakta değişebilir Na değeri BA1, BA2, BB1, BB2, HA1 ve HA2 uygulamalarında inkübasyonun ilk dönemlerinde azalış gösterirken inkübasyon sonunda göreceli olarak artışlar belirlenmiştir. VKK, VKS ve NPK uygulamalarında zamana bağlı olarak değişebilir Na değeri artış göstermiştir.

**Çizelge 4.21.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak potasyum (K) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |      |      |      |      |      |
|----------------|----------------------|------|------|------|------|------|
|                | İnk0                 | İnk1 | İnk2 | İnk3 | İnk4 | İnk5 |
| <b>Kontrol</b> | 213                  | 201  | 230  | 219  | 241  | 235  |
| <b>BA1</b>     | 215                  | 212  | 246  | 210  | 240  | 246  |
| <b>BA2</b>     | 219                  | 205  | 234  | 219  | 259  | 240  |
| <b>BB1</b>     | 277                  | 268  | 194  | 219  | 274  | 289  |
| <b>BB2</b>     | 347                  | 347  | 358  | 383  | 359  | 367  |
| <b>HA1</b>     | 220                  | 192  | 242  | 257  | 235  | 234  |
| <b>HA2</b>     | 221                  | 191  | 239  | 254  | 240  | 237  |
| <b>VKK1</b>    | 219                  | 216  | 254  | 282  | 243  | 246  |
| <b>VKK2</b>    | 220                  | 218  | 241  | 257  | 247  | 242  |
| <b>VKS1</b>    | 223                  | 202  | 233  | 255  | 238  | 245  |
| <b>VKS2</b>    | 207                  | 200  | 269  | 252  | 229  | 254  |
| <b>NPK1</b>    | 288                  | 274  | 265  | 312  | 346  | 300  |
| <b>NPK2</b>    | 247                  | 252  | 298  | 284  | 275  | 276  |
| <b>F-Test</b>  | 2,67 <sup>öd</sup>   |      |      |      |      |      |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<:0,01, öd; önemli değil

**Çizelge 4.22.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak magnezyum (Mg) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | İnk0                 | İnk1    | İnk2    | İnk3    | İnk4    | İnk5    |
| <b>Kontrol</b> | 883 c-o              | 832 e-s | 768 n-u | 724 tu  | 784 m-u | 872 d-q |
| <b>BA1</b>     | 953 bcd              | 927 b-e | 806 ı-u | 716 u   | 820 f-u | 890 b-l |
| <b>BA2</b>     | 981 bc               | 877 c-p | 842 e-s | 778 n-u | 841 e-s | 891 b-k |
| <b>BB1</b>     | 861 d-s              | 849 d-s | 765 r-u | 780 n-u | 873 d-q | 887 c-m |
| <b>BB2</b>     | 878 c-p              | 996 b   | 833 e-s | 848 d-s | 890 b-l | 1068 a  |
| <b>HA1</b>     | 859 d-s              | 785 k-u | 823 e-t | 800 ı-u | 805 ı-u | 880 c-p |
| <b>HA2</b>     | 869 d-r              | 757 stu | 774 p-u | 839 e-s | 847 e-s | 898 b-j |
| <b>VKK1</b>    | 858 d-s              | 833 e-s | 777 o-u | 854 d-s | 855 d-s | 849 d-s |
| <b>VKK2</b>    | 884 c-n              | 814 g-u | 838 e-s | 853 d-s | 904 b-ı | 881 c-p |
| <b>VKS1</b>    | 913 b-h              | 821 f-u | 881 c-o | 860 d-s | 839 e-s | 899 b-j |
| <b>VKS2</b>    | 790 j-u              | 809 h-u | 920 b-g | 924 b-f | 846 e-s | 881 c-p |
| <b>NPK1</b>    | 928 b-e              | 863 d-s | 783 m-u | 866 d-r | 880 c-p | 874 d-q |
| <b>NPK2</b>    | 854 d-s              | 873 d-q | 839 e-s | 905 b-ı | 865 d-r | 905 b-ı |
| <b>F-Test</b>  | 4,25**               |         |         |         |         |         |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<:0,01, öd; önemli değil

**Çizelge 4.23.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak kalsiyum (Ca) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |      |      |      |      |      |
|----------------|----------------------|------|------|------|------|------|
|                | İnk0                 | İnk1 | İnk2 | İnk3 | İnk4 | İnk5 |
| <b>Kontrol</b> | 8715                 | 8785 | 7483 | 7371 | 6888 | 7665 |
| <b>BA1</b>     | 9023                 | 8778 | 7840 | 6916 | 7854 | 8582 |
| <b>BA2</b>     | 1029                 | 8428 | 7966 | 7749 | 7777 | 8148 |
| <b>BB1</b>     | 9891                 | 8509 | 6844 | 7350 | 7140 | 9093 |
| <b>BB2</b>     | 8904                 | 8085 | 7399 | 7294 | 7350 | 8155 |
| <b>HA1</b>     | 8764                 | 8449 | 7700 | 7665 | 7462 | 7420 |
| <b>HA2</b>     | 9219                 | 8680 | 7413 | 7630 | 7595 | 7462 |
| <b>VKK1</b>    | 8169                 | 8533 | 6839 | 7056 | 7623 | 7819 |
| <b>VKK2</b>    | 10598                | 8638 | 7784 | 7196 | 8211 | 8624 |
| <b>VKS1</b>    | 10150                | 8351 | 7728 | 7546 | 7175 | 8141 |
| <b>VKS2</b>    | 9359                 | 8498 | 7784 | 7553 | 6972 | 8155 |
| <b>NPK1</b>    | 6320                 | 8442 | 7539 | 7749 | 7160 | 7812 |
| <b>NPK2</b>    | 6220                 | 9324 | 8043 | 7938 | 7665 | 8232 |
| <b>F-Test</b>  | 1,29 <sup>öd</sup>   |      |      |      |      |      |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ).

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , öd; önemli değil

**Çizelge 4.24.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak sodyum (Na) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |         |         |          |          |         |
|----------------|----------------------|---------|---------|----------|----------|---------|
|                | İnk0                 | İnk1    | İnk2    | İnk3     | İnk4     | İnk5    |
| <b>Kontrol</b> | 913 d-o*             | 875 j-o | 966 a-l | 952 b-o  | 980 a-j  | 946 b-o |
| <b>BA1</b>     | 919 d-o              | 898 d-o | 924 d-o | 1063 a   | 1050 ab  | 993 a-h |
| <b>BA2</b>     | 966 a-l              | 883 i-o | 950 b-o | 1050 abc | 1003 a-e | 987 a-ı |
| <b>BB1</b>     | 941 c-o              | 910 d-o | 781 p   | 853 no   | 959 a-n  | 983 a-j |
| <b>BB2</b>     | 1005 a-d             | 996 a-g | 957 a-n | 877 i-o  | 998 a-f  | 994 a-g |
| <b>HA1</b>     | 907 d-o              | 855 mno | 985 a-j | 986 a-ı  | 952 b-o  | 928 d-o |
| <b>HA2</b>     | 925 d-o              | 857 l-o | 970 a-j | 972 a-j  | 939 d-o  | 946 b-o |
| <b>VKK1</b>    | 910 d-o              | 917 d-o | 965 a-l | 961 a-n  | 955 a-n  | 964 a-n |
| <b>VKK2</b>    | 918 d-o              | 900 d-o | 958 a-n | 94 c-o   | 956 a-n  | 941 c-o |
| <b>VKS1</b>    | 923 d-o              | 892 e-o | 945 b-o | 970 a-j  | 924 d-o  | 960 a-n |
| <b>VKS2</b>    | 844 o                | 888 f-o | 948 b-o | 959 a-n  | 919 d-o  | 983 a-j |
| <b>NPK1</b>    | 881 i-o              | 885 g-o | 888 f-o | 924 d-o  | 968 a-k  | 933 d-o |
| <b>NPK2</b>    | 859 k-o              | 885 g-o | 915 d-o | 958 a-n  | 935 d-o  | 955 a-n |
| <b>F-Test</b>  | 2,09*                |         |         |          |          |         |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ).

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , öd; önemli değil

Kireç uygulaması yapılan toprakta iki farklı biyokömür ve farklı organik materyal uygulamaları ve NPK uygulamaları ve zamana bağlı olarak toprağın değişebilir katyonlar içeriğinde meydana getirdiği değişimler Mg ve Ca değeri haricinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.25-4.28 verilmiştir.

Uygulamalara bağı olarak toprağın değişebilir K değeri 123 mg kg<sup>-1</sup> (Kontrol x İnk0) ile 311mg kg<sup>-1</sup> (BB2 x İnk2), Na değeri 104 mg kg<sup>-1</sup> (Kontrol x İnk0) ile 158 mg kg<sup>-1</sup> (BB2 x İnk2) arasında belirlenmiştir. Değişebilir Mg ve Ca miktarlarında meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. İnkübasyon zamanına bağı olarak değişebilir K değeri İnk2 ve İnk3'te artış gösterirken İnk5 ve İnk6'da. göreceli olarak daha düşük değerler belirlenmiştir. BA1, BA2, BB1 ve BB2 uygulamalarında kontrole göre meydana gelen azalmalar daha belirgin olmuştur. Zamana bağı olarak değişebilir Na değeri inkübasyon sonunda özellikle BB1 ve BB2 uygulamalarında kontrole göre daha yüksek değerler belirlenmiştir.

**Çizelge 4.25..** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak potasyum (K) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | İnk0                 | İnk1    | İnk2    | İnk3    | İnk4    | İnk5    |
| <b>Kontrol</b> | 123 z                | 155 q-z | 173 j-r | 166 l-x | 159 p-z | 141 yz  |
| <b>BA1</b>     | 139 z                | 150 s-z | 162 n-y | 167 k-w | 147 u-z | 90 z    |
| <b>BA2</b>     | 142 yz               | 159 p-z | 171 j-t | 189 g-k | 165 l-x | 151 r-z |
| <b>BB1</b>     | 211 d-g              | 213 def | 221 cd  | 239 c   | 150 s-z | 138 z   |
| <b>BB2</b>     | 239 c                | 286 b   | 311 a   | 292 ab  | 281 b   | 189 g-k |
| <b>HA1</b>     | 125 z                | 145 w-z | 185 h-m | 166 l-x | 172 j-s | 154 q-z |
| <b>HA2</b>     | 131 z                | 149 r-z | 196 e-ı | 171 j-s | 184 h-n | 165 l-x |
| <b>VKK1</b>    | 144 u-z              | 155 q-z | 182 h-o | 175 ı-q | 175 ı-q | 163 m-y |
| <b>VKK2</b>    | 149 r-z              | 158 o-z | 187 g-m | 181 h-p | 175 ı-q | 166 l-x |
| <b>VKS1</b>    | 137 z                | 145 w-z | 162 n-y | 164 l-z | 171 ı-u | 181 h-p |
| <b>VKS2</b>    | 143 v-z              | 144 u-z | 178 ı-q | 220 cde | 182 h-p | 169 j-x |
| <b>NPK1</b>    | 168 k-v              | 186 h-m | 191 f-j | 229 cd  | 221 cd  | 180 ı-p |
| <b>NPK2</b>    | 189 g-k              | 225 de  | 273 b   | 226 cd  | 221 cd  | 213 def |
| <b>F-Test</b>  | 23,24**              |         |         |         |         |         |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0,01, öd; önemli değil

**Çizelge 4.26.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak magnezyum (Mg) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |      |      |      |      |      |
|----------------|----------------------|------|------|------|------|------|
|                | İnk0                 | İnk1 | İnk2 | İnk3 | İnk4 | İnk5 |
| <b>Kontrol</b> | 759                  | 676  | 614  | 635  | 607  | 642  |
| <b>BA1</b>     | 883                  | 757  | 687  | 637  | 602  | 727  |
| <b>BA2</b>     | 854                  | 790  | 721  | 647  | 594  | 658  |
| <b>BB1</b>     | 771                  | 655  | 560  | 597  | 640  | 714  |
| <b>BB2</b>     | 671                  | 677  | 669  | 623  | 687  | 656  |
| <b>HA1</b>     | 673                  | 614  | 672  | 631  | 665  | 610  |
| <b>HA2</b>     | 664                  | 593  | 685  | 606  | 614  | 644  |
| <b>VKK1</b>    | 689                  | 604  | 619  | 610  | 688  | 640  |
| <b>VKK2</b>    | 712                  | 650  | 629  | 624  | 721  | 648  |
| <b>VKS1</b>    | 693                  | 625  | 661  | 679  | 661  | 630  |
| <b>VKS2</b>    | 721                  | 660  | 638  | 647  | 670  | 633  |
| <b>NPK1</b>    | 708                  | 570  | 610  | 690  | 651  | 646  |
| <b>NPK2</b>    | 702                  | 665  | 673  | 726  | 679  | 700  |
| <b>F-Test</b>  | 1,56 <sup>öd</sup>   |      |      |      |      |      |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

**Çizelge 4.27.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak kalsiyum (Ca) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |       |       |      |      |       |
|----------------|----------------------|-------|-------|------|------|-------|
|                | İnk0                 | İnk1  | İnk2  | İnk3 | İnk4 | İnk5  |
| <b>Kontrol</b> | 10297                | 9429  | 8358  | 8666 | 8883 | 8946  |
| <b>BA1</b>     | 9611                 | 9681  | 11396 | 9866 | 8666 | 10350 |
| <b>BA2</b>     | 7987                 | 9457  | 11438 | 8757 | 8365 | 8736  |
| <b>BB1</b>     | 8694                 | 10045 | 8411  | 8561 | 8295 | 8834  |
| <b>BB2</b>     | 9352                 | 9450  | 8575  | 8750 | 8645 | 8624  |
| <b>HA1</b>     | 10227                | 9611  | 8764  | 8799 | 9079 | 8519  |
| <b>HA2</b>     | 9331                 | 9394  | 8610  | 8771 | 8407 | 8799  |
| <b>VKK1</b>    | 9212                 | 8301  | 8631  | 8141 | 9072 | 8827  |
| <b>VKK2</b>    | 9100                 | 9926  | 8694  | 8862 | 8701 | 8946  |
| <b>VKS1</b>    | 9683                 | 9513  | 8463  | 9009 | 8813 | 8624  |
| <b>VKS2</b>    | 9973                 | 9695  | 8211  | 8799 | 8820 | 8806  |
| <b>NPK1</b>    | 9830                 | 9324  | 8589  | 9282 | 9051 | 9177  |
| <b>NPK2</b>    | 9960                 | 10185 | 8631  | 9807 | 9408 | 9534  |
| <b>F-Test</b>  | 8,48 <sup>öd</sup>   |       |       |      |      |       |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

**Çizelge 4.28.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak sodyum (Na) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | İnk0                 | İnk1    | İnk2    | İnk3    | İnk4    | İnk5    |
| <b>Kontrol</b> | 104 z*               | 106 z   | 128 f-q | 124 j-u | 124 j-u | 118 p-z |
| <b>BA1</b>     | 107 z                | 116 s-z | 128 f-q | 123 l-v | 121 m-x | 128 f-q |
| <b>BA2</b>     | 125 g-u              | 115 u-z | 126 g-t | 127 f-r | 119 p-z | 117 s-z |
| <b>BB1</b>     | 110 z                | 134 d-k | 136 def | 138 d-g | 130 e-n | 133 d-k |
| <b>BB2</b>     | 113 w-z              | 135 d-g | 158 a   | 155 ab  | 153 bc  | 147 bc  |
| <b>HA1</b>     | 123 l-v              | 112 xyz | 121 m-x | 136 def | 118 p-z | 129 f-q |
| <b>HA2</b>     | 117 s-z              | 108 z   | 122 l-x | 130 f-o | 117 r-z | 126 f-s |
| <b>VKK1</b>    | 124 h-v              | 116 s-z | 127 f-r | 140 cde | 124 h-v | 131 d-m |
| <b>VKK2</b>    | 119 o-z              | 121 m-x | 128 f-q | 133 d-ı | 125 g-u | 119 p-z |
| <b>VKS1</b>    | 133 d-m              | 111 v-z | 118 p-z | 119 p-z | 118 p-z | 123 j-w |
| <b>VKS2</b>    | 120 m-z              | 112 xyz | 116 r-z | 116 p-z | 119 q-z | 126 g-t |
| <b>NPK1</b>    | 140 cd               | 121 m-x | 124 j-u | 116 t-z | 123 l-v | 123 l-v |
| <b>NPK2</b>    | 140 cd               | 122 l-w | 111 yz  | 113 w-z | 123 l-v | 130 e-n |
| <b>F-Test</b>  | 8,83**               |         |         |         |         |         |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Yapılan çalışmalarda topraklara uygulanan biyokömür ve farklı organik materyallerin toprakların özellikle makro besin elementleri üzerine olumlu yönde etki ettiği bildirilmiştir (Sadowska vd., 2020; Rita Emendu vd., 2023; Gondek and Mierzwa-Hersztek, 2023)). Kocsis vd. (2022), biyokömürün öncelikle toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini bu iyileşmenin dolaylı olarak toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerini de ıslah ettiğini ve geliştirdiğini bildirmiştir. (Lehmann vd., 2011; Ding vd., 2016) biyokömür uygulamaları sonucu topraktaki besin elementi yararlanılabilirliğinin artışının biyokömürlerin çözünebilir besin elementi veya organik bağlı besin elementlerinin (Laird vd., 2010)

Laird vd. (2010), biyokömürün kendi başına büyük miktarda K bulundurması nedeniyle biyokömürün mevcut K'yi arttırdığını belirtmiştir. Biyokömür ve kompost ilavesinden dolayı toprak mikrobiyal aktivitelerindeki artışlar, muhtemelen oksidasyon prosesi yoluyla mevcut katyonların salınımını kolaylaştırmıştır. Biyokömür uygulamasının bir sonucu olarak ekstrakte edilebilir katyonlardaki artışlar aynı zamanda biyokömürün besin adsorpsiyonundaki rolüne atfedilebilir.

Ek olarak, organik materyaller ve biyokömür ilaveleri sadece besin sağlamakla kalmaz, aynı zamanda mevcut katyonları tutmaya yardımcı olur. Bazı araştırmacılar, yüksek KDK'ya sahip toprağın, mevcut bitki besinlerini biyokömür yüzeyine, humusa ve kile

giderek daha fazla bağladığını veya tuttuğunu, bunun da besinlerin yıkanmasını azalttığını ve böylece bitkinin mevcut besin maddelerinin alımını artırdığını göstermiştir (Glaser vd., 2002; Lehmann vd., 2011; Laird vd., 2010) ve muhtemelen çalışmamız boyunca artan ekstrakte edilebilir katyonların nedeni bu sebeple ilişkilendirilebilir.

Biyokömürün sahip olduğu yüksek yüzey alanı, porozite, besin element içeriği, katyon değişim kapasitesi, pH ve karbon içeriği nedeniyle toprakların besin elementi içeriğinde artış sağlamaktadır (Pühringer, 2016) Dolayısıyla biyokömür uygulamalarının belli dozuna kadar toprakta değişebilir katyon içerikleri artarken, fazla miktarlarda biyokömür uygulaması ile biyokömürün sahip olduğu yüksek spesifik yüzey alanı değişebilir katyonların güçlü bir şekilde tutulmasını sağlayarak değişebilir içeriklerini azaltmaktadır. Böylece toprakta değişebilir katyonların alınabilirliğinin sınırlanması ile bitkinde değişebilir katyonlardan faydalanmasını azaltmaktadır. (Zemanová vd., 2017) yüksek düzeyde biyokömür uygulamalarının bu sebepten dolayı kimi durumlarda bitkilerde stres yarattığını bildirmiştir.

Biyokömürler içermiş oldukları yüksek düzeyde mikroporlar aracılığıyla büyük miktarlarda su adsorbe etmektedir ve bu su içerisindeki çözünmüş halde bulunan besin elementlerinden bitkilerin daha fazla faydalanması (Major vd., 2009) gibi durum gerçekleşmektedir; dolayısıyla biyokömür uygulanmış toprakların sodyum içeriği vermikompost ve humik asit uygulanmış topraklardan daha fazla olarak etkilenmektedir.

Vermikompost bitkiye yarayışlı fosfor, değişebilir kalsiyum ve potasyum içeriğinin yüksek olduğu (Orozco vd., 1996) bir organik gübredir. Ramnarain vd. (2018) vermikompost uygulamaları ile toprağın besin element içeriğindeki artışın yanı sıra bitkinin de besin elementi içeriğinde artış olduğunu bildirmişlerdir. Hem vermikompost hemde biyokömür uygulamaları ile bitkinin potasyum ve sodyum içeriği artmakta dolayısıyla kalsiyum ile diğer elementler arasındaki antagonistik ilişki göz önünde bulundurulduğunda bitki tarafından kalsiyum alımının azalmasına neden olabileceğini bildirmişlerdir.

Biyokömür uygulamaları ve toprak özelliklerine bağlı olarak değişen sonuçlarla ilgili olarak Ahmed vd., (2021) pH değeri düşük olan asidik topraklarda biyokömür uygulama

etkisinin daha belirgin olduğunu bunun da biyokömürün pH değeri ve alkalın karakterine bağlı olduğunu bildirmiştir.

#### 4.1.4. Mikro elementler (Fe, Cu, Mn, Zn) üzerine etki

İki farklı biyokömür, farklı organik materyaller, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir Fe değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Kontrol toprağında en düşük alınabilir Fe değeri 8,04 mg kg<sup>-1</sup> (BA1 x İnk1) en yüksek alınabilir Fe değeri ise 21,44 mg kg<sup>-1</sup> (HA2 x İnk4) uygulamalarında belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak İnk5 ve İnk6’da en yüksek alınabilir Fe miktarları belirlenmiştir.

**Çizelge 4.29.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak demir (Fe) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |           |           |           |           |
|----------------|----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2      | İnk3      | İnk4      | İnk5      |
| <b>Kontrol</b> | 13,40 qr**           | 8,05 z   | 10,20 vwx | 18,63 d-h | 19,59 b-f | 17,62 g-m |
| <b>BA1</b>     | 13,31 qr             | 8,04 z   | 9,25 w-z  | 18,34 e-j | 19,81 b-e | 18,27 e-j |
| <b>BA2</b>     | 11,50 s-v            | 8,35 yz  | 9,57 w-z  | 19,49 e-f | 21,02 ab  | 20,61 bc  |
| <b>BB1</b>     | 12,33 q-t            | 9,28 w-z | 9,54 w-z  | 18,02 f-k | 20,72 abc | 15,80 no  |
| <b>BB2</b>     | 10,80 t-w            | 7,95 z   | 8,91 xyz  | 15,78 no  | 18,31 e-j | 13,28 qr  |
| <b>HA1</b>     | 12,07 r-u            | 9,50 w-z | 9,72 w-z  | 17,84 g-l | 20,60 bc  | 11,12 r-u |
| <b>HA2</b>     | 12,83 q-s            | 9,35 w-z | 9,96 wx   | 20,14 a-d | 21,44 a   | 15,19 op  |
| <b>VKK1</b>    | 13,71 pq             | 8,99 xyz | 11,95 r-u | 16,12 no  | 20,74 abc | 9,48 w-z  |
| <b>VKK2</b>    | 11,93 r-u            | 8,06 z   | 12,33 q-t | 15,34 l-o | 20,52 abc | 8,97 xyz  |
| <b>VKS1</b>    | 15,03 op             | 9,50 w-z | 10,76 vw  | 16,48 l-o | 20,97 ab  | 9,36 w-z  |
| <b>VKS2</b>    | 12,80 qrs            | 10,00 wx | 9,68 wxy  | 16,45 l-o | 20,70 bc  | 17,56 ı-m |
| <b>NPK1</b>    | 12,14 r-u            | 8,92 xyz | 10,17 wx  | 18,46 e-ı | 18,90 d-g | 17,35 ı-n |
| <b>NPK2</b>    | 19,39 c-f            | 9,64 wxy | 9,99 wx   | 18,83 d-h | 19,51 b-f | 16,93 ı-n |
| <b>F-Test</b>  | 27,99**              |          |           |           |           |           |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öđ; önemli değıl

Tuz uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir Fe değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.30’ta verilmiştir. Ancak İnk4 ve İnk5’te göreceli olarak daha yüksek alınabilir Fe değerleri belirlenmiştir.

**Çizelge 4.30.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak demir (Fe) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |      |       |       |       |       |
|----------------|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|
|                | İnk0                 | İnk1 | İnk2  | İnk3  | İnk4  | İnk5  |
| <b>Kontrol</b> | 11,12                | 6,91 | 9,29  | 17,45 | 17,92 | 16,93 |
| <b>BA1</b>     | 13,44                | 6,88 | 9,13  | 16,08 | 18,43 | 18,16 |
| <b>BA2</b>     | 10,43                | 8,58 | 9,26  | 16,33 | 19,02 | 17    |
| <b>BB1</b>     | 8,91                 | 6,22 | 8,6   | 11,99 | 16,25 | 14,14 |
| <b>BB2</b>     | 7,84                 | 6,59 | 8,07  | 15,29 | 16,42 | 11,47 |
| <b>HA1</b>     | 9,65                 | 8,1  | 9,33  | 16,42 | 16,94 | 16,04 |
| <b>HA2</b>     | 11,78                | 8,08 | 9,51  | 16,53 | 18,89 | 16,05 |
| <b>VKK1</b>    | 11,34                | 7,4  | 10,5  | 12,35 | 18    | 11,24 |
| <b>VKK2</b>    | 13,63                | 6,72 | 10,85 | 13,47 | 17,83 | 7,81  |
| <b>VKS1</b>    | 11,3                 | 8,73 | 8,83  | 13,96 | 17,69 | 15,24 |
| <b>VKS2</b>    | 10,64                | 5,87 | 8,83  | 13,92 | 17,55 | 15,34 |
| <b>NPK1</b>    | 10,27                | 8,94 | 8,25  | 15,67 | 15,82 | 14,47 |
| <b>NPK2</b>    | 9,52                 | 7,94 | 8,56  | 16,35 | 16,31 | 15,13 |
| <b>F-Test</b>  | 1,00 <sup>öd</sup>   |      |       |       |       |       |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Kireç uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir Fe değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.31’de verilmiştir. En düşük alınabilir Fe değeri 6,18 mg kg<sup>-1</sup> (BB1 x İnk1) en yüksek alınabilir Fe değeri ise 19,21 mg kg<sup>-1</sup> (HA2 x İnk4) uygulamalarında belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak alınabilir Fe içerikleri İnk2 ve İnk 3’te azalış gösterirken son dönemlerde artış gözlemlenmiştir.

**Çizelge 4.31.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak demir (Fe) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |           |           |           |           |           |
|----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                | İnk0                 | İnk1      | İnk2      | İnk3      | İnk4      | İnk5      |
| <b>Kontrol</b> | 10,64 m-y**          | 8,65 u-z  | 9,63 s-z  | 16,85 a-f | 17,59 a-e | 18,29 a-d |
| <b>BA1</b>     | 9,83 p-z             | 8,95 t-z  | 10,38 n-z | 16,48 a-g | 18,38 a-d | 14,07 e-o |
| <b>BA2</b>     | 10,79 m-y            | 9,44 s-z  | 9,39 s-z  | 17,16 a-e | 18,62 a-d | 14,50 b-o |
| <b>BB1</b>     | 10,18 o-z            | 6,18 z    | 8,79 u-z  | 14,08 e-o | 16,35 a-h | 16,04 a-j |
| <b>BB2</b>     | 12,19 ı-w            | 8,96 t-z  | 8,96 t-z  | 15,60 a-k | 17,62 a-e | 15,55 a-k |
| <b>HA1</b>     | 12,76 g-t            | 6,50 z    | 10,26 n-z | 16,16 a-ı | 18,75 ab  | 15,92 a-j |
| <b>HA2</b>     | 13,74 e-r            | 9,72 q-z  | 11,51 l-y | 15,39 a-l | 19,21 a   | 13,06 f-s |
| <b>VKK1</b>    | 12,43 h-v            | 11,38 l-y | 11,61 k-y | 14,48 d-m | 18,44 a-d | 8,60 u-z  |
| <b>VKK2</b>    | 11,23 j-y            | 9,50 q-z  | 12,01 f-x | 14,22 c-r | 17,86 a-e | 17,89 a-e |
| <b>VKS1</b>    | 14,63 o              | 8,71 u-z  | 10,04 n-z | 14,59 b-o | 17,80 a-e | 14,67 b-n |
| <b>VKS2</b>    | 14,10 e-s            | 10,48 m-z | 9,68 q-z  | 14,78 b-n | 18,38 a-d | 14,63 b-o |
| <b>NPK1</b>    | 7,97 xyz             | 8,35 w-z  | 7,95 yz   | 16,08 a-j | 15,25 a-l | 14,54 d-m |
| <b>NPK2</b>    | 12,57 g-u            | 8,48 v-z  | 8,70 u-z  | 16,37 a-h | 16,46 a-g | 14,98 b-l |
| <b>F-Test</b>  | 33,39**              |           |           |           |           |           |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

İki farklı biyokömür, farklı organik materyaller, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir Cu değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli) bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Kontrol toprağında en düşük alınabilir Cu değeri 1,65 mg kg<sup>-1</sup> (HA1 x İnk5) en yüksek alınabilir Cu değeri ise 3,14 mg kg<sup>-1</sup> (BA2 x İnk5) uygulamalarında belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak alınabilir Cu içerikleri göreceli olarak artış göstermiştir.

**Çizelge 4.32.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak bakır (Cu) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 2,14 d-n             | 1,87 m-v | 1,75 tuv | 2,07 h-p | 2,14 d-m | 2,10 f-p |
| <b>BA1</b>     | 2,24 c-k             | 1,95 l-v | 2,02 j-t | 2,22 c-l | 2,33 a-h | 2,00 j-t |
| <b>BA2</b>     | 2,25 c-k             | 2,09 f-p | 1,98 k-u | 2,39 a-e | 2,53 ab  | 2,08 g-p |
| <b>BB1</b>     | 2,04 ı-r             | 1,70 v   | 1,73 uv  | 1,87 m-v | 1,94 m-v | 1,99 k-u |
| <b>BB2</b>     | 2,35 a-g             | 2,08 g-p | 1,85 o-v | 1,86 o-v | 2,00 j-t | 1,92 m-v |
| <b>HA1</b>     | 2,27 b-j             | 1,26 w   | 1,89 m-v | 1,97 l-v | 2,10 f-p | 1,88 m-v |
| <b>HA2</b>     | 2,31 b-ı             | 1,85 o-v | 1,94 m-v | 1,75 tuv | 1,99 k-u | 1,78 q-v |
| <b>VKK1</b>    | 2,40 a-h             | 2,36 m-v | 2,03 ı-q | 1,88 r-v | 2,03 j-t | 1,16 w   |
| <b>VKK2</b>    | 2,34 c-j             | 1,94 o-x | 2,06 k-s | 1,77 t-x | 2,01 l-v | 1,42 y   |
| <b>VKS1</b>    | 2,48 abc             | 1,88 m-v | 1,84 p-v | 1,76 s-v | 2,41 a-d | 1,88 m-v |
| <b>VKS2</b>    | 2,38 a-e             | 2,00 j-t | 1,86 o-v | 1,87 n-v | 2,12 e-o | 1,93 m-v |
| <b>NPK1</b>    | 1,88 m-v             | 1,28 w   | 1,72 uv  | 1,97 l-v | 1,99 k-u | 1,80 q-v |
| <b>NPK2</b>    | 2,60 a               | 2,26 b-j | 2,02 j-t | 1,96 l-v | 1,94 m-v | 1,99 k-u |
| <b>F-Test</b>  | 1,14**               |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*:p<0,01, öd; önemli değil

Tuz uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir alınabilir Cu değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.33’te verilmiştir.

Kireç ve tuz uygulanmayan kontrol olarak değerlendirilen toprakta en düşük alınabilir Cu değeri 1,821 mg kg<sup>-1</sup> (VKK1 x İnk5) en yüksek alınabilir Cu değeri ise 3,357 mg kg<sup>-1</sup> (BA2 x İnk3) uygulamalarında belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak alınabilir Cu içerikleri göreceli olarak artış göstermiştir.

Kireç uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir Cu değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde

edilen değerler Çizelge 4.34'te verilmiştir. En düşük alınabilir Cu değeri 1,17 mg kg<sup>-1</sup> (VKK1 x İnk5) en yüksek alınabilir Cu değeri ise 4 mg kg<sup>-1</sup> (NPK2 x İnk3) uygulamalarında belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak alınabilir Cu içerikleri kontrole göre azalış göstermiştir.

**Çizelge 4.33.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak bakır (Cu) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |           |           |           |           |           |
|----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                | İnk0                 | İnk1      | İnk2      | İnk3      | İnk4      | İnk5      |
| <b>Kontrol</b> | 3,267 ab**           | 2,301 u-y | 2,313 t-y | 2,722 e-t | 2,813 c-p | 2,773 d-r |
| <b>BA1</b>     | 2,849 c-n            | 2,554 ı-x | 2,473 m-x | 2,947 a-j | 2,994 a-j | 2,983 c-o |
| <b>BA2</b>     | 2,991 a-h            | 2,209 w-z | 2,532 j-x | 3,357 a   | 3,107 a-f | 3,080 a-g |
| <b>BB1</b>     | 2,802 c-q            | 2,171 xyz | 2,365 r-y | 2,549 ı-x | 2,455 n-x | 2,360 r-y |
| <b>BB2</b>     | 2,753 e-s            | 2,023 yz  | 2,327 t-y | 2,666 h-u | 2,438 n-x | 2,317 t-y |
| <b>HA1</b>     | 2,897 b-l            | 2,477 m-x | 2,491 l-x | 2,629 h-v | 2,693 g-u | 2,447 m-x |
| <b>HA2</b>     | 2,982 a-h            | 2,239 v-z | 2,425 o-y | 2,637 h-v | 2,593 h-w | 2,471 m-x |
| <b>VKK1</b>    | 3,129 a-e            | 2,395 q-y | 2,615 h-w | 2,499 l-x | 2,551 ı-x | 1,821 z   |
| <b>VKK2</b>    | 3,167 a-d            | 2,339 s-y | 2,664 h-v | 2,456 n-x | 2,648 h-v | 1,707 <z  |
| <b>VKS1</b>    | 2,872 b-m            | 2,533 j-x | 2,400 p-y | 3,199 abc | 2,551 ı-x | 2,441 n-x |
| <b>VKS2</b>    | 2,923 b-k            | 1,709 <z  | 2,439 n-x | 2,530 k-x | 2,553 ı-x | 2,452 n-x |
| <b>NPK1</b>    | 2,962 a-ı            | 2,71 f-u  | 2,342 s-y | 2,690 g-u | 2,700 f-u | 2,47 m-x  |
| <b>NPK2</b>    | 2,976 a-h            | 2,552 ı-x | 2,47 m-x  | 2,640 h-v | 2,842 c-o | 2,768 d-r |
| <b>F-Test</b>  | 4,73**               |           |           |           |           |           |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öđ; önemli değil

**Çizelge 4.34.** Kireç toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak bakır (Cu) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 2,13 f-l             | 1,87 l-q | 1,77 opq | 2,07 g-n | 2,13 f-l | 2,10 g-m |
| <b>BA1</b>     | 2,23 e-j             | 1,97 j-q | 2,03 h-o | 2,20 e-k | 2,30 d-h | 2,03 h-o |
| <b>BA2</b>     | 2,23 e-j             | 2,10 g-m | 2,00 ı-p | 2,40 c-f | 2,53 cd  | 2,07 g-n |
| <b>BB1</b>     | 2,03 h-o             | 1,70 q   | 1,73 pq  | 1,87 l-q | 1,97 j-q | 2,00 ı-p |
| <b>BB2</b>     | 2,33 c-g             | 2,10 g-m | 1,83 m-q | 1,83 m-q | 2,00 ı-p | 1,93 k-q |
| <b>HA1</b>     | 2,27 d-ı             | 1,27 r   | 1,87 l-q | 1,97 c-g | 2,07 m-q | 1,87 k-q |
| <b>HA2</b>     | 2,33 c-g             | 1,83 m-q | 1,93 k-q | 1,77 opq | 1,97 j-q | 1,80 n-q |
| <b>VKK1</b>    | 2,40 c-f             | 2,33 c-g | 2,03 h-o | 1,87 l-q | 2,00 ı-p | 1,17 r   |
| <b>VKK2</b>    | 2,33 c-g             | 1,97 j-q | 2,07 g-n | 1,77 opq | 2,03 h-o | 1,40 r   |
| <b>VKS1</b>    | 2,47 cde             | 1,90 l-q | 1,83 m-q | 1,73 pq  | 2,43 cde | 1,87 l-q |
| <b>VKS2</b>    | 2,40 c-f             | 2,00 ı-p | 1,87 l-q | 1,90 l-q | 2,10 g-m | 1,97 j-q |
| <b>NPK1</b>    | 1,90 l-q             | 3,30 b   | 1,70 q   | 2,00 ı-p | 2,00 ı-p | 1,80 n-q |
| <b>NPK2</b>    | 2,60 c               | 2,30 d-h | 4,00 a   | 2,00 ı-p | 1,90 l-q | 2,00 ı-p |
| <b>F-Test</b>  | 13,23**              |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öđ; önemli değil

İki farklı biyokömür, farklı organik materyaller, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir Zn değeri üzerinde meydana

getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.35'te verilmiştir. Ancak İnk3, İnk4 ve İnk5'te göreceli olarak daha yüksek alınabilir Zn miktarları belirlenmiştir.

**Çizelge 4.35.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak çinko (Zn) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |          |          |          |
|----------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3     | İnk4     | İnk5     |
| <b>Kontrol</b> | 3,74 g-j             | 2,81 s-y | 2,31 <z  | 4,12 c-g | 4,36 cd  | 3,29 m-q |
| <b>BA1</b>     | 3,73 g-k             | 3,26 n-q | 2,38 z   | 4,36 cd  | 4,22 cde | 3,62 j-n |
| <b>BA2</b>     | 4,96 a               | 3,34 k-p | 2,48 xyz | 4,76 ab  | 5,02 a   | 4,08 d-h |
| <b>BB1</b>     | 3,73 g-j             | 3,11 p-t | 2,29 <z  | 4,08 d-h | 4,50 bc  | 3,22 o-r |
| <b>BB2</b>     | 3,66 ı-m             | 3,17 o-s | 2,26 <z  | 3,67 ı-m | 3,67 ı-m | 3,13 p-t |
| <b>HA1</b>     | 3,71 h-k             | 3,03 p-u | 2,26 <z  | 3,68 ı-l | 3,81 f-j | 2,16 o-r |
| <b>HA2</b>     | 3,76 f-j             | 3,14 p-t | 2,13 <z  | 3,82 f-j | 2,95 q-w | 3,17 p-s |
| <b>VKK1</b>    | 4,01 d-ı             | 3,01 p-u | 2,76 t-z | 3,69 h-l | 2,69 u-z | 2,93 q-w |
| <b>VKK2</b>    | 3,91 e-j             | 2,81 s-y | 2,57 w-z | 3,56 j-o | 3,21 o-r | 2,52 xyz |
| <b>VKS1</b>    | 4,15 c-f             | 2,81 s-y | 2,44 yz  | 3,81 f-j | 2,98 pv  | 2,62 v-z |
| <b>VKS2</b>    | 3,76 g-j             | 3,07 p-u | 2,33 <z  | 3,89 e-j | 3,02 p-u | 3,01 p-u |
| <b>NPK1</b>    | 2,85 r-x             | 2,05 <z  | 2,76 t-z | 3,13 p-t | 3,32 l-q | 3,00 p-v |
| <b>NPK2</b>    | 2,54 xyz             | 2,31 <z  | 2,44 yz  | 3,18 o-s | 3,24 n-q | 3,00 p-v |
| <b>F-Test</b>  | 0,99**               |          |          |          |          |          |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Tuz uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir alınabilir Zn değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.36).

**Çizelge 4.36.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak çinko (Zn) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |       |       |       |       |       |
|----------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | İnk0                 | İnk1  | İnk2  | İnk3  | İnk4  | İnk5  |
| <b>Kontrol</b> | 4,825                | 3,542 | 3,253 | 5,139 | 5,439 | 4,041 |
| <b>BA1</b>     | 3,777                | 3,571 | 3,001 | 5,393 | 5,688 | 4,362 |
| <b>BA2</b>     | 4,591                | 3,339 | 3,249 | 5,907 | 6,003 | 4,498 |
| <b>BB1</b>     | 4,145                | 3,205 | 3,019 | 4,507 | 4,638 | 3,859 |
| <b>BB2</b>     | 4,137                | 3,005 | 2,912 | 5,085 | 4,557 | 3,712 |
| <b>HA1</b>     | 4,363                | 3,401 | 3,023 | 4,824 | 3,813 | 3,684 |
| <b>HA2</b>     | 4,708                | 2,991 | 3,297 | 4,828 | 3,631 | 4,237 |
| <b>VKK1</b>    | 4,784                | 3,495 | 3,08  | 4,335 | 3,505 | 3,011 |
| <b>VKK2</b>    | 5,213                | 3,381 | 3,104 | 4,229 | 3,307 | 2,861 |
| <b>VKS1</b>    | 4,885                | 3,578 | 3,027 | 5,011 | 3,54  | 3,615 |
| <b>VKS2</b>    | 4,554                | 4,181 | 3,38  | 3,702 | 3,945 | 3,558 |
| <b>NPK1</b>    | 2,94                 | 2,836 | 2,794 | 3,992 | 3,81  | 3,174 |
| <b>NPK2</b>    | 3,474                | 2,68  | 3,254 | 4,568 | 3,968 | 3,608 |
| <b>F-Test</b>  | 14,36 <sup>öd</sup>  |       |       |       |       |       |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Kireç uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir Zn değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.37’de verilmiştir.

**Çizelge 4.37.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak çinko (Zn) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |      |      |      |      |      |
|----------------|----------------------|------|------|------|------|------|
|                | İnk0                 | İnk1 | İnk2 | İnk3 | İnk4 | İnk5 |
| <b>Kontrol</b> | 2,74                 | 2,58 | 2,4  | 3,37 | 3,74 | 3,3  |
| <b>BA1</b>     | 3,03                 | 2,76 | 2,54 | 3,29 | 3,9  | 3,18 |
| <b>BA2</b>     | 2,94                 | 2,94 | 2,59 | 3,87 | 4,22 | 3,78 |
| <b>BB1</b>     | 2,69                 | 2,31 | 2,33 | 2,84 | 3,32 | 3,29 |
| <b>BB2</b>     | 3,3                  | 2,7  | 2,48 | 30   | 3,46 | 3,2  |
| <b>HA1</b>     | 3,16                 | 2,7  | 2,66 | 3,03 | 3,47 | 2,87 |
| <b>HA2</b>     | 3,31                 | 2,44 | 2,71 | 2,77 | 3,31 | 2,66 |
| <b>VKK1</b>    | 3,12                 | 2,72 | 2,72 | 2,83 | 3,37 | 1,88 |
| <b>VKK2</b>    | 3,14                 | 2,54 | 2,86 | 2,8  | 3,37 | 2,45 |
| <b>VKS1</b>    | 3,46                 | 2,81 | 2,64 | 2,88 | 3,49 | 2,84 |
| <b>VKS2</b>    | 3,2                  | 2,67 | 2,57 | 2,46 | 3,41 | 2,6  |
| <b>NPK1</b>    | 1,62                 | 1,67 | 2,34 | 2,24 | 2,4  | 2,84 |
| <b>NPK2</b>    | 2,83                 | 2,41 | 2,12 | 2,19 | 2,25 | 3,08 |
| <b>F-Test</b>  | 24,73 <sup>öd</sup>  |      |      |      |      |      |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ).

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , öd; önemli değil

İki farklı biyokömür, farklı organik materyaller, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir Mn değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.38’te verilmiştir.

Kontrol toprağında en düşük alınabilir Mn değeri  $2,68 \text{ mg kg}^{-1}$  (VKK2 x İnk1) en yüksek alınabilir Mn değeri ise  $20,85 \text{ mg kg}^{-1}$  (BA2 x İnk0) uygulamalarında belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak alınabilir Mn içerikleri İnk2 ve İnk3’te ciddi bir azalış gösterirken diğer dönemlerde artış göstermiştir.

**Çizelge 4.38.** Tuzsuz ve kireçsiz (kontrol) toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak mangan (Mn) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |           |           |           |
|----------------|----------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3      | İnk4      | İnk5      |
| <b>Kontrol</b> | 16,79 d-k**          | 2,95 y   | 3,73 y   | 10,93 p-v | 14,66 g-o | 14,66 g-o |
| <b>BA1</b>     | 18,80 cd             | 2,81 y   | 3,40 y   | 11,26 n-v | 14,75 f-n | 14,75 f-n |
| <b>BA2</b>     | 20,85 a              | 8,22 uvw | 3,66 y   | 10,74 p-v | 17,46 c-ı | 17,46 c-ı |
| <b>BB1</b>     | 18,26 c-f            | 3,87 y   | 3,84 y   | 11,17 o-v | 17,36 c-j | 17,36 c-j |
| <b>BB2</b>     | 17,82 c-ı            | 9,27 tuv | 4,01 y   | 11,29 n-v | 16,66 d-l | 16,66 d-l |
| <b>HA1</b>     | 14,57 g-o            | 3,45 y   | 3,30 y   | 10,26 q-v | 17,91 c-h | 17,91 c-h |
| <b>HA2</b>     | 14,55 h-o            | 9,28 tuv | 3,20 y   | 10,86 p-v | 18,10 c-g | 18,10 c-g |
| <b>VKK1</b>    | 19,94 bcd            | 3,13 y   | 4,65 xy  | 9,71 s-v  | 18,35 cde | 18,30 cde |
| <b>VKK2</b>    | 14,71 f-o            | 2,68 y   | 4,93 wxy | 7,93 vwx  | 18,06 c-h | 18,06 c-h |
| <b>VKS1</b>    | 17,76 c-ı            | 3,47 y   | 3,68 y   | 9,96 r-v  | 18,39 cde | 18,39 cde |
| <b>VKS2</b>    | 15,19 e-m            | 3,69 y   | 3,24 y   | 10,26 q-v | 18,57 cde | 18,57 cde |
| <b>NPK1</b>    | 16,62 d-l            | 3,30 y   | 4,54 xy  | 11,68 m-u | 14,29 ı-p | 14,29 ı-p |
| <b>NPK2</b>    | 17,85 c-h            | 3,18 y   | 4,04 y   | 12,08 m-t | 14,65 g-o | 14,65g -o |
| <b>F-Test</b>  | 23,85**              |          |          |           |           |           |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, öd; önemli değil

Tuz uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir Mn değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.39’da verilmiştir.

Tuz uygulanan toprakta en düşük alınabilir Mn değeri 9,131 mg kg<sup>-1</sup> (BB2 x İnk1) en yüksek alınabilir Mn değeri ise 46,196 mg kg<sup>-1</sup> (NPK1 x İnk0) uygulamalarında belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak alınabilir Mn içerikleri kontrole göre azalış göstermiştir.

Kireç uygulanan toprakta biyokömürlerin, farklı organik materyallerin, NPK ve kontrol uygulamalarının ve bu uygulamaların zamana bağlı olarak toprağın alınabilir Mn değeri üzerinde meydana getirdiği değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.40’ta verilmiştir. En düşük alınabilir Mn değeri 2,48 mg kg<sup>-1</sup> (HA1 x İnk1) en yüksek alınabilir Mn değeri ise 20,98 mg kg<sup>-1</sup> (BB2 x İnk0) uygulamalarında belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak alınabilir Mn içerikleri kontrole göre azalış göstermiştir.

**Çizelge 4.39.** Tuzlu toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak mangan (Mn) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |            |            |            |            |            |
|----------------|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                | İnk0                 | İnk1       | İnk2       | İnk3       | İnk4       | İnk5       |
| <b>Kontrol</b> | 38,689 bcd           | 15,867 w-z | 17,359 s-z | 20,276 k-x | 25,357 h-o | 33,243 cde |
| <b>BA1</b>     | 17,205 s-z           | 12,438 z   | 17,364 s-z | 18,530 p-z | 25,723 g-m | 32,649 c-f |
| <b>BA2</b>     | 40,556 ab            | 13,794 xyz | 18,678 o-z | 18,159 q-z | 24,347 h-r | 32,203 d-g |
| <b>BB1</b>     | 40,016 ab            | 17,251 s-z | 20,738 k-w | 20,459 k-x | 23,723 h-t | 21,389 j-w |
| <b>BB2</b>     | 43,343 ab            | 9,131 z    | 21,685 j-w | 23,364 i-u | 24,310 h-r | 24,643 h-q |
| <b>HA1</b>     | 42,196 ab            | 18,529 p-z | 19,112 m-z | 18,043 q-z | 26,077 f-k | 19,612 k   |
| <b>HA2</b>     | 29,129 e-i           | 12,236 z   | 17,046 t-z | 18,867 n-z | 24,457 h-q | 23,896 h-s |
| <b>VKK1</b>    | 37,963 bcd           | 16,546 v-z | 19,275 l-y | 16,910 u-z | 24,523 h-q | 11,859 z   |
| <b>VKK2</b>    | 38,669 bcd           | 13,352 yz  | 22,216 j-w | 16,191 v-z | 25,123 h-p | 10,811 z   |
| <b>VKS1</b>    | 37,389 bcd           | 22,095 j-w | 17,487 s-z | 17,614 r-z | 19,284 l-y | 23,783 h-t |
| <b>VKS2</b>    | 40,363 ab            | 13,955 xyz | 20,166 k-x | 19,764 k-y | 29,470 e-i | 22,123 j-w |
| <b>NPK1</b>    | 46,196 a             | 25,235 h-p | 17,884 q-z | 22,892 i-v | 25,990 f-l | 27,816 e-j |
| <b>NPK2</b>    | 39,076 bc            | 22,735 i-v | 30,138 e-h | 21,572 j-w | 25,490 g-n | 23,916 h-s |
| <b>F-Test</b>  | 12,09**              |            |            |            |            |            |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

**Çizelge 4.40.** Kireçli toprak koşullarında inkübasyon dönemleri ile uygulamaların toprak mangan (Mn) değerine etkileri

| Uygulamalar    | İnkübasyon Dönemleri |          |          |           |            |           |
|----------------|----------------------|----------|----------|-----------|------------|-----------|
|                | İnk0                 | İnk1     | İnk2     | İnk3      | İnk4       | İnk5      |
| <b>Kontrol</b> | 13,40 i-m**          | 3,59 yz  | 4,39 w-z | 10,40 r-u | 12,5 9 l-p | 19,35 b   |
| <b>BA1</b>     | 14,34 d-k            | 3,49 z   | 4,60 w-z | 9,07 uv   | 12,94 k-o  | 11,35 o-s |
| <b>BA2</b>     | 13,91 g-l            | 3,73 xyz | 4,19 w-z | 9,40 uv   | 13,83 g-l  | 11,58 n-s |
| <b>BB1</b>     | 13,79 g-l            | 2,69 z   | 4,25 w-z | 9,34 uv   | 14,09 e-l  | 14,68 c-j |
| <b>BB2</b>     | 20,98 a              | 4,35 w-z | 5,16 wxy | 12,58 l-p | 19,02 b    | 15,94 cd  |
| <b>HA1</b>     | 12,86 k-o            | 2,48 z   | 3,89 xyz | 9,09 uv   | 15,99 c    | 13,54 h-m |
| <b>HA2</b>     | 13,11 j-n            | 3,60 yz  | 4,68 w-z | 8,25 v    | 15,28 c-g  | 10,59 q-u |
| <b>VKK1</b>    | 12,00 m-q            | 3,29 z   | 5,24 wy  | 7,97 v    | 15,53 c-f  | 1,71 z    |
| <b>VKK2</b>    | 10,35 r-u            | 3,69 xyz | 5,62 w   | 7,88 v    | 15,51 c-g  | 4,33 w-z  |
| <b>VKS1</b>    | 14,38 d-k            | 2,44 z   | 4,62 w-z | 8,26 v    | 15,24 c-g  | 11,74 m-r |
| <b>VKS2</b>    | 14,81 f-m            | 4,16 w-z | 4,02 w-z | 8,36 v    | 15,13 c-i  | 11,21 o-s |
| <b>NPK1</b>    | 7,83 v               | 3,29 z   | 2,96 xyz | 10,63 q-u | 11,03 p-t  | 11,37 o-s |
| <b>NPK2</b>    | 15,00 c-h            | 3,09 z   | 3,78 xyz | 10,08 stu | 12,55 l-p  | 11,39 o-s |
| <b>F-Test</b>  | 75,20**              |          |          |           |            |           |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Toprak örneklerinde ilk dönemlerdeki yarayışlı demir içeriğindeki düşüş muhtemelen biyokömür uygulaması ile toprak pH'sındaki yükselmeye (Pandit vd., 2017; 2018) bağlı olabileceği gibi biyokömürün spesifik yüzey alanının, aktif fonksiyonel gruplarının, pH'sının ve KDK'sının oldukça yüksek olması demir gibi ağır metallerin yarayışlılığını azaltmakta dolayısıyla hem toprak örneklerinin demir içeriğinde kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir (Ahmad vd., 2014; Park vd., 2011). Biyokömür ve organik

gübre uygulamaları toprak sağılığını iyileştirmekte (Azeez vd., 2010), toprakların faydalı mikroorganizma faaliyetini artırmakta (Abujabhah vd., 2016; Gomez vd., 2014) ve böylece toprakların besin element içeriğinde iyileşmeler (Lehman ve Joseph, 2009; Beesley vd., 2010) sağladığı gibi bitkilerin özellikle mikro element alımını da artırdığı sonucuna varmışlardır (Inal vd., 2015)

Rodríguez-Vila vd. (2022), farklı piroliz sürecine tabi tutulan farklı organik materyallerin (mısır koçanı, pirinç havuzu ve odun talaşı) asit ve nötr pH değerlerine sahip topraklardaki mikro element yayırlılığı ve bitki gelişimi ile ilgili olarak yapmış oldukları çalışmada, Fe alımında azalma, Cu alımında artma, Zn alımında azalma ve artma gibi sonuçların organik materyalin kökenine ve uygulanan piroliz sıcaklığına bağılı olarak değiştiğini bildirmiştir. Elde edilen sonuçlardaki bu farklılığın temelde toprak özelliklerinden de kaynaklandığını ifade etmiştir.

İnal vd. (2015), yaptıkları çalışmada biyokömür uygulamaları hem toprağın hemde bitkilerin Zn, Cu ve Mn içeriklerinin artırdığını bildirmişlerdir. Bu durum biyokömür uygulamaları ile toprağın mikrobial aktivitesinin değişmesi (Yuan vd., 2011) ile organik maddenin parçalanmasının hızlanması ve açığa çıkan organik asitlerin elementlerin yayırlılığını artırmasından kaynaklanmaktadır (Hairani vd., 2016).

Kocsis vd. (2022), biyokömür uygulaması ile topraktaki bitki besin elementlerinin yayırlılığının artışı biyokömürün sahip olmuş olduğu fiziksel özelliklerin toprak biyolojik özelliklerini iyileştirdiğini, mikroorganizma aktivitesini artırdığını ve toprağın havalanma kapasitesindeki artış ile açıklamışlardır.

Asri (2022), yapmış olduğu çalışmada artan düzeylerde uygulamış olduğu biyokömürün toprağın Fe içeriğini artırdığını, Zn içeriğini ilk başta düşürdüğü ancak ilerleyen dönemde artış gösterdiğini bu artışın biyokömürün rezüdiel etkisinden kaynaklandığını ifade etmiştir. Araştırmacı yapmış olduğu çalışmada kontrole göre Mn ve Cu içeriğinin artış gösterdiğini bildirmiştir. Ancak biyokömür uygulaması ile topraktaki besin maddesi artışının bitkinin ihtiyacını tam olarak karşılayamadığını bu nedenle biyokömürün kimyasal gübreler ile birlikte uygulanması gerektiğini, kimyasal gübre uygulama düzeyinin ise kimyasal gübre ihtiyacının yarısı kadar olması gerektiğini taVKSiyetmiştir.

Biyokömür uygulamalarının toprağın yarayışlı mangan içeriğinde sağlamış oldukları artış her iki gübrenin içermiş olduğu yüksek miktardaki mangan içeriklerinden dolayı olabileceği gibi biyokömür uygulaması ve manganın toprak da birikmesinden kaynaklanmış olabilir. Nitekim Rizwan vd. (2016) biyokömür uygulamaları ile toprak kolloidlerinin ağır metalleri absorbe etmesi, kompleks oluşturması ve yüzeyinde tutulması gibi fonksiyonları etkilemek suretiyle bitkiler tarafından alınımını azalttığını bildirmişlerdir.

Yapılan bazı çalışmalarda biyokömür uygulamalarının toprakların Cu içeriğini önemli düzeyde azalttığı bildirilmiştir. Biyokömürün mevcut Cu içeriğinde azalmaya neden olmasının ilk nedeni, toprak pH'ındaki artıştır. Kullanılabilir Cu içeriğindeki biyokömürün neden olduğu düşüş, toprak pH'ındaki değişikliklerle önemli ölçüde ve negatif olarak ilişkilendirilmiştir. Bunun anlamı, biyokömürün neden olduğu toprağın pH'ındaki artış, mevcut Cu içeriğinin azalmasına neden olmasıdır pH artışı, hidrolize  $\text{CuOH}^+$  türlerinin biyokömür tarafından adsorpsiyonunu kolaylaştırabilir (Yu, 2016). Ek olarak, oksijen içeren organik fonksiyonel toprak grupları ve biyokömür ( $-\text{COOH}$  ve  $-\text{OH}$ ) nedeniyle KDK artışı, iyon değişimi yoluyla mevcut Cu içeriğindeki düşüşe katkıda bulunabilir. Biyokömürün organik fraksiyonundan kaynaklanan karboksil grupları, Cu'yu toprakta hareketsiz hale getirme potansiyeline sahiptir (Lu, 2017). Bunun arkasındaki mekanizma hem toprakta hem de biyokömürde DOC'nin oksijen içeren fonksiyonel grupları üzerindeki iyon değişimi yoluyla Cu'nun DOC ile kompleksleşmesi olabilir. Mevcut Cu ve DOC içeriğinin benzer eğilimleri bildirilmiştir (Tessier, 1979). Cu'nun adsorpsiyonu, DOC'de (Jiang, 2020) biyokömürün neden olduğu düşüşle de kolaylaştırılabilir ve organik maddenin Cu ile bağlanmasını kolaylaştırabilir (Bian, 2014). Biyokömürün organik madde yüklemesi nedeniyle Cu adsorpsiyonunda %28,2'ye varan bir artış bildirilmiştir (Xiao, 2019). Bulgularına göre, biyokömürün yüzeyinde L başına <100 mg karbona kadar humik asit (HA) yüklemesi, biyokömürün negatif yüzey fonksiyonel gruplarını arttırmış ve daha yüksek Cu adsorpsiyonu ile sonuçlanmıştır (Xiao, 2019). Toprakların KDK'sindeki artış hem toprak hem de biyokömürün negatif yüklü yüzey fonksiyonel gruplarını artırabilir, böylece Cu adsorpsiyonunu kolaylaştırabilir.

Biyokömür uygulamaları ile toprakta Cu yarayışlılığının azalması Cu'nın kolaylıkla çözünemez organik madde ile kompleks oluşturabilmesine bağlanmıştır. Alkali topraklara biyokömür uygulamasının toprak pH artışına etkisinin az olmasına rağmen Cu yarayışlılığındaki azalmaya etkisi göreceli olarak daha fazla olmuştur (Chen vd., 2018)

Mevcut Mn içeriğindeki düşüş, toprak pH'ındaki artışla önemli ölçüde ilişkilidir. Bu ilişki, mevcut Mn içeriğindeki düşüşün nedenlerinden birinin, biyokömür tarafından indüklenen daha yüksek pH'ta Mn'nin düşük hareketliliğinden kaynaklandığını göstermektedir (Li, 2018). Ek olarak, toprak pH'ının artması, Mn'nin hem biyokömürden hem de topraktan DOC kaynaklı oksijen içeren fonksiyonel gruplarla bağlanmasını artırarak Mn'nin mevcut içeriğindeki düşüşe katkıda bulunabilir. Biyokömür kaynaklı pH artışı ve Mn'nin OH grubu ile bağlanması, Mn'nin hareketliliğindeki düşüşten sorumludur (Li, 2018).  $Mn^{2+}$ 'nin organik katı ile kompleks oluşturma potansiyeli daha yüksek bir pH değerinde artacağını (Sui, 2019) ve ayrıca, biyokömür kaynaklı değiştirilebilir  $Ca^{2+}$  ve  $K^+$  ile toprak değişim alanlarından Mn değişimi düşüşe katkıda bulunabileceğini bildirmişlerdir.

## **4.2. Biyokömür ve Bazı Organik Uygulamaların Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi**

### **4.2.1. Kuru ağırlık ve SPAD (Klorofil) değerleri**

İki farklı biyokömür (BA ve BB), organik materyaller (HA, VKK, VKS) ve NPK uygulamalarının tuzlu ve kireçli toprak koşullarında bitki kuru ağırlığı ve klorofil içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.1 verilmiştir.

Uygulamalara bağlı olarak mısır bitkisinin kuru ağırlığı tuz ve kireç uygulanmayan normal toprakta 9,34 ile 12,74 g, tuzlu toprakta 6,01 ile 8,67 g ve kireçli toprakta 8,79 ile 13,23 g saksı<sup>-1</sup> değerleri arasında değişim göstermiştir. Kireçli toprakta, BA2, VKK2, BB2 ve VKK1 uygulamaları bitki kuru ağırlığını kontrole göre sırasıyla %50.5, %34.7, %30.3 ve %25.4 oranlarında önemli derecede artırmıştır ( $p<0.05$ ). Bütün uygulamalara ait farklı dozların bitki kuru madde miktarı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ancak yüksek dozlar bitki kuru ağırlığını göreceli olarak daha fazla artırmıştır. Ayrıca BA2, BA1 ve VKK2 uygulamaları bitki kuru ağırlığını NPK2 uygulamalarına göre sırasıyla %36.8, %22.4 ve %20.2 oranlarında önemli derecede artış sağlamıştır (Çizelge 4.41).

**Çizelge 4. 47.** Uygulamaların bitki kuru ağırlığı ve SPAD değerleri üzerine etkileri

|                | Kuru Ağırlık, g saksı <sup>-1</sup> |                    |          | Klorofil (SPAD değeri) |         |          |
|----------------|-------------------------------------|--------------------|----------|------------------------|---------|----------|
|                | Normal                              | Tuzlu              | Kireçli  | Normal                 | Tuzlu   | Kireçli  |
| <b>Kontrol</b> | 9,34                                | 6,01               | 8,79e    | 19,30f                 | 23,13d  | 21,03f   |
| <b>BA1</b>     | 10,48                               | 7,74               | 11,62ab  | 26,90ab                | 24,60cd | 26,93abc |
| <b>BA2</b>     | 12,66                               | 8,67               | 13,23a   | 28,07a                 | 23,83d  | 28,03ab  |
| <b>BB1</b>     | 10,99                               | 7,41               | 10,63b-e | 24,13c                 | 24,67cd | 28,27a   |
| <b>BB2</b>     | 12,61                               | 8,23               | 11,43abc | 21,07def               | 25,60c  | 27,40abc |
| <b>HA1</b>     | 10,98                               | 7,70               | 10,09b-e | 21,80d                 | 23,80d  | 25,47cd  |
| <b>HA2</b>     | 11,37                               | 7,95               | 10,38b-e | 21,33de                | 25,83c  | 22,67ef  |
| <b>VKK1</b>    | 11,40                               | 7,16               | 11,02bcd | 24,67c                 | 30,87a  | 23,67de  |
| <b>VKK2</b>    | 12,21                               | 7,51               | 11,84ab  | 25,17bc                | 29,50ab | 21,90ef  |
| <b>VKS1</b>    | 9,58                                | 7,23               | 9,10e    | 24,77c                 | 28,30b  | 22,93ef  |
| <b>VKS2</b>    | 10,94                               | 8,23               | 9,10de   | 23,93c                 | 28,47b  | 26,17abc |
| <b>NPK1</b>    | 11,65                               | 7,77               | 9,32de   | 19,60ef                | 27,90b  | 25,90bc  |
| <b>NPK2</b>    | 12,74                               | 8,65               | 9,67cde  | 24,43c                 | 28,20b  | 26,00 c  |
| <b>F-Test</b>  | 1,64 <sup>öd</sup>                  | 1,94 <sup>öd</sup> | 4,19**   | 16,30**                | 18,55** | 10,13**  |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*:p<0.01, öd; önemli değil

Uygulamaların bitki yapraklarında belirlenen SPAD okuma değerleri üzerine etkisi tüm topraklarda önemli bulunmuştur (Çizelge 4.1). SPAD okuma değerleri normal toprakta 19,30 ile 28,07, tuzlu toprakta 23,13 ile 30,87 ve kireçli toprakta 21,03 ile 28,03 değerleri arasında değişim göstermiştir. Normal toprakta BA1 ve BA2 uygulamaları SPAD değerlerini kontrol uygulamasına göre %39,4 ile %45,4, tuzlu toprakta biyokömür uygulamalarında kontrole göre %3,0-10,7 artış belirlenirken VKK1 ve VKK2 uygulamalarında %33,5 ile %27,5 oranlarında artışlar belirlenmiştir. Kireçli toprakta ise VKS1, BA1, BA2, BB1 ve BB2 uygulamalarında SPAD okuma değerleri kontrole göre sırası ile %24,4, %28,0, %33,3, %34,4, %30,3 oranında önemli derecede artışlar belirlenmiştir. (Çizelge 4.41).

Bu değerler yaprak klorofil içeriğinin göstergesi olarak kabul edilmektedir (Sun vd., 2019). Sun vd. (2019) azotlu gübre uygulaması ve biyokömür uygulamaları arasında SPAD değerleri arasında fark olmadığını, Asai vd., (2009) ise biyokömür uygulamasının yaprak SPAD değeri üzerine etkisinin önemsiz olduğunu bildirmiştir. Silva vd. (2019) SPAD değerinin fotosentetik pigmentlerin (klorofil ve karotenoid) bir göstergesi olduğunu ve en düşük SPAD değerlerinin biyokömür uygulamalarından elde edildiğini bildirmiştir. Benzer sonuçları Matos vd., (2018) de belirlemişlerdir. Yin vd., (2022) biyokömür uygulaması ve bitki gelişim evreleri ile ilgili yaptıkları çalışmada biyokömür uygulamalarının SPAD değerinde meydana getirdiği artış ilk gelişim dönemlerinde önemli olurken geç dönemlerde meydana gelen farklılığın önemsiz olduğunu

bildirmişlerdir. Öktem ve Öktem, (2020) humik asit uygulamalarının SPAD okuma değerlerini kontrol uygulamasına göre arttırdığını belirlemiştir. Bu artışın uygulamalara bağlı olarak bitki gelişiminin uyarılması (bitki gelişim düzenleyici etki), hücre oksidan aktivitesinde, hücre bölünmesi ve uzamasında artışlardan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Benzer sonuçlar ile ilgili olarak; Yousif vd. (2019) ayçiçeği bitkisinde topraktan 10 ml L<sup>-1</sup> ekim öncesi ve yapraktan gelişim periyodu boyunca üç kez 10 ml L<sup>-1</sup> uygulamalarının en yüksek bitki gelişimi sağladığını, Ozbay, (2012) su kültüründe hıyar bitkisi ile yaptığı çalışmada 500 mg L<sup>-1</sup> HA uygulamasının klorofil içeriği (SPAD) ve verim değerleri açısından başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ve Mtua, (2015) ise toprak koşullarda fasülyenin beslenmesi ve ekonomik verimliliğin sağlanması için 12 L da<sup>-1</sup> HA'ın 5 kg da<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ile birlikte uygulanması ile sağlandığını bildirmişlerdir.

Tuzlu koşullarda özellikle NPK ve vermikompost uygulamalarının, kireçli toprak koşullarında ise NPK ve biyokömür uygulamalarının daha yüksek değerler vermesi materyallerin kimyasal özellikleri ve besin elementi yarayışlılığı üzerine yaptığı farklı etkiden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalarda hümik asit ve vermikompost uygulamalarının bitki gelişimini arttırdığı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Brañas vd., 2010). Tuzlu toprak koşullarında humik asit ve fulvik asit gibi uygulamaların toprak besin elementi tutma kapasitesi, su tutma kapasitesi ve mikrobiyal aktiviteyi olumlu yönde etkileyerek bitki gelişimine olumlu etki yaptığı bildirilmiştir (Aşık vd., 2009; Ouni vd., 2014). Çimrin vd. (2013) stres koşullarında humik asitin etkisinin bitki gelişim düzenleyici şeklinde olduğunu ve bitki kök ve gövde gelişimini arttırdığını belirtmiştir. Olivares vd. (2017) bitki kök gelişiminin daha iyi olmasının bitkinin stres koşullarında daha iyi gelişim gösterdiğini bildirmiştir. Tuzlu koşullarda humik maddenin toprak çözeltisinde Na iyonunu bağlayarak tuz etkisini azalttığı Tchiadje (2007) tarafından belirtilmiştir. Kireçli koşullarda uygulanan humik asitin de bitki gelişimini olumlu yönde etkilediği Tahir vd. (2011) tarafından bildirilmiştir. Humik asitin bitki gelişimi ve besin elementi alımı üzerine farklı sonuçlar da elde edilmiştir. Örneğin Cansu ve Erdal, (2018) MM106 anacına aşılınmış Granny Smith ve Jersey Mac elma çeşitlerinin verimi, kalitesi ve mineral beslenmesi üzerine humik madde uygulamalarının meyvenin verim ve kalite ölçütleri üzerine genellikle anlamlı bir etkisi olmazken, meyve verimlerinde nisbi artışlar olduğunu, yaprağın N, K, Ca, Fe ve Zn konsantrasyonları hümik madde

uygulamalarından olumlu etkilendiğini bildirmişlerdir. Nikbakht vd. (2008) yüksek uygulama düzeylerinin taze ve kuru ağırlık üzerine etkisinin önemsiz olmasına karşın düşük uygulama düzeylerinin etkisinin olumlu ve önemli olduğunu bildirmiştir.

Biyokömür uygulamalarının tuz stresi ve kireçli toprak koşullarında bitki gelişimini arttırdığı ile ilgili yapılan çalışmalarda bu etkinin; biyokömürün yüksek katyon değişim kapasitesi (Thomas vd., 2013), spesifik yüzey alanı (Forj' an vd., 2018), boşluklu yapısı (Nie vd., 2018), toprak suyu iletkenliğini arttırıcı etkisi (Chaganti ve Crohn, 2015), su tutma kapasitesi (Cornelissen vd., 2018; Lei ve Zhang, 2013; Lu vd., 2014; Omondi vd., 2016), organik madde içeriği (Tang vd., 2020), besin elementi yarıyışlılığı ve alınabilirliği üzerine etkisi (Dai vd., 2017; Gul ve Whalen, 2016; Kuppusamy vd., 2016; Raboin vd., 2016) tuz adsorbe etme kapasitesi (Akhtar vd., 2015; Moradi vd., 2019) nedeni ile toprak tuzluluğunu azaltıcı etkisinin olduğu (Singh vd., 2019; Chavez-García and Siebe, 2019; Liang vd., 2021) ve sonuç olarak toprak kalitesini geliştirmesi (Ahmed vd., 2016; You vd., 2019) sonucu olduğu belirtilmiştir (Sigmund vd., 2018; Oladele vd., 2019). Çalışmada ele alınan iki farklı biyokömürün etkilerinin farklı olması hem orjinleri hem de kimyasal özelliklerinden kaynaklandığı değerlendirilebilir. Biyokömürün üretildiği koşullar ve kullanılan organik maddenin türünün biyokömür özelliklerini ve kullanım amacını değiştirdiği McClellan vd. (2007) ve McLaughlin vd. (2009) tarafından bildirilmiştir.

#### **4.2.2. Besin elementi alımı üzerine etki**

Çalışma kapsamında iki farklı biyokömür ve bazı organik uygulamaların tuzlu ve kireçli toprak koşullarında bitkinin topraktan kaldırdığı besin elementi miktarları NPK ve kontrol uygulamaları ile karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir. Saksılardan elde olunan kuru ağırlıklar ve belirlenen besin elementleri içerikleri dikkate alınarak her uygulamaya bağlı olarak bitkilerin saksılardan kaldırdığı besin elementi miktarları karşılaştırmalı şekilde “mg bitki<sup>-1</sup>” olarak değerlendirilmiştir.

Normal toprak koşullarında uygulamaların topraktan kaldırılan N miktarı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmaz iken tuzlu ve kireçli toprak koşullarında bu etki istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.42). Uygulamalara bağlı olarak mısır bitkisinin N alımı normal toprakta 216,7 ile 396,3 mg bitki<sup>-1</sup>, tuzlu toprakta 164,9 ile

246,6 mg bitki<sup>-1</sup> ve kireçli toprakta 215,7 ile 352,5 mg bitki<sup>-1</sup> değerleri arasında değişim göstermiştir. Tuzlu toprakta BA1, BA2, BB2 ve HA2 uygulamaları bitki azot alımını kontrol uygulamasına göre sırası ile %32,6, %48,6, %36,6 ve %28,0 oranlarında önemli derecede arttırmıştır. Kireçli toprakta ise azot alımı BA2 ve BB2 uygulamalarında kontrole göre %63,4 ile %44,6 oranlarında önemli derecede artış görülmüştür. Ayrıca NPK1 ve NPK2 uygulamalarında kontrole göre %36,8 ile %49,5 oranında artışlar belirlenmiştir (Çizelge 4.42.).

Murtaza vd. (2021), biyokömür uygulamalarının toprak azot kayıplarını azalttığını ve azot yarıyışlılığını arttırdığını belirtmişlerdir. Demir ve Kıran (2020), tuzluluk probleminin bulunduğu alanlarda vermikompost uygulamalarının kıvırcık salata yetiştiriciliğinde, tuzluluğun bitki üzerine olan toksik etkisini azaltmaya ve besin maddelerinin alımındaki dengesizliği iyileştirmeye katkıda bulunabildiğini bildirmiştir.

**Çizelge 4. 48.** Uygulamaların topraktan kaldırılan N ve P miktarı üzerine etkileri

| Uygulamalar    | N, mg bitki <sup>-1</sup> |           |           | P, mg bitki <sup>-1</sup> |           |           |
|----------------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|-----------|
|                | Normal                    | Tuzlu     | Kireçli   | Normal                    | Tuzlu     | Kireçli   |
| <b>Kontrol</b> | 216,7                     | 164,9 f   | 215,7 f   | 35,46 g                   | 22,81 d   | 28,06 e   |
| <b>BA1</b>     | 275,1                     | 218,6 abc | 279,2 bcd | 43,84 d-g                 | 33,06 ab  | 45,66 ab  |
| <b>BA2</b>     | 358,8                     | 245,0 ab  | 352,5 a   | 54,17 bc                  | 39,77 a   | 52,24 a   |
| <b>BB1</b>     | 266,3                     | 197,7 cd  | 247,7 c-f | 43,83 d-g                 | 30,29 bcd | 39,02 bcd |
| <b>BB2</b>     | 313,7                     | 225,3 abc | 312,0 ab  | 50,68 cde                 | 34,91 ab  | 44,90 ab  |
| <b>HA1</b>     | 292,5                     | 194,5 cd  | 249,7 c-f | 44,12 def                 | 24,40 cd  | 31,89 de  |
| <b>HA2</b>     | 298,1                     | 211,0 abc | 255,3 c-f | 45,85 c-f                 | 31,33 bc  | 40,45 bc  |
| <b>VKK1</b>    | 291,0                     | 187,2 cd  | 260,5 cde | 49,55 cde                 | 30,55 bcd | 40,07 bc  |
| <b>VKK2</b>    | 296,4                     | 192,8 cd  | 284,6 bc  | 51,87 cd                  | 31,36 bc  | 43,44 b   |
| <b>VKS1</b>    | 251,5                     | 197,2 cd  | 222,6 ef  | 38,55 fg                  | 31,63 bc  | 32,99 cde |
| <b>VKS2</b>    | 266,0                     | 206,4 bc  | 225,6 ef  | 42,19 efg                 | 33,16 ab  | 34,51 cde |
| <b>NPK1</b>    | 346,4                     | 225,6 abc | 216,6 f   | 61,52 ab                  | 31,86 bc  | 30,09 e   |
| <b>NPK2</b>    | 396,3                     | 246,6 a   | 240,7 def | 65,99 a                   | 32,94 ab  | 31,39 e   |
| <b>F-Test</b>  | 1,00 <sup>öd</sup>        | 3,04**    | 7,44**    | 8,62**                    | 2,50*     | 7,80**    |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*:p<:0,01, öd; önemli değil

Djajadi vd. (2020), tuzlu koşullarda azotlu gübre vermikompost uygulamalarının bitki azot alımını teşvik ettiğini ve durumun vermikompostun besin elementi içeriğinin zenginliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bitki azot alımındaki artışlar, tuzlu toprak koşullarında mikrobiyolojik aktivitenin kısıtlanması nedeniyle azot mineralizasyonunun düşük olduğu ancak vermikompost ilavesi ile toprak özelliklerinin düzenlenmesi ile azot mineralizasyonunun artışı ile bitki alımının arttığı şeklinde açıklamıştır. Humik asit uygulamasının bitkinin stres koşullarında gelişimi ve besin elementi alımını teşvik ettiğini bildirilmiştir (Hassan, Abd, ve Ahmed, 2016; Singh, 2016; Flores-Sanchez, vd., 2016; Walpola ve Wanniarachchi, 2009; Abbas vd., 2022). Özellikle tuzluluk stresi altında enzimatik aktivite, protein sentezi, fotosentez, stoma düzenlemesi, katyon dengesi, osmotik denge üzerine etki ettiği belirtilmiştir (Weng vd., 2006; Aydın vd., 2012; Mazhar Steiner vd. (2008) biyokömür uygulamasının kompost uygulamasına göre azot kullanım etkinliğini daha fazla arttırdığını bildirmiştir. Uzoma vd. (2011) artan biyokömür düzeylerinin bitki azot alımını artırması ile ilgili olarak K alımının olumlu etkisi olduğunu bildirmiştir. Özellikle olgun olarak ifade edilen biyokömürlerin daha fazla fonksiyonel grup (karboksil ve hidroksil) içermelerinden dolayı daha fazla  $\text{NH}_4$  fikse etme kapasitelerinin olduğu bildirilmiştir (Zheng vd., 2013). Biyokömür uygulamaları ve azot kullanım etkinliği ile ilgili olarak özellikle yüksek yüzey alan ve asidik fonksiyonel gruplara sahip olması nedeni ile topraktan gaz şeklinde veya yıkanma ile azot kayıplarını önlediği için bitki azot alımında artışlar belirlendiği ifade edilmiştir (Clough vd., 2013). Biyokömür yüksek C/N oranı nedeni ile azot mineralizasyonu üzerine olumsuz etki yapabileceği de öne sürülmüştür (Asai vd., 2009; Lentz ve Ippolito, 2012). Dai vd. (2016) biyokömürün yüksek H/C oranı nedeni kolay ayrıştığı ve N mineralizasyonunda bir artış olduğunu bildirmiştir. Araştırmacılar biyokömürün orjinine göre bu etki düzeylerinin değiştiğini bildirmişlerdir. Tuzlu ve kireçli toprak koşullarında azot yarayırlılığı yönünden biyokömür (BA) göreceli olarak daha yüksek değerler elde edilmesi belirtilen neden ile olduğu düşünülmektedir.

Uygulamalara bağlı olarak topraktan kaldırılan P miktarında meydana gelen değişimler istatistiksel olarak her üç toprakta da önemli bulunmuştur (Çizelge 4.2). Normal toprakta kaldırılan fosfor miktarı 35,46 ile 65,99 mg bitki<sup>-1</sup>, tuzlu toprakta 22,81 ile 39,77 mg bitki<sup>-1</sup> ve kireçli toprakta ise 28,06 ile 52,24 mg bitki<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir. Normal

toprakta BA1, BA2, BB1 ve BB2 uygulamaları bitki P alımı kontrol uygulamasına göre %23,6 ile %52,8 oranında artış sağlarken, NPK1 ve NPK2 uygulamalarında kontrole göre % 73,5 ile %86,1 oranlarında artışlar belirlenmiştir. Tuzlu toprak koşullarında BA1, BA2, BB2 ve VKS2 uygulamaların kontrole göre sırası ile %44,9, %74,4, %53,0 ve %45,4 oranlarında artış belirlenirken NPK1 ve NPK2 uygulamalarında artış oranları %39,7 ile %44,4 olarak görülmektedir. Kireçli toprak koşullarında ise BA1, BA2 ve BB2 uygulamaları %60,0 ile %86,2 oranları arasında kontrole göre artış görülürken NPK1 ve NPK2 uygulamalarında meydana gelen değişim %7,2 ile %11,9 oranlarında artış olarak belirlenmiştir (Çizge 4.2.).

Mensah ve Frimpong (2018), biyokömür uygulamalarının toprakların alınabilir P içeriklerini arttırdığını bildirmişlerdir. Fosfor noksanlığı görülen topraklarda kök bölgesine uygulanan biyokömürün bitki P alımını önemli düzeyde arttırdığı belirlenmiştir (Shen vd., 2016). Lakhdar vd. (2009), tuzlu toprakların N, P ve K içeriklerinin düşük olduğunu ancak leonardit uygulamasında ayrışma sürecinde oluşan humik maddelerin topraktaki çözünmez fosforu yarıyışlı forma dönüştürdüğünü bildirmişlerdir.

Topraktaki fosforun büyük bir çoğunluğu bitkiler tarafından yararlanılamaz şekilde fiks edilmiş veya organik formda bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda biyokömür uygulamalarının toprakta alınabilir P miktarını arttırdığı ile ilgili sonuçlar elde edilmiştir (Asai vd., 2009; Yamato vd., 2006). Mastro vd. (2013), biyokömür uygulaması ile artan toprak mikrobiyal faaliyetleri sonucu fosforun alınabilir formdaki miktarının artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Warnock vd. (2007) ile Gul ve Whalen (2015), biyokömür uygulaması ile toprakta mikoriza mantarı gelişimi için uygun koşullar oluşturduğunu ve P alımının artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Diğer bir şekilde ise biyokömürdeki besin elementleri P çözücü organik asitlerin oluşmasını sağladığı ve bu durumun P içeriği düşük topraklarda daha belirgin olduğu belirlenmiştir (Deb vd., 2016). Du vd. (2014), toprakta pH değerinin artması alkali fosfat enzim aktivitesini artırması ile P'nin yarıyışlılığının arttığını ve biyokömür orijinine göre bu etkinin değiştiği Jin vd. (2016) tarafından belirtilmiştir. Ek olarak Dai vd. (2016), tarafından uzun süreli ve fazla düzeyde organik kökenli gübre uygulamaları sonucu aşırı P alınabilirliği çevresel açıdan ötrofikasyona neden olabileceğini ve biyokömürün bu olasılığı önemli düzeyde azalttığı belirtilmiştir. Çünkü piroliz sürecinde organik materyalin içerdiği P stabil fraksiyona geçmekte ve

bitkiler için uzun süreli bir P kaynağı olarak görev yapmaktadır (Dai vd., 2016). Araştırmacıların birçoğu özellikle azot ve fosfor kaybını önlemek için biyokömürün kimyasal gübreler le birlikte uygulanmasını taVKSiyeye etmektedir (Jindo vd., 2020; Garcia-Perez, 2022; Rivelli ve Libutti,2022). Tuzlu ve kireçli toprak koşullarında biyokömürün (BA) etkinliğinin fazla olması, toprak P yarayışlılığı ve P kullanım etkinliğini kimyasal özelliklerine bağlı olarak daha fazla arttırmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanabilir.

Çalışma kapsamında uygulamalara bağlı olarak topraktan kaldırılan K miktarında meydana gelen değişimler istatiksel olarak normal ve kireçli topraklarda önemli bulunurken tuzlu topraklarda meydana gelen değişimler istatiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.3). Normal toprakta kaldırılan K miktarı 265,7 ile 424,1 mg bitki<sup>-1</sup>, tuzlu toprakta 214,5 ile 320,7 mg bitki<sup>-1</sup> ve kireçli toprakta ise 252,6 ile 393,8 mg bitki<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir. Normal toprakta BA1, BA2, BB2, HA1, HA2, VKK1 ve VKK2 uygulamaları bitki K alımını kontrol uygulamasına göre %19,6 ile %59,6 oranlarında değişen artışlar sağlarken, NPK1 ve NPK2 uygulamalarında kontrole göre % 1,8 ile %10,2 oranlarında artışlar belirlenmiştir. Kireçli toprak koşullarında ise BA1, BA2, BB2 ve VKK2 uygulamalarında %36,1 ile %55,9 oranları arasında kontrole göre artış görülürken NPK1 ve NPK2 uygulamalarında kontrol uygulamasına göre oluşan değişim de %5,2 ile %15,9 oranlarında artış olarak belirlenmiştir (Çizlege 4.3.).

Topraklara biyokömür uygulaması ile toprak katyon değişim kapasitesinin arttığı ve K alımının teşvik edildiği ve aynı zamanda biyokömürün alınabilir K içerebilmesi de bitkilerin K alımını artırmaktadır. Wang vd. (2018), biyokömür uygulamalarının mısır ve buğday bitkilerinde K alımını arttırdığını, K alımının Entisol ve Alfisol topraklarda farklı düzeylerde olduğunu ve K içeriği yüksek 2:1 tipi kil içeren topraklarda yarayışlılığı arttırma yönünde etki yaptığını belirlemişlerdir. Biyokömür uygulamasının gübre uygulamasına oranla bitki gelişimini daha fazla arttırdığı bildirilmiştir (Lentz ve Ippolito, 2012; Oram vd., 2014). Manolikaki ve Diamadopoulou (2016), ile Smider ve Singh, (2014), biyokömür ile bitki K alımındaki değişimleri toprak pH değerinde meydana gelen değişim ile açıklamışlardır. Karer vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, biyokömür uygulaması ile net nitrifikasyonun azalması ve bitki N alımının azalmasına karşıt K alımının arttığı öne sürülmüştür Araştırmacılar biyokömürün bitki tarafından alınabilir

önemli düzeyde değişebilir K içerdiğini belirtmiştir. Steiner vd. (2007) biyokömür uygulaması ile toprakta meydana gelen değişebilir K içeriğinin belirli bir süre ile geçerli olduğunu ileri sürmüştür. Her üç toprakta da biyokömürlerin (BA ve BB) etkinliğinin daha fazla olması içermiş oldukları K ve toprakta K yarayışlılığı üzerine etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında uygulamalara bağlı olarak topraktan kaldırılan Ca miktarında meydana gelen değişimler istatistiksel olarak normal ve kireçli topraklarda önemli bulunurken tuzlu topraklarda meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.3). Kaldırılan Ca miktarı normal toprakta 63,19 ile 111,60 mg bitki<sup>-1</sup>, tuzlu toprakta 58,00 ile 77,50 mg bitki<sup>-1</sup> ve kireçli toprakta ise 56,39 ile 127,15 mg bitki<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir. Normal toprakta BA2 ve BB2 uygulamaları bitki Ca alımını kontrol uygulamasına göre %44,6 ve %48,8 oranlarında arttırırken, NPK1 ve NPK2 uygulamalarında %68,4 ve %76,6 oranlarında artışlar belirlenmiştir. Kireçli toprak koşullarında ise BA1, BA2 ve HA2 uygulamalarında sırası ile kontrole göre sırası ile %96,1, %125,5 ve %116,1 oranlarında artış görülürken NPK1 ve NPK2 uygulamalarında kontrol uygulamasına göre oluşan artışlar %51,3 ile %62,4 oranlarında belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Bitkilerin Ca alımı kök katyon değişim kapasitesi ile ilgilidir. Uzoma vd. (2011), topraklara organik kökenli materyallerin uygulanması ile killerin değişim yüzeylerinde değişebilir şekilde bulunan Ca miktarının artış gösterdiğini ve buna bağlı olarak toprak çözeltisindeki Ca artışı ile birlikte bitki Ca alımında artış meydana geldiğini belirtmiştir. Bu durum biyokömürün yük yoğunluğunun fazla olması nedeni ile daha belirgin olarak ortaya çıkar (Somebroek, 1993). Biyokömür uygulaması ile Ca toprakta Al ile yer değiştirerek bitkiler için değişebilir Ca'a kaynaklık eder (Novak vd., 2009). Bazı durumlarda biyokömür uygulamalarında hasat sonrası bitki Ca ihtiyacının üzerinde toprakta Ca biriktiği görülebilir (Ma ve Matsunaka, 2013). Major vd. (2010)'e göre bu artışın sebebini biyokömür uygulaması ile Ca'un toprakta alt horizonlara yıkanmaması ile açıklamışlardır. Ancak yüksek düzeylerde biyokömür uygulamaları biyokömürün K, Na ve NH<sub>4</sub> içeriğinden dolayı Ca alımını azaltabileceği Chan vd., (2008) tarafından bildirilmiştir.

**Çizelge 4. 49.** Uygulamaların topraktan kaldırılan K ve Ca miktarı üzerine etkileri

| Uygulamalar    | K, mg bitki <sup>-1</sup> |                    |           | Ca, mg bitki <sup>-1</sup> |                    |          |
|----------------|---------------------------|--------------------|-----------|----------------------------|--------------------|----------|
|                | Normal                    | Tuzlu              | Kireçli   | Normal                     | Tuzlu              | Kireçli  |
| <b>Kontrol</b> | 265,7 d                   | 221,8              | 252,6 e   | 63,19 e                    | 64,00              | 56,39 e  |
| <b>BA1</b>     | 341,2 a-d                 | 242,5              | 343,8 abc | 75,80 b-e                  | 68,50              | 110,57 a |
| <b>BA2</b>     | 424,1 a                   | 320,7              | 393,8 a   | 91,4 abc                   | 77,50              | 127,15 a |
| <b>BB1</b>     | 288,6 bcd                 | 261,3              | 316,4 bcd | 75,70 b-e                  | 68,25              | 65,98 de |
| <b>BB2</b>     | 373,9 ab                  | 305,8              | 362,7 ab  | 94,00 ab                   | 76,00              | 67,86cde |
| <b>HA1</b>     | 366,2 ab                  | 214,5              | 274,9 de  | 69,50 de                   | 58,00              | 84,18 bc |
| <b>HA2</b>     | 367,3 ab                  | 267,3              | 313,0 b-e | 73,50 cde                  | 67,25              | 121,88 a |
| <b>VKK1</b>    | 317,7 abc                 | 265,0              | 288,5 cde | 82,60 b-e                  | 60,00              | 66,41 de |
| <b>VKK2</b>    | 337,0 a-d                 | 284,5              | 349,5 abc | 83,50 bcd                  | 65,25              | 81,10bcd |
| <b>VKS1</b>    | 316,4 bcd                 | 262,2              | 259,1 de  | 79,50 b-e                  | 68,00              | 60,94 e  |
| <b>VKS2</b>    | 317,7 bcd                 | 292,8              | 277,5 de  | 83,70 bcd                  | 73,00              | 83,10bcd |
| <b>NPK1</b>    | 270,6 cd                  | 223,0              | 265,8 de  | 106,40 a                   | 76,50              | 85,31 bc |
| <b>NPK2</b>    | 292,7 bcd                 | 230,0              | 292,7 cde | 111,60 a                   | 76,50              | 91,58 b  |
| <b>F-Test</b>  | 2,17*                     | 2,82 <sup>öd</sup> | 4,12**    | 3,98**                     | 1,89 <sup>öd</sup> | 14,20**  |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Çalışma kapsamında uygulamalara bağlı olarak topraktan kaldırılan Mg miktarında meydana gelen değişimler istatistiksel olarak normal ve kireçli topraklarda önemli bulunurken tuzlu topraklarda meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.4). Normal toprakta kaldırılan Mg miktarı 26,41 ile 53,36 mg bitki<sup>-1</sup>, tuzlu toprakta 25,34 ile 33,53 mg bitki<sup>-1</sup> ve kireçli toprakta ise 29,78 ile 49,18 mg bitki<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir. Kontrol uygulamasına göre normal toprakta bitki Mg alımında BA2, BB2 ve VKK2 uygulamalarında sırası ile %61,9, %90,5 ve %54,1 oranlarında artış belirlenmiştir. NPK1 ve NPK2 uygulamalarında meydana gelen artışın ise %67,4 ve %102 oranlarında olduğu görülmektedir. Kireçli toprak koşullarında BA2, BB1, BB2, HA2 ve VKK2 uygulamalarında kontrole göre %28,6 ile %65,1 oranlarında değişen artışlar görülürken NPK1 ve NPK2 uygulamalarında %6,7 ile %39,0 oranlarında artışlar belirlenmiştir (Çizelge 4.43).

Noyce vd. (2017) % 1 düzeyinde biyokömür uygulamasının bitki Ca ve Mg içeriğinde artış sağladığını ve Güneş vd. (2014) ise tavuk gübresinden elde edilen biyokömür uygulaması ile marul bitkisinde Ca ve Mg içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir.

Uygulamalara bağlı olarak topraktan kaldırılan Na miktarında meydana gelen değişimler istatistiksel olarak her üç toprakta da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.44). Normal toprakta kaldırılan Na miktarı 23,04 ile 36,50 mg bitki<sup>-1</sup>, tuzlu toprakta 15,50 ile 25,75 mg bitki<sup>-1</sup> ve kireçli toprakta ise 19,54 ile 30,91 mg bitki<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir. Normal toprakta çalışma kapsamında yapılan organik uygulamalarda bitki

Na alımında kontrol uygulamasına göre azalışlar belirlenmiştir. Organik uygulamalarda belirlenen azalışlar uygulamalara bağlı olarak %-11,5 ile %-35,3 oranları arasında değişim göstermiştir. Tuzlu toprakta BA1, BA2 , BB1 ve BB2 uygulamalarında kontrole göre azalışlar sırası ile %14,6, %20,4, %6,8 ve %19,4 oranlarında belirlenmiştir. Kireçli toprakta organik kökenli uygulamalara bağlı olarak kontrol uygulamasına göre %11,2 ile %36,8 oranlarında azalış belirlenmiştir. Her üç toprakta ta NPK uygulamalarında da %19,4 ile %36,9 oranlarında azalış belirlenmiştir (Çizleğe 4.44.).

**Çizelge 4. 104.** Uygulamaların topraktan kaldırılan Mg ve Na miktarı üzerine etkileri

| Uygulamalar    | Mg, mg bitki <sup>-1</sup> |                    |          | Na, mg bitki <sup>-1</sup> |          |           |
|----------------|----------------------------|--------------------|----------|----------------------------|----------|-----------|
|                | Normal                     | Tuzlu              | Kireçli  | Normal                     | Tuzlu    | Kireçli   |
| <b>Kontrol</b> | 26,41 h                    | 25,34              | 29,78 e  | 36,50 a                    | 25,75 a  | 30,91 a*  |
| <b>BA1</b>     | 34,71 efg                  | 28,29              | 36,54 cd | 32,30 b                    | 22,00 bc | 26,27 bc  |
| <b>BA2</b>     | 42,77 bc                   | 30,83              | 49,18 a  | 26,60 c-f                  | 20,50 bc | 25,97 bc  |
| <b>BB1</b>     | 37,95 cde                  | 26,09              | 41,60 bc | 30,30 bc                   | 24,00 ab | 27,46 ab  |
| <b>BB2</b>     | 50,31 a                    | 29,47              | 48,53 a  | 26,30 def                  | 20,75 bc | 24,37 b-e |
| <b>HA1</b>     | 29,76 gh                   | 26,04              | 37,18 cd | 27,50 cde                  | 21,50 bc | 23,60 c-f |
| <b>HA2</b>     | 35,84 def                  | 26,24              | 38,31bcd | 28,10 cd                   | 15,50 d  | 20,91 efg |
| <b>VKK1</b>    | 38,54 cde                  | 25,74              | 36,25 e  | 29,30 bcd                  | 19,75 bc | 25,30 bcd |
| <b>VKK2</b>    | 40,71 bcd                  | 25,93              | 44,32 ab | 28,90 bcd                  | 21,00 bc | 23,26 c-f |
| <b>VKS1</b>    | 28,04 h                    | 27,72              | 32,57 de | 24,10 ef                   | 22,01 bc | 20,50 fg  |
| <b>VKS2</b>    | 30,71 fgh                  | 28,86              | 32,93 de | 23,60 f                    | 21,75 bc | 19,54 g   |
| <b>NPK1</b>    | 44,22 b                    | 28,76              | 31,79 de | 28,70 bcd                  | 19,01 c  | 22,35 d-g |
| <b>NPK2</b>    | 53,36 a                    | 33,53              | 41,38 bc | 23,04 f                    | 20,75 bc | 20,12 fg  |
| <b>F-Test</b>  | 19,17**                    | 2,82 <sup>öd</sup> | 7,16**   | 8,21**                     | 3,97**   | 4,12**    |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Çalışma kapsamında topraktan kaldırılan mikro elementlerin (Fe, Cu, Zn ve Mn) miktarları da hesaplanarak değerlendirilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak topraktan kaldırılan Fe miktarında meydana gelen değişimler istatistiksel olarak her üç toprakta da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.5). Uygulamalara bağlı olarak topraktan kaldırılan Fe miktarı normal toprakta 0,687 ile 1,499 mg bitki<sup>-1</sup>, tuzlu toprakta 0,450 ile 0,854 mg bitki<sup>-1</sup> ve kireçli toprakta ise 0,620 ile 1,605 mg bitki<sup>-1</sup> arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Normal toprakta BA2, BB2, VKK1 ve VKK2 uygulamaları bitki Fe alımını kontrol uygulamasına göre sırası ile %30,9, %53,6, %16,3 ve %19,4 oranlarında arttırmıştır. Tuzlu toprak koşullarında BA1, BA2, BB2 ve VKS1 uygulamalarında kontrole göre sırası ile %26,3, %45,0, %19,0 ve %10,2 artışlar belirlenmiştir. NPK1 ve NPK2 uygulamalarında oluşan artış oranları ise %4,3 ve %26,3 olarak belirlenmiştir. Kireçli toprakta ise kontrole göre BA1 ve BA2 uygulamalarında belirgin olarak %12,3 ve %78,9 oranlarında artışlar sağlanmıştır (Çizleğe 4.45).

**Çizelge 4. 411.** Uygulamaların topraktan kaldırılan Fe ve Cu miktarı üzerine etkileri

| Uygulamalar    | Fe, mg bitki <sup>-1</sup> |           |           | Cu, mg bitki <sup>-1</sup> |          |           |
|----------------|----------------------------|-----------|-----------|----------------------------|----------|-----------|
|                | Normal                     | Tuzlu     | Kireçli   | Normal                     | Tuzlu    | Kireçli   |
| <b>Kontrol</b> | 0,976 ef                   | 0,589def  | 0,897 b-e | 0,169 fg                   | 0,143 de | 0,148 g   |
| <b>BA1</b>     | 0,987 de                   | 0,744bcd  | 1,007 b   | 0,200 a                    | 0,145cde | 0,198 de  |
| <b>BA2</b>     | 1,278 b                    | 0,854 a   | 1,605 a   | 0,244 a                    | 0,172 c  | 0,275 c   |
| <b>BB1</b>     | 0,799 fg                   | 0,542 fg  | 0,764d-g  | 0,206 ab                   | 0,141 de | 0,156 fg  |
| <b>BB2</b>     | 1,499 a                    | 0,701 bc  | 0,835 c-f | 0,239 ab                   | 0,157 cd | 0,209 d   |
| <b>HA1</b>     | 0,723 g                    | 0,589 ef  | 0,763 efg | 0,167 fg                   | 0,157 cd | 0,176 d-g |
| <b>HA2</b>     | 0,740 g                    | 0,542efg  | 0,914bcd  | 0,232 abc                  | 0,143 de | 0,193 def |
| <b>VKK1</b>    | 1,135 b-e                  | 0,450 g   | 0,807 c-f | 0,211 b-e                  | 0,123 e  | 0,172 efg |
| <b>VKK2</b>    | 1,165 bcd                  | 0,539 fg  | 0,923 bc  | 0,228 a-d                  | 0,125 e  | 0,193 def |
| <b>VKS1</b>    | 0,687 g                    | 0,649 b-f | 0,620 g   | 0,161 g                    | 0,136 de | 0,152 g   |
| <b>VKS2</b>    | 1,052 cde                  | 0,62 bc   | 0,806 c-f | 0,186 efg                  | 0,130 de | 0,149 g   |
| <b>NPK1</b>    | 0,997 de                   | 0,618b-e  | 0,620 c-g | 0,196 ef                   | 0,329 b  | 0,451 b   |
| <b>NPK2</b>    | 1,180 bc                   | 0,744 b   | 0,730 fg  | 0,229 a-d                  | 0,413 a  | 0,514 a   |
| <b>F-Test</b>  | 15,17**                    | 8,13**    | 21,15**   | 7,48**                     | 84,51**  | 88,42**   |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*p<0.01, öd; önemli değil

Çalışma kapsamında topraktan kaldırılan Cu miktarında meydana gelen değişimlerde her üç toprakta da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.45). Toprakten kaldırılan Cu miktarları normal toprakta 0,161 ile 0,244 mg bitki<sup>-1</sup> arasında tespit edilirken, tuzlu toprakta 0,123 ile 0,413 mg bitki<sup>-1</sup> ve kireçli toprakta ise 0,148 ile 0,514 mg bitki<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir. Normal toprakta BA1, BA2, BB1, BB2, HA2, VKK1 ve VKK2 uygulamalarında bitki Cu alımında kontrol uygulamasına göre %18,3 ile %44,4 oranlarında değişen düzeylerde artışlar belirlenmiştir. NPK1 ve NPK2 uygulamalarında da %16,6 ile %35,5 oranlarında artışlar görülmüştür. Tuzlu toprak koşullarında BA2, BB2 ve HA1 uygulamalarında sırası ile %20,3, %9,8 ve %9,8 oranlarında kontrole göre artışlar belirlenmiştir. Kireçli toprakta ise BA2 ve BB2 uygulamalarında meydana gelen artışların ise %85,8 ile %41,2 oranlarında olduğu görülmektedir (Çizelge 4.45).

Uygulamalara bağlı olarak topraktan kaldırılan Zn miktarında meydana gelen değişimler istatistiksel olarak her üç toprakta da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.46). Uygulamalara bağlı olarak topraktan kaldırılan Zn miktarları normal toprakta 0,229 ile 0,413 mg bitki<sup>-1</sup>, tuzlu toprakta 0,177 ile 0,246 mg bitki<sup>-1</sup> ve kireçli toprakta ise 0,205 ile 0,595 mg bitki<sup>-1</sup> değişim gösterdiği görülmektedir. Normal toprakta BA2, BB2 ve VKK2 uygulamalarında bitki Zn alımında kontrol uygulamasına göre sırası ile %54,6, %45,9 ve %48,0 oranlarında artışlar belirlenmiştir. NPK1 ve NPK2 uygulamalarında da %43,7 ile %80,3 oranlarında artışlar görülmüştür. Tuzlu toprak koşullarında BA2, BB2, HA1,

VKS1 ve VKS2 uygulamalarında %20,0 ile %34,1 oranlarında değişen artışlar belirlenirken NPK2 uygulamasında oluşan artış oranı %15,7 olarak belirlenmiştir. Kireçli toprak koşullarında organik kökenli uygulamaların tümünde kontrol uygulamasına göre %6,8 ile %76,1 oranlarında değişen artışlar belirlenmiştir. BA2, BB2, HA2, VKK2 ve VKS2 uygulamalarında meydana gelen artış oranları % 51,7 ile %76,1 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.46).

**Çizelge 4. 412.** Uygulamaların topraktan kaldırılan Zn ve Mn miktarı üzerine etkileri

| Uygulamalar    | Zn, mg bitki <sup>-1</sup> |           |          | Mn, mg bitki <sup>-1</sup> |           |           |
|----------------|----------------------------|-----------|----------|----------------------------|-----------|-----------|
|                | Normal                     | Tuzlu     | Kireçli  | Normal                     | Tuzlu     | Kireçli   |
| <b>Kontrol</b> | 0,229 d                    | 0,185 de  | 0,205 g  | 0,357 ef                   | 0,501 bc  | 0,394 bcd |
| <b>BA1</b>     | 0,242 cd                   | 0,177 e   | 0,257 e  | 0,415 def                  | 0,484 bc  | 0,392 bcd |
| <b>BA2</b>     | 0,354 b                    | 0,248 a   | 0,359 c  | 0,547 a                    | 0,622 a   | 0,559 a   |
| <b>BB1</b>     | 0,260 cd                   | 0,190 cde | 0,257 ef | 0,408 def                  | 0,467 c   | 0,353 def |
| <b>BB2</b>     | 0,334 b                    | 0,231 ab  | 0,361 c  | 0,488 abc                  | 0,556 ab  | 0,450 b   |
| <b>HA1</b>     | 0,231 d                    | 0,222 ab  | 0,309 d  | 0,403 def                  | 0,361 e   | 0,329 ef  |
| <b>HA2</b>     | 0,258 cd                   | 0,21 bc   | 0,356 c  | 0,399 def                  | 0,378 de  | 0,392 cde |
| <b>VKK1</b>    | 0,271 c                    | 0,216 bcd | 0,280 de | 0,429 cde                  | 0,431 cde | 0,392 bcd |
| <b>VKK2</b>    | 0,339 b                    | 0,215 bc  | 0,360 c  | 0,445 cd                   | 0,447 cd  | 0,501 bc  |
| <b>VKS1</b>    | 0,258 cd                   | 0,246 a   | 0,219 fg | 0,360 f                    | 0,482 c   | 0,330 f   |
| <b>VKS2</b>    | 0,258 cd                   | 0,231 ab  | 0,311 d  | 0,368 ef                   | 0,465 c   | 0,325 f   |
| <b>NPK1</b>    | 0,329 b                    | 0,177 e   | 0,524 b  | 0,451 bcd                  | 0,225 f   | 0,386 cde |
| <b>NPK2</b>    | 0,413 a                    | 0,214 bc  | 0,595 a  | 0,514 ab                   | 0,266 f   | 0,369 def |
| <b>F-Test</b>  | 18,06**                    | 7,41**    | 82,79**  | 5,95**                     | 18,77**   | 9,44**    |

Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

\*: p<0.05, \*\*:p<0.01, öd; önemli değil

Çalışma kapsamında topraktan kaldırılan Mn miktarları da her üç toprak koşullarında da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.46). Uygulamalara bağlı olarak topraktan kaldırılan Mn miktarı normal toprakta 0,360 ile 0,547 mg bitki<sup>-1</sup>, Tuzlu toprakta 0,225 ile 0,622 mg bitki<sup>-1</sup>, Kireçli toprakta ise 0,329 ile 0,559 mg bitki<sup>-1</sup> değişim gösterdiği görülmektedir. Normal toprak koşullarında en yüksek Mn miktarı sırası ile BA2, NPK2 ve BB2 uygulamalarında belirlenirken, tuzlu toprak koşullarında sırası ile BA2 ve BB2 uygulamalarında, kireçli toprak koşullarında ise BA2 uygulamasında belirlenmiştir.

Wang vd. (2018) biyokömür eldesinde kullanılan ham materyalin önemli düzeyde makro ve mikro besin elementi içerdiğini ve uygulanan piroliz işlemine ve ham madde özelliklerine bağlı olarak bu besin elementlerinin toprakta meydana gelen reaksiyonlar sonucu toprak besin elemanı ilişkisini etkilediğini belirtmişlerdir. Rajkovich vd. (2012) biyokömürü %0,35 ile % 59,05 oranlarında kül içerdiğini ve önemli düzeyde alınabilir besin elementi örneğin; K (0-560 mmol kg<sup>-1</sup>), Ca (3-1210 mmol kg<sup>-1</sup>), Mg (0-325 mmol kg<sup>-1</sup>) ve Na (0-413 mmol kg<sup>-1</sup>) içerebildiğini belirtmişlerdir. Bezer şekilde Yuan vd.

(2011) biyokömürün çözünebilir katyonları (Na, K, Ca ve Mg) 48 cmol kg<sup>-1</sup> ile 330 cmol kg<sup>-1</sup> düzeylerinde içerdğini bildirmişlerdir.

Salem vd. (2019) biyokömürün toprakta mikoriza mantarı gelişimini teşvik ettiğini ve toprakta bitki besin yararlanılabilirliği ve bitki besin elementi alımının artış gösterdiğini bildirmiştir. Örneğin pH değişimi ile artan mikrobiyal faaliyetler ve nitrifikasyon ile toprakta bitkiler için N kazanımının olduğu Xiao vd (2020) tarafından bildirilmiştir.

Biyokömür uygulamaları ile bitkilerin besin maddesi alımında meydana gelen gelişimler biyokömürün yüksek yüzey alanı, katyon değişim kapasitesi ve toprak pH değerinde meydana gelen değişimler ile açıklanmaya çalışılmıştır (Rodríguez-Vila vd., 2022). Ancak bazı durumlarda toprak pH değerinde meydana gelen artışlar mikro besin elementi yararlanılabilirliğini olumsuz etkilemektedir (Puga vd., 2015). Jayawardhana vd., (2015) biyokömür uygulamasının topraklarda Zn alınabilirliğini azalttığını bildirmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada Kloss vd. (2012), uygulanan yüksek düzeyde biyokömür bitkinin B ve Zn içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Araştırmacılar bu sonucu biyokömürün yüksek değişim kapasitesi ve toprak pH değerindeki değişim ile açıklamışlardır. Lentz ve Ippolito (2012) biyokömür ve kompostun birlikte uygulamasının Mn yararlanılabilirliğini arttırdığını bildirmişlerdir. Novak vd., (2009) ve Amonette ve Joseph, (2009) tarafından biyokömür uygulaması ve toprakta Mn yararlanılabilirliğinin piroliz sürecinde meydana gelen organik ve inorganik adsorbsiyon süreçleri ile ilgili olduğu ileri sürülmüştür. Bitkilerin Cu alımı ile ilgili yapılan çalışmalarda biyokömür uygulamasının bitki Cu alımını azalttığı veya istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemediği bildirilmiştir (Lentz ve Ippolito, 2012; Novak vd., 2009). Bu durum Cu'nın inorganik metal bileşikleri oluşturması ve yararlanılabilirliğinin azalması ile açıklanmıştır.

Kloss vd. (2012), biyokömür uygulaması ile bitki Fe alımının azalma gösterdiğini, bu sonucun Fe'in indirgenmesi ve floemde taşınmasının azalması ile açıklanabileceğini ve biyokömür uygulaması ile bitkilerde mikroelement toksisitesinin önüne geçilebileceğini belirtmişlerdir.

Yürütülen çalışmada kaldırılan besin elementi miktarlarında belirlenen artışlar biyokömür ve diğer organik uygulamalara bağlı olarak bitki gelişmesi ve kuru ağırlık miktarın artış göstermesi ile açıklanabilir. Hossain vd., (2020) tarafından besin elementi alımındaki artışları; biyokömür uygulamalarının toprakların porozite, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesinde artış, toprak biyolojik özellikleri, enzim aktivitesi, solunum ve mikrobiyolojik gelişme gibi özellikler üzerine etki ettiğini ve biyokömürün toprakta besin elementi deposu görevi gördüğünü belirterek açıklamışlardır. Gao vd. (2016), ağaç orjinli biyokömür uygulamasının mikroelement (Fe, Cu, Zn ve Mn) alımını arttırdığını belirlemişlerdir.

Chen vd. (2018), biyokömürün toprakta ağır metallerin toksisite yaratabileceği durumlarda immobilizasyonunu sağlaması açısından önemli olduğunu bildirmişlerdir. Younis vd. (2014), biyokömürün bitki kökleri tarafından ağır metal alımını azalttığını ve toksisite riskini azalttığını ve bu durumun toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar biyokömürün bitkideki ağır metal içeriği üzerine ise bitki çeşidi, toprak özellikleri, biyokömür özellikleri ve ağır metal konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Biyokömür uygulamalarının toprakta ağır metal yayılmasının azaltmasını araştırmacılar adsorpsiyon (Inyang vd., 2016), iyon değişimi (Ding vd., 2014), kompleks oluşturma (Lu vd., 2012) ve çökeltme reaksiyonu (Cao vd., 2009) sonucu oluştuğunu belirtmişlerdir. Bandara vd. (2017) ve Chen vd. (2018) tarafından biyokömürün içermiş olduğu fosfatlar ve karbonatların stabilizasyonda önemli rol oynadığı belirtilmiştir.

Shen vd., (2022), tuzlu toprak koşullarında uygulanan vermikompostun artan düzeylere bağlı olarak bitkinin ağır metal içeriğinin artış gösterdiğini bildirmiştir. Rong vd., (2020), humik asit uygulamasının toprakta ağır metal yayılmasını ve bitki alımını azalttığını bildirmişlerdir.

## 5. SONUÇ

Ulusal ve küresel tarım sisteminin uzun vadeli sürdürülebilirliğini artırmak için su, enerji ve malzeme kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması ve israfın en aza indirilmesi gerekmektedir. Biyokömür, birçok tarımsal, çevresel ve endüstriyel uygulamada kullanılabilen, oldukça kararlı karbonlu bir malzemedir. Biyokütle atığını dönüştürmek için mevcut teknolojilerden biri biyokömür, hidrojen açısından zengin sentez gazı ve sıvı biyo-yaglar dahil olmak üzere birden fazla yan ürün oluşturmak için malzemenin oksijen yokluğunda yüksek sıcaklıkta işlendiği pirolizdir.

Yürütülen çalışmada iki farklı organik kaynaktan elde olunan biyokömürlerin . kireçli ve tuzlu toprak koşullarında toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkileri belirlenmiştir. Tarımsal üretimde verimliliği olumsuz yönde etkileyen başlıca toprak özellikleri arasında, yüksek toprak kireç içeriği ve tuzlu toprak koşulları gelmektedir.

Çalışmada biyokömürün etkinliği olumsuz toprak özelliklerinin düzenlenmesinde ıslah maddesi olarak kullanılması tavsiye edilen vermikompost ve humik asit uygulamaları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, kimyasal gübre uygulamaları (NPK1 ve NPK2) ve kontrol uygulamaları da dahil olmak üzere 13 farklı çalışma konusu değerlendirilmiştir. Çalışmada ele alınan toprak koşulları tuz ve kireç içermeyen normal toprak, 60 mM NaCl içeren tuzlu toprak ve %20 kireç içeren kireçli toprak koşulları hem sera denemesinde uygulamaların bitki gelişimi üzerine etkilerin belirlenmesinde hem de toprak özelliklerinde meydana gelen değişimlerin belirlendiği inkübasyon çalışmasında kullanılmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilecek olduğunda;

- a) İnkübasyon koşullarında belirlenen toprak pH değeri biyokömür uygulaması ile genelde yükselmiştir. pH değerinde meydana gelen bu artış biyokömürün toprağın katyon değişim kapasitesini artırması, yüksek yüzey alanı ve gözenekli doğasından kaynaklı olduğu, kireçli topraklarda biyokömür uygulamalarından sonra toprak pH'sında meydana gelen küçük değişimler kireçli toprakların tamponlama kapasitesinin yüksek olması nedeniyle açıklanabilir.
- b) Toprak EC değerinin yükselme eğilimi göstermesinin nedeni ise, muhtemelen organik materyaldeki tuzların ve mineral maddelerin varlığından

kaynaklanmaktadır. Biyokömürün yüksek miktarda kül ve metal içermesi nedeniyle biyokömür toprak EC değeri üzerinde artış göstermiştir. Organik bileşiklerin adsorbsiyon kapasitelerinin yüksek olması nedeni ile özellikle tuzlu topraklarda toprak çözeltilisindeki tuzları adsorbe ederek çözeltinin EC değerini düşürdüğünden dolayı tuzlu topraklarda organik materyaller uygulamasının toprak EC değerinde azalmalar meydana getirmiştir.

- c) Tuzlu koşullarda biyokömür veya organik materyal uygulanmasında temel amaç toprak özelliklerinin ıslah edilmesidir. Bu nedenle biyokömür gibi organik uygulamaların tuzlu topraklara uygulanmasındaki temel amaç toprağın organik C tarafından iyileştirilmesi, toprakların bitki gelişimi ve toprak mikroorganizmaları gelişimi açısından uygun ortamların sağlanmasıdır. Yapılan çalışmada topraklara uygulanan biyokömür ve bazı organik materyallerin toprakların özellikle makro besin elementleri üzerine olumlu yönde etki ettiği görülmektedir. Biyokömürün öncelikle toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini bu iyileşmenin dolaylı olarak toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerini de ıslah ettiği ve geliştirdiği düşünülmektedir.
- d) Toprak örneklerinde ilk dönemlerdeki yarayışlı mikro element içeriklerindeki düşüş muhtemelen biyokömür uygulaması ile toprak pH'sındaki yükselmeye bağlı olabileceği gibi biyokömürün spesifik yüzey alanının, aktif fonksiyonel gruplarının, pH'sının ve KDK'sının oldukça yüksek olması ile açıklanabilir.
- e) Sera çalışması sonucunda mısır bitkisinin SPAD okuma değerlerinin kontrol uygulamasına göre artması, uygulamalara bağlı olarak bitki gelişiminin uyarılması (bitki gelişim düzenleyici etki), hücre oksidan aktivitesinde, hücre bölünmesi ve uzamasında artışlardan kaynaklanması ile açıklanabilir.
- f) Biyokömür uygulamalarının tuz stresi ve kireçli toprak koşullarında bitki gelişimini artırmasının nedeni, biyokömürün yüksek katyon değişim kapasitesi, spesifik yüzey alanı, boşluklu yapısı, toprak suyu iletkenliğini artırıcı etkisi, su tutma kapasitesi, organik madde içeriği, besin elementi yarayışlılığı ve alınabilirliği üzerine etkisi, tuz adsorbe etme kapasitesi nedeni ile toprak tuzluluğunu azaltıcı etkisi ve sonuç olarak toprak kalitesini geliştirmesi sonucu

olmaktadır. Çalışmada ele alınan iki farklı biyokömürün etkilerinin farklı olması hem orjinleri hem de kimyasal özelliklerinden kaynaklandığı şeklinde değerlendirilebilir.

Yapılan çalışma sonucunda biyokömürlerin tuzlu ve kireçli toprakların olumsuz etkisinin giderilmesinde kullanılabileceği vermikompost ve humik asit ile karşılaştırılmalı olarak görülmüştür. Yürütülen çalışma da biyokömür farklılığı ve uygulama düzeyi farklılığı farklı sonuçların elde edilmesinin sebebi olarak belirlenmiştir.

Ülkemiz koşullarında organik kökenli ortaya çıkan atık materyallerin kompostlanarak topraklara uygulanmasının yanında piroliz işlemi ile biyokömür elde edilerek; biyokömürün sahip olduğu ve piroliz işlemi ile kazanmış olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerin toprak ıslah materyali olarak kullanımında diğer organik materyallere göre daha ön planda tutulması gerektiği düşüncesindeyiz. Yapılan çalışma, değerlendirilen diğer literatürler ve farklı toprak özellikleri de göz önünde bulundurulduğunda farklı organik materyallerden elde edilen biyokömürlerin uygulama düzeylerinin belirlenmesine yönelik çalışmaların yapılması gerektiği söylenebilir. Bu çalışmaların yapılmasında farklı piroliz süreçlerinin (sıcaklık ve zaman) ekonomik analizlerinin ve uygulanabilirliğinin de araştırılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abbas, G., Rehman, S., Siddiqui, M. H., Ali, H. M., Farooq, M. A., & Chen, Y. (2022). Potassium and humic acid synergistically increase salt tolerance and nutrient uptake in contrasting wheat genotypes through ionic homeostasis and activation of antioxidant enzymes. *Plants*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/plants11030263>
- Abdullaeva, Y., Dr, S., & Mankasingh, U. (2014a). *Biochar effects on fertility of saline and alkaline soils (Navory Region, Uzbekistan)*. <http://www.unulrt.is/static/fellows/document/abdullaeva2014.pdf>.
- Abrishamkesh, S., Gorji, M., Asadi, H., Bagheri-Marandi, G. H., & Pourbabaee, A. A. (2015). Effects of rice husk biochar application on the properties of alkaline soil and lentil growth. *Plant, Soil and Environment*, 62(11), 475–482. <https://doi.org/10.17221/117/2015-PSE>
- Abujabbar, I. S., Bound, S. A., Doyle, R., & Bowman, J. P. (2016). Effects of biochar and compost amendments on soil physico-chemical properties and the total community within a temperate agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 98, 243–253.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S., & Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, 99, 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>
- Ahmed, A., Kurian, J., & Raghavan, V. (2016). Biochar influences on agricultural soils, crop production, and the environment: A review. *Environmental Reviews*, 24 (4), 495–502. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0008>.
- Ahmed, F., Islam, Md. S., & Iqbal, Md. T. (2021). Biochar amendment improves soil fertility and productivity of mulberry plant. *Eurasian Journal Of Soil Science (EJSS)*, 6(3), 226–226. <https://doi.org/10.18393/ejss.291945>.
- Akça, O.N. (2020). Çeltik sapından elde edilen biyokömür uygulamalarının çeltik yetiştiriciliğindeki kadmiyum biyoyararlılığına etkisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 75.
- Akça, M. O., & Namlı, A. (2015). Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper and lettuce plants growth. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(3), 161–168. <https://doi.org/10.18393/EJSS.2015.3.161-168>
- Akgül, G., & Tayyip Erdoğan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, R. (2017). *Bilim ve Tekn. Derg.*, 5(4), ss. Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech, 2147–9364.
- Akhtar, S. S., Andersen, M. N., & Liu, F. (2015). Biochar mitigates salinity stress in potato. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(5), 368–378. <https://doi.org/10.1111/jac.12132>

- Akhzari, D., Pessarakli, M., & Khedmati, M. (2016). Effects of vermicompost and salinity stress on growth and physiological traits of *Medicago rigidula* L. *Journal of Plant Nutrition*, 39(14), 2106–2114. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1193609>
- Akimbekov, N., Qiao, X., Digel, I., Abdieva, G., Ualieva, P., & Zhubanova, A. (2020). The effect of leonardite-derived amendments on soil microbiome structure and potato yield. *Agriculture*, 10, 147.
- Aksoy, E., Dirim, M.S., Tümsavaş, Z., & Özsoy, G. (2001). Uludağ Üniversitesi kampüs alanı topraklarının oluşu, önemli fiziksel, kimyasal özellikleri ve sınıflandırılması. *U.Ü. Araştırma Fonu* Proje No: 98/32, Bursa. 118s.
- Al-Faiyz YS (2017) CPMAS <sup>13</sup>C NMR Characterization of humic acids from composted agricultural Saudi waste. *Arab. J Chem* 10: 839-853. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.12.018>.
- Ali, A. Y. A., Ibrahim, M. E. H., Zhou, G., Nimir, N. E. A., Jiao, X., Zhu, G., Elsiddig, A. M. I., Zhi, W., Chen, X., & Lu, H. (2019). Ameliorative effects of jasmonic acid and humic acid on antioxidant enzymes and salt tolerance of forage sorghum under salinity conditions. *Agronomy Journal*, 111(6), 3099–3108. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.05.0347>
- Alpaslan, M., Güneş, A., & İnal, A. (1998). Deneme Tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1502, *Ders Kitabı*: 455, Ankara.
- Amin, A. E. E. A. Z. (2018). Amelioration of calcareous sandy soil productivity via incorporation between biochar and some organic manures. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(23). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4133-y>
- Amini, S., Ghadiri, H., Chen, C., & Marschner, P. (2016). Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. *Journal of Soils and Sediments*, 16(3), 939–953. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1293-1>
- Amonette, J. & Joseph, S. (2009) Characteristics of biochar: micro chemical properties. in: lehmann, j. and joseph, s., eds., biochar for environmental management: *Science and Technology*, Earthscan, London, 33-52.
- Araújo, A. D., Santos, V. B., & Monteiro, R. T. R. (2008). Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. *European Journal of Soil Biology*, 44(2), 225-230.
- Arif, M., Ali, K., Jan, M. T., Shah, Z., Jones, D. L., & Quilliam, R. S. (2016). Integration of biochar with animal manure and nitrogen for improving maize yields and soil properties in calcareous semi-arid agroecosystems. *Field Crops Research*, 195, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.05.011>
- Arocena, J. M., & Opio, C. (2003). Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma*, 113(1–2), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00312-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00312-9)

- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T., & Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1–2), 81–84. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.008>
- Asri, F. Ö. (2022). Effects of biochar and fertilizer application on soil properties and nutrient status of lettuce. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 82(3), 469–483. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392022000300469>
- Aşık, B. B., Turan, M. A., Çelik, H., & Katkat, A. V. (2009). Uptake of wheat (*Triticum durum* cv. Salihli) under conditions of salinity. *Asian J Crop Sci*, 1, 87-95.
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hipps, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. In *Plant and Soil* (Vol. 337, Issue 1, pp. 1–18). <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5>
- Aydin, A., Kant, C., & Turan, M. (2012) Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *Afr J Agr Res* 7:1073-1086. <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.5897%2FAJAR10.274>.
- Ayyıldız, M., (1990). Sulama suyu kalitesi ve tuzluluk problemleri. Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Kültürteknik Bölümü, *Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları*: 1196, Ders Kitabı: 344, Ankara, 282.
- Azarmi, R., Ziveh, P. S., & Satari, M. R. (2008). Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, 11(14), 1797-1802.
- Azeez, J. O., & Van Averebeke, W. (2010). Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bioresource Technology*, 101(14), 5645-5651.
- Bacilio, M., Moreno, M., & Bashan, Y. (2016). Mitigation of negative effects of progressive soil salinity gradients by application of humic acids and inoculation with *Pseudomonas stutzeri* in a salt-tolerant and a saltsusceptible pepper. *Appl Soil Ecol* 107:394-404. <https://doi.10.1016/j.apsoil.2016.04.012>.
- Badr, M.H., El-Halafawi, M.H., & Zeid, E.A. (2012). Comparison between the effect of ionic strength on acidity and dissociation constants of humic acids extracted from sewage sludge and Nile water hyacinth composts. *Glob J Environ Res* 6: 36-43. <https://doi.10.5829/idosi.gjer.2012.6.1.6411>.
- Bai, J., Gao, H., Deng, W., Yang, Z., Cui, B., & Xiao, R. (2010). Nitrification potential of marsh soils from two natural saline-alkaline wetlands. *Biology and Fertility of Soils*, 46(5), 525–529. <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0441-4>
- Bandara, T., Herath, I., Kumarathilaka, P., Hseu, Z. Y., Ok, Y.S., & Vithanage, M. (2017). Efficacy of woody biomass and biochar for alleviating heavy metal bioavailability in

serpentine soil. *Environmental Geochemistry and Health*, 39(2), 391–401. <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-016-9842-0>. Epub 2016 Jun 17.

- Baris, B.A., Murat, A.T., Hakan, C., & Ali, V.K. (2009). Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake of wheat (*Triticum durum* cv. Salihli) under conditions of salinity. *Asian Journal of Crop Science* 1: 87-95. <http://dx.doi.org/10.3923/ajcs.2009.87.95>.
- Baronti, S., Alberti, G., Vedove, G. D., di Gennaro, F., Fellet, G., Genesio, L., Miglietta, F., Peressotti, A., & Vaccari, F. P. (2010). The biochar option to improve plant yields: First results from some field and pot experiments in Italy. *Italian Journal of Agronomy*, 5(1), 3–11. <https://doi.org/10.4081/ija.2010.3>
- Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gomez-Eyles, J. L., Harris, E., Robinson, B., & Sizmur, T. (2010). A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. In *Environmental Pollution* (Vol. 159, Issue 12, pp. 3269–3282). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.07.023>
- Bekele, A., Roy, J. L., & Young, M. A. (2015). Use of biochar and oxidized lignite for reconstructing functioning agronomic topsoil: Effects on soil properties in a greenhouse study. *Canadian Journal of Soil Science*, 95(3), 269-285.
- Betül Köksal, S., Aksu, G., Altay, H., Onsekiz Mart Üniversitesi, Ç., Fakültesi, Z., Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, T., Bilimleri Enstitüsü, F., & Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, T. (2017). Vermikompostun Bazı Toprak Özellikleri ve Pazu Bitkisinde Verim Üzerine Etkisi. *Fak. Derg. (COMU J. Agric. Fac.)*, 2017(2), 123–128. <https://doi.org/10.08.2017>
- Bian, R., Joseph, S., Cui, L., Pan, G., Li, L., Liu, X., Zhang, A., Rutledge, H., Wong, S., Chia, C., Marjo, C., Gong, B., Munroe, P., & Donne, S. (2014). A three-year experiment confirms continuous immobilization of cadmium and lead in contaminated paddy field with biochar amendment. *Journal of Hazardous Materials*, 272, 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.03.017>.
- Boostani, H. R., Najafi-Ghiri, M., Hardie, A. G., & Khalili, D. (2019). Comparison of Pb stabilization in a contaminated calcareous soil by application of vermicompost and sheep manure and their biochars produced at two temperatures. *Applied Geochemistry*, 102, 121-128.
- Boostani, H. R., Hardie, A. G., & Najafi-Ghiri, M. (2020). Chemical fractions and bioavailability of nickel in a Ni-treated calcareous soil amended with plant residue biochars. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(6), 730–742. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1634805>
- Bouyoucos, G.H. (1951). A Recalibration of the Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy Journal*, 43, 434-438. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x>.

- Brañas, J., Fernandez-Akarregi, A. R., Makibar, J., Cueva, F., Branas, J., del Campo, P., Piskorz, J., Miranda-Apodaca, J., Robredo, A., Pérez-López, U., Lacuesta, M., Muñoz-Rueda, A., & Mena-Petite, A. (2010). *High quality fertilizers based on biomass pyrolysis bio-oil and char*. <https://doi.org/10.5071/18thEUBCE2010-VP2.7.23>
- Bremner, J.M. (1965). Total nitrogen. methods of soil analysis, part 2. ed. C.A. Black, *American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series*, Madison, Wisconsin, USA. 9: 1149-1178.
- Bu, X. L., Xue, J. H., Wu, Y. B., & Ma, W. B. (2020). Effect of biochar on seed germination and seedling growth of robinia pseudoacacia l. in karst calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(3), 352–363. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1709484>
- Cai, X., Yuan, Y., Yu, L., Zhang, B., Li, J., Liu, T., & Zhou, S. (2020). Biochar enhances bioelectrochemical remediation of pentachlorophenol-contaminated soils via long-distance electron transfer. *Journal of hazardous materials*, 391, 122213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122213>.
- Campos, P., Miller, A. Z., Knicker, H., Costa-Pereira, M. F., Merino, A., & de la Rosa, J. M. (2020). Chemical, physical and morphological properties of biochars produced from agricultural residues: Implications for their use as soil amendment. *Waste Management*, 105, 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.013>
- Cansu, M., & Erdal, İ. (2018). Effect of humic substance applications on mineral nutrition and yield of granny smith and Jersey Mac apple varieties. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 24(2), 162–169. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.446432>
- Cao, X., Ma, L., Gao, B., & Harris, W. (2009). Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine. *Environ. Sci. Technol.* 43, 3285–3291.
- Cardelli, R., Becagli, M., Marchini, F., & Saviozzi, A. (2017). Effect of biochar, green compost, and vermicompost on the quality of a calcareous soil: A 1-Year laboratory experiment. *Soil Science*, 182(7), 248-255.
- Chaganti, V.N., & Crohn, D.M. (2015). Evaluating the relative contribution of physiochemical and biological factors in ameliorating a saline–sodic soil amended with composts and biochar and leached with reclaimed water. *Geoderma* 259–260, 45–55.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2008). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, 45(8), 629-634.
- Chan, K.Y., & Xu, Z. (2009). Biochar: Nutrient properties and their enrichment. pp.67-84. In J. Lehmann and S. Joseph (eds.) *Biochar for environmental management: Science and Technology*. Earthscan, London.
- Chávez-García, E., & Siebe, C. (2019). Rehabilitation of a highly saline-sodic soil using a rubble barrier and organic amendments. *Soil and Tillage Research*, 189, 176–188. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.003>

- Chen, D., Liu, X., Bian, R., Cheng, K., Zhang, X., Zheng, J., Joseph, S., Crowley, D., Pan, G., & Li, L. (2018). Effects of biochar on availability and plant uptake of heavy metals – A meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 222, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.004>
- Chen, X., Chen, G., Chen, L., Chen, Y., Lehmann, J., McBride, M. B., & Hay, A. G. (2011). Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. *Bioresource technology*, 102(19), 8877–8884.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E., Burton, S. D., & Engelhard, M. H. (2006). Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry*, 37(11), 1477–1488. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.06.022>
- Cheng, C.H., Lehmann, J., Thies, J.E., & Burton, S.D., (2008). Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *J. Geophys. Res.* 113, 1–10.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., & Julson, J. L. (2014). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(3), 393–404. <https://doi.org/10.1080/03650340.2013.789870>
- Clough, T. J., Condon, L. M., Kammann, C., & Müller, C. (2013). A review of biochar and soil nitrogen dynamics. In *Agronomy* (Vol. 3, Issue 2, pp. 275–293). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020275>
- Conz, R. F., T. F. Abbruzzini, C. A. de Andrade, D. M. B. P. Milori, & C. E. P. Cerri. (2017). Effect of pyrolysis temperature and feedstock type on agricultural properties and stability and biochars. *Embrapa Instrumentação-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Cornelissen, G., Jubaedah, Nurida, N. L., Hale, S. E., Martinsen, V., Silvani, L., & Mulder, J. (2018). Fading positive effect of biochar on crop yield and soil acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol. *Science of the Total Environment*, 634, 561–568. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.380>
- Çağlar, A. (2004). Çay atığının katalitik pirolizi: Sıvı ürün verimi üzerine katalizörlerin etkisi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 12(2): 385–392.
- Çimrin, K. M., Türkmen, Ö., Turan, M., & Tuncer, B. (2010). Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. *African Journal of Biotechnology* 9(36): 5845–5851.
- Dai, L., et al. (2017). Immobilization of phosphorus in cow manure during hydrothermal carbonization. *Journal of Environmental Management*, 157, 49–53
- Dai, L., Li, H., Tan, F., Zhu, N., He, M., & Hu, G. (2016). Biochar: a potential route for recycling of phosphorus in agricultural residues. *GCB Bioenergy*, 8(5), 852–858. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12365>
- de Figueredo, N. A., da Costa, L. M., Melo, L. C. A., Siebeneichler, E. A., & Tronto, J. (2017). Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of

- nutrients and contaminants. *Revista Ciencia Agronomica*, 48(3), 395–403. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170046>
- Deb, D., Kloft, M., Lässig, J., & Walsh, S. (2016). Variable effects of biochar and P solubilizing microbes on crop productivity in different soil conditions. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(2), 145–168. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1118001>
- Della Lucia, M. C., Bertoldo, G., Broccanello, C., Maretto, L., Ravi, S., Marinello, F., & Stevanato, P. (2021). Novel effects of leonardite-based applications on sugar beet. *Frontiers in Plant Science*, 12, 646025.
- Demir, Z., & Kıran, S. (2020). Tuz stresi altında vermikompost uygulamasının kıvrıcık salata (Lactuca Sativa Var. Crispa) makro ve mikro element içerikleri üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.579695>
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G., Zhou, L., & Zheng, B. (2016). Biochar to improve soil fertility. A review. In *Agronomy for Sustainable Development* (Vol. 36, Issue 2). Springer-Verlag France. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z>
- Djajadi, D., Syaputra, R., Hidayati, S. N., & Khairiyah, Y. (2020). Effect of vermicompost and nitrogen on N, K, Na uptakes and growth of sugarcane in saline soil. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*, 42(1), 110-119.
- Downie, A., Crosky, A., & Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. *Science and technology*, 13- 32.
- Du, Z., Wang, Y., Jian, H., & Lu, N. (2014). Consecutive biochar application alters soil enzyme activities in the winter wheat–growing season. *Soil Science*, 179(2), 75–83. DOI:10.1097/SS.0000000000000050.
- Duan, L., Dietrich, D. N. C.H., Chan, P.M.Y., Bhalerao, R., & Bennett, M.J. (2013). Endodermal ABA signaling promotes lateral root quiescence during salt stress in Arabidopsis seedlings. *The Plant Cell*;25:324-341.
- Dume, B., Mosissa, T., & Nebiyu, A. (2016). Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 10(3), 77-85.
- Egamberdieva, D., Alaylar, B., Kistaubayeva, A., Wirth, S., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2022). Biochar for improving soil biological properties and mitigating salt stress in plants on salt-affected soils. In *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 53(2), 140–152. *Taylor and Francis Ltd*. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1993884>
- El-Naggar, A. H., Usman, A. R. A., Al-Omran, A., Ok, Y. S., Ahmad, M., & Al-Wabel, M. I. (2015). Carbon mineralization and nutrient availability in calcareous sandy soils amended with woody waste biochar. *Chemosphere*, 138, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.052>

- El-Naggar, A., Lee, S. S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., Zimmerman, A. R., Ahmad, M., Shaheen, S. M., & Ok, Y. S. (2019). Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. In *Geoderma* (Vol. 337, pp. 536–554). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>
- Ergene, A., (1982). Toprak Bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:267, *Ders Kitapları Serisi* No:42, Erzurum.
- Eyüpoğlu, F. (1999). Türkiye topraklarının verimlilik durumu. *KHGM Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayını Teknik Yayın* No: T-67, Genel Yayın No: 220 Ankara.
- FAO, (2019). Küresel toprak paydaşlığı ve Türkiye toprak bilgi sistemi. *Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü ve Food and Agriculture Organization of the United Nations, Ankara*, 110 s.
- Faust, M. (1989). Physiology of temperate zone fruit trees. *John Wiley & Sons, Inc.*
- Feola Conz, R., Abbruzzini, T. F., de Andrade, C. A., P. Milori, D. M. B., & E. P. Cerri, C. (2017). Effect of pyrolysis temperature and feedstock type on agricultural properties and stability of biochars. *Agricultural Sciences*, 08(09), 914–933. <https://doi.org/10.4236/as.2017.89067>
- Flores-Sanchez, D., Pastor, A., Rossing, W. A. H., Kropff, M. J., & Lantinga, E. A. (2016). Decomposition, N contribution and soil organic matter balances of crop residues and vermicompost in maizebased cropping systems in Southwest Mexico. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(3), 801–817.
- Forj'an, R., Rodríguez-Vila, A., Pedrol, N., & Covelo, E.F., (2018). Application of compost and biochar with Brassica juncea L. to reduce phytoavailable concentrations in a settling pond mine soil. *Waste Biomass Valoriz.* 9 (5), 821–834. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9843-y>.
- Gai, X., Wang, H., Liu, J., Zhai, L., Liu, S., Ren, T., & Liu, H. (2014). Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate. *PloS one*, 9(12), e113888
- Gao, S., Hofman-Krull, K., Bidwell, A.L., & DeLuca, T.H. (2016) Locally produced wood biochar increases nutrient retention and availability in agricultural soils of the San Juan Islands, USA. *Agr Ecosyst Environ* 233:43–54.
- Garcia-Perez, T., Pelaez-Samaniego, M.R., Delgado-Noboa, J., & Chica, E.J. (2022). Combined Effect of Biochar and Fertilizers on Andean Highland Soils before and after Cropping. *Sustainability* 2022, 14, 8912.
- Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., & Fisher, D.S. (2010). Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agron J.*, 102: 623– 633.

- Ghosh, S., Ow, L. F., & Wilson, B. (2015). Influence of biochar and compost on soil properties and tree growth in a tropical urban environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(4), 1303–1310. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0508-0>
- Glaser, B., & Lehr, V. I. (2019). Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45693-z>
- Glaser, B., Wiedner, K., Seelig, S., Schmidt, H.-P., Gerber, H., & Gerber Biochar, H. (2014). *Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers*. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0251-4>
- Glaser, B., Wiedner, K., Seelig, S., Schmidt, H.-P., Gerber, H., & Gerber Biochar, H. (2002). Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0251-4>
- Godlewska, P., Schmidt, H. P., Ok, Y. S., & Oleszczuk, P. (2017). Biochar for composting improvement and contaminants reduction. A review. *Bioresource Technology*, 246, 193–202.
- Gomez, J. D., Denef, K., Stewart, C. E., Zheng, J., & Cotrufo, M. F. (2014). Biochar addition rate influences soil microbial abundance and activity in temperate soils. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 28–39.
- Gondek, K., & Mierzwa-Hersztek, M. (2023b). Effect of soil supplementation with mineral-organic mixtures on the amount of maize biomass and the mobility of trace elements in soil. *Soil and Tillage Research*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105558>
- Grierson, S., Strezov, V., & Shah, P. (2011). Properties of oil and char derived from slow pyrolysis of *Tetraselmis chui*. *Bioresource technology*, 102(17), 8232–8240.
- Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., & Deng, H. (2015). Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. In *Agriculture, Ecosystems and Environment* (206), 46–59. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015>
- Gunarathne, V., Mayakaduwa, S., & Vithanage, M. (2017). Biochar's influence as a soil amendment for essential plant nutrient uptake. In *Essential Plant Nutrients: Uptake, Use Efficiency, and Management* (pp. 47–67). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58841-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58841-4_3)
- Gunarathne, V., Senadeera, A., Gunarathne, U., Biswas, J. K., Almaroai, Y. A., & Vithanage, M. (2020). Potential of biochar and organic amendments for reclamation of coastal acidic-salt affected soil. *Biochar*, 2(1), 107–120. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00036-4>
- Gunes, A., Inal, A., Taskin, M.B., Sahin, O., Kaya, E.C., & Atakol, A. (2014). Effect of phosphorus enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use and Management*, 30: 182–184.

- Gunes, A., Inal, A., Sahin, O., Taskin, M. B., Atakol, O., & Yilmaz, N. (2015a). Variations in mineral element concentrations of poultry manure biochar obtained at different pyrolysis temperatures, and their effects on crop growth and mineral nutrition. *Soil Use and Management*, 31(4), 429–437. <https://doi.org/10.1111/sum.12205>
- Guo, X. xia, Liu, H. tao, & Zhang, J. (2020). The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review. In *Waste Management* (102), 884–899. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.003>
- Güngör, Y. & Erözel, Z. (1994). Drenaj ve arazi ıslahı. *Ankara Üniv., Ziraat Fak. Yayınları* No:1341, Ders Kitabı:389, Ankara, 232.
- Hairani, A., Osaki, M., & Watanabe, T. (2016). Effect of biochar application on mineral and microbial properties of soils growing different plant species. *Soil science and plant nutrition*, 62(5-6), 519-525.
- Hamman, A. A. (2019). Behavior of biochar on alkaline soil and its impact on tomato growth and productivity. In *J.Soil Sci. and Agric. Eng., Mansoura Univ* 10 (1).
- Hammer, E. C., Forstreuter, M., Rillig, M. C., & Kohler, J. (2015). Biochar increases arbuscular mycorrhizal plant growth enhancement and ameliorates salinity stress. *Applied soil ecology*, 96, 114-121.
- Han, Y., Choi, B., & Chen, X. (2018). Adsorption and desorption of phosphorus in biochar-amended black soil as affected by freeze-thaw cycles in Northeast China. *Sustainability*, 10(5), 1574.
- Harvey, O. R., Kuo, L. J., Zimmerman, A. R., Louchouart, P., Amonette, J. E., & Herbert, B. E. (2012). An index-based approach to assessing recalcitrance and soil carbon sequestration potential of engineered black carbons (biochars). *Environmental science & technology*, 46(3), 1415-1421.
- Hassan, K. U., Abd, W. M., & Ahmed, F. W. (2016.) Study of microbial biomass activity in saline soils. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(1), 390– 395.
- Hatami E, Shokouhian AA, Ghanbari AR, Naseri LA (2018) Alleviating salt stress in almond rootstocks using humic acid. *Sci Horti* 237: 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.034>.
- Hossain, M. Z., Bahar, M. M., Sarkar, B., Donne, S. W., Ok, Y. S., Palansooriya, K. N., Kirkham, M. B., Chowdhury, S., & Bolan, N. (2020). Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. In *Biochar* (Vol. 2, Issue 4, pp. 379–420). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>
- Ibrahim, M. E. H., Ali, A. Y. A., Elsiddig, A. M. I., Zhou, G., Nimir, N. E. A., Agbna, G. H. D., & Zhu, G. (2020). Mitigation effect of biochar on sorghum seedling growth under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, 53(2), 387–392. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-2\(21\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-2(21))

- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M. B., & Kaya, E. C. (2015a). 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. <https://doi.org/10.1111/sum.12162>
- Inyang, M.I., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y., Zimmerman, A., Mosa, A., Pullammanappallil, P., Ok, Y.S., & Cao, X., (2016). A review of biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 46 (4), 406–433.
- Ippolito, J. A., Ducey, T. F., Cantrell, K. B., Novak, J. M., & Lentz, R. D. (2016). Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. *Chemosphere*, 142, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.092>
- Ippolito, J. A., Stromberger, M. E., Lentz, R. D., & Dungan, R. S. (2016). Hardwood biochar and manure co-application to a calcareous soil. *Chemosphere*, 142, 84–91.
- Isaac, A. R., & Johnson, W.C. (1998). Elemental Determination by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, In: Karla, Y.P (Ed) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*.p:165-170.CRC Pre Washington, D.C.
- Jaafar, N. M., Clode, P. L., & Abbott, L. K. (2015). Biochar-soil interactions in four agricultural soils. *Pedosphere*, 25(5), 729–736.
- Javanshah, A., & Nasab, S.A. (2016). The effects of humic acid and calcium on morpho-physiological traits and mineral nutrient uptake of pistachio seedling under salinity stress. *Journal of Nuts* 7:125-135. <https://dx.doi.org/10.22034/jon.2016.527103>.
- Jayawardhana, Y., Kumarathilaka, P., Weerasundara, L., Mowjood, M., Herath, G., Kawamoto, K., & Vithanage, M. (2015). Detection of benzene in landfill leachate from Gohagoda dumpsite and its removal using municipal solid waste derived biochar.
- Jeffery, S., Verheijen, F.G., Van Der Velde, M. & Bastos, A.C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using metaanalysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144(1): 175-187.
- Jiang, S., Wu, J., Duan, L., Cheng, S., Huang, J., & Chen, T. (2020). Investigating the aging effects of biochar on soil c and si dissolution and the interactive impact on copper immobilization. *Molecules*, 25(18). <https://doi.org/10.3390/molecules25184319>
- Jin, F., Ran, C., Anwari, Q., Geng, Y., Guo, L., Li, J., Han, D., Zhang, X., Liu, X., & Shao, X. (2018). Effects of biochar on sodium ion accumulation, yield and quality of rice in saline-sodic soil of the west of songnen plain, Northeast China. *Plant, Soil and Environment*, 64(12), 612–618. <https://doi.org/10.17221/359/2018-PSE>
- Jin, Y., Liang, X., He, M., Liu, Y., Tian, G., & Shi, J. (2016). Manure biochar influence upon soil properties, phosphorus distribution and phosphatase activities: A microcosm incubation study. *Chemosphere*, 142, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.07.015>
- Jindo, K., Audette, Y., Higashikawa, F.S., Silva, C.A., Akashi, K., Mastrolonardo, M., Sánchez-Monedero, A., Mondini, C. (2020). Role of biochar in promoting circular

- economy in the agriculture sector. Part 1: A review of the biochar roles in soil N, P and K cycles . *Chem. Biol. Technol. Agric.* (7):15
- Jones, D. L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T. H., & 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.
- Jones, J.B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis, *CRC Pres*, Washington, D.C, 115-119. <https://doi.org/10.1201/9781420025293>.
- Kara, T. (2002). Irrigation Scheduling to Present Soil Salinization from a Shallow Water Table, *Acta Horticulture*, 573, 139-151.
- Kameyama, K., Iwata, Y., & Miyamoto, T. (2017). Biochar Amendment of Soils According to their Physicochemical Properties. In *JARQ* 51 (2). <https://www.jircas.go.jp>
- Kammann, C., Ippolito, J., Hagemann, N., Borchard, N., Cayuela, M. L., Estavillo, J. M., & Wrage-Mönnig, N. (2017). Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden—knowns, unknowns and future research needs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(2), 114-139
- Kanber, R., Çullu, M. A., Kendirli, B., Antepli, S., & Yılmaz, N. (2005). Sulama, drenaj ve tuzluluk.
- Kanber, R., Çullu, M. A., Kendirli, B., Antepli, S., & Yılmaz, N. (1992). *Sulama, drenaj ve tuzluluk*.
- Kang, Y., Khan S. & Ma, X. (2009), Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security—A Review. *Progress in Natural Science*, 19, 1665-1674. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2009.08.001>.
- Karer, J., Wimmer, B., Zehetner, F., Kloss, S., & Soja, G. (2013). Biochar application to temperate soils: Effects on nutrient uptake and crop yield under field conditions. *Agricultural and Food Science*, 22(4), 390–403. <https://doi.org/10.23986/afsci.8155>
- Karimi, F., Rahimi, G., Kolahchi, Z., & Nezhad, A. K. J. (2020). Using industrial sewage sludge-derived biochar to immobilize selected heavy metals in a contaminated calcareous soil. *Waste and Biomass Valorization*, 11(6), 2825–2836. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00563-z>
- Kasozi, G.N., Zimmerman, A.R., Nkedi-Kizza, P., Gao, B. (2010). Catechol and humic acid sorption onto a range of laboratory-produced black carbons (biochars). *Environmental Science & Technology*, 44, 6189–6195.
- Keiluweit, M., Nico, P.S., Johnson, M.G. ve Kleber, M. (2010). Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environ. Sci. Technol.*, 44, 1247-1253.
- Khadem, A., Raiesi, F., Besharati, H., & Khalaj, M. A. (2021). The effects of biochar on soil nutrients status, microbial activity and carbon sequestration potential in two calcareous soils. *Biochar*, 3(1), 105–116. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00076-w>

- Kishimoto, S., and Sugiura, G. (1985). Charcoal as a soil conditioner. symposium on forest products research international. *Achievements for the Future*, 5: 12–23.
- Kloss, S., et al. (2012) Characterization of Slow Pyrolysis Biochars: Effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. *Journal of Environmental Quality*, 41, 990–1000.
- Kocsis, T., Ringer, M., & Biró, B. (2022). Characteristics and applications of biochar in soil–plant systems: A Short Review of Benefits and Potential Drawbacks. *Içinde Applied Sciences (Switzerland) (C. 12, Issue 8)*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/app12084051>.
- Krull, E. S., Swanston, C. W., Skjemstad, J. O., & McGowan, J. A. (2006). Importance of charcoal in determining the age and chemistry of organic carbon in surface soils. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 111(4). <https://doi.org/10.1029/2006JG000194>
- Kulikova NA, Stepanova EV, & Koroleva OV (2005). Mitigating activity of humic substances: Direct influence on biota. In: Use of humic substances to remediate polluted environments: From theory to practice, NATO Sciences Series IV: *Earth and Environmental Series*, Perminova IV (ed). Kluwer Academic Publishers, USA, 285–309. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3252-8\\_14](https://doi.org/10.1007/1-4020-3252-8_14).
- Kuppusamy, S., Thavamani, P., Megharaj, M., Venkateswarlu, & K., Naidu, R., (2016). Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: current knowledge and future research directions. *Environ. Int.* 87, 1–12.
- Kwiatkowski, D.J. (1998). Functions of gelsolin: motility, signaling, apoptosis, cancer. *Curr Opin Cell Biol.* 11:103–8.
- Kwon, S., and Pignatello, J.J. (2005). Effect of natural organic substances on the surface and adsorptive properties of environmental black carbon (char): pseudo pore blockage by model lipid components and its implications for n-2-probed surface properties of natural sorbents. *Environ Sci Technol* 39:7932–7939.
- Ladygina, N., & Rineau, F. (2013). Biochar and Soil Biota *CRC Press*, Boca Raton, Fl. 270 p. <https://doi.org/10.1201/b14585>
- Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B., & Karlen, D. L. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3–4), 443–449. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.013>
- Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2009). Effectiveness of compost use in salt-affected soil. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 171, Issues 1–3, pp. 29–37). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.132>
- Larcher, W. (2003). Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of functional groups. 4th Edition, *Springer*, New York, 513. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-05214-3>.

- Lehmann, J. (2007). Bio-Energy in the Black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5: 381-387.
- Lehmann, J., Junior, J.P.S., Steiner, C., & Nehls, T. (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.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota - A review. In *Soil Biology and Biochemistry* 43 (9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar environmental management. *Earthscan Yayıncılık*, (2), 18.
- Lei, O., & Zhang, R. (2013). Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. *Journal of Soils and Sediments*, 13(9), 1561–1572. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0738-7>
- Leng, L., Xu, S., Liu, R., Yu, T., Zhuo, X., Leng, S., & Huang, H. (2020). Nitrogen containing functional groups of biochar: An overview. *Bioresource technology*, 298, 122286.
- Lentz, R., & Ippolito, J. (2012). Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1033–1043. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122286.
- Li, F., Cao, X., Zhao, L., Wang, J., & Ding, Z. (2014). Effects of mineral additives on biochar formation: carbon retention, stability, and properties. *Environmental Science & Technology*, 48(19), 11211-11217.
- Li, G., Khan, S., Ibrahim, M., Sun, T.R., Tang, J.F., Cotner, J.B., & Xu, Y.Y. (2018). Biochars induced modification of dissolved organic matter (DOM) in soil and its impact on mobility and bioaccumulation of arsenic and cadmium. *J. Hazard. Mater.* 348, 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.031>.
- Li, X., Wang, C., Zhang, J., Liu, J., Liu, B., & Chen, G. (2020). Preparation and application of magnetic biochar in water treatment: A critical review. *Science of The Total Environment*, 711, 134847.
- Li, Y., Yu, H., Liu, L., & Yu, H. (2021). Application of co-pyrolysis biochar for the adsorption and immobilization of heavy metals in contaminated environmental substrates. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126655.
- Liang, B. L., Solomon, D., Kinyagi, J., Grossman, J., o'Neil, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizao, F.J., Petersen, J., & Neves, E.G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1719–1730. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0383>
- Liang, F., Li, G. tong, Lin, Q. mei, & Zhao, X. rong. (2014). Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(3), 525-532. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60708-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60708-X).

- Liang, J.F., Li, Q.W., Gao, J.Q., Feng, J.G., Zhang, X.Y., Hao, Y.J., & Yu, F.H., (2021). Biochar-compost addition benefits phragmites australis growth and soil property in coastal wetlands. *Sci. Total Environ.* 769, 145166 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145166>.
- Liao, J., Liu, X., Hu, A., Song, H., Chen, X., & Zhang, Z. (2020). Effects of biochar-based controlled release nitrogen fertilizer on nitrogen-use efficiency of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67528-yü>
- Liao, H., Zheng, C., Long, J., & Guzman, I. (2021). Effects of biochar amendment on tomato rhizosphere bacterial communities and their utilization of plant-derived carbon in a calcareous soil. *Geoderma*, 396, 115082. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115082>
- Liu, C., & Cooper, R.J. (2002). Humic acid application does not improve salt tolerance of hydroponically grown creeping bentgrass. *J Am Soc Hortic Sci* 127: 219-223. <https://doi.org/10.21273/jashs.127.2.219>.
- Liu, M., Wang, C., Wang, F., & Xie, Y. (2019). Vermicompost and humic fertilizer improve coastal saline soil by regulating soil aggregates and the bacterial community. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(3), 281–293. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1498083>
- Liu, Z., Chen, X., Jing, Y., Li, Q., Zhang, J., & Huang, Q. (2014). Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. *Catena*, 123, 45-51.
- Lliffe, R. (2009). Is the biochar produced by an Anila stove likely to be a beneficial soil additive. UKBRC Working Paper 4: UK Biochar Research Centre: Edinburgh, UK.
- Loeppert, R. (1986). Reactions of iron and carbonates in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, 9 (3-7), 195-214.
- Lorenz, K., & Lal, R. (2014). Biochar Application to Soil for Climate Change Mitigation by Soil Organic Carbon Sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177: 651–670.
- Lu, H., Zhang, W., Yang, Y., Huang, X., Wang, S., & Qiu, R., (2012). Relative distribution of Pb<sup>2+</sup> sorption mechanisms by sludge-derived biochar. *Water Res.* 46, 854–862. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.058>.
- Lu, K., Yang, X., Gielen, G., Bolan, N., Ok, Y.S., Niazi, N.K., Xu, S., Yuan, G., Chen, X., Zhang
- Liu, X. D., Song, Z., Liu, X., & Wang, H. (2017). E\_ect of bamboo and rice straw biochars on the mobility and redistribution of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in contaminated soil. *J. Environ. Manag.* 186, 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.068>.

- Lu, S.G., Sun, F.F. & Zong, Y.T. (2014) Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena*, 114, 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.10.014>.
- Luo, X., Chen, L., Zheng, H., Chang, J., Wang, H., Wang, Z., & Xing, B. (2016). Biochar addition reduced net N mineralization of a coastal wetland soil in the Yellow River Delta, China. *Geoderma*, 282, 120-128.
- Ma, Y. L., & Matsunaka, T. (2013). Biochar derived from dairy cattle carcasses as an alternative source of phosphorus and amendment for soil acidity. *Soil Science & Plant Nutrition*, 59(4), 628–641.
- Najafi-Ghiri, M., Razeghizadeh, T., Taghizadeh, M.S., & Boostani, H.Z. (2019). Effect of Sheep Manure and Its Produced Vermicompost and Biochar on the Properties of a Calcareous Soil after Barley Harvest, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50:20, 2610-2625.
- Mahmoodabadi, M., & Heydarpour, E. (2014). Sequestration of organic carbon influenced by the application of straw residue and farmyard manure in two different soils. *International Agrophysics*, 28(2).
- Major, J. (2012). *Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems photo by josiah hunt*. [www.biochar-international.org](http://www.biochar-international.org)
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & 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. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0327-0>
- Manirakiza, N., & Şeker, C. (2020). Effects of compost and biochar amendments on soil fertility and crop growth in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 43(20), 3002–3019. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1806307>
- Manolikaki, I., & Diamadopoulos, E. (2016). Ryegrass yield and nutrient status after biochar application in two Mediterranean soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*. doi:10.1080/03650340.2016.1267341.
- Manolikaki, I., & Diamadopoulos, E. (2020). Agronomic potential of biochar prepared from brewery byproducts. *Journal of Environmental Management*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109856>
- Masto, R. E., Kumar, S., Kumar Rout, T., Sarkar, P. (2013). Biochar from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and its impact on soil biological activity. *Catena*, 111, 64–71. DOI:10.1016/j.catena.2013.06.025.
- Matos, E. C. T. D., Rodrigues, L. A., Souza, P. D. A., Silva, R. V. D., & Faria Jr, R. T. (2018). Espectroscopia fotoacústica para analisar a fertilidade de solos tratados com biochar e micorriza. *Química Nova*, 41, 989-998.

- Mazhar, A. A. M., Shedeed, S. I., Abdel-Aziz, N. G., & Mahgoub, M. H. (2012). Growth, flowering and chemical constituents of *Chrysanthemum indicum* L. plant in response to different levels of humic acid and salinity. In *Journal of Applied Sciences Research* 8 (7).
- McClellan, T., Uehara, G., Deenik, J. & Antal, M. (2007). Effects of Flashed Carbonized Macadamia Nutshell Charcoal on Plant Growth and Soil Chemical Properties. 6 November 2007, SSA, ASA, CSSA, *International Annual Meetings*, Louisiana, New Orleans. <http://ac-s.confex.com/crops/2007am/techprogram/P35834.HTM>
- McLaughlin, H., Anderson, P. S., Shields, F. E., & Reed, T. B. (2009). *All Biochars are Not Created Equal, and How to Tell Them Apart*.
- McLean, E.O. (1982). Soil pH and Lime Requirement. In: Page, A.L., Ed., *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 199-224.
- Mehrizi, M. H., Sarcheshmehpour, M., & Ebrahimi, Z. (2015). The effects of some humic substances and vermicompost on phosphorus transformation rate and forms in a calcareous soil. In *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15 (1).
- Meng, F., Huang, Q., Cai, Y., Yuan, G., Xiao, L., & Han, F. X. (2022). Effect of humic acid derived from leonardite on the redistribution of uranium fractions in soil. *PeerJ*, 10. <https://doi.org/10.7717/peerj.14162>
- Mensah, A. K., & Frimpong, K. A. (2018). Biochar and/or compost applications improve soil properties, growth, and yield of maize grown in acidic rainforest and coastal savannah soils in Ghana. *International Journal of Agronomy*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6837404>
- Moradi, S., Rasouli-Sadaghiani, M. H., Sepehr, E., Khodaverdiloo, H., & Barin, M. (2019). Soil nutrients status affected by simple and enriched biochar application under salinity conditions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7393-4>
- Moreno, J.L., Ondoño, S, Torres, I., & Bastida, F. (2017). Compost, leonardite, and zeolite impacts on soil microbial community under barley crops. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 17, 214–230. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017005000017> .
- Mosa, A.A. (2012). Effect of the application of humic substances on yield, quality, and nutrient content of potato tubers in Egypt. In: He Z et al. (eds.) *Sustainable Potato Production: Global Case Studies*, Springer, Dordrecht, pp 471-492. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4104-1\\_27](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4104-1_27).
- Mtua, K.A. (2015). Effects of applying different doses of phosphorus and TKI humas on yield and quality of dry bean. *The Graduate School of Natural and Applied Science of Selcuk University*, The Degree of Master of Science in Soil Science and Plant Nutrition.
- Munera-Echeverri, J. L., Martinsen, V., Strand, L. T., Zivanovic, V., Cornelissen, G., & Mulder, J. (2018a). Cation exchange capacity of biochar: An urgent method modification.

*Science of the Total Environment*, 642, 190–197.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.017>

- Munns, R., & James, R. A. (2003). Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. In *Plant and Soil* (253).tetraploid wheat. In *Plant and Soil* (253).
- Murtaza, G., Ahmed, Z., Usman, M., Tariq, W., Ullah, Z., Shareef, M., Iqbal, H., Waqas, M., Tariq, A., Wu, Y., Zhang, Z., & Ditta, A. (2021). Biochar induced modifications in soil properties and its impacts on crop growth and production. In *Journal of Plant Nutrition* (Vol. 44, Issue 11, pp. 1677–1691). Bellwether Publishing, Ltd.  
<https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1871746>
- Naeem, M. A., Khalid, M., Aon, M., Abbas, G., Amjad, M., Murtaza, B., Khan, W. ud D., & Ahmad, N. (2018). Combined application of biochar with compost and fertilizer improves soil properties and grain yield of maize. *Journal of Plant Nutrition*, 41(1), 112–122.  
<https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381734>
- Nahidan, S., & Ghasemzadeh, M. (2022). Biochemical phosphorus transformations in a calcareous soil as affected by earthworm, cow manure and its biochar additions. *Applied Soil Ecology*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104310>
- Najafi-Ghiri, M., Bijanzadeh, E., & Bahadori, F. (2022). Effect of wheat-derived biochar on soil nutrients availability and nutrients uptake by two safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under water stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(13), 1592–1606. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2060251>
- Najafi-Ghiri, M., Razeghizadeh, T., Taghizadeh, M. S., & Boostani, H. R. (2019). Effect of sheep manure and its produced vermicompost and biochar on the properties of a calcareous soil after barley harvest. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(20), 2610–2625. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1671444>.
- Namlı, T.A., Akça M. O., & Akça H. (2017). Tarımsal atıklardan elde edilen biyokömürün buğday bitkisinin gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri, *Üniversitesi, A., Fakültesi, Z., & Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, In Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 5 (1).
- Nartey, O. D., & Zhao, B. (2014). Biochar preparation, characterization, and adsorptive capacity and its effect on bioavailability of contaminants: An overview. In *Advances in Materials Science and Engineering* (Vol. 2014). Hindawi Publishing Corporation.  
<https://doi.org/10.1155/2014/715398>
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis: Part 3 *Chemical methods*, 5, 961–1010.
- Nelson, R.E. (1982). Carbonate and Gypsum. Methods of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Properties, Ed.A.L. Page. *American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series*, Madison, Wisconsin, USA, 9: 181–196. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c11>.

- Nguyen, X. C., Nguyen, T. T. H., Nguyen, T. H. C., Van Le, Q., Vo, T. Y. B., Tran, T. C. P., & Nguyen, D. D. (2021). Sustainable carbonaceous biochar adsorbents derived from agro-wastes and invasive plants for cation dye adsorption from water. *Chemosphere*, 282, 131009.
- Ni, M., Leung, D.Y.C., Leung, M.K.H., & Sumathy, K. (2006). An Overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Processing Technology*, 87: 461-472 <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2005.11.003>.
- Nie, C., Yang, X., Niazi, N.K., Xu, X., Wen, Y., Rinklebe, J., Ok, Y.S., Xu, S., & Wang, H., (2018). Impact of sugarcane bagasse-derived biochar on heavy metal availability and microbial activity: a field study. *Chemosphere* 200, 274–282. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.02.134.
- Nikbakht, A., Kafi, M., Babalar, M., Xia, Y.P., Luo, A., & Etemadi, N. (2008). Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. *Journal of Plant Nutrition* 31: 2155-2167. <https://doi.org/10.1080/01904160802462819>.
- Nilsson, S.I., Jhonson, L. and Jennische, P. (2005). “Sludge, treated biowaste and soil-determination of ph”, a horizontal standard for ph measurement-the influence on ph measurements of sample pretreatment, ionic composition/ionic strength of the extractant and centrifugation/filtration. Swedish *University of Agricultural Sciences*, Uppsala..
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., & Niandou, M. A. S. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 174(2), 105–112. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181981d9>
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., & Niandou, M. A. S. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 174(2), 105–112. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181981d9a>.
- Noyce, G.L., Jones, T., Fulthorpe, R., & Basiliko, N. (2017). Phosphorus uptake and availability and short-term seedling growth in three Ontario soils amended with ash and biochar. *Can J Soil Sci* 97:678–691.
- Oktem, A. G., & Oktem, A. (2020). Effect of humic acid application methods on yield and some yield characteristics of corn plant (*Zea mays* L. indentata). *Journal of Applied Life Sciences International*, 31–37. <https://doi.org/10.9734/jalsi/2020/v23i1130196>
- Oladele, S.O., Adeyemo, A.J., & Awodun, M.A. (2019). Influence of rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils. *Geoderma* 336, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.025>.
- Olego, M. Á., Cuesta Lasso, M., Quiroga, M. J., Visconti, F., López, R., & Garzón-Jimeno, E. (2022). Effects of leonardite amendments on vineyard calcareous soil fertility, vine nutrition and grape quality. *Plants*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/plants11030356> 2041. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1495726>

- Olivares, F. L., Busato, J. G., de Paula, A. M., da Silva Lima, L., Aguiar, N. O., & Canellas, L. P. (2017). Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4:30.
- Omondi, M. O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K., & Pan, G. (2016). Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma*, 274, 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.029>
- Oorts, K., Vanlauwe, B., & Merckx, R. (2003). Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 100(2-3), 161-171.
- Oram, N. J., van de Voorde, F.J.T., Ouwehand, G-J., Bezemer, T.M., Mommer, L., Jeffery, S., Groenigen, J.W.V. (2014). Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.031>
- Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J-L., & Wall, D.H. (2016). *Global Soil Biodiversity Atlas*. Lüksemburg: European Commission Publications Office of the European Union.
- Orozco, F. H., Cegarra, J., Trujillo, L. M., & Roig, A. (1996). Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and fertility of soils*, 22(1), 162-166.
- Ortaş, İ. (2018). Bioçar'ın Toprak kalitesi ve bitki gelişimi üzerine etkileri. *Organomineral Gübre Çalıştayı*, 12 Mayıs 2018, İstanbul.
- Ouni, Y., Ghnaya, T., Montemurro, F., Abdelly, C., & Lakhdar, A. (2014). The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. *Int J Plant Prod* 8:353-374. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2014.1614>.
- Ozbay, N. (2012). Humik madde uygulamalarının durgun su kültüründe yetistirilen tursuluk hıyarda bitki gelişimi ve verim üzerine etkileri, *Tr. Doga ve Fen Dergisi. Turkish*;1(2):58-62.
- Öktem, A.G., & Öktem, A. (2020). Effect of Humic Acid Application Methods on Yield and Some Yield Characteristics of Corn Plant (*Zea mays* L. *indentata*). *Journal of Applied Life Sciences International*. 23(11): 31-37,
- Özkan, N., Dağlıoğlu, M., Ünser, E., & Müftüoğlu, N. M. (2016). Vermikompostun Ispanak (*Spinacia oleracea* L.) Verim ve Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(1), 1-5.
- Pandit, N. R., Mulder, J., Hale, S. E., Schmidt, H. P., & Cornelissen, G. (2017). Biochar from "Kon Tiki" flame curtain and other kilns: Effects of nutrient enrichment and kiln type on crop yield and soil chemistry. *PLoS One*, 12(4), e0176378.

- Park, J. H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung, J. W., & Chuasavathi, T. (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and Soil*, 348(1–2), 439–451. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0948-y>.
- Parvaiz, A., and Satyawati, S. (2008). Salt Stress and phyto-biochemical responses of Plants—A Review. *Plant Soil and Environment*, 54, 89-99. <https://doi.org/10.17221/2774-PSE>.
- Pietikäinen, J., Kiikkilä, O., & Fritze, H. (2000). Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. *Oikos*, 89(2), 231–242.
- Pituello, C., Francioso, O., Simonetti, G., Pisi, A., Torreggiani, A., Berti, A., & Morari, F. (2015). Characterization of chemical–physical, structural and morphological properties of biochars from biowastes produced at different temperatures. *Journal of Soils and Sediments*, 15(4), 792–804. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0964-7>
- Puga, A. P., Abreu, C., Melo, L. C. A., & Beesley, L. (2015). Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium. *Journal of environmental management*, 159, 86-93.
- Pühringer, H. (2016). *Effects of different biochar application rates on soil fertility and soil water retention in on-farm experiments on smallholder farms in Kenya*. <http://stud.epsilon.slu.se>
- Raboin, L.M., Razafimahafaly, A.H.D., Rabenjarisoa, M.B., Rabary, B., Dusserre, J., & Thierry Becquer, T., (2016). Improving the fertility of tropical acid soils: liming versus biochar application? A long term comparison in the highlands of Madagascar. *Field Crop Res.* 199, 99–108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.005>".
- Rajapaksha, A. U., Chen, S. S., Tsang, D. C., Zhang, M., Vithanage, M., Mandal, S., Gao, B., Bolan, N., Ok, Y.S., & Ok, Y. S. (2016). Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: potential and implication of biochar modification. *Chemosphere*, 148, 276-291. [10.1016/j.chemosphere.2016.01.043](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.043).
- Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R., & Lehmann, J. (2012). Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biol Fertil Soils* (48) 271–284.
- Ramnarain, Y. I., Ori, L. Y. D. I. A., & Ansari, A. A. (2018). Effect of the use of vermicompost on the plant growth parameters of Pak Choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) and on the soil structure in Suriname. *Journal of Global Agriculture and Ecology*, 8(1), 8-15.
- Rasuli, F., Owliaie, H., Najafi-Ghiri, M., & Adhami, E. (2022). Effect of biochar on potassium fractions and plant-available P, Fe, Zn, Mn and Cu concentrations of calcareous soils. *Arid Land Research and Management*, 36(1), 1-26. <https://doi.org/10.1080/15324982.2021.1936689>.
- Raza, S. T., Wu, J., Ali, Z., Anjum, R., Bazai, N. A., Feyissa, A., & Chen, Z. (2021). Differential effects of organic amendments on maize biomass and nutrient availability in upland calcareous soil. *Atmosphere*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/atmos12081034>

- Regmi, P., Moscoso, J.L.G., Kumar, S., Cao, X., Mao, J. & Schafran, G. (2012). Removal of copper and cadmium from aqueous solution using switchgrass biochar produced via hydrothermal carbonization process. *J. Environ. Manage.*, 109, 61-69. [10.1016/j.jenvman.2012.04.047](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.047).
- Rehman, H. A., & Razzaq, R. (2017). Benefits of biochar on the agriculture and environment - A Review. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 04(03). <https://doi.org/10.4172/2380-2391.1000207>
- Rekaby, S. A., Awad, M., Majrashi, A., Ali, E. F., & Eissa, M. A. (2021). Corn cob-derived biochar improves the growth of saline-irrigated quinoa in different orders of egyptian soils. *Horticulturae*, 7(8). <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080221>
- Rezaie, N., Razzaghi, F., & Sepaskhah, A. R. (2019). Different levels of irrigation water salinity and biochar influence on faba bean yield, water productivity, and ions uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(5), 611–626. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1574809>
- Rhoades, J.D. (1982). Soluble Salts. Methods of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Properties, Ed.A.L. Page. *American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series*, Madison, Wisconsin, USA, 9: 167-178.
- Riaz, M., Khan, M., Ali, S., Khan, M. D., Ahmad, R., Khan, M. J., & Rizwan, M. (2018). Sugarcane waste straw biochar and its effects on calcareous soil and agronomic traits of okra. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(23). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4113-2>
- Rita Emendu, E., Jude Chinweuba, A., Chinedu Chibuzor, O., Benneth Emendu, N., & Author, C. (2023). Analysis of micro and macro nutrient levels in compost and vermicompost fertilizer formulated from selected agro-waste and comparative assessment of the fertilizer efficiencies
- Rivelli, A.R., & Libutti, A. (2022). Effect of Biochar and Inorganic or Organic Fertilizer Co-Application on Soil Properties, Plant Growth and Nutrient Content in Swiss Chard. *Agronomy* 12, 2089.
- Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ibrahim, M., Zia-ur-Rehman, M., Abbas, T., & Ok, Y. S. (2016). Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(3), 2230-2248.
- Robarge, W.P., Edwards, A. & Johnson, B., (1983). Water and waste water analysis for nitrate via nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14, 1207- 1215. <https://doi.org/10.1080/00103628309367444>.
- Rodríguez-Vila, A., Atuah, L., Abubakari, A. H., Atorqui, D. W., Abdul-Karim, A., Coole, S., Hammond, J., Robinson, S., & Sizmur, T. (2022). Effect of biochar on micronutrient availability and uptake into leafy greens in two urban tropical soils with contrasting soil pH. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.821397>

- Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramírez, J., & Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils*, 43(6),
- Rong, Q., Zhong, K., Huang, H., Chaolan C.L.C., & Nong, X., (2020). Humic Acid Reduces the Available Cadmium, Copper, Lead, and Zinc in Soil and Their Uptake by Tobacco. *Appl. Sci.* 10, 1077
- Sadowska, U., Domagała-Świątkiewicz, I., & Żabiński, A. (2020). Biochar and its effects on plant–soil macronutrient cycling during a three-year field trial on sandy soil with peppermint (*Mentha piperita* L.). part i: Yield and macro element content in soil and plant biomass. *Agronomy*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy10121950>
- Safian, M., Motaghian, H., & Hosseinpour, A. (2020). Effects of sugarcane residue biochar and P fertilizer on P availability and its fractions in a calcareous clay loam soil. *Biochar*, 2(3), 357–367. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00050-6>
- Saifullah, Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z., & Naidu, R. (2018). Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. In *Science of the Total Environment* (Vol. 625, pp. 320–335). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.257>
- Salem, T.M., Refaie, K.M., Sherif, A., & EID, M.A.M. (2019). Biochar application in alkaline soil and its effect on soil and plant. *Acta agriculturae Slovenica*, 114/1, 85–96.
- Sandoval, J. P. M., Martínez, A. E., & Torres, D. G. (2015). Efecto de la aplicación de un vermicompost en las propiedades químicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Acta Agronomica*, 64(4). <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.47115>
- Saygan, P.E., & Aydemir, S. (2016). Harran Ovası Kireçli Killi Toprak Özellikleri Üzerine Antepfıstığı Dış Kabuğu Biyokömür Uygulamasının Etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 20(4), 301 - 312.
- Schmidt, H. P., Pandit, B. H., Cornelissen, G., & Kammann, C. I. (2017). Biochar-based fertilization with liquid nutrient enrichment: 21 Field Trials Covering 13 Crop Species in Nepal. *Land Degradation and Development*, 28(8), 2324–2342. <https://doi.org/10.1002/ldr.2761>
- Senesi, N., Plaza, C., Brunetti, G., & Polo, A. (2007). A comparative survey of recent results on humic like fractions in organic amendments and effects on native soil humic substances. *Soil biology and biochemistry*, 39(6), 1244-1262.
- Shan, S., & Coleman, M. D. (2020). Biochar influences nitrogen availability in Andisols of north Idaho forests. *SN Applied Sciences*, 2, 1-11.
- Shen, Q., Hedley, M., Camps Arbestain, M., & Kirschbaum, M. U. F. (2016). Can biochar increase the bioavailability of phosphorus?. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(2), 268-286.

- Shen, Z., Yu, Z., Xu, L., Zhao, Y., Yi, S., Shen, C., Wang, Y., Li, Y., Zuo, W., Gu, C., Shan, Y., & Bai, Y. (2022). Effects of vermicompost application on growth and heavy metal uptake of barley grown in mudflat salt-affected soils. *Agronomy*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy12051007>
- Silva, R.V., Rodrigues, L.A., da Silva, M.G., da Silva B.G., Martins, M.A. (2019). Biochar and mucuna increase papaya plant growth and nutrition, as well as soil fertility *Pesquisa Agropecuária Tropical*, (49) 1-9, Universidade Federal de Goiás.
- Sigmund, G., Poyntner, C., Piñar, G., Kah, M., & Hofmann, T., (2018). Influence of compost and biochar on microbial communities and the sorption/degradation of PAHs and NSO-substituted PAHs in contaminated soils. *J. Hazard Mater.* 345, 107–113. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.11.010.
- Singh, B., Shen, Q., Arbestain, M. C., Dolk, M. M., & Camps-Arbestain, M. (2017). Chapter 3. Biochar pH, electrical conductivity and liming potential Biochar ageing effects on N and P dynamics: Mechanisms and controlling factors View project Soils in the global agenda-ITPS-GSP?FAO View project 3 Biochar pH, electrical conductivity and liming potential. <https://www.researchgate.net/publication/319206365>.
- Singh, B., Shen, Q., Arbestain, M. C., Dolk, M. M., & Camps-Arbestain, M. (2010). Chapter 3. Biochar pH, electrical conductivity and liming potential Biochar ageing effects on N and P dynamics: Mechanisms and controlling factors View project Soils in the global agenda-ITPS-GSP?FAO View project 3 Biochar pH, electrical conductivity and liming potential. <https://www.researchgate.net/publication/319206365>
- Singh, B.; Dolk, M.M.; Shen, Q.; Arbestain, M.C. (2017). Biochar pH, electrical conductivity and liming potential. In *Biochar: A Guide to Analytical Methods*; Singh, B., Camps-Arbestain, M., Lehmann, J., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA,; pp. 23–38.
- Singh, K. (2016). Microbial and enzyme activities of saline and sodic soils. *Land Degradation and Development*, 27(3), 706–718. <https://doi.org/10.1002/ldr.2385>.
- Singh, R., Mavi, M.S., & Choudhary, O.P. (2019). Saline soils can be ameliorated by adding biochar generated from rice-residue waste. *Clean Soil Air Water* 47 (2), 1700656.
- Singh, R., Mavi, M.S., Choudhary, O.P. (2019). Saline soils can be ameliorated by adding biochar generated from rice-residue waste. *Clean Soil Air Water* 47 (2), 1700656.
- Smider, B., & Singh, B. (2014). Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 99–107.
- Sohi, S.P, Krull, E., Lopez-Capel, E. & Bol, R. (2010). A Review of biochar and its use and function in soil. *Adv Agron.*, 105: 47-82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., & Bol, R. (2009). *Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. Soil and the intensification of agriculture for global food security \_ Elsevier Enhanced Reader. Soilsystems-06-00007.* (n.d.).

- Soil Survey Manual (1951). Manual 1951. Soil Survey Manual. *Agriculture Handbook, Agricultural Resear Administration*, USDA, Washington, D.C. 18.
- Sokchea, H., Borin, K., & Preston, T.R. (2013). Effect of biochar from rice husks (combusted in a downdraft gasifier or a paddy rice dryer) on production of rice fertilized with biodigester effluent or urea. *Livestock Research for Rural Development*, 25(1): 1-4.
- Sombroek, W., de Lourdes Ruivo, M., Fearnside, P.M., Glaser, B., & Lehmann, J. (2003). Amazonian dark earths as carbon stores and sinks. In: *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management* (eds J Lehmann, DC Kern, B Glaser, WI Woods), pp. 125– 139.
- Somebroek, W. (1993). Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 22, 417–426. doi: [10.1007/s13280-021-01508-y](https://doi.org/10.1007/s13280-021-01508-y).
- Song, W. and Guo, M. (2012.) Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94, 138-145. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.11.018>.
- Sönmez, B., Özbahçe, A., Akgül, S., & Keçeci, M. (2018). Türkiye Topraklarının Bazı Verimlilik ve Organik Karbon (TOK) İçeriğinin Coğrafi Veritabanının Oluşturulması, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Proje No: TAGEM/TSKAD/11/A13/P03.
- Solorzano, L. (1969). Determination of Ammonia in Natural Waters by the Phenolhypochlorite Method. *Limnology and Oceanography*, 14, 799-801.
- Sönmez, F., & Alp, Ş. (2019). The effects of applications humic acids on macronutrient, micronutrient, heavy metal and soil properties. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 29(4), 809–816. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.51261>
- Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Blum, W.E.H., & 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. <https://doi.org/10.1002/jpln.200625199>
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de MacÊdo, J. L. V., Blum, W. E. H., & Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, 291(1–2), 275–290. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9193-9>
- Sui, F., Wang, J., Zuo, J., Joseph, S., Munroe, P., Drosos, M, Li, L., & Pan, G. (2019). Effect of amendment of biochar supplemented with Si on Cd mobility and rice uptake over three rice growing seasons in an acidic Cd-tainted paddy from central South China. *Sci. Total Environ.* 709, 136101. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.136101](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136101) .
- Sun, H., Zhang, H., Shi, W., Zhou, M., & Ma, X. (2016). Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil. *Plant, Soil and Environment*, 65(2), 83–89. <https://doi.org/10.17221/525/2018-PSE>.

- Sun, H., Zhang, H., Shi, W., Zhou, M., & Ma, X. (2019). Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil. *Plant, Soil and Environment*, 65(2), 83–89. <https://doi.org/10.17221/525/2018-PSE>
- Sümer, S.K., Kavdır, Y., & Çiçek, G. (2016). Türkiye’de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(4), 379-38.
- Tahir, M. M., Khurshid, M., Khan, M. Z., Abbasi, M. K., & Kazmi, M. H. (2011). Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. *Pedosphere*, 21(1), 124–131. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(10\)60087-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60087-2)
- Tammeorg, P., Simojoki, A., Mäkelä, P., Stoddard, F.L., Alakukku, L., & Helenius, J. (2014). Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a boreal loamy sand. *Agric Ecosyst Environ.*, 191: 108–116.
- Tang, J., Zhang, S., Zhang, X., Chen, J., He, X., & Zhang, Q. (2020). Effects of pyrolysis temperature on soil-plant-microbe responses to *Solidago canadensis* L.-derived biochar in coastal saline-alkali soil. *Sci. Total Environ.* 731, 138938 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138938.
- Tchiadje, N.F.T. (2007). Strategies to reduce the impact of salt on crops (rice, cotton and chilli) .
- Tejada, M., & Gonzalez, J.L. (2005). Beet vinasse applied to wheat under dry land conditions affects soil properties and yield. *European Journal of Agronomy*. 23 336-347. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.02.005>.
- Tessier, A., Campbell, P.G., & Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particular trace elements. *Anal. Chem.* 51, 844–851. <https://doi.org/10.1021/ac50043a017>.
- The World Bank. (2012). Carbon Sequestration In Agricultural Soils. Dünya Bankası, Washington.
- Thomas, G. W. (1982). Exchangeable cations, Pgs 159-165 In: Methods of soil analysis. (page A. L Miller. R. H., and Keeney. D. R., eds.). 2nd edition. America Society of Agronomy and Soil Science of America. Madison. Wisconsin, USA. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*. 2016, Vol. 4 No. 4, 75-84. DOI: 10.12691/jaem-4-4-2.
- Thomas, S. C., Frye, S., Gale, N., Garmon, M., Launchbury, R., Machado, N., Melamed, S., Murray, J., Petroff, A., & Winsborough, C. (2013). Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. *Journal of Environmental Management*, 129, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.057>
- Turgay, O. C., Kizilkaya, R., Karaca, A., & Cetin, S. C. (2011). Detoxification of heavy metals using earthworms. In Detoxification of Heavy Metals (pp. 407-421). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Ullah, Z., Akmal, M., Ahmed, M., Ali, M., Zaib, A., Ziad, T., Agron, I. J., & Agri, R. (2018). Effect of biochar on maize yield and yield components in rainfed conditions International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAAR). *Int. J. Agron. Agri. R.* <http://www.innspub.net>
- Uz, I., & Tavali, I. E. (2014). Short-term effect of vermicompost application on biological properties of an alkaline soil with high lime content from mediterranean region of Turkey. *Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/395282>
- Uzoma, K. C., M. Inoue, H. Andry, H. Fujimaki, A. Zahoor, & E. Nishihara. (2011). Effect of cow manure.
- Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., & Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *Eur J Agron.*, 34: 231–238.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., & European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability. (2010). *Biochar application to soils : a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions*. Publications Office.
- Walpola, B., & Wanniarachchi, S. (2009). Microbial respiration and nitrogen mineralization in soil amended with different proportions of vermicompost and coir dust. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 34(4), 537–543.
- Wang, F., Wang, X., & Song, N. (2021). Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic shed soil continuously cropped for different years. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 315. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107425>
- Wang, L., Xue, C., Nie, X., Liu, Y., & Chen, F. (2018). Effects of biochar application on soil potassium dynamics and crop uptake. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(5), 635–643. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700528>
- Wang, T., Sun, H., Ren, X., Li, B., & Mao, H. (2017). Evaluation of biochars from different stock materials as carriers of bacterial strain for remediation of heavy metal-contaminated soil. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12503-3>
- Wang, J., Zhang, B., Tian, Y., Zhang, H., Cheng, Y., & Zhang, J. (2018). A soil management strategy for ameliorating soil acidification and reducing nitrification in tea plantations. *Eur. J. Soil Biol.* ( 88), 36–40.
- Wang, X., Chi, Q., Liu, X., & Wang, Y. (2019). Influence of pyrolysis temperature on characteristics and environmental risk of heavy metals in pyrolyzed biochar made from hydrothermally treated sewage sludge. *Chemosphere*, 216, 698–706. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.189>
- Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W., & Rillig, M. C. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil - Concepts and mechanisms. In *Plant and Soil* (Vol. 300, Issues 1–2, pp. 9–20). <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9391-5>

- Watanabe, F.S., & Olsen, S.R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil, *Soil science Soc. Am. Proc.*, 29: 677-678. <https://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900060025x>.
- Weng, L., Van Riemsdijk, W.H., Koopal, L.K., & Hiemstra, T. (2006). Adsorption of humic substances on goethite: Comparison between humic acids and fulvic acids. *Environ. Sci. Technol.*, 40, 7494–7500. DOI: 10.1021/es060777d.
- Winsley, P. (2007). Biochar and Bioenergy Production For Climate Change Mitigation. *New Zealand Sci. Review*, 64: 5-10.
- Xiao, R., Wang, P., Mi, S., Ali, A., Liu, X., Li, Y., Guan, W., Li, R., & Zhang, Z. (2019). Effects of crop straw and its derived biochar on the mobility and bioavailability in Cd and Zn in two smelter-contaminated alkaline soils. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 181, 155–163. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.06.005.
- Xiao, X., Chen, B., Chen, Z., Zhu, L., & Schnoor, J. L. (2018). Insight into multiple and multilevel structures of biochars and their potential environmental applications: a critical review. *Environmental science & technology*, 52(9), 5027-5047.
- Xiao, L., & Meng, F. (2020). Evaluating the effect of biochar on salt leaching and nutrient retention of Yellow River Delta soil. *Soil Use Manag.* (36), 740–750.
- Xudan, X. (1986). The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and wheat yield. *Aust. J. Agric. Res* 37: 243-350. <https://doi.10.1071/AR9860343>.
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S., & 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.
- Yang, Y., Sun, K., Han, L., Jin, J., Sun, H., Yang, Y., & Xing, B. (2018). Effect of minerals on the stability of biochar. *Chemosphere*, 204, 310-317.
- Yao, L., Yu, X., Huang, L., Zhang, X., Wang, D., Zhao, X., Li, Y., He, Z., Kang, L., Li, X., Liu, D., Xiao, Q., & Guo, Y. (2019). Responses of *Phaseolus calcaratus* to lime and biochar application in an acid soil. *PeerJ*, 2019(2). <https://doi.org/10.7717/peerj.6346>
- Yeboah, E., Ofori, P., Quansah, G.W., Dugan, E., & Sohi, S.P. (2009). Improving soil productivity through biochar amendments to soils. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 3(34).
- Yin, D., Yang, X., Wang, H., Guo, X., Wang, S., Wang, Z., Ding, G., Yang, G., Zhang, J., Jin, L., & Lan, Y. (2022). Effects of chemical-based fertilizer replacement with biochar-based fertilizer on albic soil nutrient content and maize yield. *Open Life Sciences*, 17(1), 517–528. <https://doi.org/10.1515/biol-2022-0057>
- You, J., Sun, L., Liu, X., Hu, X., & Xu, Q. (2019). Effects of sewage sludge biochar on soil characteristics and crop yield in loamy sand soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(4), 2973–2980. <https://doi.org/10.15244/pjoes/93294>

- Younis, U., Qayyum, M.F., Shahi, M.H.R., & Malik, S.A. (2014). Nutrient shift modeling in Fenugreek (*Trigonella corniculata* L.) under biochar and cadmium treatment. *Int J Biosci* 5:64–74.
- Yousif, A., Mahmood, F., Ahmed, W., Juma, S. S., & Al-Arazah, A.A. (2019). Effect of solid and liquid organic fertilizer and spray with humic acid and nutrient uptake of nitrogen, phosphorus and potassium on growth, yield of cauliflower. *Plant Archives*, 19(2), 1504-1509.
- Yue, Y., Lin, Q., Irfan, M., Chen, Q., & Zhao, X. (2016). Characteristics and potential values of bio-oil, syngas and biochar derived from *Salsola collina* Pall. in a fixed bed slow pyrolysis system. *Bioresource technology*, 220, 378-383.
- Yuan, J. H., Xu, R. K., & Zhang, H. (2011). The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource technology*, 102(3), 3488-3497.
- Zahedifar, M. (2020a). Iron fractionation in the calcareous soils of different land uses as influenced by biochar. *Waste and Biomass Valorization*, 11(5), 2321–2330. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0481-9>
- Zemanová, V., Břendová, K., Pavlíková, D., Kubátová, P., & Tlustoš, P. (2017). Effect of biochar application on the content of nutrients(Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard. *Plant, Soil and Environment*, 63(7), 322–327. <https://doi.org/10.17221/318/2017-PSE>
- Zhang, F., Wang, R., Yu, W., Liang, J., & Liao, X. (2020). Influences of a vermicompost application on the phosphorus transformation and microbial activity in a paddy soil. *Soil and Water Research*, 15(4), 199–210. <https://doi.org/10.17221/91/2019-SWR>
- Zhao, H. T., Li, T. P., Zhang, Y., Hu, J., Bai, Y. C., Shan, Y. H., & Ke, F. (2017). Effects of vermicompost amendment as a basal fertilizer on soil properties and cucumber yield and quality under continuous cropping conditions in a greenhouse. *Journal of Soils and Sediments*, 17(12), 2718–2730. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1744-y>
- Zheng, H., Wang, X., Luo, X., Wang, Z., & Xing, B. (2018). Biochar-induced negative carbon mineralization priming effects in a coastal wetland soil: roles of soil aggregation and microbial modulation. *Science of the Total Environment*, 610, 951-960.
- Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Herbert, S., & Xing, B. (2013). Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma*, 206, 32-39.
- Zhou, X., Moghaddam, T. B., Chen, M., Wu, S., & Adhikari, S. (2020). Biochar removes volatile organic compounds generated from asphalt. *Science of the Total Environment*, 745, 141096.
- Zingaretti, D., Lombardi, F., & Baciocchi, R. (2018). Soluble organic substances extracted from compost as amendments for Fenton-like oxidation of contaminated sites. *Sci Total Environ* 619:1366-1374. <https://doi.10.1016/j.scitotenv.2017.11.178>.