



**İKİ FARKLI BİYOKÖMÜR UYGULAMASININ
BİTKİ VERİMİNE VE TOPRAK KALİTESİNE
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

MURAT BİROL

**DOKTORA TEZİ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI
PROF. DR. HİKMET GÜNAL**

**Kasım - 2020
Her hakkı saklıdır**

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**İKİ FARKLI BİYOKÖMÜR UYGULAMASININ BİTKİ VERİMİNE VE
TOPRAK KALİTESİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

MURAT BİROL

TOKAT

Kasım - 2020

Her hakkı saklıdır



Bu tez çalışması;

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü

TAGEM–TSKAD/15A13/P03/03-01 no’lu proje ile desteklenmiştir.

JÜRİ İMZA SAYFASI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne,

Murat BİROL'un "İki Farklı Biyokömür Uygulamasının Bitki Verimine ve Toprak Kalitesine Etkisinin Belirlenmesi" adlı çalışması 20 KASIM 2020 tarihinde jürimiz tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı Programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Adı Soyadı

İmza

Başkan (Tez Danışmanı): Prof. Dr. Hikmet GÜNAL

.....

Üye : Prof. Dr. Ramazan ÇAKMAKÇI

.....

Üye : Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKIRAN

.....

Üye : Doç. Dr. Halil ERDEM

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Nurullah ACİR

.....

Onay

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.../.../2020
Prof. Dr. Mehmet GÜNEŞ
Enstitü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Murat BİROL

20 Kasım 2020

ÖZET

DOKTORA TEZİ

İKİ FARKLI BİYOKÖMÜR UYGULAMASININ BİTKİ VERİMİNE VE TOPRAK KALİTESİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

MURAT BİROL

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HİKMET GÜNAL

Bu tez çalışmanın amacı, killi bir toprakta iki farklı biyokömür kaynağının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyo-kimyasal özellikleri ile kışlık buğday, kırmızı biber ve kırmızı lahana bitkilerinin verim ve besin elementi alımına etkisinin belirlenmesidir. Çalışma, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'ne ait Bafra Deneme İstasyonu'nda iki münavebe döneminde yürütülmüştür. Tarla denemesi, çeltik kavuzu ve tavuk gübresi biyokömür uygulamalarının 6 farklı dozu (0, 1, 2, 3, 4 ve 5 ton/da) tesadüf bloklarında bölünen bölünmüş parseller deneme deseni şeklinde kurulmuştur. Deneme 3 tekerrürlü ve çakılı olarak yürütülmüştür. Münavebe dönemlerinde sırası ile buğday, kırmızı lahana ve kırmızı biber yetiştirilmiştir. Biyokömürler sadece deneme başında uygulanmış ve ikinci dönem bakiye etkisi araştırılmıştır. Biyokömür dozlarına ilaveten münavebede bulunan bitkilerin isteklerine uygun şekilde kimyasal gübreleme yapılmıştır. Her iki münavebe dönemi sonunda da her parselden 0-20 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Toprakların fiziksel, kimyasal ve biyo-kimyasal özelliklerinin yanı sıra her rotasyon sonunda bitkilerin verimleri ve yaprakların besin elementi içerikleri de belirlenmiştir. Her iki biyokömür uygulamasında da doz artışı ile verim artmış ancak verimlerdeki artış istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Biyokömür dozları artışı ile fiziksel özelliklerden toprakların hacim ağırlığı azalırken(% 3.5), toplam gözeneklilik (% 3), tarla kapasitesi nem içeriği (% 5.3), solma noktası nem içeriği (% 1.26) ve yarayışlı su içeriği (% 1.26) artmıştır. Biyokömür dozu artışı agregat stabilitesi değerlerinin istatistiksel olarak önemli düzeyde değişmesine neden olmamıştır. Toprağın kimyasal özelliklerinden pH, elektriksel iletkenlik, kireç, organik madde, azot, fosfor, bakır, mangan ve çinko istatistiksel olarak önemli düzeyde değişmezken, rotasyon dönemi ve dozlara bağlı olarak toplam karbon C (%7) konsantrasyonu yükselmiştir. Toprakta potasyum konsantrasyonu, münavebe dönemi ve doz artışı ile artarken (%49), Fe konsantrasyonu, biyokömür dozları arttıkça (%34) azalmıştır. Biyokömür çeşitleri ve uygulama dozlarına bağlı olarak toprağın mineral azot ve mikrobiyal biyokütle karbonu içeriği ile alkalın fosfataz, dehidrogenaz ve üreaz enzim aktiviteleri değişmezken, biyokömür dozu artışı ile CO₂ ve beta glukosidaz aktivitesi azalmıştır. Biyokömür hem organik atıkların değerlendirilmesi bakımından hem de toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmesi bakımından toprağın fonksiyonlarını iyileştirmede önemli etki yapmıştır. Biyokömürün tek başına kullanımı, bitkinin gereksinimi olan besin elementlerini karşılaması mümkün görülmemektedir. Ancak biyokömür uygulamalarında istatistiksel

olarak önemli olmasa da verim artışlarının olması, uygun bir gübreleme ile biyokömürün toprağa uygulanan besin elementi yarayışlılığının artmasına katkı sağladığını göstermiştir.

2020, 242 SAYFA

ANAHTAR KELİMELEER: Biyokömür, piroliz, organik atık, toprak iyileştirici, ekim nöbeti, çeltik kavuzu, tavuk gübresi



ABSTRACT

DOCTORATE THESIS

DETERMINING THE EFFECTS OF TWO DIFFERENT BIOCHARS ON CROP YIELDS AND SOIL QUALITY

MURAT BİROL

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES**

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION

SUPERVISOR: PROF. DR. HİKMET GÜNAL

The aim of this study was to determine the effects of two different biochar sources on yields and nutrient uptake of winter wheat, red paper and red cabbage and physical, chemical and bio-chemical properties of a clayey soil. The study was carried out in the Bafra Experimental Station of the Black Sea Agricultural Research Institute during two rotation periods. The layout of field experiment was split plots in randomized blocks. Six different doses (0, 10, 20, 30, 40 and 50 t ha⁻¹) of rice husk and poultry manure biochars were splitted into the plots of the two blocks. The experiment was carried out with 3 replications in the same field. Winter wheat, red cabbage and red pepper were grown in two different rotation periods. The biochars were only applied at the beginning of the experiment and the residual effects of biochars were investigated in the second rotation period. In addition to the biochar doses, appropriate fertilizers were also applied based on the requirements of the crops in the rotation. Soil samples were collected from 0-20 cm depths of each plot at the end of each rotation period. Physical, chemical and bio-chemical properties of soils, crop yields and nutrient concentrations of leaf samples were determined after each rotation. Crop yields increased with increasing the doses of two biochar types, however, the increases were not statistically significant. The increase in biochar doses caused a decrease in bulk density (3.5%) of the soil, while porosity (3%), moisture content at field capacity (5.3%), permanent wilting point (1.26%) and available water content (1.26%) increased. The changes in aggregate stability with the increase in biochar doses were not statistically significant. The pH, electrical conductivity, lime, organic matter, nitrogen, phosphorus, copper, manganese and zinc contents were not changed, while total carbon C (7%) content increased depending on period and biochar application dose. Potassium concentration of soils was increased (49%) depending on rotation period and dose increase, while iron concentration decreased (34%) with the increase in biochar doses. Mineralizable nitrogen and microbial biomass carbon contents, alkaline phosphatase, dehydrogenase and urease enzyme activities did not significantly change with biochar type and application doses, whereas CO₂ release and beta glucosidase enzyme activity were decreased with the increase in biochar doses. Biochar had a significant impact on soil functions by improving soil physical properties while managing organic wastes. The use of biochar alone does not seem possible to meet

the nutrients needed by the crops. However, although not statistically significant, the increase in yield indicated that application of biochar contributes to the increase of the nutrient availability in the soil with an appropriate fertilization.

2020, 242 PAGES

KEYWORDS: Biochar, pyrolysis, organic waste, soil amendment, crop rotation, poultry manure, rice husk



ÖNSÖZ

Dünyadaki tüm canlıların yaşamsal ihtiyaçlarını karşılaması için toprak en önemli kaynağımız, peki bizler toprağın kıymetini yeteri kadar biliyor muyuz? Unutmayalım, toprak sonsuz kaynak değildir. Toprakla mesleki anlamda tanışmam lisans hayatıma dayanıyor, ama benim düşündüğümde de ötesinde bir güce sahip olduğunu, akademik çalışmalar sayesinde öğrendim. Verdiğimizden daha fazlasını alabileceğimiz ve onunla ilgilendiğimizde coşup dahada güçlenen sistematığı biraz olsun anlamaya çalışmak ve araştırmak benim için heyecan ve mutluluk verici olmuştur. Bu mesleği, toprak bilimini bana sevdiren, toprağın dilini öğretene, dokunuşları ile sadece tezime değil hayatıma da yön veren, fikir rehberim, Hocam, Prof. Dr. Hikmet GÜNAL'a sonsuz teşekkür ederim. Başından sonuna bu çalışmaya katkısı olan, Tez izleme komitesi hocalarım Doç. Dr. Halil ERDEM ve Dr. Öğr. Üyesi Nurullah ACİR'e, tezimin daha iyi olması için görüşlerini benden esirgemeyen Prof. Dr. Ramazan ÇAKMAKÇI ve Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKIRAN hocalarıma çok teşekkür ederim. Ayrıca çalışma konumla alakalı her türlü bilgi ve birikimini benimle paylaşan Prof. Dr. Ayten Namlı hacoama da çok teşekkür ederim.

Proje için gerekli maddi desteği ve imkanı sağlayan Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ediyorum. Deneme alanı, ekipman, iş gücü desteği ile toprak analizlerinin sağlıklı bir şekilde tamamlanabilmesi için gerekli tüm imkanları kullanılabilir kılan Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne ve projede olmamalarına rağmen yardımlarını esirgemeyen, Dr. Betül BAYRAKLI, Dr. Elif ÖZTÜRK, Dr. Aslıhan CANTÜRK, Dr. Mehmet TAŞAN'a, Dr. Fikret SAYGIN'a ve Toprak ve Su Kaynakları Bölümündeki diğer tüm arkadaşlarıma çok teşekkür ediyorum.

Hayattaki duruşumu inşa eden, beni ilmek ilmek dokuyan, annem Semra BİROL'a, "Bizi çalışmak kurtarır" sözüyle çalışma azmini örnek aldığım, karakter mimarım, babam Yılmaz BİROL'a ve her zaman yanımda olan ablam İlknur KUYTUN'a çok teşekkür ederim. Bu zorlu doktora döneminde arkamda olan, bu hayattaki yol arkadaşım, sol yanımda eşim Sema KAYGISIZ BİROL'a çok teşekkür ederim.

MURAT BİROL

20 Kasım 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGE ve KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xxiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Biyokömür Tanımı ve Özellikleri	5
2.2. Tarımsal Artıklardan Biyokömür Üretimi	9
2.3. Biyokömür Uygulamalarının Toprağın Fiziksel Özelliklerine Etkisi	13
2.4. Biyokömür Uygulamalarının Toprağın Kimyasal Özelliklerine Etkisi	18
2.5. Biyokömür Uygulamalarının Toprağın Biyokimyasal Özelliklerine Etkisi	25
2.6. Biyokömür Uygulamalarının Bitki Verimine Etkisi	32
3. MATERYAL YÖNTEM	37
3.1. Materyal	37
3.1.1. Çalışma Alanı	37
3.1.2. Arazinin jeolojisi	37
3.1.3. Çalışma alanının iklimi	37
3.1.4. Denemede kullanılan biyokömür kaynağı	38
3.2. Yöntem	40
3.2.1. Denemenin kurulması	40
3.2.2. Bitkisel üretim ve kültürel işlemler	41
3.2.3. Laboratuvar analizleri	47
3.2.4. Verilerin değerlendirilmesi	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	51
4.1. Biyokömür Uygulamalarının Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi	51
4.1.1. Uygulamaların Toprağın Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi	51

4.1.1.1. Uygulamaların toprağın hacim ağırlığına etkisi	53
4.1.1.2. Uygulamaların toprak gözenekliliğine etkisi.....	57
4.1.1.3. Uygulamaların toprağın tarla kapasitesi nem içeriğine etkisi	61
4.1.1.4. Uygulamaların toprağın solma noktası nem içeriğine etkisi	65
4.1.1.5. Uygulamaların toprağın yarayışlı su içeriğine etkisi.....	70
4.1.1.6. Uygulamaların toprağın agregat stabilitesine etkisi	74
4.1.2. Uygulamaların Toprağın Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi	79
4.1.2.1. Uygulamaların toprak pH'sına etkisi.....	81
4.1.2.2. Uygulamaların toprağın elektriksel iletkenliğine etkisi.....	86
4.1.2.3. Uygulamaların toprağın kireç içeriğine etkisi	91
4.1.2.4. Uygulamaların toprağın organik madde içeriğine etkisi	95
4.1.2.5. Uygulamaların toprağın karbon (C) konsantrasyonuna etkisi	100
4.1.2.6. Uygulamaların toprağın azot (N) konsantrasyonuna etkisi	105
4.1.2.7. Uygulamaların toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna etkisi	110
4.1.2.8. Uygulamaların toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna etkisi	116
4.1.2.9. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir demir (Fe) konsantrasyonuna etkisi.....	121
4.1.2.10. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir bakır (Cu) konsantrasyonuna etkisi.....	126
4.1.2.11. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir çinko (Zn) konsantrasyonuna etkisi.....	130
4.1.2.12. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir mangan (Mn) konsantrasyonuna etkisi.....	135
4.1.3. Uygulamaların Toprağın Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi	140
4.1.3.1. Uygulamaların toprağın mineralize olabilir azot (N_{min}) konsantrasyonuna etkisi.....	141
4.1.3.2. Uygulamaların mikrobiyal solunuma (CO_2 çıkışına) etkisi.....	147
4.1.3.3. Uygulamaların mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) konsantrasyonuna etkisi.....	152
4.1.3.4. Uygulamaların toprağın betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA) etkisi ...	157
4.1.3.5. Uygulamaların toprağın alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFEA) etkisi..	162
4.1.3.6. Uygulamaların toprağın dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA) etkisi.....	168

4.1.3.7. Uygulamaların toprağın üreaz enzim aktivitesine (ÜEA) etkisi	172
4.2. Biyokömür Uygulamalarının Bitki Verimlerine Olan Etkisi	177
4.2.1. Uygulamaların buğday verimine etkisi.....	178
4.2.2. Uygulamaların kırmızı lahana verimine etkisi	184
4.2.3. Uygulamaların kırmızı biber verimi üzerine etkisi.....	189
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	195
6. KAYNAKLAR	200
7. ÖZGEÇMİŞ	242



SİMGE ve KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
----------	----------

C	Karbon
Cu	Bakır
Fe	Demir
K	Potasyum
Mn	Mangan
N	Azot
P	Fosfor
Zn	Çinko
Mn	Mangan

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

%	Yüzde
<	Küçüktür
>	Büyüktür
°C	Santrigrad derece
AFEA	Alkalen fostafaz enzim aktivitesi
BÇ	Biyokömür çeşidi
BD	Biyokömür dozu
BGEA	Beta glikosidaz enzim aktivitesi
CO ₂	Mikrobiyal solunum

ÇK	Çeltik kavuzu biyokömürü
da	Dekar
DEA	Dehirdogenaz enzim aktivitesi
dS	Desisimens
DTPA	Dietilen Triamin penta asetik asit
EC	Elektriksel iletkenlik
g	Gram
HA	Hacim ağırlığı
ha	Hektar
KDK	Katyon değişim kapasitesi
kg	Kilogram
MBC	Mikrobiyal biyomas karbon
MD	Münavebe Dönemi
mg	Miligram
Mg.t ⁻¹	Megagram.ton ⁻¹
Mt	Megaton
N _{min}	Mineraliz azot
OM	Organik madde
pH	Toprak reaksiyonu
ppm	Milyonda bir kısım
SNNİ	Solma noktası nem içeriği
T	Ton
TG	Tavuk gübresi biyokömürü

TKNİ	Tarla kapasitesi nem içeriği
ÜEA	Üreaz enzim aktivitesi
YSİ	Yarayışlı su içeriği
µS	Mikrosiemens



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	Hasat sonrası çürümek üzere çevreye bırakılan tarımsal artıklar 10
Şekil 3.1.	Denemede kullanılan biyokömür kaynağı ve piroliz işlemi sonrası elde edilen ürün 38
Şekil 3.2.	Biyokömür elde edilmesinde kullanılan pirolizin işlem şeması 39
Şekil 3.3.	Çalışmaya alanına ait deneme planı 40
Şekil 3.4.	Deneme alanına biyokömür uygulaması 41
Şekil 3.5.	Ekmeklik Buğday (Canik 2003) ekim, yetiştirme ve hasat görüntüleri 43
Şekil 3.6.	Kırmızı lahana (Cabellero) dikim, yetiştirme ve hasat görüntüleri 45
Şekil 3.7.	Kırmızı Biber (Yalova 28) dikim, yetiştirme ve hasat görüntüleri..... 46
Şekil 3.8.	Laboratuvar çalışmaları 48
Şekil 4.1.	Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi 53
Şekil 4.2.	Biyokömür dozlarının toprak hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi 54
Şekil 4.3.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprak hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi 55
Şekil 4.4.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi 56
Şekil 4.5.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi 56
Şekil 4.6.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi 57
Şekil 4.7.	Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin toprak gözenekliliğine (%) etkisi 58
Şekil 4.8.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprak gözenekliliğine (%) etkisi 59
Şekil 4.9.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprak gözenekliliğine (%) etkisi..... 59
Şekil 4.10.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak gözenekliliğine (%) etkisi..... 60

Şekil 4.11.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak gözenekliliğine (%) etkisi.....	60
Şekil 4.12.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak gözenekliliğine (%) etkisi.....	61
Şekil 4.13.	Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin tarla kapasitesi nem içeriğine etkisi.....	62
Şekil 4.14.	Biyokömür dozu uygulamalarının tarla kapasitesi nem içeriğine etkisi....	63
Şekil 4.15.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkisi.....	63
Şekil 4.16.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkisi.....	64
Şekil 4.17.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkisi.....	65
Şekil 4.18.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkisi.....	65
Şekil 4.19.	Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin solma noktası nem içeriğine etkisi.....	67
Şekil 4.20.	Biyokömür dozu uygulamalarının solma noktası nem içeriğine (%) etkisi.....	67
Şekil 4.21.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak solma noktası nem içeriğine (%) etkisi	68
Şekil 4.22.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkisi	69
Şekil 4.23.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkisi.....	69
Şekil 4.24.	Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin yarayışlı su içeriğine etkisi	71
Şekil 4.25.	Biyokömür dozu uygulamalarının yarayışlı su içeriğine (%) etkisi	71
Şekil 4.26.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkisi	72
Şekil 4.27.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkisi	72

Şekil 4.28.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun yararılı su içeriğine (%) etkisi	73
Şekil 4.29.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun yararılı su içeriğine etkisi	74
Şekil 4.30.	Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin agregat stabilitesine etkisi	75
Şekil 4.31.	Biyokömür dozu uygulamalarının agregat stabilitesine (%) etkisi	76
Şekil 4.32.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun agregat stabilitesine (%) etkisi.....	77
Şekil 4.33.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun agregat stabilitesine (%) etkisi.....	77
Şekil 4.34.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksyonunun agregat stabilitesine (%) etkisi	78
Şekil 4.35.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksyonunun agregat stabilitesine (%) etkisi.....	79
Şekil 4.36.	Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidinin (b) toprak pH'sına etkisi .	82
Şekil 4.37.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprak pH'sına etkisi	83
Şekil 4.38.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprak pH'sına etkisi.....	83
Şekil 4.39.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprak pH'sına etkisi.....	84
Şekil 4.40.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprak pH'sına etkisi.....	85
Şekil 4.41.	Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprak pH'sına etkisi.....	86
Şekil 4.42.	Münavebe döneminin (a) Biyokömür çeşidinin (b) toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$) etkisi	87
Şekil 4.43.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S/cm}$) etkisi	88
Şekil 4.44.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S}^{-1}\text{cm}$) etkisi	89

Şekil 4.45.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$) etkisi	89
Şekil 4.46.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$) etkisi	90
Şekil 4.47.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$) etkisi.....	91
Şekil 4.48.	Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi	92
Şekil 4.49.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi.....	93
Şekil 4.50.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi.....	93
Şekil 4.51.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi.....	94
Şekil 4.52.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi.....	94
Şekil 4.53.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) intraksiyonunun toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi.....	95
Şekil 4.54.	Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi.....	96
Şekil 4.55.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi.....	97
Şekil 4.56.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi	98
Şekil 4.57.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi	99
Şekil 4.58.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi	99
Şekil 4.59.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi	100

Şekil 4.60.	Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın karbon (%) konsantrasyonuna etkisi.....	102
Şekil 4.61.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	102
Şekil 4.62.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	103
Şekil 4.63.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	103
Şekil 4.64.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	104
Şekil 4.65.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	105
Şekil 4.66.	Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	106
Şekil 4.67.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	107
Şekil 4.68.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	108
Şekil 4.69.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	108
Şekil 4.70.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	109
Şekil 4.71.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi.....	110
Şekil 4.72.	Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	112
Şekil 4.73.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	113
Şekil 4.74.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	113

Şekil 4.75.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın (P) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	114
Şekil 4.76.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi.....	115
Şekil 4.77.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi.....	116
Şekil 4.78.	Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	117
Şekil 4.79.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi.....	118
Şekil 4.80.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	119
Şekil 4.81.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	120
Şekil 4.82.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	120
Şekil 4.83.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi.....	121
Şekil 4.84.	Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	122
Şekil 4.85.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi.....	123
Şekil 4.86.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	123
Şekil 4.87.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	124
Şekil 4.88.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	125

Şekil 4.89.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	125
Şekil 4.90.	Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	126
Şekil 4.91.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	127
Şekil 4.92.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	128
Şekil 4.93.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	128
Şekil 4.94.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	129
Şekil 4.95.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	130
Şekil 4.96.	Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	131
Şekil 4.97.	Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	132
Şekil 4.98.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x interaksiyonunun toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi	133
Şekil 4.99.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi	133
Şekil 4.100.	Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi	134
Şekil 4.101.	Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi.....	135
Şekil 4.102.	Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg ⁻¹) etkisi	136

Şekil 4.103. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi.....	136
Şekil 4.104. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	137
Şekil 4.105. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	138
Şekil 4.106. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	139
Şekil 4.107. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi.....	139
Şekil 4.108. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın $N_{\min}$ konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi.....	143
Şekil 4.109. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın $N_{\min}$ konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi.....	144
Şekil 4.110. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın $N_{\min}$ konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	144
Şekil 4.111. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın $N_{\min}$ konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	145
Şekil 4.112. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın $N_{\min}$ konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi	146
Şekil 4.113. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın $N_{\min}$ konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi.....	147
Şekil 4.114. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi	148
Şekil 4.115. Biyokömür dozu uygulamalarının toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi.....	149
Şekil 4.116. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi	150
Şekil 4.117. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi	150

Şekil 4.118. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi	151
Şekil 4.119. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi.....	152
Şekil 4.120. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100\text{g}^{-1}$) etkisi.....	153
Şekil 4.121. Biyokömür dozu uygulamalarının mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100\text{g}^{-1}$) etkisi.....	154
Şekil 4.122. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100\text{ g}^{-1}$) etkisi	155
Şekil 4.123. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100\text{g}^{-1}$) etkisi	155
Şekil 4.124. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100\text{g}^{-1}$) etkisi	156
Şekil 4.125. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100\text{g}^{-1}$) etkisi	157
Şekil 4.126. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi.....	158
Şekil 4.127. Biyokömür dozu uygulamalarının betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi.....	159
Şekil 4.128. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi.....	160
Şekil 4.129. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi.....	160
Şekil 4.130. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi.....	161
Şekil 4.131. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi	162

Şekil 4.132. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi	164
Şekil 4.133. Biyokömür dozu uygulamalarının alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi	165
Şekil 4.134. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi	165
Şekil 4.135. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi	166
Şekil 4.136. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi	167
Şekil 4.137. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi	167
Şekil 4.138. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA, $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi	169
Şekil 4.139. Biyokömür dozu uygulamalarının dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA, $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi	169
Şekil 4.140. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA, $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi	170
Şekil 4.141. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA, $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi	171
Şekil 4.142. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA, $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi	171
Şekil 4.143. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun dehidrogenaz enzim aktivitesine ($\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi	172
Şekil 4.144. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) üreaz enzim aktivitesine (ÜEA, $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisi	174
Şekil 4.145. Biyokömür dozu uygulamalarının üreaz enzim aktivitesine (ÜEA, $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisi	174
Şekil 4.146. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun üreaz enzim aktivitesine (ÜEA, $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisi	175

Şekil 4.147. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun üreaz enzim aktivitesine ($\ddot{U}EA, \mu g N g^{-1}$) etkisi	176
Şekil 4.148. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun üreaz enzim aktivitesine ($\ddot{U}EA, \mu g N g^{-1}$) etkisi	176
Şekil 4.149. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun üreaz enzim aktivitesine ($\ddot{U}EA, \mu g N g^{-1}$) etkisi.....	177
Şekil 4.150. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) buğday tane verimine ($kg da^{-1}$) etkisi	180
Şekil 4.151. Biyokömür dozu uygulamalarının buğday tane verimine ($kg da^{-1}$) etkisi	181
Şekil 4.152. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun buğday tane verimine ($kg da^{-1}$) etkisi	181
Şekil 4.153. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun buğday tane verimine ($kg da^{-1}$) etkisi	182
Şekil 4.154. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun buğday tane verimine ($kg da^{-1}$) etkisi	183
Şekil 4.155. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun buğday tane verimine ($kg da^{-1}$) etkisi	183
Şekil 4.156. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) kırmızı lahana verimine ($kg da^{-1}$) etkisi.....	185
Şekil 4.157. Biyokömür dozu uygulamalarının kırmızı lahana verimine ($kg da^{-1}$) etkisi.....	185
Şekil 4.158. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun kırmızı lahana verimine ($kg da^{-1}$) etkisi.....	186
Şekil 4.159. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun kırmızı lahana verimine ($kg da^{-1}$) etkisi.....	187
Şekil 4.160. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun kırmızı lahana verimine ($kg da^{-1}$) etkisi.....	188
Şekil 4.161. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun kırmızı lahana verimine ($kg da^{-1}$) etkisi.....	188
Şekil 4.162. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) kırmızı biber verimine ($kg da^{-1}$) etkisi.....	190

Şekil 4.163. Biyokömür dozu uygulamalarının kırmızı biber verimine (kg da^{-1}) etkisi.....	191
Şekil 4.164. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun kırmızı biber verimine (kg da^{-1}) etkisi.....	192
Şekil 4.165. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun kırmızı biber verimine (kg da^{-1}) etkisi.....	193
Şekil 4.166. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun kırmızı biber verimine (kg da^{-1}) etkisi.....	194
Şekil 4.167. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD interaksyonunun kırmızı biber verimine (kg da^{-1}) etkisi	194

ÇİZELGELER LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Termal dönüşüm işlemleri, elde edilen ürünler ve içerikleri	6
Çizelge 3.1. Bafra deneme istasyonuna ait iklim verileri	38
Çizelge 3.2. Biyokömür materyallerin bazı özellikleri.....	39
Çizelge 3.3. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	39
Çizelge 3.4. Buğday üretimde yapılan uygulamalar ve uygulama tarihleri.....	42
Çizelge 3.5. Denemede kırmızı lahanaya üretimi için yapılan uygulamalar ve tarihleri	44
Çizelge 3.6. Denemede kırmızı biber üretimi için yapılan uygulamalar ve tarihleri...	46
Çizelge 4.1. Deneme başı ve sonuna ait toprağın fiziksel özelliklerinin eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılması	52
Çizelge 4.2. Uygulamaların toprağın hacim ağırlığına etkisini gösteren varyans analizi	53
Çizelge 4.3. Uygulamaların toprak gözenekliliği üzerine etkisini gösteren varyans analizi	58
Çizelge 4.4. Uygulamaların toprağın tarla kapasitesi nem içeriği üzerine etkisini gösteren varyans analizi	61
Çizelge 4.5. Uygulamaların toprağın solma noktası nem içeriği üzerine etkisini gösteren varyans analizi	66
Çizelge 4.6. Uygulamaların toprağın yararlı su içeriği (%) üzerine etkisini gösteren varyans analizi	70
Çizelge 4.7. Uygulamaların toprağın agregat stabilitesi (%) özelliğine etkisini gösteren varyans analizi	75
Çizelge 4.8. Deneme başı ve sonuna ait toprağın kimyasal özelliklerinin eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılması	81
Çizelge 4.9. Uygulamaların toprağın pH özelliğine etkisini gösteren varyans analizi	81
Çizelge 4.10. Uygulamaların toprağın elektriksel iletkenlik (EC) özelliği üzerine etkisini gösteren varyans analizi	87
Çizelge 4.11. Uygulamaların toprağın kireç (CaCO ₃ , %) içeriği üzerine etkisini gösteren varyans analizi	92
Çizelge 4.12. Uygulamaların toprağın organik madde (%) içeriğine etkisini gösteren varyans analizi.....	96

Çizelge 4.13. Uygulamaların toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisini gösteren varyans analizi	101
Çizelge 4.14. Uygulamaların toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisini gösteren varyans analizi	106
Çizelge 4.15. Uygulamaların toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisini gösteren varyans analizi	111
Çizelge 4.16. Uygulamaların toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisini gösteren varyans analizi	117
Çizelge 4.17. Uygulamaların toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi.....	121
Çizelge 4.18. Uygulamaların toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi.....	126
Çizelge 4.19. Uygulamaların toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi.....	130
Çizelge 4.20. Uygulamaların toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi	135
Çizelge 4.21. Deneme başı ve sonuna ait toprağın biyokimyasal özelliklerinin eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılması.....	141
Çizelge 4.22. Uygulamaların toprağın mineralize olabilir azot (N_{min} , mg kg^{-1}) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi	142
Çizelge 4.23. Uygulamaların toprağın mikrobiyal solunuma (CO_2 , $\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisini gösteren varyans analizi	148
Çizelge 4.24. Uygulamaların toprağın mikrobiyal biyokütle karbon (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) özelliğine etkisini gösteren varyans analizi	153
Çizelge 4.25. Uygulamaların toprağın betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisini gösteren varyans analizi	157
Çizelge 4.26. Uygulamaların toprağın alkalin fosfataz enzim aktivitesi (AFEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisini gösteren varyans analizi	163
Çizelge 4.27. Uygulamaların toprağın dehidrogenaz enzim aktivitesi (DEA $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) üzerine etkisini gösteren varyans analizi	168
Çizelge 4.28. Uygulamaların toprarağın üreaz enzim aktivitesine (ÜEA , $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisini gösteren varyans analizi	173
Çizelge 4.29. Birinci ve ikinci münavebe dönemi sonrası elde edilen bitkilerin verimlerinin karşılaştırılması, eşleştirilmiş t-testi	178

Çizelge 4.30. Uygulamaların buğday tane verimine (kg da^{-1}) etkisini gösteren varyans analizi.....	179
Çizelge 4.31. Uygulamaların kırmızı lahana verimine (kg da^{-1}) etkisini gösteren varyans analizi.....	184
Çizelge 4.32. Uygulamaların kırmızı biber verime (kg da^{-1}) etkisini gösteren varyans analizi.....	189



1. GİRİŞ

Dünyada canlıların yaşayabilmesi ve sağlıklı bir şekilde hayatlarını devam ettirebilmesi için gerekli olan gıda ve lif üretimi bakımından toprak alternatifi olmayan ve yenilenmesi çok uzun zaman alan doğal bir kaynaktır. Tarımsal faaliyetlerin gelişmesi ve sürdürülebilir olması, üretimin temeli olan toprakların özelliklerinin tanınması ve fonksiyonlarının iyileştirilmesi ile mümkün olabilir. Tarımda ulaşılması istenen ana hedeflerin başında bitkisel üretimde verimin artırılması gelmektedir. Birim alandan elde edilen ürün miktarının arttırılabilmesi, verimlilikle ilgili fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerinin iyileştirme ile sağlanabilir. Toprağın birçok özelliği ile direkt veya dolaylı olarak ilişkili olan en önemli ve en aktif bileşeni organik maddedir. Bununla birlikte, Türkiye topraklarının organik madde içeriği, geleneksel toprak işleme, anız yakılması, hayvan gübre ilavesinin yeteri kadar yapılmaması ve bitki rotasyonunda bitki atıkları bulunduran ürünlerin yer almaması nedeni ile genellikle düşüktür. Ülkemiz tarım topraklarının %21.47'sinde organik madde miktarı %1'in altında, %43.78'i %1-2 arasında, %22.62'si %2-3, %7.57'si %3-4 ve %4.56'sı ise %4'ün üzerinde olduğunu rapor eden Eyüpoğlu (1999), ülke topraklarının fonksiyonlarının geliştirilebilmesi için organik maddenin arttırılması gerektiğini bildirmiştir.

Geleneksel tarım sisteminde gübre ve kimyasal ilaçların bilinçsiz kullanımı önemli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Çevrenin en önemli bileşenlerinden olan toprak ile ilgili sorunlarının büyük bölümü uygun olmayan toprak işleme, sulama, münavebe sistemi seçimi ve amaç dışı kullanım sonucu ortaya çıkmaktadır. Toprağın sahip olduğu potansiyel ile fonksiyonlarını yeterince gerçekleştiriyor olması, toprağın bir kısım fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerindeki düzensizliğin var olduğuna işaret etmektedir. Zira organik madde gibi bir kısım toprak özellikleri toprağın üretkenlik, biyoçeşitlilik, habitat, filtreleme gibi fonksiyonlarını gerçekleştirebilmesinde son derece önemlidir. Bu nedenle, toprak özelliklerden bir veya birkaçında meydana gelen düzensizlik verimlilik gibi fonksiyonları doğrudan etkilemektedir. Bir toprakta bitkilerin gereksinim duyduğu besin elementleri yeterli düzeyde bulunabilir. Ancak hacim ağırlığı ve gözeneklilik gibi toprağın bazı fiziksel özelliklerindeki olumsuzluk bitkilerin var olan besin elementlerinden faydalanmalarını engelleyecektir.

Verimli bir toprak, yeterli düzeyde organik madde ve biyolojik aktiviteye, dayanıklı agregatlara, bitki köklerinin kolayca hareket edebildiği bir ortama, yüzeyde suyun kolaylıkla infiltre olabildiği yapıya sahip olması gerekir (Lewandowski ve Zumwinkle, 1999). Toprağın fiziksel yapısını, kimyasal bileşimini ve biyolojik çeşitliliğini iyileştirmek için uygulanan organik atıkların toprağa sağladığı olumlu etki, toprağın sürdürülebilirliği açısından son derece önemlidir. Toprağın organik madde miktarının artırılması, toprak işlemenin azaltılması veya terk edilmesi, hasat atıklarının arazide bırakılması, rotasyona daha fazla biyokütle bırakan bitkilerin dâhil edilmesi, arazinin özellikle kış aylarında boş kaldığı dönemlerde örtü bitkilerinin yetiştirilmesi, hayvan gübresi, torf, gıda ve leonardit gibi organik materyallerinin yaygın kullanımı ile mümkün olabilir. Son yıllarda, üretildikleri hammaddelere kıyasla ayrışmaya çok daha dayanıklı olan karbonca zengin biyokömür kullanımı da organik madde düzeyinin artırılması ve dolayısı ile toprağın çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesi için alternatif bir katkı maddesi olarak sıklıkla önerilmektedir.

Tarımsal üretimde ortaya çıkan hasat atıkları başta olmak üzere bitkisel atıkların değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar çoğunlukla bitki atıklarının kompostlaştırılması, biyogaz üretimi, malç olarak kullanımı, toprak erozyonunun kontrolü, enerji kaynağı olarak kullanımı, bitkinin gelişim ve verimi üzerine odaklanmıştır (Kütük, 2013). Biyokütlenin, sınırlı oksijen koşullarında yüksek sıcaklıkta termokimyasal bozunumu ile üretilen kömüre benzer karbonlu bir materyal olan biyokömür, toprak kalitesinin arttırmada ve iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasında etkili bir katkı materyali olarak araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Kwapinski ve ark., 2010; Coomes ve Miltner, 2017). Piroliz teknolojisiyle üretilen biyokömür, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve karbon tutumu açısından önemli bir potansiyele sahiptir. İçerdiği karbonun toprakta uzun yıllar kalması, karbonun atmosfere geri dönmesini önleyeceğinden, biyokömür kullanımı Kyoto Protokolü kapsamında ülkelere karbon puanı da sağlamaktadır.

Biyokömürün “B”si, Terra Preta’dır. Biyokömürün toprak için önemi, Amazonlardaki koyu renkli “Terra Preta” (Kara Toprak) adı verilen toprakların keşfedilmesi ile ortaya

çıkıştır. Araştırmacılar, biyokömürün toprağın verimliliğini arttırmak için biyokömür kullanımına ait bulgular, Amazonlarda bulunan Terra Preta toprakları üzerinde yapılan çalışmalardan elde etmişlerdir (Kammann ve ark., 2017). Terra Preta topraklarının orman toprağına kıyasla bakteri tür zenginliğinde 14 filogenetik grupta yaklaşık % 25 daha zengindir (Kim ve ark., 2007). Biyokömürün özellikleri büyük oranda elde edildiğı biyokütlenin özelliklerine, piroliz sıcaklığına ve piroliz ortamına bağlıdır. Biyokömürün besin elementi içeriğı orijinal materyalin bileşimine (Abdullah ve ark., 2010; Yip ve ark., 2010), başlangıç materyalinin nem içeriğine (Yip ve ark., 2007), piroliz üretim koşullarına (Hossain ve ark., 2011) ve piroliz sonrası elde edilen ürünün tabi tutulduğu koşullara (Azargohar ve Dalai, 2008) bağlı olarak değişmektedir. Belirli bir materyalden yapılan biyokömürün dahi besin elementi içeriğı piroliz koşullarına bağlı olarak piroliz öncesinden daha yüksek (Abdullah ve ark., 2010) veya daha düşük (DeGroot ve ark., 1991) olabilmektedir.

Toprağına biyokömür uygulanması, bir yandan toprakta karbonun zenginleşmesine neden olurken diğer yandan da toprağın fonksiyonlarının gelişmesine katkı yapmaktadır. Toprağına uygulanan biyokömürün etkileri, biyokömürün özelliklerine ve biyokömür uygulamasından sonra geçen süreye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Biyokömürün toprakta kalma süresi uzadıkça, toprakta bulunan metalik katyonların, oksianyonların ve organik bileşiklerin bağlanacağı yüzeyler de artmaktadır (Laird ve ark., 2010a). Biyokütlenin pirolizi sonucunda organik maddenin bir kısım bileşenleri gaz şeklinde uzaklaşırken, geride karbonca zengin olan ve biyokömür adı verilen bir materyal ile çoğunlukla kül denilen mineral kısım kalır. Odun yongası, mısır koçanı, pirinç kabuğı, fıstık kabuğı, ağaç kabuğı gibi tarımsal atıklar, işlenmiş kâğıt atığı, hayvan gübresi, kentsel atıklar, orman ürünleri, biyokütle atıkları vb. atıklar biyokömür üretiminde hammadde kaynağı olarak kullanılmaktadır. Biyokömürün bileşimi (karbon, azot, potasyum, kalsiyum vb.) kullanılan hammaddeye bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir. Örneğın; kanatlı atıkları gibi hayvansal kaynaklı biyokömürlerin mineral içeriğı (N, P, K) daha zengindir. Biyokömür üretimi için hammadde seçiminde; biyokütlenin besin maddesi içeriğı (kullanılabilirliği), pH, kirletici maddeler (ağır metaller, toksinler) ve partiküllerin boyut dağılımı gibi bazı hususlara dikkat edilmesi gerekir.

Ülkemizde biyokömür ile ilgili bilimsel çalışmalar, üretim ve kullanımının yaygınlaştırılması açısından önemlidir. Uluslararası alanda biyokömür üretim ve kullanımının teşvik edilmesi için yoğun çaba sarf edilmektedir. Kendi adına kurulmuş web siteleri (<http://www.-international.org/>), uluslararası çalışma grupları (Option for sustainable resource management, Food and Agriculture COST Action TD1107) ve daha birçok organizasyon ile biyokömür üretimi ve kullanımı yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Biyokömürün toprak düzenleyicisi olarak kullanımını resmileştiren ilk ülke Japonya olmuştur. Tarımsal üretimde resmi olarak kullanımını onaylayan ilk Avrupa ülkesi ise İsviçre olmuştur.

Bu çalışmada, çeltik işleme atığı ve tavuk gübresinden üretilen biyokömürlerin, toprak kalite parametreleri ile bitki gelişimine etkileri araştırılmıştır. Çeltik işleme atığı ve broiler tavuk dışkıları ülkemizde biyokömür üretimi için uygun olan ve çokça bulunabilecek önemli atıklar arasındadır. Türkiye’de bulunan tavukçuluk işletmelerinden her yıl önemli miktarda tavuk altığı açığa çıkmakta ve çoğunlukla uygun olmayan koşullarda depolanarak çürütülmektedir. Türkiye’de yılda yaklaşık 10 Mt’a yakın tavuk dışkısı ortaya çıkmaktadır (Özdemir ve Sezer, 2013). Bu atıkların biyokömüre dönüştürülerek tarımda yeniden kullanılması ülkemiz topraklarının kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağlayacağı gibi materyalin çevre kirliliğine neden olmadan bertaraf edilmesi açısından da oldukça önemlidir. Türkiye İstatistik Kurumu’nun verilerine göre; 2015 yılında 1 158 561 da alanda çeltik ekimi yapılmıştır (Sümer ve ark., 2016). Orta Karadeniz Bölgesi, ülkemizin önemli çeltik ekim alanlarına sahiptir. Çeltik işleme sonrası ortaya çıkan kavuz çoğunlukla yakılarak ortadan kaldırılmaktadır. Bu durum, önemli miktarda biyokütlenin yok olmasına neden olmaktadır. Bafra ekolojisine uygun münavebe döneminde, ekmeklik buğday (Canik 2003) - Kırmızı lahana (Cabellero F1) – Yağlık Kırmızı Biber (Yalova yağlık 28) ürün rotasyonu Bafra ovasında uygulanan yaygın bir münavebe sistemidir. Bu çalışma kapsamında, çeltik kavuzu ve tavuk gübresi biyokömürlerinin, Orta Karadeniz Bölgesinde buğday-kırmızı lahana-kırmızı biber rotasyonunda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Biyokömür uygulamalarının toprak özelliklerine etkisinin yanında, münavebede yer alan bitkilerin verimine olan etkisi de 4 yıllık süre ile tarla koşullarında yürütülen denemelerde belirlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Son yıllarda selülozik biyokütleden yenilenebilir enerji üretimine yönelimin arttığı ve bu nedenle üreticiler, bilim adamları ve çevreciler arasında biyokütlenin hasat edilmesinin toprak ve çevre kalitesine olumsuz etkileri olabileceği konusunda endişelerin gündeme gelmeye başladığı bildirilmektedir. Biyokütlenin hasat edilmesi ile topraklardan önemli miktarda bitki besin elementinin de uzaklaştırıldığı rapor edilmektedir (Lal ve Pimentel, 2007). Yeterli miktarda mineral gübre, hayvan gübresi veya toprak katkı maddeleri uygulamaları ile topraktan kaldırılan besin elementleri toprağa ilave edilmez ise toprağın üretkenliği azalacaktır. Sadece besin elementi ilavesi, azalan toprak organik maddesi nedeni ile toprağın katyon değişim kapasitesinin azalmasına yol açacak ve besin elementlerinin toprakta tutulması zorlaşacaktır. Bu kapsamda, son yıllarda biyokömür uygulamasının toprağın organik karbon seviyesinin artışına neden olacağı, hasat ile kaldırılan besin elementlerinin önemli bir kısmının toprağa yeniden verilebileceği, toprağın besin elementlerini tutma ve besin elementlerinin döngüsünü sağlamadaki fonksiyonlarını yerine getirmesine katkı sağlayacağı ile ilgili araştırma sonuçları yayınlanmaya başlanmıştır (Laird ve ark., 2010a).

2.1. Biyokömür Tanımı ve Özellikleri

Organik maddelerin, oksijensiz ortamda pirolizi veya az miktarda oksijen varlığında gazlaştırma işlemi sonucunda elde edilen yüksek karbon ve mineral içerikli ürün “Biyokömür” olarak tanımlanmaktadır. Piroliz; oksijenin olmadığı durumda sıcaklığın artması ile organik materyalin termo kimyasal olarak bozulması işlemidir (Bridgwater, 1994). Piroliz esnasında materyal, kimyasal ve fiziksel bir değişime uğrar ve bu değişim tek yönlüdür. Piroliz esnasında C, ham materyalden CO₂ olarak uzaklaşamaz ve karbon zengini bir materyal olarak dönüşüm gerçekleşir. Biyokütlenin termal bozunması işlemi ile katı kömürleşmiş materyal, sıvı biyo-yağlar, katran ve gazlar ortaya çıkmaktadır.

Biyokömür hammaddeleri organik ve inorganik içerikli olmak üzere iki kısımdan oluşur. Biyokömür hammaddelerin pirolizi sonucunda organik madde bozunur, karbon ve mineral kalır. Karbon ve mineral içerikli bu karışım biyokömürü oluşturmaktadır. Bu

nedenle; mineral içeriği bakımından yüksek olan her organik materyal, piroliz işlemine tabi tutulduğunda biyokömür elde edilir. Bu bağlamda kömür ile biyokömür arasındaki önemli farklardan biri, toprağın kalitesini arttırmak ve toprakta karbonun birikmesini sağlamaya yaptıkları katkı olarak açıklanmıştır (Lehmann ve ark., 2006).

Biyokömür, çeşitli sıcaklık, zaman ve yöntemlerle organik atıklardan elde edilmektedir (Çizelge 2.1). Biyokömür elde edilmesinde kullanılan yöntemler; kurutma, yavaş piroliz, hızlı piroliz, flash piroliz, gazlaştırma, hidrotermal karbonizasyon ve mikrodalga yolu gibi dönüşüm prosesleri şeklindedir (Spokas ve ark., 2012). Tarımsal amaçlı kullanılmak üzere biyokömür üretiminde çoğunlukla yavaş, orta, hızlı ve flash piroliz olmak üzere dört farklı yöntem uygulanmaktadır (Kambo ve Dutta, 2015). Piroliz işlemi sırasındaki enerji dönüşümü işleminin maliyetinin düşüklüğü, yenilenebilir kaynaklara dayalı olması, su, hava ve çevre kirliliğine yol açmaması en büyük artılarıdır (Taban ve ark., 2020).

Çizelge 2.1. Termal dönüşüm işlemleri, elde edilen ürünler ve içerikleri (Spokas ve ark., 2012)

Dönüşüm tipi	Sıcaklık (°C)	Süre	Biyokömür (%)	Yağ (%)	Gaz (%)
Kurutma (Torrefaction)	200-320	Birkaç saat	40-90	-	10-60
Yavaş piroliz (Slow pyrolysis)	350-700	Birkaç saat	15-40	20-55	20-60
Hızlı piroliz (Fast pyrolysis)	450-550	Birkaç dak.	10-30	50-70	5-15
Ani piroliz (Flash pyrolysis)	300-800	Birkaç san.	30-40	-	60-70
Gazlaştırma (Gasification)	800- >	Birkaç san.	<10	-	90-100
Hidrotermal karbonizasyon	150-400	Birkaç dak.	5-40	20-40	2-10
Mikrodalga yoluyla piroliz	300-500	Birkaç saat	20-30	<20	50-70

Biyokütleden kısıtlı oksijen koşullarında üretilen ve karbonlu bir materyal olan biyokömür, bitki besinlerini koruyarak ve potansiyel olarak besin biyoyararışlılığını artırarak toprağın verimliliğini arttırmak amacı ile yaygın olarak bir düzenleyici/iyileştirici olarak kullanılmaktadır. Toprağa biyokömür uygulaması aslında yeni bir yöntem değildir. Amazonlarda bulunan antropojenik koyu renkli topraklar (Terra Preta), büyük olasılıkla ocaklardan çıkan odun kömürü kalıntılarının (Glaser ve ark., 2002) çiftçiler tarafından arazilere uygulandığını göstermektedir (Sombroek ve ark., 2003). Bu topraklarda, biyokömür, toprak düzenleyici görevi görür, toprağın fiziksel özelliklerini ve besin kullanım etkinliğini artırır, böylece bitki büyümesi ve gelişmesine

yardımcı olur. Bugün, bu toprakları oluşturan uygulamaların sona ermesinden 500 yıl sonra dahi, Terra Preta toprakları, Amazon havzasında tarım için oldukça değerli olduğu vurgulanmıştır (Glaser ve ark., 2002; Lehmann ve Rondon, 2006).

Biyokömürün toprakta ayrışmadan uzun yıllar kalabilmesi, C' nin toprakta tutulması açısından faydalıdır. Toprağa biyokömür olarak eklenen C'nin çok uzun yıllar toprakta kalacağı ve atmosfere salınmayacağı uzmanlar tarafından rapor edilmiştir (Novak ve ark., 2009b). Toprağa uygulanan biyokömürün kararlı ve mikrobiyal parçalanmaya dirençli olduğunu bildiren German (2003), Amazonlarda bulunan Terra Preta topraklarının yaklaşık 6850 yıl geçmişe dayandığını ifade etmiştir. Bir başka araştırmada ise Novak ve ark. (2009b), toprak organik maddesinin ortalama kalış süresinin 250 ile 3280 yıl arasında olduğunu bildirmişlerdir.

Biyokömür kullanımının düşünülen amaç için uygunluğu ve aynı zamanda biyokömürün topraktaki akıbeti ve etkinliği büyük oranda elde edilen biyokömürün piroliz koşulları ve kullanılan materyalin karakteristikleri tarafından kontrol edilir (Verheijen ve ark., 2010). Bu koşullar kimyasal bileşim, parçacık ve gözenek büyüklük dağılımı gibi biyokömürün fiziko kimyasal özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle, literatürde rapor edilen farklı piroliz sıcaklığı ve farklı biyokütlelerden elde edilen biyokömürlerin özellikleri oldukça heterojendir. Örneğin katyon değişim kapasitesi ihmal edilebilir düzeyden 40 cmol/kg'e kadar ve C:N oranı 7 ile 500 veya daha yüksek değerlere kadar rapor edilmiştir. Biyokömürün pH'sı genellikle nötr ile hafif alkali arasında değişmektedir. Yavaş piroliz, orta piroliz ve hızlı olmak üzere farklı piroliz sıcaklıkları ve sürelerine ilişkin birçok araştırmacı çalışma yürütmüştür. Zhang ve ark., (2015a), piroliz sıcaklığı (200, 400 ve 600 °C) ve ısıtma süresinin (1, 2 ve 4 saat) samandan elde edilen biyokömürün özellikleri üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında piroliz sıcaklığı arttıkça oluşan biyokömürün pH, kül miktarı, karbon stabilitesi ve toplam karbon içeriğinin arttığını katı atığın ise azaldığını, ısıtma süresinin ise etkili olmadığını bildirmişlerdir. Farklı uygulama yöntemlerine bağlı olarak piroliz sıcaklığının artması ile biyokömür oluşumu kütlece azalmasına karşın C içeriği artmaktadır.

Biyokömürün fiziko-kimyasal özellikleri (örn. bileşimi, yüzey alanı, su tutma kapasitesi, pH, elektriksel iletkenliği, parçacık ve gözenek boyutu, vb.) genellikle piroliz koşullarına ve hammadde özelliklerine bağlıdır (Ahmad ve ark., 2012a; Lehmann ve Joseph, 2015a; Rajapaksha ve ark., 2014; Solaiman ve Anawar, 2015; Shaheen ve ark., 2019) ve bu nedenle geniş bir aralıkta değişebilir (Lehmann ve Joseph, 2015a). Biyokömür tipik olarak uçucu ve yoğunlaşmış aromatik organik maddeler (Brewer ve ark., 2011) ve inorganik elementler (Cantrell ve ark., 2012; Spokas ve ark., 2012) içerir. Daha yüksek sıcaklıklarda yapılan biyokömür, tipik olarak yüksek gözeneklilik, organik C ve adsorpsiyon kapasitesine sahip, genellikle yüksek pH ile birlikte geniş bir iç yüzey alanına (Park ve ark., 2015; Rajapaksha ve ark., 2015) ve yüksek katyon değişim kapasitesine (Singh ve ark., 2010) sahiptir. Bir toprakta biyokömür yaşlanması da özelliklerini değiştirebilir (Joseph ve ark., 2010; Mukherjee ve ark., 2014). Bu nedenle, biyokömürün topraklara uygulanmasının potansiyel faydaları biyokömür ve toprak tipine bağlı olarak değişir (Butnan ve ark., 2015). Özellikleri nedeniyle biyokömür, atık yönetimi, enerji üretimi ve iklim değişikliğine etkisi de dâhil olmak üzere çevresel sorunları ele almak için yaygın olarak uygulanabilir (El-Naggar ve ark., 2018a, 2018b, 2018c). Örneğin, biyokömürün toprağa ilavesi, toprağın fiziko kimyasal özelliklerini (KDK, gözenek boyutu dağılımı, toprağın strüktür yapısı, hacim ağırlığı, hidrolik iletkenlik, suyu tutma kapasitesi vb.) geliştirebilir (Lei ve Zhang, 2013; Lu ve ark., 2014a; Omondi ve ark., 2016) ve topraktaki besinlerin biyo yararlanımının arttırılmasını sağlayabilir (Gul ve Whalen, 2016; Kuppasamy ve ark., 2016; Raboin ve ark., 2016; Dai ve ark., 2017). Yüksek kimyasal stabilitesi nedeniyle biyokömür, toprak C zenginleşmesini arttırma ve böylece atmosferdeki sera gazları konsantrasyonunu azaltma konusunda büyük bir potansiyele sahiptir. Ayrıca biyokömür, kirlenmiş topraklardaki toksik elementlerin mükemmel bir immobilizatörüdür (Ok ve ark., 2015; Shaheen ve ark., 2015; Beiyuan ve ark., 2017; Igalavithana ve ark., 2017).

Biyokömür yapısındaki heterojenlik, rapor edilen özelliklerin mekanizmalarının açıklanmasını da zorlaştırmaktadır. Bununla beraber, bu zorluklar yeni araştırmaların konusu haline gelmektedir (Verheijen ve ark., 2010). Günal ve Erdem (2018), yapmış oldukları bir çalışmada; biyokütlenin oksijenin sınırlı olduğu bir ortamda termo-kimyasal dönüşüm işlemi ile elde edilen karbon yüklü materyalin biyokömür olarak tanımlandığını

bildirmişlerdir. Araştırmacılar, biyokömürün toprağa ilavesi sonucunda toprak özelliklerine etkisinin; biyokömür çeşidine ve piroliz sıcaklığına, uygulama dozuna ve uygulanan ürünün toprak istekleri tarafından belirlenmekte olduğunu bildirmişlerdir. Bu araştırmacılar, biyokömürün yüksek pH'sı, gözenekli yapısı ve yüksek yüzey yükü nedeni ile toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine doğrudan veya dolaylı yollarla etki ettiğini rapor eden çok sayıda araştırma olduğunu vurgulamaktadır. Bunlara ilaveten, biyokömürün yüksek yük yoğunluğu ve yüzey alanı ile fitotoksik organik molekülleri adsorbe edebilmesi ve toprak kökenli patojenleri baskılaması da bitkisel üretimdeki olumlu etkileri arasında sayan Günal ve Erdem (2018), yapılan çalışmaların ortak noktası biyokömürün toprağın hacim ağırlığının düşmesine, su tutma kapasitesinin iyileşmesine ve besin elementlerinin yıkanmasının azaltılmasına olumlu katkı yaptığını ve bu nedenle de biyokömürün gübre olmaktan ziyade bitki gelişim ortamının iyileşmesini sağlayan bir katkı maddesi olarak düşünülmesi gerektiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, tarım arazilerimizde üretim sonrası atıklar, şehirlerin park bahçe bakım atıkları ve gıda sanayindeki atıkların biyokömüre dönüştürülmesi ile ilgili çalışmaların, bu atıkların çevreye faydalı ürünler haline gelmesini sağlayacağını ve ülkemiz için önemli bir katma değer oluşturacağını vurgulamışlardır.

2.2. Tarımsal Artıklardan Biyokömür Üretimi

Ülkemizin yıllık biyo atık potansiyeli 109.4 Mt olarak tahmin edilmektedir Bunlardan bitkisel kaynaklı atıklar; odunsu (talaş, kabuk, dal), sap-saman (ayçiçeği, mısır, pamuk, buğday vs.), kabuk-kavuz (soya, çeltik, yer fıstığı) ve meyve çekirdekleridir. Hayvansal atıklar ise büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan atıklarıdır (Sumer ve ark., 2016). Ancak ülkemizde tarımsal üretimden sonra kalan atıkların önemli bir kısmı ya yakılmakta ya da tarlada bırakılmaktadır (Şekil 2.1.)



Şekil 2.1. Hasat sonrası çürümek üzere çevreye bırakılan tarımsal artıklar

İşlenmemiş hayvansal atıklar çevresel kirliliğe neden olmaktadır. Söz konusu atıkların toplanması, muhafaza ve depolanmasında zorluklarla karşılaşmaktadır. Buna ek olarak atık değerlendirilmesi konusunda toplum bilincinin zayıf olması, atıkların boş arazilere dökülmesi veya yakılarak bertaraf edilmesi sonucunu doğurmaktadır. Bu durum hem çevre kirliliğine neden olmakta hem de bitkilerin bünyelerinde yer alan bitki besin maddelerinin yitip gitmesine sebebiyet vermektedir. Bu bakımdan organik atıkların piroliz teknolojisi ile biyokömür olarak toprağa uygulanarak değerlendirilmesi son derece önemlidir. Hasat sonrası atıklarının yakılarak arazinin dışına çıkarılmaları, toprakların organik madde düzeyini ve verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Wilhelm ve ark., 2004). Hasat sonrası arazide kalan organik materyalin piroliz işlemine tabi tutulması, açığa çıkan yanıcı gaz ve biyoyakıt ile hem enerji üretimine hem de toprağa karbon ve bitki besin elementlerinin geri dönmesine olanak sağlayan bir uygulamadır (Laird, 2008).

Enerji üretimi çalışması yanında biyokömür, karbonca zenginleşmesi, toprak organik madde içeriğinin iyileştirilmesi, verimliliğin artması ve ağır metallerin topraktan uzaklaştırılmasında önemli rol oynamaktadır (Ni ve ark., 2006; Lehmann, 2007; Liffé,

2009). Hızlı endüstriyel gelişme ve insan faaliyetleri, toprak kalitesinin ve verimliliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle verimi arttırmak için düşük verimli toprakların rehabilite edilmesine olan ilgi artmaktadır. Ancak, biyokömür homojen özelliklere sahip basit bir karbon materyali değildir, bu yüzden uygun biyokömür seçimi, toprak tipinin ve hedef ürünün göz önünde bulundurulması gerekmektedir (El-Naggar ve ark., 2019). Bu bağlamda, piroliz işlemini optimize etmek, diğer toprak iyileştiriciler ile karıştırmak, diğer katkı maddeleri ile kompost haline getirmek ve diğer organik materyallerle kaplamak gibi biyokömürün etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için çeşitli modifikasyon yöntemlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hammadde tipi, piroliz sıcaklığı, biyokömürün pH'sı ve uygulama oranı, verim tepkisinin yönünü ve büyüklüğünü etkilemektedir. Liu ve ark. (2013) yaptığı bir çalışmada biyokömürleri 20 farklı biyokütleden türetmiştir. Yaptıkları çalışmada altı genel ürün atığı ön plana çıkmaktadır, bunlar odun, hayvansal atık, çamur, belediye atığı ve odun-çamur karışımları şeklinde gruplandırmışlardır. Odun ve bitki kalıntısı biyokömürleri, ortalama olarak sırasıyla % 12.1 ve % 2.6'lık tutarlı verim artışları sağlarken, hayvansal atık biyokömürü, denemeler arasında genellikle daha büyük (% 29) fakat daha değişken tepkiler göstermiştir. Ancak, belediye atıklarından elde edilen biyokömür, verimliliğini ortalama %12.8 oranında önemli ölçüde azaltmıştır. Bitki verimi tepkisi, biyokömür üretimi sırasında piroliz sıcaklığına da bağlıdır. Odun, bitki ve hayvansal atık biyokömürü için 350-550 °C aralığındaki sıcaklıklarda üretilen biyokömürde daha yüksek bitki verimliliği artışı görülmektedir (Liu ve ark., 2013).

Farklı organik artıklarında farklı sıcaklıkta elde edilen biyokömürlerin kimyasal yapısını inceleyen Yuan ve ark. (2011), kanola, mısır, soya fasyulyesi, fıstık artıklarından 300 °C de elde edilen biyokömürlerin pH'sı sırası ile pH 6.48, 9.37, 7.66, 8.60 iken C/N oranları 325, 37, 45, 21 g kg⁻¹ olduğunu, 500 °C elde edilen biyokömürlerin pH'sının ise sırası ile 9.39, 10.77, 10.92, 10.86 iken C/N 1610, 46, 171, 32 g kg⁻¹ olduğunu rapor etmişlerdir. Bu çalışma ile, biyokömür üretmek için değişik materyellerin farklı sıcaklık derecelerinde pirolizi sonucu karakterlerinin değiştiği ve buna bağlı olarak toprağa uygulandığında farklı etkiler gösterebileceği öngörülmektedir. Biyokömür ilavesinin etkilerinin hem biyokömür hem de toprak tipine özgü olduğu ve hammaddenin toplam temel yapısının,

biyokömürün kimyasal bileşimi üzerinde güçlü etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Gaskin ve ark., 2008).

Biyokömür, International Biochar Initiative (IBI)'e göre molar H: organik C oranının maksimum 0.7 değerine sahip olması gerekmektedir (Shackley ve ark., 2012b). Siyah karbon içeriğinin toplam karbonun % 10' un altında olduğunda biyokömür olarak kabul edilemez (Anonim, 2012a). Ayrıca biyokömür içerdiği karbon miktarına göre en az %60 ise birinci sınıf, %30 ve %60 arası ise ikinci sınıf, %10 ve %30 arası ise üçüncü sınıf olarak nitelendirilir (Anonim, 2012a). Avrupa Biochar Sertifikası (EBC)' e göre biyokömürlerin siyah karbon içeriğinin toplam karbonun % 10 - 40'ı olmalı (Schimmelpfennig ve Glaser, 2012) ve biyokömürün kuru madde oranının minimum % 50 stabil organik karbona sahip olması gerektiğini öngörmektedir (Anonim, 2012b), dolayısıyla bazı literatürlerde çeltik kavuzu biyokömürü bir biyokömür olarak sınıflandırılmamakta, ancak "karbonca zengin gazlaştırma külü" olarak adlandırılabilir. Biyokömürü tanımlamanın başka bir yolu, hammaddeden kömür kalıntısı içinde korunan karbon yüzdesini değerlendirmektir. Bu değerlendirme, karbon tutma ve depolama için biyokömürün mantığı ile uyumludur. Bu durumda, yavaş pirolizin %50 korunan, %25 karbon dönüşümünde yarısının bir tanımını kullanan çeltik kavuzu, bir biyokömür olarak nitelendirilir (Carter ve ark., 2013). Çeltik kavuzu gibi bitkisel atıkların biyokömüre dönüştürülme potansiyellerinin yanı sıra hayvansal kökenli materyallerde biyokömüre dönüştürülerek toprak verimliğine katkıda bulunabilir. Her ne kadar hayvan gübrelerinin bitkiler için besin olarak uygulanması dünya çapında kabul görmüş bir uygulama olsa da, sorpsiyon özellikleri ve mevcut besin formlarının içeriği de dahil olmak üzere toprağın kimyasal özellikleri üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmeye hala ihtiyaç vardır. Aşırı dozda tavuk atığı ile ortaya çıkan çevresel kaygılar, bu kaynakların biyokömüre dönüştürülmesinde önemli rol oynamaktadır (Choudhary ve ark., 1996; Arthur ve ark., 2015). Bu nedenle, bu materyallerin, uygun şekilde biyokömüre dönüştürülmesi ve uygun dozda toprağa uygulanması ekosistem servislerine katkı sağlayacaktır. Biyokömür araştırmaları ilerledikçe toprak düzenleyici/iyileştirici olarak biyokömürün etkileri bilindikçe, biyokömür üreticilerinin bu materyaldeki farklılıkları belgelemeleri, çiftçilere en uygun olanı sağlamak için birlikte çalışmaları gerekmektedir (Agegnehu ve ark., 2015). Genel olarak, biyokütle ile

bitkisel üretim ve çevre yönetimini geliştirme potansiyeli açık olmasına rağmen, her biyokömür materyali ve spesifik özellikleri göz önünde bulundurarak, biyokömür uygulaması için en iyi yönetim uygulamalarını belirlemek için daha fazla araştırma ve geliştirme gerekmektedir (Agegnehu ve ark., 2017).

2.3. Biyokömür Uygulamalarının Toprağın Fiziksel Özelliklerine Etkisi

Biyokömürün temel fiziksel özellikleri, düşük biyolojik bozunabilirlik, yüksek gözeneklilik ve besinlerin tutulmasını etkileyebilecek yüksek yüzey alanıdır (Spokas ve ark., 2012). Bitki gelişimi için toprağa biyokömür ilavesi; sütrüktür, gözenek büyüklüğü dağılımı ve hacim ağırlığı, toprağın havalandırılması, su tutma kapasitesi gibi etkilerle toprağın işlenebilirliği ve toprağın fiziksel özelliklerini değiştirebilir (Downie ve ark., 2009). Bir toprak iyileştirici olarak biyokömürün potansiyel etkileri bazı çalışmalarda kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Sohi, 2010; Jeffery ve ark., 2011). Yapılan çalışmalar tarım, orman ve hayvansal kaynaklı biyokömürün toprağa uygulanması ile hacim ağırlığını değiştirebileceğini, biyokömür ilavesi ile toprak yüzey alanını arttırabileceğini (Chan ve ark., 2008a; 2008b; Spokas ve ark., 2012) ve sonuç olarak, bitkilere faydalı olması için toprak suyunu ve besinlerin tutulmasını iyileştirebileceğini (Downie ve ark., 2009; Ding ve ark., 2010) göstermektedir. Çalışmalar ayrıca biyokömür ilavesinin su infiltrasyon hızını arttırdığını, yüzey akışını ve toprak erozyonunu azalttığını göstermektedir (Asai ve ark., 2009; Ayodele ve ark., 2009). Toprağın su tutma kapasitesi, büyük ölçüde toprak parçacık boyutları, yapısal özellikler ve toprak organik madde içeriği ile düzenlenen toprak gözeneklerinin dağılımına bağlıdır. Bu nedenle, yüksek gözeneklilik, geniş iç yüzey alanı ve organik madde, mineraller ve mikroorganizmalar ile etkileşimler yoluyla toprak agregasyonunu etkileme potansiyeli ile, topraklara uygulanan biyokömür de toprak hidrolik özelliklerini değiştirmektedir (Asai ve ark., 2009; Brockhoff ve ark., 2010).

Araştırmalar, biyokömür ilavesinin toprak yapısını ve toprağın fiziksel ve hidrolik özelliklerini etkileyebileceğini göstermiştir (Chen ve ark., 2010; Major ve ark., 2010b). Kumlu topraklarda kuraklık genellikle tarım için bir tehdittir ve düşük seviyelerde biyokömür uygulaması bitkinin su stresine karşı direncini arttırabilir (Mulcahy ve ark.,

2013) ve yüzey toprak kütlesinde sadece % 5 biyokömür ilavesiyle su tutma kapasitesini arttırabilir (Case ve ark., 2012). Poormansour ve ark., (2019) tarafından farklı sulama seviyelerinin (su ihtiyacının %100, 75 ve 50'si) ve buğday samanı biyokömür (550 °C) seviyelerinin (% 0, 1.25, 2.5, 3.75 ve 5 w/w) bakla bitkisi üzerindeki etkisini incelemek için yürütülen sera deneme sonuçlarına göre, bakla yetiştiriciliğinin ve veriminin arttırılması için % 1.25 w/w ve % 75 su ihtiyacı önerilmiştir. Araştırmacılar, kurak ve yarı kurak bölgelerde tarla koşullarında bu biyokömür ve sulama suyu seviyesinin değerlendirilmesinin uygun olduğunu vurgulamışlardır.

Chan ve ark. (2008b), yeşil bitki atıklarından 450 °C' de yavaş piroliz ile üretilen biyokömürü 50 ve 100 Mg ha⁻¹ dozlarda bir Alfisol toprağına uygulayan tarla kapasitesinde tutulan su miktarının kontrole kıyasla önemli miktarda arttığını bildirmişlerdir.

Manırazıka, (2019), iğde ağaçlarının budama atıklarından elde edilen kompost ve biyokömür ağırlık esasına göre % 0, 1, 2 ve 4 dozlarında uygulandığında, kompost ve biyokömür uygulamaları kontrol ile kıyaslandığında; hacim ağırlığı düşerken, porozite, tarla kapasitesi yarayışlı su içeriği ve agregat stabilitesi değerlerinin önemli ölçüde arttığını bildirmiştir. Asai ve ark. (2009), Laos'taki iki ayrı bölgede biyokömürün su tutma kapasitesi üzerindeki etkisini ve yüzey toprağının doymuş hidrolik iletkenliğini (Hİ) ve çeltik bitkisinin ksilem akışını (XSF) doğrudan ölçmüşlerdir. Biyokömürün her iki bölgedeki Hİ ve XSF'yi önemli ölçüde arttırdığını, bu durumu biyokömürün toprağın hidrolik iletkenliğini ve bitkilerin su kullanılabilirliğini arttırdığı hipotezine dayandırmışlardır (Lehman, 2006). Bu durum biyokömürün, belirli toprakların artan havalandırma ve su tutma kapasitesi dahil olmak üzere toprağın fiziksel özelliklerini değiştirebileceği (Sohi, 2010; Haefele ve ark., 2011) hipotezini desteklemektedir. Biyokömür uygulamasının toprağın su tutma potansiyeline etkisini araştıran Novak ve ark. (2009b), 500 °C'de dallı darıdan üretilen biyokömürün kumlu bir Ultisol toprağına ilavesinin kontrole kıyasla %15 daha fazla su tutabildiğini rapor etmişlerdir. Chen ve ark. (2010), biyokatı ve şeker kamışı posasından elde edilen biyokömürleri kullanarak, toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri, NO₃-N'u yıkanma kayıpları ve şeker kamışı gelişimi üzerine biyokömürün etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda şeker kamışı

posasından elde edilen biyokömürün toprakların hacim ağırlığını azalttığı ve yarayışlı nem içeriğini arttırdığını belirlemişlerdir. Araştırmada, toprağın fiziksel özelliklerinde gerçekleşen iyileşmenin, ürün verimine ve şeker kamışının şeker içeriğine de olumlu yansıdığı ve yıkanma ile kaybolan $\text{NO}_3\text{-N}$ 'u konsantrasyonunda azalmalar olduğu rapor edilmiştir.

Kızılçam budama atıklarının 600 °C'de piroliz edilmesi sonucunda elde edilen biyokömürü dört farklı tipte (kumlu, kumlu tın, tın ve siltli tın) toprağa uygulayan Luo ve ark. (2020), toprağa 0, 2, 4 ve 16 g kg⁻¹ dozlarını uygulayarak biyokömürün hacim ağırlığı üzerine etkisini incelemişlerdir. Biyokömürün eklenmesinden sonra dört toprak tipi arasında farklı etkiler ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar, 0-20 cm toprak derinliğinde toprak hacim ağırlığı, Loessal toprak hariç, artan biyokömür uygulama oranı ile diğer üç toprak tipinde azaldığını belirtmişlerdir. Özellikle, Kara Lössial toprak 16 g kg⁻¹ biyokömür uygulaması ile önemli bir fark göstermiştir. 20-40 cm toprak derinliğinde, artan biyokömür uygulama oranı ile toprağın hacim ağırlığında azalma, üst toprağa göre daha az olmuştur, bunun sebebini ise biyokömürün 0-20 cm derinliğindeki toprakla karıştırılmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Ağaç parçacıklarının yavaş pirolizi ile üretilen biyokömürü %1 ve %2 dozlarında Alfisol bir toprağa uygulayan Laird ve ark. (2010a), yerçekimi ile drene olan suyun biyokömür uygulanmayan toprağa göre %15 daha fazla tutulduğunu rapor etmişlerdir. Bununla birlikte, tarla kapasitesi ve solma noktalarındaki nem içeriklerinin önemli miktarda değişmediği belirtilmiştir. Bunun aksine, Jeffery ve ark. (2011), toprağa biyokömür ilavesinin su tutma kapasitesini önemli miktarda arttırdığını ve özellikle kurak bölgelerde toprağa ilave edilen biyokömürün yağış ile toprağa giren suyu daha uzun süre tutarak bitkisel üretimin artmasına neden olabileceğini bildirmişlerdir. Biyokömür uygulaması ile toprağın su tutma kapasitesinin artmasının, sulu tarım yapılan arazilerde bitkisel üretim boyunca kullanılacak suyun miktarının azalmasına katkı vereceği bildirilmiştir. Benzer şekilde, Basso ve ark. (2013), yavaş piroliz ile 500 °C'de kızıl meşeden yapılan biyokömürün uygulandığı kumlu tınlı toprakların su tutma kapasitesinin arttığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, inkübasyon süresince uygulanan biyokömürün toprağın hacim ağırlığının, kontrol toprağı hacim ağırlığından % 9 daha düşük olduğunu ancak

katyon değişim kapasitesinde önemli bir değişim olmadığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde fındık zurufu ile fındık kabuğundan üretilen biyokömürü farklı dozlarda (0-3-6 t da⁻¹) inkübasyona (4 ay) bırakan Özenç ve ark. (2019), doz arttıkça agregat stabilitesi, yarayışlı su içeriği ve hidrolik iletkenlik değerlerinde artış, hacim ağırlığında ise azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Vertisol bir toprakta yapılan çalışmada, çeltik kavuzu biyokömürü ve kömür tozunu % 0, 2, 4 ve 6 dozlarında uygulayan Lu ve ark. (2014a), 180 günlük bir inkübasyon denemesinde uygulamaların toprağın su tutma kapasitesi üzerine etkisinin % 2, 4 ve 6 dozunda sırasıyla % 12, 20 ve 31 daha yüksek olduğunu bulmuştur. Biyokömür uygulanan killi toprağın daha fazla su tutma kapasitesine ve yarayışlı su içeriğine sahip olduğunu vurgulayan araştırmacılar, bunun sebebinin toprağın gözenek miktarının artmasından kaynaklandığını rapor etmişlerdir. Chen ve ark. (2011) tarafından yürütölen bir çalışmada, kimyasal NPK'lı gübre (kontrol), kimyasal NPK + 2.25 t ha⁻¹ biyokömür (C1), NPK + 4.5 ton ha⁻¹ biyokömür (C2) ve 0.75 ton ha⁻¹ yavaş salımlı gübre (CN) şeklinde olan bir araştırma denemesinde, kontrol ile kıyaslandığında, C1 ve C2 uygulamalarının hacim ağırlığını sırasıyla % 4.5 ve % 6.0 oranında azalttığı vurgulanmıştır. Benzer olarak Ma ve ark. (2016) tarafından organik katkı maddelerinin topraktaki organik C, toplam N, hacim ağırlığı, toplam stabilite, tarla kapasitesi ve bitkiye yarayışlı su miktarı üzerindeki etkisini değerlendirmek için yürütölen 3 yıllık bir tarla denemesinde; kontrol (K), kimyasal gübre (NPK), NPK+mısır samanı (NPK+S), NPK+biyokömür (NPK+B) şeklinde dört konu incelenmiştir. Araştırmacılar, NPK+S ve NPK+B konularında hacim ağırlığının azaldığını, NPK+B konusunun, biyokömür uygulaması olmayan uygulamalara kıyasla organik C, toplam N, tarla kapasitesi ve yarayışlı su miktarını arttırdığını ve ayrıca NPK+B ve NPK+S uygulamasının K ve NPK uygulamalarına göre agregat stabilitesini arttırdığını rapor etmişlerdir.

Toprak fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde % 0.5 ile % 4 oranında uygulanan biyokömür dozunun yeterli olacağı bildirilmiştir (Alghamdi, 2018). Omondi ve ark. (2016) ise biyokömür kullanımı ile toprak hacim ağırlığında ortalama %12 azalma olduğunu bildirmiştir. Oguntunde ve ark. (2008) göre kömür sahası topraklarda hacim ağırlığı, bitişik tarla topraklarına kıyasla % 9 azalmıştır. Toplam gözeneklilik bitişik tarla

topraklarında % 45.7'den % 50.6' ya yükselmiştir. Kömür sahası altındaki toprakların doymuş hidrolik iletkenliği, 6.1-11.4 cm s⁻¹ artmış ve % 88'lik nispi bir artış görülmüştür. Günel ve ark. (2018a), üç biyokömür çeşidinin, kumlu tın ve tınlı toprakların yarayışlı su içerikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için bir sera denemesi kurmuşlardır. İki toprak tipi (tınlı ve kumlu tın), üç farklı biyokömür tipi (çeltik kavuzu, fasulye atığı, mısır koçanı), beş biyokömür oranı (0, 0.5, 1, 2, 3 g g⁻¹) ve beş gübre seviyesi konuları (1.Sıvı hayvan gübresi (SHG)+biyokömür, 2.SHG+1/1 Mineral gübre (MG), 3.SHG+1/2 MG, 4.SHG+1/4 MG ve 5.biyokömür) ile çalışmışlardır. İki dönem buğday yetiştiren araştırmacılar biyokömürü sadece deneme başında uygularken mineral gübre uygulamasını iki dönem başında da uygulamışlardır. Hasattan sonra alınan toprak örneklerinde toprak yapısı, biyokömür tipi, oranı ve mineral gübre oranı toprağın su tutuma ve gözenekliliği üzerine etkisini önemli bulmuşlardır. Her iki toprak tipinde de toplam porozitenin, %3 biyokömür oranının kontrol uygulamasına göre önemli derecede düşük olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, denemede kullanılan tüm biyokömür çeşitlerinin, hem kumlu tınlı hem de tınlı topraklarda yarayışlı su içeriğini geliştirmek için kullanılabileceğini rapor edilmiştir.

Bilgili ve ark. (2019), toprak kalite indekslerini kullandıkları tarla denemesinde 550° C'de fıstık kabuğu, mısır koçanı ve pamuk samanından elde edilen biyokömürleri üç farklı dozda (ağırlık bazında % 0, 0.2 ve 0.4) uygulamışlardır. Çalışmada hacim ağırlığı, yarayışlı su içeriği, agregat stabilitesi, gözeneklilik, toprak organik maddesi ve hidrolik iletkenlik gibi toprak kalitesi parametrelerini belirlenmiş ve her bir parselin toprak kalite indekslerini doğrusal ve doğrusal olmayan puanlama fonksiyonları kullanılarak elde etmişlerdir. Araştırmacılar genel olarak uygulama öncesine kıyasla, çeşitli miktarlarda biyokömür uygulanmış parsellerde, bozulmuş alanların toprak özelliklerinin iyileştirilmesinde, potansiyelini gösteren toprak kalite indekslerinin % 15 ila 34 artış sağladığını rapor etmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada toprağın hacim ağırlığı, 150 g kg⁻¹'lik biyokömür ilavesiyle yaklaşık üçte bir oranında azaltıldığı bildirilmiştir, saksılar aynı hacimde dolduğunda saksının tartılmasıyla biyokömür ilavesiz toprağın (5000 g), biyokömür ilaveli topraktan (3500 g) ağırlıkça daha az olduğu belirlenmiştir. Toprak yapısının gözle görülür biçimde

değişmiş ve biyokömür ilave edilen topraktaki bitkilerin kök sökme işlemi, biyokömür ilave edilmemiş toprağa göre çok daha kolay olduğu vurgulanmıştır (Carter ve ark., 2013). Yapılan bir başka çalışmada ise, % 10'luk bir biyokömür ilavesinin toprağın hacim ağırlığını önemli ölçüde azalttığı rapor edilmiştir (Zavalloni ve ark., 2011). Biyokömürün topraksız ortama eklenmesi ile ilgili olarak çok az sayıda araştırma bulunmakla birlikte, yürütülen çalışmalarda topraksız tarımda çok sık kullanılan kokopit ve tuf gibi yetiştirme ortamına eklenen biyokömürün gözenekli doğasına rağmen, topraksız ortamın su tutma kapasitesi üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı rapor edilmiştir (Graber ve ark., 2010).

Xiao ve ark. (2020), söğüt budama atığının 500 °C'de piroliz edilmesi ile elde edilen biyokömürü 0, 1, 2 ve 4 g kg⁻¹ dozlarında toprağa ilave ederek ve buğday mısır rotasyonunda biyokömürün etkisini incelemiştir. Dört dönem (22, 238, 321 ve 382 gün sonra) toprak örneği alan araştırmacılar, buğday-mısır rotasyonunda, toprağın hacim ağırlığını 1.48 g cm⁻³'ten 1.27 g cm⁻³'e düşürdüğünü ve doymuş hidrolik iletkenliğini 0.05×10⁻⁵ cm s⁻¹ 'ten 0.75×10⁻⁵ cm s⁻¹'e yükselttiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, biyokömür ilavesi toprak sıkışmasının etkisi hafifletmiştir. Toprağa 4 g kg⁻¹ dozda biyokömür eklenmesi, toprak işleme ile sinerjik bir etki yaratmıştır. Biyokömür kullanımı toprak fiziksel özelliklerini (HA, Hİ) ve organik karbon miktarını geliştirmiştir. Bu da toprak organik karbonunun birikmesine ve suya dayanıklı agregatların oluşumuna neden olmuştur.

2.4. Biyokömür Uygulamalarının Toprağın Kimyasal Özelliklerine Etkisi

Farklı organik materyallerin toprakların organik madde içeriklerini arttırdığı bilinmektedir (Gülser ve ark., 2010). Akça ve Namlı (2015) tavuk altlığından elde edilen biyokömür uygulamalarının toprak organik maddesinde önemli miktarda artış sağladığını saptamışlardır. Ayrıca araştırmacılar biyokömür toprak iyileştirici olarak kullanıldığında, asit karakterli topraklarda pH'nın yükselmesine de neden olduğunu; bunlara ilaveten, su tutma kapasitesi ve katyon değişim kapasitesinin artması, bitki besin elementlerinin toprakta tutulması ile toprağın verimliliğinin arttırmasını sağladığı ve toprak kalitesini iyileştirdiği de belirtmiştir. Araştırmacılar tarafından bazı durumlarda biyokömürün bir sorbent olarak görev görebileceği de rapor edilmiş ve daha yüksek yüzey alanı, negatif

yüzey yükü ve yük yoğunluğundan dolayı biyokömürün doğal organik maddeye oranla çok daha yüksek sorbe yeteneği olduğu belirtilmiştir (Lehmann ve ark., 2006).

Biyokömürün partikül yüzeyeyinin yüksek reaktivitesi kısmen pH'ya bağlı olan çeşitli reaktif fonksiyonel grupların (siloksan, OH, COOH, CHO) varlığına atfedilir (Cheng ve Lehmann, 2009). Bu fonksiyonel gruplar, pH'a bağlı yükler için ana bölgelerdir, böylece hammaddenin doğasına ve piroliz sıcaklığına bağlı olarak biyokömürün KDK'sı değişir. Biyokömür yaşlanması hidroksil gruplarında ve karboksil gruplarında artışa neden olur (Lehmann ve Joseph, 2015c). Topraklardaki biyokömürde yaşlanma kinin fonksiyonel gruplarının gelişimine neden olur (Mukome ve ark., 2014). Böylece, biyokömürün yaşlanması ile yüzeyde oksijen içeren fonksiyonel gruplar oluşur. Bu özellikleri tarif ederken, H:C oranı nedeniyle aromatiklik ve O:C oranları nedeniyle oksidasyon durumu çok önemli olarak kabul edilir. Biyokömürün iyon değişim kapasitesi, üretim koşullarına ve piroliz için kullanılan hammaddeye bağlı olarak KDK 250 mol kg⁻¹ anyon değişim kapasitesi 120 mol kg⁻¹ a kadar geniş bir aralıkta değişkenlik gösterir (Yuan ve ark., 2011; Cheng ve ark., 2014). Bununla birlikte, biyokömür ile işlenmiş toprakların KDK'sının tek başına topraktan çok daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Zhao ve ark., 2015).

Chan ve ark. (2008b), yeşil atıklardan 450 °C' de yavaş piroliz ile elde ettikleri biyokömürü 10, 50 ve 100 ton ha⁻¹ dozlarını azot gübreli (100 kg N ha⁻¹) ve gübresiz konularıyla uygulamışlardır. Biyokömürün toprak kalitesi ve turp verimi üzerine etkisini inceleyen araştırmacılar, biyokömür ilavesi sonrasında toprakların kalite parametrelerinden pH değeri, organik C ve değişebilir katyon içeriklerinde artışlar olduğunu belirlemişlerdir.

Laird ve ark. (2010a) yürütmüş oldukları bir çalışmada biyokömür uygulamasının toplam N miktarını %7.0'ye, organik karbon içeriğini %69'a ve Mehlich III yöntemi ile ekstrakte edilebilir P, K, Mg ve Ca içeriklerini önemli seviyelerde yükselttiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca toprak profilinde konsantrasyonları yükselen bu elementlerin bitki kökleri tarafından alımlarının da artacağını, yüzey akışı ve derine yıkanma ile kayıplarının azalacağını ve su kaynaklarının kirlenmesinin önleyebileceğini de

belirtmişlerdir. Bu işlemlerin net etkisi ise besin elementlerinin kullanım etkinliklerinin artması dolayısı ile tarımsal üretimde kullanılacak kireç ve gübre materyalinin miktarının azalması şeklinde olacağı bildirilmiştir.

Kuzey Çin Ovasında toprağa ilave edilen biyokömürün katyon değişim kapasitesine etkilerini incelemek için üç yıllık bir tarla denemesi kurulmuştur (Chen ve ark., 2011). Tarla denemesindeki uygulamalar; kimyasal NPK (kontrol, K), kimyasal NPK + 2.25 t ha⁻¹ (C1), NPK + 4.5 ton ha⁻¹ (C2) ve 0.75 ton ha⁻¹ yavaş salımlı gübre (CN) şeklindedir. Kontrol ile kıyaslandığında, C1 ve C2 uygulamalarının hacim ağırlığını sırasıyla %4.5 ve %6.0 oranında azalttığını vurgulayan Chen ve ark. (2011), C2 uygulamasının katyon değişim kapasitesini %24.5 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir. Araştırmada genel olarak üç yıllık uygulamanın sonunda, toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinde belirgin bir iyileşme olduğu rapor edilmiştir. Wang ve ark. (2011) tarafından buğday samanından elde edilen biyokömürün 0, 10, 20 ve 40 t ha⁻¹ dozlarının bir meyve bahçesi toprağının özellikleri ve organik karbon düzeyine etkisi incelenmiştir. Araştırmada, özellikle 40t ha⁻¹ dozunun karbon ve bitki besin elementi içeriğini arttırmasının yanında toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde de olumlu sonuç gösterdiğini belirtilmiştir.

Zhao ve ark. (2014), çeltik buğday münavebesinde iki dönem boyunca çeltik atığı ve çeltik atığı biyokömürün etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri araştırmada, her iki uygulama grubunda yeşil aksam N, P, Ca veya Mg içeriğinde bir artış görülmediğini ve birinci dönem çeltik yeşil aksamında 4.5 t ha⁻¹ uygulamasında yeşil aksam örneklerinde K alımında kontrollere kıyasla sadece bir miktar artış olduğunu belirtmişlerdir. Her ürün yetiştirme dönemi boyunca veya çeltik atığı uygulanması, kontrole kıyasla toprağın toplam N ve organik C içeriğini arttırmıştır. İkinci dönem çeltik / buğday rotasyonundan sonra, toprağın toplam N içeriği saman muamelesine kıyasla % 8.77 ve 4.5 t ha⁻¹ ve 9.0 t ha⁻¹ uygulamalarında ise sırası ile % 18.1 ve % 28.3 daha yüksek olduğunu vurgulayan araştırmacılar, toprak organik C içeriğinin 4.5 t ha⁻¹ ve 9.0 t ha⁻¹ biyokömür uygulamalarında %50 ve %101 oranında arttığını rapor etmişlerdir.

Biyokömürün verim ve verim unsurlarını iyileştirmedeki fonksiyonu gözenekli yapısından kaynaklandığı birçok araştırmacı tarafından vurgulanmaktadır. Bitki besin elementlerinin yıkanıp gitmesini engelleyen biyokömür ve bitki rizosfer bölgesinde biyokömüre konukçu mikroorganizmaların besin elementini yarayışlı forma dönüştürmesine katkı sağlar. Çiftlik gübresinden üretilen biyokömürün 0, 10, 15 ve 20 ton ha⁻¹ dozlarının sera koşullarında mısır verimi, besin elementi alımı ve toprakların fiziko kimyasal özellikleri üzerine etkilerini araştıran Uzoma ve ark. (2011), biyokömürün mısır bitkisinde verimi ve besin elementi alımını arttırdığı ve toprağın pH, toplam C, toplam N, yarayışlı P, değişebilir katyonlar ve katyon değişim kapasitesini de önemli derecede arttırdığı gözlemlemiştir. Biyokömür bitki verimi ile birlikte toprağın fiziko kimyasal özelliklerini de iyileştirmektedir.

Ülkemizde ve dünyada hasat sonrası fazla miktarda tarım artığı açığa çıkmaktadır. Bu atıkların bertaraf edilmesinin zor olmasının yanı sıra bu atıkların drenaj çukurlarına atılması ve zararlılara konukçuluk oluşturması bakımından da sıkıntılar doğmaktadır. Zhang ve ark. (2012a), hasat sonrası anızdan elde ettikleri biyokömürün, çeltik verimi ve toprakların kalite parametreleri üzerindeki etkilerini araştırmış ve biyokömürü 0, 10, 20, 40 ton ha⁻¹ oranında uygulamışlardır. Araştırmacılar uygulanan biyokömür sonrasında toprakların pH, organik karbon, toplam azot içeriklerinde ve çeltik veriminde önemli artışlar meydana gelirken, hacim ağırlığı değerlerinde ise önemli azalmalar meydana geldiğini gözlemlemiştir. Soinne ve ark. (2014), toprağa biyokömür ilavesi ile topraklarda fosfor absorpsiyonu ve çözünebilir fosfor kayıpları üzerine olan etkisini test etmiştir. Bu araştırmacılar kumlu ve iki farklı killi toprağa biyokömürün farklı dozlarını uygulayarak (0, 15 ve 30 t ha⁻¹) inkübasyon denemesi kurmuş ve üç hafta sonundaki değişimi incelemişlerdir. Biyokömürün fosfor absorpsiyonunun çok düşük olduğu ve biyokömür eklenmesi sonucunda fosfor absorpsiyonunun değişmediği belirlenmiştir. Ayrıca tarım topraklarında biyokömür kullanımı ile fosfor yarayışlılığının artırıldığı ve fosforlu azot gübresi kullanımındaki gereksinimini azaltılabildiği rapor edilmiştir (Soinne ve ark., 2014). Araştırmalar, biyokömürün birçok metal katyonu çözültiden uzaklaştırdığı gibi biyokömürün fosfat iyonu gibi anyon formundaki besin elementlerini de toprak çözültisinden uzaklaştırabileceğini göstermiştir (Lehmann, 2011). Ancak bu uzaklaşma olayı ile ilgili mekanizma yeterince açıklanamamıştır. Bu nedenle, biyokömürün toprağa

uygulanması, besin elementlerinin yıkanıp çevreye zarar vermesini engelleyebileceği veya çalışılacak topraklarda olduğu gibi toksik düzeyde bulunan besin elementlerini bağlayarak bitkinin alımını engelleyebilecekleri düşünülmektedir.

Farklı P sorpsiyon kapasitelerine sahip iki toprakta (demir ve alüminyum ağırlıklı hafif asit Kırmızı toprak; pH:6.38 ve kalsiyum ağırlıklı alkalin Fluvo-aquic toprak; pH:8.27) mısır samanının 400 °C pirolizi ile elde edilen biyokömürün toprakta P yarayışlılığı üzerindeki etkilerini araştıran Zhai ve ark. (2015), denemelerinde %0, 2, 4, ve 8 (w/w) biyokömür dozları ile monopotasyum fostat (KH_2PO_4) gübrelili ve gübresiz uygulamaları test etmişlerdir. Araştırmacılar, uygulamaların pH, EC, yarayışlı P ve MBC üzerine etkilerini incelemişlerdir. Biyokömür uygulamaları sonrasında toprak pH'sının genelde artması beklenmektedir. Ancak kırmızı toprakta 42 gün sonra % 8 biyokömür uygulamasında pH 6.38'den 7.12'ye önemli ölçüde ($p<0.05$) artarken, Fluvo toprağının pH'sı etkilenmemiştir. Biyokömür ilavesinin hem Kırmızı toprakta hem de Fluvo-aquic toprakta EC'yi önemli ölçüde ($p<0.05$), arttırdığını bildiren araştırmacılar, kırmızı toprakta, EC, 42 gün sonra % 8 biyokömür ilavesinde % 50 oranında önemli ölçüde ($p<0.05$) arttığını vurgulamışlardır. Biyokömür uygulamasının % 8 dozu, inkübasyondan sonra fosfor konsantrasyonunun, kırmızı toprakta 3 ila 46 mg kg^{-1} ve Fluvo-aquic toprakta 13 ila 137 mg kg^{-1} arttırdığını vurgulayan Zhai ve ark. (2015), TMB-P'yi (Toprak Mikrobiyal Biyomas-P) kırmızı toprakta 1 ila 9 mg kg^{-1} ve Fluvo aquic toprakta 9 ila 21 mg kg^{-1} arttırdığını rapor etmişlerdir. Biyokömürün genelde kimyasal gübreler ile birlikte uygulanması toprakta besin elementi yarayışlılığını arttırdığı birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Namlı ve ark. (2017), tavuk altlığı ve fındık kabuğu biyokömürü uygulamalarının, toprağın bazı kimyasal özellikleri ve buğday verimine olan etkilerini incelemişlerdir. Bu kapsamda, biyokömür 150 ve 300 kg da^{-1} dozlarında ve mineral gübre ile uygulanmıştır. Biyokömür ilavesinin toprağın organik madde, azot, kireç, pH, EC ve mikro element kapsamı üzerinde önemli etkide bulunmadığını, buna rağmen fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum kapsamını önemli derecede arttırdığını bildirmişlerdir. Tavuk altlığından elde edilen biyokömürün fındık kabuğundan üretilen biyokömüre göre daha etkili olmuş, sadece biyokömürün uygulanmasından ziyade fosforlu gübre (DAP) ile uygulandığında verim üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Biyokömürün toprakta etkisini diğer organik atıklardan daha fazla sürdürmesi ile ilgili çalışmalar birçok araştırmaya konu olmaktadır. Uygulama dozu ile ilgili pek çok çalışma bulunurken uygulama sıklığı ile ilgili çalışmaya çok az rastlanmaktadır. Bu bakımdan biyokömürün bakiye etkisini belirlemek için araştırma yapan Wang ve ark. (2017), mısır atığından 350 °C’de elde ettiği biyokömürün siltli tın topraktaki etkisini görmek için uygulama dozu ve uygulama sıklığı üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada kontrol, % 1, 3 ve 5 biyokömür uygulamasını her yılda 0-20 cm derinliğinde uygulamış ve buna ek olarak % 3 doz uygulamasını bir kez uygulayıp 3 yıl bakiye etkisini araştırmışlardır. Toplam organik C, toplam N, değişebilir Ca, Mg ve alınabilir Fe, Cu, Zn, Mn ve toprak pH’sını inceleyen bu araştırmacılar, biyokömür ilavesinin yüksek dozlarda uygulanması, toprak pH’sının, toprak değişebilir yüzeylerin ve toprak organik maddesinin artmasından dolayı toprakta değişebilir Mg’yi (% 24.2) önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca en yüksek doz uygulamasında (%5) yarayışlı Fe, Mn ve Cu, biyokömür ilavesi, sırasıyla % 39.4, 50.8 ve 30.0 oranında azaldığını belirlemişlerdir. Her yıl yapılan %3 ilavesi Mg’yi önemli ölçüde artırırken, sadece deneme başında bir kez uygulanan %3 ilavesi kontrol ile kıyaslandığında hiçbir fark gözlemlenmemiştir. Her yıl yapılan biyokömür uygulaması, hem bir kez uygulanan parsellere hem de kontrol parsellerine göre yarayışlı Mn ve Cu oranlarını önemli ölçüde azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca biyokömür ilavesinin uygulama dozları ve sıklığının, toprak pH’sını önemli ölçüde arttırdığını bildirmişlerdir. Sonuçlar toprakta değişebilir Mg’nin arttığını, ancak yarayışlı Mn ve Cu hem doz uygulaması hem de uygulama sıklığı konularında azaldığını göstermiştir. Sonuç olarak araştırmacılar, biyokömürün topraktaki katyonları zenginleştirse de, yarayışlı mikro besinlerin eksikliğine neden olabileceğini ve tarımsal ekosistemlerde bitki verimliliğine tehdit oluşturabileceğini rapor etmişlerdir.

Fındık kabuğundan ürettikleri biyokömür, fındık zurufu ve ahır gübresinin toprak pH’sı, organik madde, toprağın makro ve mikro besin element kapsamı üzerine etkilerini araştıran Tarakçıoğlu ve ark. (2019), 0, 3 ve 6 ton da⁻¹ düzeyinde organik materyaller uygulamış ve 30, 60, 90 ve 120 gün süre ile inkübasyona bırakmışlardır. Uygulanan organik materyallerin dozu arttıkça toprağın organik madde, toplam azot, bitkiye yarayışlı fosfor, ekstrakte edilebilir potasyum miktarını ve pH’yı (fındık zurufu hariç) arttırdığı,

bitkiye yarayışlı bakır miktarının azaldığı, demirde ise 6 ton da^{-1} uygulama dozunda azaldığı tespit edilmiştir. Toprağa uygulanan biyokömür dozu artıkça, bitkiye yarayışlı Mn ve Zn konsantrasyonunun azaldığı belirlenmiştir. İnkübasyon süresine bağlı olarak toprakların toplam azot ve organik madde kapsamının nispeten azalma eğilimde olduğu, fakat ahır gübresi uygulamasının organik madde kapsamını arttırdığını tespit etmişlerdir. Mikro elementlerin inkübasyon süresine bağlı olarak azaldığı, toprağın yarayışlı fosfor ve ekstrakte edilebilir potasyum kapsamının sırasıyla arttığını belirlemişlerdir.

Biyokömür uygulamalarında mikroelement ilişkili çalışmalarda son yıllarda ortaya çıkmaktadır. Mikro elementlerin çok sayıda enzimin fonksiyonel, yapısal veya düzenleyici ko-faktörleri olarak önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, Fe ve Mn, enzimlerin işlevinde hücrelerin solunum ve biyosentezinin yanı sıra oksidasyon ve indirgeme aktivatörleri, Zn birçok enzimin ko-faktörü olarak işlev gören hayati rollere sahiptir (Grotz ve Guerinot 2006). Özenç ve ark. (2019) tarafından, fındık zurufu ile fındık kabuğundan üretilen biyokömür, farklı dozlarda (0, 3 ve 6 t da^{-1}) toprağa uygulanmış ve inkübasyona (4 ay) bırakılmıştır. Toprağın organik madde ve toplam azot konsantrasyonu inkübasyon boyunca azalmıştır. Ayrıca yarayışlı fosfor 3 aylık, ekstrakte edilebilir potasyum 2 aylık, demir, bakır, mangan ve çinko kapsamı ise 1 aylık inkübasyon süresinde en yüksek değere ulaşmıştır.

Biyokömür ilavesi ile toprakların daha yüksek pH, toplam C, toplam N, yarayışlı K konsantrasyonuna sahip olduğunu bildirilmiştir (Qiao ve ark., 2020). Buna ek olarak araştırmacılar toplam P ve NO_3^- konsantrasyonlarının biyokömür uygulamasına kıyasla çiftlik gübre uygulamasında daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Biyokömürün gözenekli yapısından ötürü adsorbe yeteneği de çok güçlüdür. Biyokömür uygulamasının topraktaki besin maddeleri üzerindeki etkileri tam olarak anlaşılamamıştır. Biokömürün besin maddelerinin yıkanması üzerindeki etkisini göstermek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yao ve ark. (2012), laboratuvarında üretilen biyokömürün yıkanan sulardaki toplam NO_3^- , NH_4^+ ve PO_4^{3-} miktarını etkili bir şekilde sırasıyla % 34, 34.7 ve 20.6 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada, Laird ve ark. (2010b) ise 20 g kg^{-1} biyokömür uygulamasının, yıkanan su içindeki toplam N ve toplam çözünmüş P konsantrasyonlarını sırasıyla % 11 ve 69 oranında etkili bir şekilde azalttığını

göstermiştir. Tropikal Oksisol toprakları üzerinde yapılan biyokömür uygulaması sonuçları ise, N, Ca, Mg ve K gibi inorganik besinlerin sızmasının toprak derinliğine 0,6 m'ye yükseldiğini ve P yıkanması biyokömür uygulaması ile 1.2 m derinliğe düştüğünü göstermiştir (Major ve ark., 2012).

2.5. Biyokömür Uygulamalarının Toprağın Biyokimyasal Özelliklerine Etkisi

Topraklara biyokömür uygulamasının, taze organik madde ilavesiyle karşılaştırıldığında toprak biota üzerinde farklı etkileri olması muhtemeldir ve bu, toprak mikroorganizma topluluğunun miktarını, aktivitesini ve çeşitliliğini etkileyebilir (Lehmann ve ark., 2011). Farklılıklar, taze organik maddeye kıyasla, biyokömürün göreceli stabilitesi ve biyolojik olarak bulunan karbonun genel olarak bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Biyokömür, yüksek gözenekli doğası nedeniyle mikroorganizmalar için bir habitat konumundadır. Biyokömür parçacıkları üzerindeki veya çevresindeki substrat ve enzim aktivitesini değiştirerek biyolojik işlevselliği değiştirmektedir (Gomez ve ark., 2014). Mikroorganizmalara birincil besin kaynağı sağlamak yerine, topraktaki fiziksel ve kimyasal ortamı iyileştirerek mikroorganizmalara daha uygun bir yaşam alanı sağladığı düşünülmektedir (Lehmann ve ark., 2011). Biyokömür gözenekleri toprak mikroorganizmaları için fiziksel koruma sağlayabilir. Ayrıca biyokömür toprakta tamponlama kapasitesi artırma özelliği taşımaktadır, toprakta meydana gelen kation değişimi sonrasında pH değişikliklerine direnme kabiliyeti sayesinde uygun pH koşullarının korunmasına ve biyokömür parçacıkları içindeki mikro ortamlarda pH dalgalanmalarının en aza indirilmesine yardımcı olabilir (Rousk ve ark., 2010; Sparkes ve Stoutjesdijk, 2011). Biyokömür nispeten kararlıdır ve toprakta uzun bir kalma süresine sahiptir, bu da biyokömürün toprak biotası tarafından iyi bir substrat kaynağı olmadığını gösterir.

Genel olarak hidrotermal biyokömür uygulamaları altında ölçülen enzim aktiviteleri diğer piroliz seçenekleri ile üretilen biyokömür uygulama sonrası ölçülen enzim aktivitelerine kıyasla daha yüksek düzeydedir (Turgay ve ark., 2018). Turgay ve ark. (2018)'na göre, hidrotermal biyokömür az miktarda aromatik yapı ve fazla derecede parçalanabilir karbon çeşidi içerdiği için pirolitik biyokömüre göre mikroorganizmalar tarafından parçalanması

daha kolay ve hızlı olmaktadır (Cao ve ark., 2011). Kolay parçalanabilir karbon fraksiyonları mikrobiyal faaliyeti arttırır ve besin döngüsünü düzenler (Kolb ve ark., 2009; Van Zwieten ve ark., 2009; Novak ve ark., 2010). Biyokömür, toprağın su tutma kapasitesi, havalandırma ve hidrolik iletkenliğini arttırmakta ve biyolojik faaliyetler açısından mikroorganizmalara elverişli bir ortam yaratmaktadır (Glaser ve ark., 2002; Oguntunde ve ark., 2008). Guiotoku ve ark. (2012), 200 °C'de 240 dk'da elde edilmiş hidrotermal biyokömürün çok küçük mikroporlardan oluştuğunu ve bu durumun toprak mikroorganizmalarının gelişmesi açısından önem taşıdığını bildirmiştir.

Stabil C, kömürün kimyasal stabilitesini belirler, kararsız C ise kolaylıkla mineralize olur. Kül bileşeni, biyolojik faaliyetler için toprak besin ağında değerli kaynaklar olan minerallerden (makro ve mikro besinler) oluşur. Bunların ve diğer özelliklerinin, rizosferdeki mikrobiyal topluluğun bileşimini etkilediği de gözlenmiştir. Biyokömür ile ilgili en önemli şey, standart organik materyalin hızla parçalandığı tropik topraklardaki bozulmaya karşı direnci olduğunun düşünülmesidir. Toprak enzimleri, çeşitli topraklarda organik madde ayrışımını ve besin döngüsünü kontrol eder (Paz-Ferreiro ve Fu, 2016; Singh, 2016). Bazı veriler, biyokömürün farklı toprak türlerinde enzim aktiviteleri üzerinde belirsiz etkilere sahip olduğunu göstermektedir (Bailey ve ark., 2011; Awad ve ark., 2012; Paz-Ferreiro ve ark., 2012; Ameloot ve ark., 2014). Kök bölgesindeki bakterilerin salgısı bu ortamda bulunan doğal mikrobiyal toplulukta önemli değişikliklere neden olmakta ve onların aktivitelerini arttırmaktadır. Ayrıca, fosfataz aktivitesinin amplifikasyonu, biyokömürün fosfatın salınımı ve yarayışlılığı üzerindeki uyarıcı etkisine katkıda bulunabilir (Badri ve ark., 2009).

Tavuk altlığından üretilen biyokömürün toprak enzim aktiviteleri, organik madde içeriği ile domates, biber ve marul bitkilerinin büyümesi üzerindeki etkilerini belirlemek için Akça ve Namlı (2015), serada bir saksı çalışması yapmıştır. Çalışmada, kompoze gübre (15.15.15) ile 0, 200, 400 ve 600 kg da⁻¹ dozlarında biyokömürü killi bir toprağa uygulayan araştırmacılar biyokömürü kontrol ve kimyasal gübre ile karşılaştırıldığında toprak organik maddesinin biyokömür uygulaması ile önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Biyokömür uygulamaları ile topraklardaki β -glukosidaz, alkalın fosfataz, üreaz ve arilsülfataz enzim aktivitelerinin de önemli ölçüde ($p<0.05$) arttığını rapor

etmişlerdir. Zhang ve ark. (2014), dört yıl farklı toprak derinliklerinde (0–5, 5–10, 10–20 ve 20–30 cm) ölçülen mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) zamansal ve mekânsal değişim üzerindeki ve buğday samanı kalıntılarının etkilerini incelemişlerdir. Tarla denemesi olarak planladıkları buğday – mısır rotasyonunda dört yıl boyunca kontrol, 4.5 t ha⁻¹, 9.0 t ha⁻¹ dozlarında ve mısır - buğday artıkları uygulamışlardır. Sonuçlar biyokömür uygulamasının toprak MBC'sini kontrol uygulamasına kıyasla önemli derecede arttırdığını ve bu etkinin uygulama oranı ile arttığını göstermiştir. Dört yıllık uygulamadan sonra buğday samanı kalıntılarının biyokömüre kıyasla 9.0 t ha⁻¹ uygulamasında 0-30 cm toprakta MBC'yi arttırdığını, ancak 4.5, t ha⁻¹ doz uygulamasında MBC'yi azalttığı rapor edilmiştir. B4.5 uygulamasında eklenen C miktarı, büyük olasılıkla, saman atığı uygulamasında olduğu gibi MBC'de de benzer bir artışa neden olmazken, B9.0 uygulamasında eklenen C miktarının arttığını rapor etmişlerdir. Toprağa biyokömür ilavesinin CO₂ emisyonları, mikrobiyal biyokütle, toprakta karbon (C), azot (N) ve nitrat-azot (NO₃-N) üzerindeki etkisini araştıran Zavalloni ve ark. (2011), kısa süreli (84 gün) bir inkübasyon çalışmasında kontrol haricinde, %5 biyokömür; % 0.5 buğday samanı; % 5 biyokömür + %0.5 buğday samanı konularını uygulamışlardır. Denemede kullanılan biyokömür, sert bir ağaçtan alınan malzemenin 500 °C'de piroliz edilmesi ile üretilmiştir. Araştırmacılar, biyokömür uygulamasının mikrobiyal biyokütleyi etkilemediğini ve biyokömür uygulamasında solunum miktarının kontrolden yüksek olmasına rağmen, farklılığın önemli olmadığını rapor etmişlerdir.

Toprağa biyokömür ilavesi ile toprakta C miktarı artmakta ve mikrobiyal faaliyetler buna paralel olarak artmaktadır. Fang ve ark. (2019), mikrobiyal topluluk yapısındaki değişim ve biyokömürün nispeten uzun bir süre boyunca özelliğini sürdürmesi ve killi bir toprakta organik karbonun mineralizasyonu tam olarak anlaşılmamıştır. Araştırmacılar, *Eucalyptus saligna* Sm.'den 450°C ve 550 °C pirolizi ile elde edilen biyokömür %2 (w/w) dozu ile şeker pancarı atığı % 0, 1, 2 ve 4 (w/w) dozları uygulayarak iki yıllık bir inkübasyon çalışması yürütmüşlerdir. İki yılın sonunda ölçülen değerlere göre biyokömür ile şeker pancarı atığı kombinasyonu Vertisol toprakta mikrobiyal topluluk üzerinde artış meydana getirmiştir.

Biyokömürün kompost veya vermikompost gibi farklı organik materyaller ile karıştırılarak farklı oranlarda toprağa uygulanması ile inkübasyon süreci boyunca bazı toprak biyolojik özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmalar son zamanlarda artmıştır; çalışmalar gösteriyor ki biyokömür (BK) ve vermikompostun (VK) belli oranlarda karıştırılarak kullanılması toprakta enzim konsantrasyonunu etkilemektedir. Yılmaz ve ark. (2018)'na göre %100 BK ilavesinin dehidrogenaz enzim aktivitesine 20, 40 ve 60 günlük dönemin bir etkisi olmazken %100VK, 75BK +25VK, 25BK+75VK, 50BK+50VK ve 100BK ortamında en etkili olmuştur. Üreaz enzim aktivitesi üzerine aynı ortamın 60 günlük inkübasyon döneminde, toprak organik madde miktarında ise 40 günlük inkübasyon döneminde % 100 BK ortamı ve aril sülfataz enzim aktivitesi 60 günlük inkübasyon döneminde % 50 BK + % 50 VK ortamında en aktif düzeye çıkmıştır. CO₂ üretimi ve organik madde miktarı %100 BK ortamı 60 günlük inkübasyon döneminde, mikrobiyal biyokütle-C ve üreaz enzim aktivitesi yine %100 BK ortamı 60 günlük dönemde etkili olduğunu bildirmişlerdir. Doan ve ark., (2015) kompost, vermikompost ve uygulamalarının toprak kalitesini ve bitki verimini arttırdığını, ancak tropikal ekosistemlerdeki ürün verimi ve çevre üzerindeki uzun vadeli etkileri hakkında özellikle biyokömür hakkında çok az şey bilindiğini vurgulamışlardır. Bu araştırmacılar, Vietnam'da kontrol, organik atıkların (1. manda gübresi, 2. kompost 3. vermikompost) ve biyokömürün (4. Biyokömür 5. Biyokömür + vermikompost) bitki verimi, toprak verimliliği, toprak erozyonu ve su dinamikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Vermikompost, mısır büyümesini ve verimini arttırdığını, ancak etkisinin oldukça küçük ve sadece su kısıtı olduğunda önemli olduğunu bildirmişlerdir. Vermikompost biyokömür karışımı uygulandığında, daha fazla büyüme ve verim artışı kaydetmişlerdir. Biyokömürün vermikompost ile birlikte uygulanmasının toprak C, toplam P ve K içeriği veya yarayışlı K içerikleri üzerinde önemli bir etkisi olmamasına rağmen, toplam N ve yarayışlı P içeriğini önemli ölçüde ($p<0.05$) arttırdığını tespit eden araştırmacılar, biyokömürün tek başına uygulandığında, biyokömürün mısır verimi ve büyümesi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu ve böylece uzun vadeli toprak verimliliğini arttırabildiğini rapor etmişlerdir. Vermikompostun faydalı etkisinin bitki verimi üzerindeki etkisiyle sınırlı olmadığını vurgulayan Doan ve ark. (2015), vermikompost ve kombinasyonunun sadece bitki verimliliğini arttırmakla kalmayacağını, aynı zamanda tarımın su kalitesi üzerindeki olumsuz etkisini azalttığını rapor etmişlerdir.

Yousaf ve ark. (2017), talaştan üretilen biyokömür, pancar posası (pressmud), çiftlik atığı, kompost, lağım atığı (arıtma çamuru) ve tavuk gübresi uygulamalarının toprakta karbonun mineralizasyonu üzerine etkilerini stabil karbon izotopu kullanarak sera koşullarında araştırmışlardır. Sonuçlar, uygulamadan hemen sonra, biyokömürün, C-mineralizasyonunu baskı altında tuttuğunu ve arttırdığını, böylece kontrolle karşılaştırıldığında $0.14-7.17 \text{ mg-CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{-C}$ kaybına neden olduğunu göstermiştir. 120 gün boyunca, biyokömürün, çeşitli biyolojik atık düzenleyicilere kıyasla, toprakta karbon tutma ile toprak karbon stokunu önemli ölçüde arttırdığını rapor etmişlerdir. Tarf (2020) yapmış olduğu çalışmaya göre arıtma çamuru, zeytin posası ve tavuk gübresi atıklarını hidrotermal ve piroliz yöntemi ile biyokömüre dönüştürmüştür. Bu materyalleri % 0, 1, 2 ve 4 dozunda uygulayarak inkübasyon ve sera denemesi kurmuş, inkübasyon denemesinin 120 gününde betaglikosidaz, alkalin fosfataz ve üreaz enzim aktivitelerinde hidrotermal biyokömür uygulamasında, pirolitik biyokömür uygulamasına kıyasla daha yüksek değerler görülürken, sera denemesinde ise sadece alkalin fosfataz enzim aktivitesi hidrotermal biyokömür uygulamasında yüksek değer elde edilmiştir.

Günel ve ark. (2018b), kışlık buğdayda iki yetiştirme dönemi sonrasında B-glukosidaz (BG) enziminin tınlı ve kumlu tın topraklardaki değişimini incelemişlerdir. Denemede iki toprakta, üç biyokömür çeşidini (çeltik kavuzu, mısır koçanı ve fasulye hasat kalıntısı), beş biyokömür dozunda ve beş dozda mineral gübre + sıvı hayvan gübresi ile uygulamışlardır. Mineral gübre uygulamasını her yetiştirme dönemi uygulamış, biyokömürü ise sadece deneme başında uygulamışlardır. İkinci dönemden sonra toprak örneklerini almış ve BGEA değişimini incelemişlerdir. Biyokömür ilavesinin BG enzim aktivitesini düşürdüğünü ve bu düşüşün kumlu topraklarda kumlu tınlı topraklara kıyasla daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, sıvı hayvan gübresi ile birlikte gübre ilavesi ile daha yüksek mineral gübre ile artan BG enzim aktivitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. BG aktivitesinin toprak organik madde parçalanmasındaki önemi göz önüne alındığında, biyokömür uygulaması karbon tutulumunda sürdürülebilir bir artış yolu olarak düşünülebilir. Mineral gübre ilavesi ile sıvı hayvan gübreli biyokömür yüksek mineral gübre dozu ile arttığını ifade ederken, BG aktivitesinin toprak organik madde parçalanmasındaki önemi göz önüne alındığında,

biyokömür uygulaması karbon tutulumunda sürdürülebilir bir artış yolu olarak düşünülebilir.

Foster ve ark. (2016), sınırlı sulamadan kaynaklanan ürün verimi üzerindeki olumsuz etkiyi azaltmak ve su tasarrufu amacıyla Kuzey Colorado'daki mısır tarlasında, büyükbaş hayvan gübresi (30 Mg ha^{-1}) ve çam ağacından hızlı piroliz ile elde edilen biyokömürün (30 Mg ha^{-1}) toprağın nemi ve besinleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada büyükbaş hayvan gübresi uygulamasının toplam azotu %10, alınabilir fosfor içeriğini %45 ve mikrobiyal biyokütle karbonunu %15 oranında artırdığı; biyokömür uygulamasının ise kontrole kıyasla toplam toprak karbonunu %80 arttırdığı belirlenmiştir. Biyokömür alfa-1.4-glukozidaz, beta-D sellobidro hidrolaz ve beta-1.4-N-asetil glukozaminidaz enzim aktivitelerini önemli ölçüde arttırırken; beta-1.4-glukozidaz ve fosfataz enzim aktivitelerini ise önemli ölçüde ($p<0.05$) azalttığı rapor edilmiştir. Uygulamaların toprak nemi, besin yarayışlılığı ve mikrobiyal dinamikleri üzerindeki etkilerine rağmen, sınırlı sulama altında mısır verimini önemli ölçüde etkilemediği belirlenmiştir.

Brezilya'da bir Oxisol toprakta biyokömürün mikrobiyal özellikler ve organik karbon üzerindeki kısa ve orta vadeli etkisi araştırılmıştır (Petter ve ark., 2019). Mineral gübreli ve gübresiz beş ayrı dozda ($0, 2, 4, 8$ ve 16 Mg ha^{-1}) ve 200 kg ha^{-1} sentetik gübre NPK (0-20-20) konularını uygulayarak mikrobiyal biyokütle karbonu, mikrobiyal solunum, organik karbonu incelemişlerdir. MBC'nin, gübre dozlarıyla değişmediğini belirten Peter ve ark. (2019), biyokömür uygulaması ile mikrobiyal özellikler, altı yıllık uygulamadan sonra farklı değişimler gösterdiğini bildirmişlerdir. MBC etkilenmezken, her ne kadar mikrobiyal biyokütle tarafından olumlu bir şekilde etkilenmemiş olsa da, biyokömür uygulanması toprağın organik karbon içeriğini arttırdığını vurgulamışlardır. Biyokömür uygulamasının toprak mikrobiyal özelliklerini ve organik madde durumunu iyileştirebileceği için önemli bir materyal olduğunu öne süren Petter ve ark. (2019), bu çalışmanın toprakta kullanım için en uygun bir biyokömür oranı bulmamış, ancak biyokömürün toprak özellikleri ve bitki verimi üzerindeki etkisini uzun vadeli olarak doğrulamak için daha ileri çalışmalar yapılması gerektiğini rapor etmişlerdir.

Nyambo ve ark. (2018), yapmış oldukları bir inkübasyon çalışmasında Hutton'ın asitli topraklarında mısır artıklarından elde ettikleri biyokömürün toprak özellikler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Biyokömür oranları % 0, 2,5, 5, 7.5 ve 10 dozu olarak eklenmiş topraktan 140 gün boyunca 20 gün aralıkla örnek almışlardır. Biyokömürün kontrol uygulamasına göre toprak fiziko kimyasal özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini, 140 gün sonra, toprak pH'sını 0.34 ila 1.51, toprak organik karbonu % 2.2 ila 2.34, mikrobiyal aktiviteyi ise 496 ila 1615 mg kg⁻¹ arttırdığını bildiren Nyambo ve ark. (2018), mısır artığından üretilen biyokömür uygulamasının toprak özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermişlerdir. Fındık zurufu ile fındık kabuğundan üretilen biyokömür farklı dozlarda (0, 3, 6 t da⁻¹) toprağa uygulanmış ve inkübasyona (4 ay) bırakıldıktan sonra toprağın biyolojik özelliklerinden β -glukosidaz enzim aktivitesi dışında, CO₂, 1 aylık, mikrobiyal biyokütle-C değeri ise 2 aylık inkübasyon döneminde biyokömür uygulamasının daha etkili olduğunu vurgulamışlardır (Özenç ve ark., 2019). Tüm veriler değerlendirildiğinde, incelenen materyallerin toprak özelliklerini iyileştirdiği ve 3 ton da⁻¹ dozunun yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Buna ek olarak, kısa süreli etki bakımından fındık zurufu ön plana çıkarken, biyokömürün daha uzun dönemde etkisinin araştırılması gerektiği rapor edilmiştir.

Biyokömür bitki büyümesini ve toprak kalitesini iyileştirmede hayati bir değişiklik olarak kabul edilir. Yapılan bir başka araştırmada (Mohamed ve ark., 2017) mikro elementli veya mikro elementsiz besin elementi uygulaması ile soya fasulyesi artığından elde edilen biyokömürün toprak mikrobiyal ve kimyasal özellikleri, baklanın (*Vicia faba* L.) büyümesi, verimi ve tohumdaki besin elementleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, dehidrogenaz (DEA) ve fosfataz (P-ase) aktivitelerinin, mikro elementlerin eklenmesiyle biyokömür oranlarındaki artışla belirgin şekilde iyileştiğini ve en yüksek değerlerinin 90 gün sonra kaydedildiğini göstermiştir. Ayrıca, biyokömürün mikro elementlerle kombinasyonu mikrobiyal sayımlarda önemli değişikliklere neden olmuştur. Genel olarak, biyokömür bakla tohumlarının büyüme kalitesini arttırmanın yanı sıra toprak özelliklerinin iyileştirilmesindeki potansiyelini ve rolünü göstermektedir.

2.6. Biyokömür Uygulamalarının Bitki Verimine Etkisi

Biyokömür uygulamasının ürün verimine etkisi ile ilgili yayınlanan araştırma sonuçlarını inceleyen Spokas ve ark. (2012), çalışmaların yaklaşık %50'sinde biyokömür uygulamasının verim ve bitki gelişimine kısa süreli pozitif etki ettiğini, %30'unda önemli bir farklılığın görülmediğini ve %20'sinde ise bitki gelişimi ve verim üzerine negatif bir etki olduğunu rapor etmişlerdir. Toprağa biyokömür ilavesinin sonucu olarak çok çeşitli ürünler için hem pozitif (Yamato ve ark., 2006; Chan ve ark., 2008a; 2008b; Blackwell ve ark., 2015) hem de negatif (Deenik ve ark., 2010) verim tepkileri rapor edilmiştir. Örneğin, biyokömür ilavesi sonucunda mısır verimi % 98-150 ve su kullanım etkinliği % 91-139 artmış (Uzoma ve ark., 2011), buğday verimi, okaliptus biyokömürü kullanımından % 18 artmış (Solaiman ve ark., 2010) ve yer fıstığı verimi, biyokömür ve birlikte biyokömür-kompost uygulamalarından %23 ve 24 artmıştır (Ageghehu ve ark., 2015). Genel olarak, yayınlanmış birçok bilimsel çalışmada ortalaması alınan biyokömür, ürün verimini yaklaşık % 20 artırır ve biyokömür uygulama oranları genellikle 10 t ha⁻¹'in üstündedir. Ayrıca, 5 t ha⁻¹'dan daha az biyokömür uygulamalarının, bazı toprak türlerinde ürün verimini % 50'nin üzerinde arttırabileceği bildirilmiştir. Verimler muhtemelen toprağa uygulanan değişikliğin türüne ve oranına ve ayrıca toprak C, pH, KDK ve toprak verimliliğinin diğer bileşenleri gibi toprak özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Uygulama türüne göre farklı toprak verimliliği uygulamalarının toprak biyofiziksel ve kimyasal özellikleri ile erken bitki büyümesi ve gelişmesi üzerindeki etkileri bakımından farklılık göstermesi beklenmektedir (Lehmann ve ark., 2003a; Schulz ve ark., 2013).

Topraklardan besin maddelerinin yıkanması toprak verimliliğini azaltabilir, toprak pH'sını düşürebilir, çiftçiler için gübre maliyetini arttırabilir, ekin verimini azaltabilir ve en önemlisi çevre sağlığı için bir tehdit oluşturabilir. Besin elementi yıkanmasını azaltmak için bir seçenek, topraklara biyokömür uygulanması olabilir. Brezilya karabiber bitki artığı ve fıstık artığı biyokömürü uygulanmıştır. Sızan sularda toplam nitrat, amonyum ve fosfat miktarını kontrol parsellerine göre sırasıyla % 34, 34.7 ve 20.6 oranında azaltmıştır. Benzer şekilde, fıstık kabuğu biyokömürü nitrat ve amonyumun yıkanmasını sırasıyla % 34 ve 14 oranında azaltmıştır (Yao ve ark., 2012).

Biyokömürün ürün verimi üzerine etkisini incelemek amacı ile pek çok sera ve tarla çalışmaları yürütülmüştür (Yamato ve ark., 2006; Chan ve ark., 2008a; 2008b). Çalışmaların çoğunda biyokömür ilavesinin ürün verimini arttırdığı rapor edilmiştir. Örneğin yeşil atıklardan elde edilen biyokömürün kullanıldığı bir saksı denemesinde uygulamanın bitki verimini arttırdığı ve toprak kalitesini iyileştirdiği gözlenmiştir (Chan ve ark., 2008b). Biyokömür uygulamasının bitkinin verim tepkisi de bitki tipine göre değişmektedir. Genel olarak baklagiller, sebzeler ve otlara yapılan uygulamalarda daha olumlu tepkiler alınmaktadır. Biyokömür uygulamaları ile verimdeki ortalama artış, baklagiller, sebzeler ve otlar için sırasıyla % 30.3, 28.6 ve 13.9 ile mısır, buğday ve pirinç için sırasıyla % 8.4, 11.3 ve 6.6 oranında olduğu rapor edilmiştir (Liu ve ark., 2013). Tarla denemelerinde de sera denemelerine benzer şekilde uygulamalarının ürün verimini arttırdığı belirlenmiştir. Uygulamalarının etkinliği kullanılan biyokömürün kalitesi, ilave edilen biyokömürün miktarı, toprak tipi ve uygulama yapılan bitkiye bağlı olarak değişmektedir (Zheng ve ark., 2010).

Biyokömür uygulamalarının yanında inorganik gübre takviyesi ile biyokömürün verim üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Buğday verimi, biyokömür ve çeşitli inorganik gübre kombinasyonlarının uygulanmasıyla artmaktadır. Ayrıca, önerilen makro ve mikro besin maddelerinin biyokömür ve takviyesi, verimi sadece önemli ölçüde arttırmakla kalmamakta, aynı zamanda toprak özelliklerini de geliştirmektedir (Ahmad ve ark., 2016). Çalışmalar biyokömürün büyük ölçekli spektrumda politika konusu olarak ve buğday vb. bitki üretimini ve toprak özelliklerini iyileştirmek için yeni bir yaklaşım olarak kullanılmasını öneren bir temeldir. Çeltik kavuzu biyokömürünün sebze verimi üzerindeki etkileri çok az bilinmektedir. Sebze verimi açısından yüksek uygulama dozu etkileri ise bilinmemektedir. Önceki bazı araştırmalar, biyokömürün en büyük pozitif etkisinin 100 Mg ha⁻¹ uygulama oranında görüldüğünü (Sokchea ve ark., 2013) ve tropik ortamdaki topraklar üzerinde 140 Mg ha⁻¹'e kadar biyokömür uygulamasının kontrole göre daha iyi ürün verimi sağladığını göstermektedir (Lehmann ve ark., 2006). Öte yandan, bazı çalışmalar toprağa çok fazla biyokömür eklenirse verimin kontrole göre azaldığını göstermektedir (Asai ve ark., 2009; Hammond ve ark., 2013).

Kumlu ve kumlu tın toprakta iki deneme yürüten Revell ve ark. (2012), tavuk gübresinden (450 °C) elde ettikleri biyokömürü ilk olarak 0'dan %100'e kadar biyokömür ilave ederek marul tohumlarının çimlenme oranlarını araştırmış ve ikinci olarak ise kumlu ve kumlu tınlı toprağa ağırlıkça % 0, 0.5, 1, 2.5 ve 5 oranlarında biyokömür uygulamış ve toprak özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Biyokömür uygulaması marul çimlenmesini yaklaşık %50 arttırmış, ancak muhtemelen tuz toksisitesinden dolayı her iki toprakta da %2.5'ten fazla dozdaki biyokömür uygulaması toksik etki göstermiştir. Öte yandan biyokömür ilaveleri ile su tutma kapasitesi doğrusal olarak artmıştır. Örneğin, %15 biyokömür eklenmesi ile kumlu tın toprakta yürütülen denemede su tutma kapasitesi yaklaşık iki katına (% 15'ten % 27'ye) çıkmıştır.

Kanada'nın Saskatchewan eyaletinde kahverengi ve siyah çernozyem toprağına üç farklı oranda (0, 1 ve 2 t ha⁻¹) uygulanan biyokömürün, kanola ve buğdayın büyümesi ve gelişmesi incelenmiştir (Ahmed ve Schoenau, 2015). Araştırmacılar, buğday samanı, keten ve söğüt atıklarından beş farklı tipte biyokömür elde etmişlerdir. Biyokömürler, ince parçacıklı buğday samanının hızlı pirolizi, ince parçacıklı keten atığının hızlı pirolizi, ince parçacıklı söğüdün yavaş pirolizi, kaba parçacıklı söğütün yavaş pirolizi ve kaba parçacıklı buğday samanının yavaş piroliz ile elde edilmiştir. Ayrıca, azot ve fosforlu gübre içeren/içermeyen 100 kg N ha⁻¹ ve 25 kg P₂O₅ ha⁻¹ uygulamaları da araştırmaya dahil edilmiştir. Hızlı piroliz buğday samanı ince fraksiyonu ve söğüt ince fraksiyonlu biyokömürlerin Kara çernozyom toprağına eklenmesi, kanola biyokütle veriminde önemli artışlara neden olurken, diğer biyokömür konularının etkisi önemsiz düzeyde kalmıştır. Kahverengi çernozyom toprağında ise biyokömür uygulamalarında önemli bir etki gözlemlenmemiştir. Sadece 1 t ha⁻¹ ilave edilen keten samanı ince yapılı biyokömürün buğday verimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Biyokömür, azot ve yarıyışlı fosfor miktarını değiştirmemesine rağmen, pH, EC ve OC miktarını nispeten değiştirmiştir. Yapılan çalışmada 1 t ha⁻¹ ve 2 t ha⁻¹ dozunda biyokömür uygulamalarının bitki büyümesi veya toprak özellikleri üzerinde büyük etkisi olmayacağı rapor edilmiştir.

Buğday samanından 450 °C'de ürettikleri biyokömürü mono kültür mısır, soya, mısır + soya münavebesi (A denemesi), ayrı bir deneme olarak yine mono kültür mısır, yer fıstığı,

mısır + yer fıstığı münavebesi (B denemesi) ile incelemek için Liu ve ark. (2017a), biyokömürü 0, 20, 40 t ha⁻¹ oranlarında uygulamışlardır. Bitkilerin tarla koşullarında verimleri ve besin alımı üzerindeki etkilerini araştıran Liu ve ark. (2017a), biyokömür uygulamalarının doz artması ile birlikte, hem mısır + soya fasulyesi hem de mısır + yerfıstığı münavebe sistemlerinde, tek ürünlere göre verim avantajını önemli ölçüde arttırdığını rapor etmişlerdir. Bu kapsamda, biyokömür materyali % 0, 0.2, 0.4, 0.6, 1.2 ve 2.4 dozlarında uygulamışlardır. Alınan örneklerde, organik madde (OM) gibi bazı toprak özelliklerinin sonuçlarına göre artan doza bağlı değerlerde artış olduğunu vurgulayan Saygan ve Aydemir (2016), örnekleme zamanı bakımından ise OM dışındaki tüm sonuçlarda artan süreyle değerlerin yükseldiğini tespit etmişlerdir. En yüksek değer 180. gün % 2.4 uygulamalarında, en düşük ise 15. gün % 0 uygulamalarında belirleyen araştırmacılar, organik madde için en yüksek değer 15. gün % 2.4 ve en düşük değerin 180. gün % 0 uygulamalarında görüldüğünü rapor etmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada okaliptustan elde ettikleri biyokömürü 0, 8, 16 ve 32 t ha⁻¹ + NPK (05.25.15) dozlarında kumlu tınlı toprağa ilave eden Petter ve ark. (2012), biyokömür uygulamasının toprakların verimini arttırdığını, yüzey toprağı katmanında ve ilavesinden sonraki ilk yıl içinde en büyük etkiye sahip olduğunu ve okaliptüs biyokömürünün toprak kimyasal özellikleri üzerinde düşük kalıntı etkisi gösterdiğini vurgulamışlardır. Okaliptüs biyokömürü, uygulanmasının ilk yılından itibaren çeltik verimini olumlu yönde etkilediğini bildiren araştırmacılar, çeltik büyümesi ve kuru madde birikimi için, okaliptüs biyokömürünün ikinci yılda gübre ile pozitif bir kombine etkisi olmaya başladığını rapor etmişlerdir.

Biyokömürün uzun vadeli etkilerini araştırmak için, Kätterer ve ark. (2019), 2006 yılında Kenya'daki üç arazide bir tarla denemesi kurmuşlardır. Araştırmacılar, Akasyadan (*Acacia spp.*) üretilen biyokömür uygulandıktan (10 ton ha⁻¹) sonra 10 yıl boyunca biyokömürün bitki verimi ve toprak özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Mısır (*Zea mays* L.) ve soya fasulyesi (*Glycine max* L.) verimi ve toprak özelliklerini; dört farklı konu ile (kontrol, gübresiz, gübreli ve gübreli + biyokömür) rotasyon halinde incelemişlerdir. Biyokömür ilavesi ile toprak gözenekliliği, pH, bitkide fosfor ve toprakta su tutma kapasitesinin arttığını bildirmişlerdir. Bitki verimi, biyokömüre olumlu cevap

vermiştir. Biyokömür uygulamasına bağlı olarak verim artışı, gübrelemeden bağımsız olarak mısır için ortalama 1.2 ton ha⁻¹ ve soya fasulyesi için 0.4 ton ha⁻¹ civarında olmuştur. Mineral gübre uygulanması, mısır verimini 1.6 ton ha⁻¹, mineral gübre uygulanmayan parsellerde ise soya verimini 0.6 ton ha⁻¹ arttırdığını, bunun da bir bakiye etkisi örneği olduğunu araştırmacılar vurgulamıştır. Araştırmacılar, toprağa biyokömür ilavesinin mısır ve soya fasulyesi verimi üzerindeki etkisi 10 yıllık bir süre boyunca devam ettiğini rapor etmişlerdir.

Son çalışmalar, biyokömür ilavesinin, biyokömürü tarım için değerli bir kaynak olarak değerlendirmede kritik faktör olan ürün verimi üzerindeki etkisini ayrıntılı olarak gözden geçirmiştir (Crane-Droesch ve ark., 2013; Mukherjee ve Lal, 2014). Yavaş piroliz biyokömürünün (zeytin ağacı budamalarından üretilen) Vertisol bir toprağa ilavesinin (40 t ha⁻¹) toprak özellikleri üzerine etkileri ve buğday (*Triticum durum* L.) verimi tarla koşullarında incelenmiştir. Biyokömür ilavesi, pH, organik C ve N, amonyum, nitrat ve mikrobiyal biyokütle N gibi toprak parametrelerini önemli ölçüde etkilememiştir. Buna karşılık, biyokömür ilavesi, toprak sıkışmasını azaltmış, toprak su tutma kapasitesini ve besin içeriğini (toplam N ve yarıyışlı P, K, Mg, Cu ve Zn) arttırmıştır. Bu olumlu değişiklikler ince kök çoğalmasında bir artışa yol açmış ve bitki gelişimini desteklemiştir. Sonuç olarak, biyokömür uygulanmış parsellerdeki bitkiler, kontrol parsellerine göre daha yüksek nispi büyüme ve net asimilasyon oranları, yer üstü biyokütle ve verim artışı göstermiştir. Ne buğday kalitesinin ne de besin içeriğinin biyokömür ilavesinden önemli ölçüde etkilenmediğini belirten Olmo ve ark. (2014), biyokömürün tarım topraklarında toprak düzenleyici olarak kullanılmasının toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirebileceğini, verimliliği arttırabileceğini ve bitki gelişimini desteklediğini rapor etmiştir. Yapılan çalışmalar gösteriyor ki biyokömür toprak verimliliğini olumlu etkilediğini ve bunun verim üzerinde önemli etkisi olan tek faktör olduğu sonucuna varılabilir (Petter ve ark., 2012). Yapılan meta analiz çalışmalarında bitki verimine tepkileri de bitki tipine göre değişmektedir. Genel olarak baklagiller, sebzeler ve otlarla yapılan denemelerde daha büyük olumlu tepkiler alınmıştır.

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanı

Tarla denemeleri, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'ne ait Bafra Deneme İstasyonu araştırma ve uygulama arazilerinde yürütülmüştür. Bafra Ovası 40° 26' ve 41° 45' kuzey enlemi ile 35° 30'' ve 36° 11' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yaklaşık 65000 ha genişliğindeki ova, Samsun ilinin 20 km batısındaki Çakırlaraltı mevkiinden başlayıp batıda Yakakent ilçesine kadar devam etmektedir. Kuzeyinde Karadeniz güneyinde Canik Dağları yer alan ve ortasından Kızılırmak nehrinin geçtiği ova, Bafra ilçesinde yer almaktadır (Anonim, 1970).

3.1.2. Arazinin jeolojisi

Bafra ovasının önemli bir kısmı, Kızılırmak nehrinin binlerce yılda depoladığı alüviyal materyaller üzerinde gelişmiş topraklardan oluşmuş taban arazisi konumundadır. Ova toprakları; taban ve yamaç araziler olmak üzere iki ayrı grupta incelendiğinde; taban arazi toprakları IV. Jeolojik zamanında oluşmuş alüvyonlar üzerinde gelişmişlerdir. Ovanın yamaç arazilerinde, Neojen dönemine ait rusubi kayalar ve Eosen dönemine ait filişler üzerinde oluşmuş topraklar yer almaktadır. Araştırmanın yürütüldüğü araziler, Alüviyal büyük toprak grubuna girmektedir (Anonim, 1970).

3.1.3. Çalışma alanının iklimi

Serin yarı nemli, yazları sıcak ve kurak, kışları serin ve yağışlı bir iklim yapısına sahip olan Bafra ovasının iklimi, genel olarak Karadeniz Bölgesinin tipik iklim özelliklerini yansıtmaktadır. Yağışların çoğu sonbahar ve kış aylarında düşmekte olup ilkbahar ve yaz ayları ise daha az yağışlıdır.

Çizelge 3.1. Bafra deneme istasyonuna ait iklim verileri (Anonim, 2019)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2014	Sıcaklık °C	8.5	8.4	9.7	11.9	16.8	21.0	24.4	25.2	20.5	16.0	11.3	9.9
	Yağış mm	9.00	24.00	43.60	18.00	50.60	28.80	12.40	36.20	48.00	62.60	95.80	83.00
2015	Sıcaklık °C	5.7	7.5	7.8	10.2	16.0	20.4	23.3	25.0	22.5	16.1	13.1	6.2
	Yağış mm	65.60	74.00	52.60	47.60	15.80	40.50	0.60	21.50	25.10	124.70	25.40	144.40
2016	Sıcaklık °C	5.3	9.9	9.7	13.6	15.8	21.5	23.3	24.5	19.8	14.3	11.2	3.9
	Yağış mm	98.10	29.00	64.20	53.40	163.50	20.80	53.20	24.70	72.10	35.60	83.80	173.20
2017	Sıcaklık °C	4.3	6.0	9.1	9.9	15.0	20.3	23.5	24.5	21.3	15.4	11.8	10.6
	Yağış mm	60.60	36.60	56.40	63.00	54.00	44.40	0.00	32.60	19.60	21.00	59.80	136.40
2018	Sıcaklık °C	7.32	8.65	10.35	12.64	17.72	22.11	24.29	24.32	20.38	17.18	11.72	8.15
	Yağış mm	47.00	37.80	98.00	13.40	6.00	2.80	10.20	37.00	83.80	60.40	47.40	82.60

3.1.4. Denemede kullanılan biyokömür kaynağı

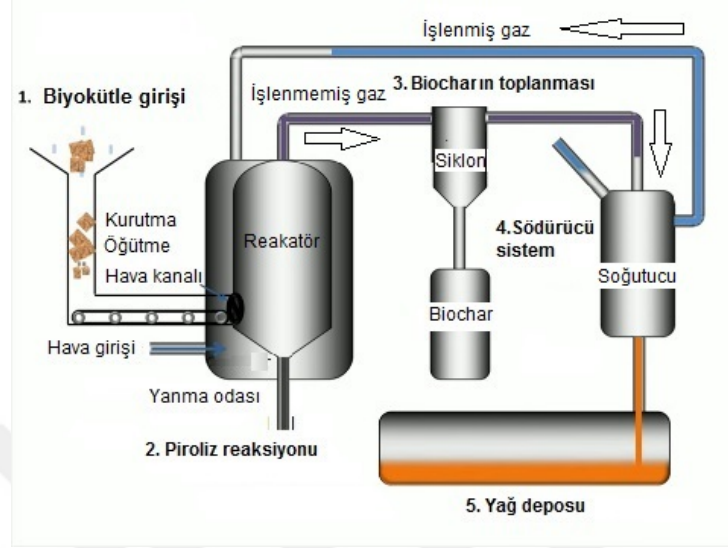
Denemede biri hayvansal ve diğeri bitkisel kökenli olmak üzere iki ayrı tarımsal atık kullanılmıştır. Çakılı olarak tesis edilen denemede, tavukçuluk işletmelerinde ortaya çıkan tavuk atığı (dışkı) ile orta Karadeniz bölgesinde yoğun bir şekilde üretimi yapılan çeltiğin işleme atığından (kavuz) üretilen biyokömürün rotasyondaki bitkilerin verimi ve toprağın kalite parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 3.1. Denemede kullanılan biyokömür kaynağı ve piroliz işlemi sonrası elde edilen ürün

Çeltik kavuzu, çeltik işleme fabrikasından temin edilmiş ve piroliz (400 °C) işlemine tabi tutulmuştur. Tavuk gübresi biyokömürü ise ticari bir enerji üretim tesisinden biyokömür halinde alınmıştır. Tavuk gübresinin piroliz işlemi de 400 °C’de gerçekleştirilmiştir.

Biyokütlenin biyokömüre dönüşmesi için geçen piroliz aşamaları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Biyokömür elde edilmesinde kullanılan pirolizin işlem şeması

Piroliz işlemi sonrasında biyokömür materyallerinin bazı kimyasal özellikleri ve element içerikleri belirlenmiş ve Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Biyokömür materyallerin bazı özellikleri

	pH	EC	C	N	C/N	P	K	Fe	Cu	Zn	Mn
		dS/m	%			mg kg ⁻¹					
ÇK	10.20	3.29	61.7	0.45	137.1	92.18	3898	288.1	11.5	42.0	241.9
TG	11.57	4.98	58.8	0.88	66.8	25988.08	43258	1876.9	142.9	668.0	1120

(ÇK: çeltik kavuzu biyokömürü, TG: Tavuk gübresi biyokömürü)

Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Bafra istasyonu deneme alanının çeşitli fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri uygulama öncesinde belirlenmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	pH	EC	Kireç	Org. Mad.	Kum	Kil	Silt
Birim		µS/cm	%				
	7.74	353	7.45	2.01	17.7	47.5	34.8
Özellik	N	P	K	Fe	Cu	Zn	Mn
Birim	%	mg kg ⁻¹					
	0.14	21.1	267	19.40	6.07	0.83	19.3

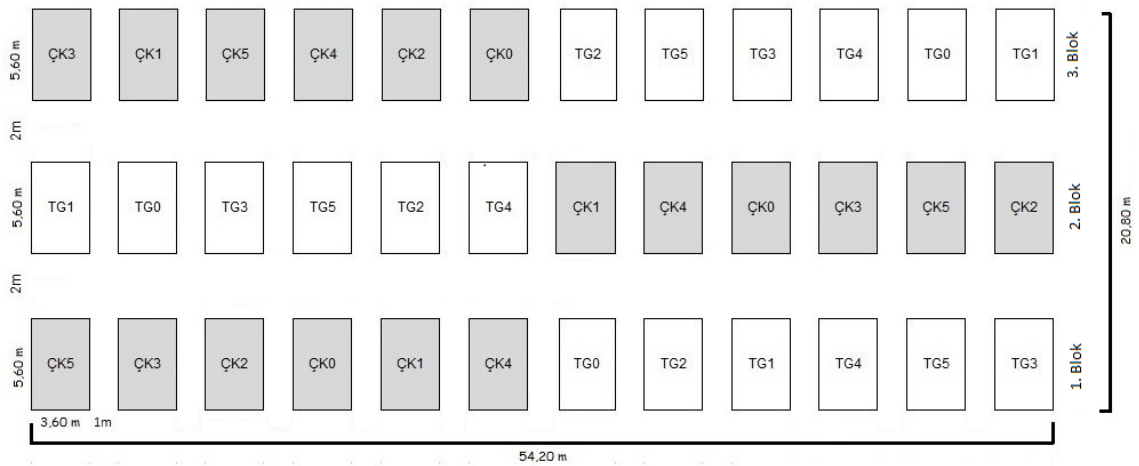
Denemede, Bafra ekolojik koşullarında üreticilerin yaygın olarak kullandıkları münavebe sistemi uygulanmıştır. Münavebede, ekmeklik buğday (Canik 2003), kırmızı lahana

(Caballero F1) ve salçalık kırmızı biber (Yalova yağlık 28) kullanılmıştır. Canik 2003 buğday çeşidi, orta geçici bir çeşit olup, başak rengi beyaz, uzun, kılçıklı ve kırmızı-sert tanelidir. Caballero F1 kırmızı lahana çeşidinin olgunlaşma süresi 130-140 gündür. Meyve baş yapısı oval silindirik olup mumsu tabaka mevcuttur. Yalova yağlık 28 kırmızı biber çeşidi, bodur görünümlü bir bitki olup alçaktan dallanır, bol yapraklıdır ve orta erkenci çeşittir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Denemenin kurulması

Deneme, çeltik kavuzu ve tavuk gübresi biyokömür uygulamalarının yer aldığı ana parseller ve 6 farklı biyokömür dozların yer aldığı (0 (kontrol), 1, 2, 3, 4 ve 5 ton/da) alt parsellerde yürütülmüştür. Deneme tesadüf bloklarında bölünmüş parseller desenine göre kurulmuştur (Şekil 3.3). Çalışma, 3 tekerrürlü olarak çakılı deneme şeklinde 4 yıl boyunca yürütülmüştür. Biyokömürün bitki gelişimini üzerine etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda, yaygın biyokömür uygulama oranlarının 10 ile 20 Mg ha⁻¹ arasında olduğu, ancak 50 ile 100 Mg ha⁻¹ gibi daha yüksek oranlar da uygulama yapanların da olduğu bildirilmiştir (Jeffery ve ark., 2011).



Şekil 3.3. Çalışma alanına ait deneme planı (ÇK: Çeltik kavuzu biyokömürü, ÇK0: 0t da⁻¹ (Kontrol), ÇK1:1t da⁻¹, ÇK2:2t da⁻¹ ÇK3:3t da⁻¹ ÇK4:4t da⁻¹ ÇK5:5t da⁻¹; TG: Tavuk gübresi biyokömürü, TG0: 0t da⁻¹ (Kontrol), TG1:1t da⁻¹, TG2:2t da⁻¹ TG3:3t da⁻¹ TG4:4t da⁻¹ TG5:5t da⁻¹)

Biyokömür çeşitleri, arazi yüzeyine uygulanmış ve bir diskaro yardımı ile toprağın ilk 15 cm derinliğine karıştırılmıştır (Şekil 3.4). Denemede, Bafra ovasında yaygın olarak kullanılan buğday - kırmızı lahana - salçalık kırmızı biber münavebesi uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Deneme alanına biyokömür uygulaması

Çeltik kavuzu ve tavuk gübresi biyokömürlerinin yer aldığı ana bloklar parsellere ayrılmış ve biyokömür uygulaması öncesinde her parselden 0-20 cm derinliğinde bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri (03.11.2014) alınmıştır. Biyolojik analizler için alınan toprak örnekleri soğuk zincirde taşınarak laboratuvara getirilmiştir. Sonra ise biyokömür, belirtilen doz ve şekilde deneme alanına (13.11.2014) homojen olarak uygulanmıştır (Şekil 3.4). Her iki münavebe döneminde de buğday, kırmızı lahana ve kırmızı biber bitkilerinin gelişimi için gerekli olan besin elementlerini belirlemek için toprak analizi yapılmıştır. Birinci münavebe dönemi sonrası (22.09.2016) ve ikinci münavebe dönemi sonrası (26.09.2018) toprak örnekleri alınmıştır.

3.2.2. Bitkisel üretim ve kültürel işlemler

Buğday Denemesi

Denemede kullanılan Canik 2003 ekmeklik buğday ekimi mibzer ile sıra arası 20 cm olacak şekilde yapılmış ve metrekaresine 500 bitki hesabına göre tohum kullanılmıştır. Buğday için parsel genişliği $3.6 \times 5.6 = 20.16 \text{ m}^2$ olup hasat işlemi $2.6 \times 4.6 = 11.96 \text{ m}^2$ 'lik alanda gerçekleştirilmiştir.

Temel gübreleme olarak, buğday bitkisi için önerilen ve toprak analiz sonuçlarına göre azot 16 kg/da dozunda verilmiş, azotun yarısı ekimle beraber verilmiş, diğer yarısı ise bitkiler sapa kalma döneminde iken verilmiştir. Deneme alanı topraklarının analiz sonuçlarına göre P ve K konsantasyonları yeter düzeyde olmasından dolayı bu elementlerin gübrenmesine gerek duyulmamıştır. Temel gübrelemede azotkaynağı olarak amonyum sülfat ((NH₄)₂SO₄ -%21N, %24 S)gübbresi kullanılmıştır. Yabancı ot mücadelesi için dar yapraklılara % 6.75 Propoxycarbazone-sodium + % 4.5 Mesosulfuron-methyl etken maddeli herbisit uygun dozda kullanılmıştır. Külleme hastalığına karşı, 160 g/l Prothioconazole + 300 g/l Spiroxamine etken maddeye sahip fungusit kullanıma uygun dozunda uygulanmıştır. Buğdayların tam olum evresinde her parselin yanlarından ve başlarından kenar tesiri olarak belirlenen 50 cm'lik alan elle biçilmiştir. Sonrasında ise ortadaki alan parsel biçerdöveri (Hege) ile biçilerek hasat tamamlanmıştır. Deneme sonunda hasat zamanı buğdayda tane verimi dekara verim (kg) belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. Buğday üretimde yapılan uygulamalar ve uygulama tarihleri

1. Münavebe	Yapılan uygulama	Tarih	Uygulama şekli
	Buğday ekimi	14.11.2014	m ² 'ye 500 tohum olacak şekilde.
2. Münavebe	Gübreleme	14.11.2014- 20.03.2015	Tohum ile ve üst gübre şeklinde
	İlaçlama	13.04.2015	Sırt Pulverizatörü ile
	Buğday hasatı	14.07.2015	Parsel biçer döveri ile
	Buğday ekimi	23.11.2016	m ² 'ye 500 tohum olacak şekilde
2. Münavebe	Gübreleme	22.11.2016 - 18.03.2017	Tohum ile ve üst gübre şeklinde
	İlaçlama	19.04.2017	Pulverizatör ile
	Buğday hasatı	18.07.2017	Parsel biçer döveri ile



Şekil 3.5. Ekmeklik Buğday (Canik 2003) ekim, yetiştirme ve hasat görüntüleri

Kırmızı Lahana Denemesi

Denemede kullanılan kırmızı lahana fidelerinin dikim işlemi için oluşturulan parsellerin genişliği $3.5 \times 5.60 = 19.6 \text{ m}^2$ olup, hasat işlemi: $2.1 \times 4.9 = 10.29 \text{ m}^2$ 'lik bir alanda gerçekleştirilmiştir. Lahana dikiminde sıra arası 70 cm, sıra üzeri 35 cm olacak şekilde, fideler 3-4 yapraklı olduğu dönemde tarlaya dikim yapılmıştır.

Buğday hasadından sonra alınan toprak örneklerinde yapılan verimlilik analizleri sonucuna göre temel gübreleme olarak, kırmızı lahana bitkisi için önerilen azot 14 kg/da dozunda verilmiş, azotun yarısı ekimle beraber verilmiş, diğer yarısı ise bitkilerin baş bağlama döneminde iken verilmiştir. Deneme alanı topraklarının analiz sonuçlarına göre P ve K konsantasyonları yeter düzeyde olmasından dolayı bu elementlerin gübrelenmesine gerek duyulmamıştır. Temel gübrelemede azot kaynağı olarak amonyum sülfat $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - \%21\text{N}, \%24 \text{ S})$ gübresi kullanılmıştır. Bitki vejetasyon dönemi

boyunca tırtıl ve salyangoza karşı ilaçlı mücadele yapılmıştır. Tırtıl için *imidacloprid*, salyangoz mücadelesi için ise *metaldehyde* etkili maddeye sahip ilaç kullanıma uygun dozda uygulanmıştır. Bitki dikimindeki can suyu uygulaması yağmurlama sulama metodu ile yapılmıştır. Hasat olgunluğuna gelen kırmızı lahanalar elle kesilerek hasat edilmiştir. Her parselin başı sonu ve kenarlarından birer sıra bitki kenar tesiri olarak bırakılarak hasat edilmiştir. Deneme sonunda hasat zamanı kırmızı lahana baş verimi dekara verim (kg) belirlenmiştir.

Çizelge 3.5. Denemede kırmızı lahana üretimi için yapılan uygulamalar ve tarihleri

1. Mınavebe	Yapılan uygulama	Tarih	Uygulama şekli
	Lahana dikimi	27.07.2015	Elle dikim yapıp can suyu verildi
	Sulama	31.07.2015-12.08.2015	Yağmurlama sulama ile
	İlaç uygulaması	13.08.2015- 16.11.2015	Tırtıl ve salyangoz ile mücadele
	Gübreleme	13.10.2015	Dikimle beraber – Kalan yarısı üst gübre olacak şekilde
	Hasat	17.12.2015-01.02.2016	Hasat olgunluğuna gelen bitkiler iki dönemde elle hasat edilmiştir.
2. Mınavebe	Lahana dikimi	27.07.2017	Elle dikim yapıp can suyu verildi
	Sulama	28.07.2017-11.08.2017-14.09.2017	Yağmurlama sulama ile
	İlaç uygulaması	13.08.2017- 22.09.2017 16.11.2017	Bozkurt dana burnu ilacı atımı - Tırtıl ve salyangoz ilacı atımı – Bit ilacı atımı
	Gübreleme	27.07.2017 16.10.2017	Dikimle beraber – Kalan yarısı üst gübre olacak şekilde
	Hasat	25.12.2017-29.01.2018	Hasat olgunluğuna gelen bitkiler iki dönemde elle hasat edilmiştir.



Şekil 3.6. Kırmızı lahana (Cabellero) dikim, yetiştirme ve hasat görüntüleri

Kırmızı Biber Denemesi

Denemese kullanılan kırmızı biber fide dikimi için parsel genişliği 3.5 m x 5.6 m = 19.6 m² olup, hasat işlemi parselin 2.1 m x 4.9 m = 10.29 m²'lik kısmında yapılmıştır. Biber fidelerinin dikimi, sıra arası 70 cm ve sıra üzeri 35 cm olacak şekilde 11.05.2016 tarihinde yapılmıştır.

Kırmızı lahana hasadından sonra alınan toprak örneklerinde yapılan verimlilik analizleri sonucuna göre temel gübreleme olarak, kırmızı lahana bitkisi için önerilen azot 14 kg/da dozunda verilmiş, azotun yarısı ekimle beraber verilmiş, diğer yarısı ise damla sulama ile çiçeklenme ve meyve oluşumu zamanında verilmiştir. Deneme alanı topraklarının analiz sonuçlarına göre P ve K konsantasyonları yeter düzeyde olmasından dolayı bu elementlerin gübrenmesine gerek duyulmamıştır. Temel gübrelemede azot kaynağı olarak amonyum sülfat ((NH₄)₂SO₄ -%21N, %24 S) gübresi kullanılmıştır. Toprakta

bozkurt ve dana burnu zararlısına karşı *Deltamethrin* ve *Chlorpyrifos-Ethyl* etken maddeye sahip insektisit kullanım kılavuzuna uygun şekilde uygulanmıştır. Hasat olgunluğuna gelen biberler her iki dönemde 4 kez elle hasat edilmiştir. Her parselin kenarlarından 1'er sıra, parsel başlarından birer bitki kenar tesiri olarak bırakılmıştır. Deneme sonunda hasat zamanı kırmızı biber meyve verimi dekara verim (kg) belirlenmiştir.

Çizelge 3.6. Denemede kırmızı biber üretimi için yapılan uygulamalar ve tarihleri

	Uygulama	Tarih	Uygulama şekli
1. Mönavebe	Biber dikimi	11.05.2016	Elle dikim yapıp can suyu verildi
	Gübreleme	09.05.2016	Azotlu, ve kalan miktar damla sulama ile
	Pestisit uygulaması	11.05.2016	İnsektisit uygulama
	Hasat	09.08.2016 - 23.08.2016 05.09.2016 - 20.09.2016	Hasat olgunluğuna gelen bitkiler elle 4 dönem hasat edilmiştir.
2. Mönavebe	Biber dikimi	08.05.2018	Elle dikim yapıp can suyu verildi
	Gübreleme	08.05.2018	Azotlu, ve kalan miktar damla sulama ile
	Pestisit uygulaması	14.05.2018	İnsektisit uygulama
	Hasat	09.08.2018 - 24.08.2018 10.09.2018 - 25.09.2018	Hasat olgunluğuna gelen bitkiler elle 4 dönem hasat edilmiştir.



Şekil 3.7. Kırmızı Biber (Yalova 28) dikim, yetiştirme ve hasat görüntüleri

3.2.3. Laboratuvar analizleri

Biyokömür ve toprak örneklerinin analizleri, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü toprak, su ve bitki analiz laboratuvarında yapılmıştır.

Biyokömürlerin özelliklerinin belirlenmesi

Denemede kullanılan biyokömür materyallerinin uygulama öncesinde bir kısım özellikleri analiz edilmiştir (Çizelge 3.7). Biyokömürlerin pH ve elektriksel iletkenlikleri (EC), 1/5 (biyokömür/su) oranındaki karışımdan pH-EC metre ile belirlenmiştir (Thomas, 1996). Toplam karbon ve toplam azot içerikleri Elementel Analiz Cihazı (EA 3000 Eurovector SpA, Milan, Italy) kullanılarak belirlenmiştir. Toplam fosfor, potasyum, çinko, demir, bakır ve mangan konsantrasyonları için biyokömür örnekleri değirmende öğütülmüş ve analiz için 0.2 g tartılmıştır. Öğütülmüş örnekler, mikro dalgada yaş yakma metoduna göre H_2O_2 - HNO_3 asit karışımı ile yakılmış ve ICP-OES cihazında konsantrasyonlar belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

Toprak örneklemeleri ve analizleri

Toprak örnekleri, denemenin başında uygulama öncesi, birinci münavebe dönemi sonu ve ikinci münavebe dönemi sonu olmak üzere 3 farklı dönemde alınmıştır. Toprak örnekleri her parselden 2 ayrı noktadan alınmış ve kompoze örnek olarak analiz edilmiştir. Bozulmuş toprak örnekleri oda sıcaklığında kurutulmuş, tahta tokmaklar ile öğütüldükten sonra 2 mm'lik elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir. Bozulmamış toprak örnekleri ise, uygun bir şekilde laboratuvara taşınarak analiz için hazırlanmıştır. Biyolojik analizler için toprak örnekleri, örnekleme sonrası soğuk zincirde muhafaza edilerek laboratuvara getirilmiş ve analize hazırlanmıştır.

Toprak tekstürü, hidrometre yöntemine göre (Gee and Boudier, 1986), hacim ağırlığı sabit hacimde silindirlerle alınmış bozulmamış toprak örneklerinde yapılmıştır (Blake ve Hartge, 1986). Tarla kapasitesi ve solma noktası nem içerikleri, basınçlı plakalar sistemi kullanılarak belirlenmiştir (Klute, 1986). Yarayışlı su içeriği, tarla kapasitesi nem içeriğinden solma noktasındaki nem içeriğinin çıkarılması ile hesaplanmıştır (Klute,

1986). Toplam gözeneklilik Danielson ve Sutherland (1986) tarafından geliştirilen hacim ağırlığı ve parçacık yoğunluğunun (2.65 g cm^{-3}) kullanıldığı eşitlik ile hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

$$\text{Toplam Gözeneklilik} = (1 - (\text{Hacim Ağırlığı} (\text{g cm}^{-3}) / (2.65 \text{ g cm}^{-3}))) \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Agregat stabilitesi, ıslak eleme yöntemine göre yapılmıştır (Kemper ve Rosenau, 1986).



Şekil 3.8. Laboratuvar çalışmaları

Toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) 1:1 (w/v) toprak/saf su süspansiyonunda potansiyometrik olarak ve toprakların kireç içerikleri Scheibler kalsimetresi ile karbondioksit çıkış hacmine göre belirlenmiştir (Kacar, 1994). Organik madde, modifiye edilmiş Walkley-Black metodu ile analiz edilmiştir (Nelson ve Sommers, 1982). Toprak örneklerinin toplam C ve N içerikleri, kuru yakma yöntemi ile elementel analiz cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Tabatabai, 1994). Bitkiye yarıyışlı fosfor konsantrasyonu, Olsen ve ark. (1954) tarafından geliştirilen yöntemle yapılmıştır. Ekstrakte edilebilir potasyum konsantrasyonu, 1N amonyum asetat ile ekstraksiyon yöntemine göre belirlenmiştir (Thomas, 1982). Yarıyışlı demir, bakır, çinko

ve mangan konsantrasyonları, 0.005 M DTPA+0.01 M CaCl_2 +0.1 M TEA (Trietanolamin) ekstraktında ölçülmüştür (Lindsay ve Norwell, 1978).

Potansiyel mineralize olabilir N konsantrasyonu (NO_3 ve NH_4), 2 N KCl ile ekstrakte edilen toprak numunelerinde NO_3 ve NH_4 okumaları Kjeldahl buhar destilasyon cihazında yapılmıştır (Bremner, 1965). Yöntemde KCl çözeltisiyle işleme tabi tutulan toprak örneğinde değişebilir şekilde bulunan NH_4 , NO_3 ve NO_2 çözeltiye geçirmektedir. Mikrobiyal solunum (CO_2), toprak örneklerinin CO_2 üretim miktarları Anderson (1982) tarafından bildirildiği şekli ile belirlenmiştir. Bu amaçla, 24 saat boyunca 25 °C’de inkübasyona bırakılan toprak örneklerinden üretilen CO_2 , bir alkali bileşik tarafından tutularak ve arta kalan OH^- kesin konsantrasyonu bilinen HCl ile fenol fitaleyn indikatörü eşliğinde titrasyona tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$ kuru toprak cinsinden ifade edilmiştir. Mikrobiyal biyokütle C (MBC) içerikleri, Anderson ve Domsch (1978) tarafından bildirilen substrat indirgenme yöntemine göre belirlenmiştir. Bu amaçla, toprak örnekleri üzerine glikoz’un belirli miktarları ilave edilerek belirli zaman sonunda üretilen CO_2 miktarından biyokütle C hesaplanarak elde edilen sonuçlar $\mu\text{g CO}_2\text{-C } \text{g}^{-1}$ kuru toprak cinsinden ifade edilmiştir.

Beta-glikosidaz enzim aktivitesi (BGEA), Tabatabai (1982)’in geliştirdiği yöntem esasına dayanarak P-nitrophenol’ün kolorimetrik tahmini yolu ile belirlenmiştir. Alkalen fosfataz aktivitesi (AFEA), Tabatabai (1982)’in geliştirdiği yöntem esasına dayanarak P-nitrophenol fosfatın kolorimetrik tahmini yolu ile tayin edilmiştir. Dehidrogenaz aktivitesi (DEA), trifenil tetrazolium klorür (TTC) çözeltisi ilave edilen toprak örneklerinin 24 h 25°C’de inkübasyonundan sonra oluşan trifenil formazan (TPF)’in 546 nm’de fotometrik ölçümü ile belirlenmiştir (Thalman, 1967). Üreaz aktivitesi (ÜEA), üreaz enziminin substrat olarak kullanılan üreyi belirli bir süre içinde hidrolize ederek amonyak ve karbondioksit ayırması ve böylece meydana gelen ve toprak çözeltisinde çözünen amonyak miktarının spektrofotometrik olarak okunması prensibine dayanan Hoffman ve Teicher (1961)’in bildirdiği şekilde saptanmıştır.

3.2.4. Verilerin değerlendirilmesi

İstatistiksel değerlendirmelere geçilmeden önce verilerin normal dağılımları kontrol edilmiştir. Verilerin normal dağılım gösterdikleri anlaşıldıktan sonra, her bir özelliğin ölümleri arasında varyansların eşitliklerinin kontrolü, Levene's testi ile belirlenmiştir. Mnavebe dönemi etkisi, eltik kavuzu ve tavuk gübresi biyokömür çeşidi, biyokömür dozlarının, toprak özellikleri üzerine etkilerini ortaya koyabilmek amacı ile varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA sonrasında, homojenlik testi yapılarak etki bakımından benzer olan uygulamalar DUNCAN testi ($p<0.05$) ile gruplandırılmıştır. İki yetiştirme sezonu sonunda belirlenen özelliklerin istatistiksel olarak farklı olup olmadıklarını görebilmek amacı ile eşleştirilmiş t-testi uygulanmıştır. Tüm istatistiksel analizler SPSS (version 26.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) ve JMP Pro 13 programları kullanılarak yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Üretildiği hammaddeye kıyasla fiziksel özellikleri gelişmiş karbon bakımından zengin bir katkı maddesi olan biyokömür, güçlü bir toprak düzenleyicisi olduğundan dolayı birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu çalışmada, bir tarla denemesinde iki farklı biyokömürün kontrol dahil 6 farklı dozu buğday, kırmızı lahana ve kırmızı biber rotasyonunda bitki verimi ve toprak kalite göstergelerine etkileri araştırılmıştır. Dört yıl süren denemede biyokömür, sadece deneme başlangıcında uygulanmıştır. Münavebede yer alan ürünlerin ekim/dikim aşamasından hasatına kadar gerekli bakım işlemleri yapılmış ve her dönem toprak analiz sonuçları ve bitki gereksinimi dikkate alınarak gerekli besin elementleri sağlanmıştır. Uygulama sonrası denemede yer alan faktörlerin etkisi değerlendirilmiş toprağın bazı özelliklerine ait değişimler ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

4.1. Biyokömür Uygulamalarının Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi

Toprak örnekleri, 0-20 cm derinlikten uygulama öncesi, birinci münavebe dönemi sonrası ve ikinci münavebe dönemi sonrası olmak üzere toplam üç kez alınmıştır. Biyokömür uygulamalarının toprak kalitesi göstergelerine etkileri, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri başlıkları altında ayrı ayrı sunulmuştur.

4.1.1. Uygulamaların Toprağın Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi

Bir toprak düzenleyici/iyileştirici olarak biyokömür, bozulmuş veya besin elementi bakımından fakirleşmiş toprakların fizikokimyasal özelliklerini geliştirebilir. Biyokömürün toprak suyunu tutma kabiliyeti, gözenekliliği ve yüzey işlevselliğinin kombinasyonunun bir fonksiyonudur (Suliman ve ark., 2017). Deneme başında ve sonunda toprakların hacim ağırlığı (HA), gözeneklilik (GÖZ), tarla kapasitesi (TKNİ) ve solma noktası (SNNİ) nem içerikleri, yarayıslı su içeriği (YSİ) ve agregat stabilitesi (AS) belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Deneme başında ve 4 yıllık denemenin sonunda HA ve GÖZ ($p<0.05$), TKNİ, SNNİ ve YSİ ($p<0.01$) değerlerinin birbirlerinden önemli düzeyde farklı oldukları, AS değerlerinin ise birbirinden farklı olmadığı görülmektedir (Çizelge 4.1). Denemede elde edilen veriler, biyokömürün gözenekli iç yapısından dolayı gözenekliliği

arttırdığını ve artan toprak gözenekliliği ile toprağın yüzey alanının ve su tutma potansiyelinin arttığını göstermektedir.

Önceki çalışmalar, biyokömürün verimsiz topraklara uygulanmasının toprak hacim ağırlığını azalttığını, toplam gözenek hacmini ve su tutma kapasitesini ise arttırdığını göstermiştir (Abel ve ark., 2013; Chan ve ark., 2008a; 2008b). Araştırmacılar, çeltik kavuzu biyokömürü ve kömür tozu materyallerini % 0, 2, 4 ve 6 dozu ile toprağa uygulayarak, 180 günlük bir inkübasyon denemesi kurmuşlardır. Deneme sonunda toprağın fiziksel özellikleri üzerine olan etkisi belirlemişlerdir. Kontrol toprağı ile karşılaştırıldığında % 2, 4 ve 6 dozunda çeltik kavuzu biyokömürü uygulanmış toprakların su tutma kapasitesinin sırasıyla % 12, 20 ve 31 daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Biyokömür uygulanan killi toprağın daha fazla su tutma kapasitesine ve yarayışlı su içeriğine sahip olduğunun altını çizen Lu ve ark. (2014a), bunun sebebinin toprağın gözenek miktarının artmasından kaynaklandığını rapor etmişlerdir. Bu şekilde birçok araştırmacı biyokömür ilavesinin toprağın fiziksel özelliklerinden hacim ağırlığında azalmaya (Asai ve ark., 2009; Laird ve ark., 2010a) ve toprak sıkışmasının azalmasına (Olmo ve ark., 2014; Liu ve ark., 2017b); toprağın yüzey alanının (Lehmann ve ark., 2011), toplam gözenekliliğin (Githinji, 2014), gözenek büyüklük dağılımının (Sun ve Lu, 2014) ve su tutma kapasitesinin artmasına (Akhtar ve ark., 2014) neden olduğunu vurgulamaktadır.

Çizelge 4.1. Deneme başı ve sonuna ait toprağın fiziksel özelliklerinin eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılması

Değişken	Dönem	SD	Ortalama	Ortalama Farkı	t (gözlenen)	t (kritik)	P
Hacim ağırlığı (gr cm ⁻³)	Öncesi	35	1.40	0.018	2.522	2.03	<0.05
	Sonrası	35	1.38				
Gözeneklilik (%)	Öncesi	35	47.17	-0.672	-2.563	2.03	<0.05
	Sonrası	35	47.84				
Tarla kapasitesi (%)	Öncesi	35	28.93	-2.780	-5.618	2.03	<0.01
	Sonrası	35	31.71				
Solma noktası (%)	Öncesi	35	18.84	0.800	3.468	2.03	<0.01
	Sonrası	35	18.04				
Yarayışlı su içeriği (%)	Öncesi	35	10.08	-3.582	-7.654	2.03	<0.01
	Sonrası	35	13.67				
Agregat stabilitesi (%)	Öncesi	35	54.26	0.161	0.159	2.03	0.874
	Sonrası	35	54.10				

SD: Serbestlik derecesi

4.1.1.1. Uygulamaların toprağın hacim ağırlığına etkisi

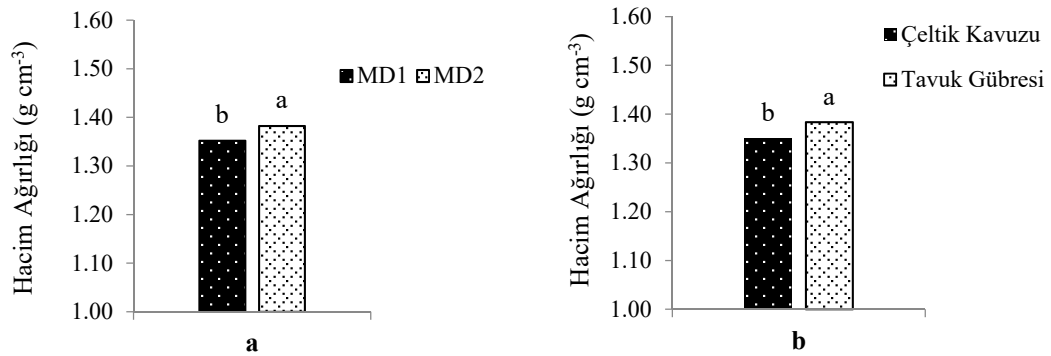
Münavebe dönemi (MD), biyokömür çeşidi (BÇ) ve biyokömür dozu (BD) faktörlerinin ve MD x BD interaksiyonunun toprağın hacim ağırlığı (HA) üzerine önemli düzeyde etki yaptıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte MD x BÇ, BÇ x BD ve MD x BÇ x BD etkileşimlerinin HA üzerine etkisinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir. (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Uygulamaların toprağın hacim ağırlığına etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	0.017	0.017	8.378	0.044*
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	0.020	0.020	50.57	0.002**
Biyokömür Dozu (BD)	5	0.074	0.015	12.96	0.001**
MD*BÇ	1	0.002	0.002	4.375	0.104 ^{öd}
MD*BD	5	0.014	0.003	2.464	0.049**
BÇ*BD	5	0.002	0.0003	0.280	0.921 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.002	0.0004	0.344	0.883 ^{öd}

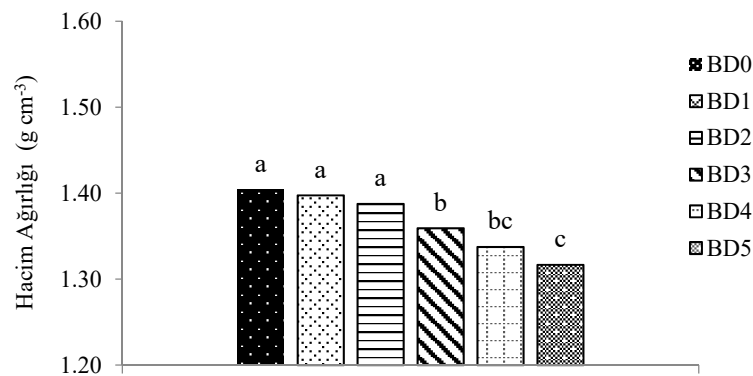
*, %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Toprakların ortalama HA'nın birinci dönem sonrası 1.35 g cm^{-3} ve ikinci dönem sonrasında 1.38 g cm^{-3} olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.1a.) Münavebe döneminin toprağın HA üzerine etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.2). Uygulama öncesi deneme alanında 1.40 g cm^{-3} olan HA değerinin birinci münavebe dönemi sonrası %3.57 ikinci münavebe dönemi sonrası ise %1.43 oranında azaldığı görülmektedir. Münavebede yer alan bitkilerin ekim ve dikim hazırlığının HA üzerine önemli bir etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Denemede biyokömür çeşidi toprağın HA üzerine önemli düzeyde ($p<0.01$) etkili olmuştur (Çizelge 4.2). Tavuk gübresi biyokömürü uygulanan parsellerin ortalama HA (1.38 g cm^{-3}) çeltik kavuzu biyokömürüne (1.35 g cm^{-3}) kıyasla bir miktar daha yüksektir (Şekil 4.1b).



Şekil 4.1. Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

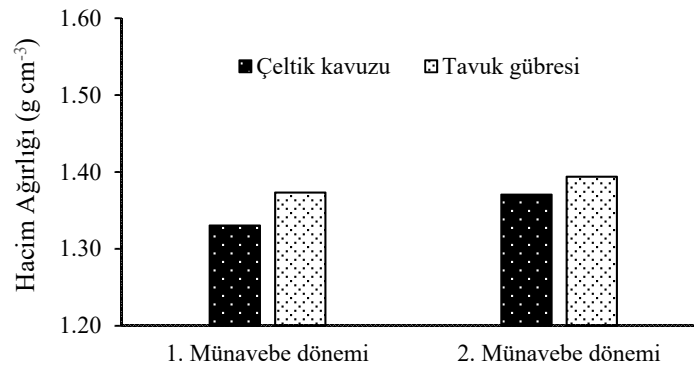
Biyokömür dozları, toprakların HA üzerine $p < 0.01$ önem düzeyinde etki yapmıştır (Çizelge 4.2). En yüksek ortalama HA değeri (1.40 g cm^{-3}) BD0 uygulamasında iken en düşük ortalama değer (1.32 g cm^{-3}) BD5 biyokömür dozunda elde edilmiştir (Şekil 4.2). Biyokömür doz uygulamaları sonrasında BD5 uygulamasında kontrole kıyasla HA değeri %5.71 oranında azalmıştır. Toprakların HA, biyokömür ilavesiyle önemli ölçüde değiştiği bildirilmiştir (Ellert ve Bettany, 1995). Çalışmada elde edilen bulgulara benzer şekilde, kızıl meşeden 550°C 'de elde edilen biyokömürü % 0, 3 ve 6 oranında uygulayan Basso ve ark. (2013), biyokömür uygulanmış toprakların HA'nın kontrol parsellerinden % 9 daha az olduğunu ve inkübasyon süresi boyunca sabit kaldığını rapor etmişlerdir. Uygulanan biyokömürün dozu arttıkça, toprağın HA'nda önemli düzeyde azalma olduğu bu durumun biyokömürün gözenekli yapısından kaynaklanmış olabileceği ifade edilmiştir (Chen ve ark., 2011). Öte yandan, Kätterer ve ark. (2019) tarafından mısır-soya fasulyesi rotasyonunda iki yıl üst üste 5 t da^{-1} biyokömür ilave edilmiş ve on yıllık rotasyonun sonunda HA başlangıç HA'na kıyasla Kibugu'da %8, Siaya'da %10 ve Nyabeda'da %13 oranında önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar beş yıl sonra bile nadas + biyokömür uygulanan parsellerde HA değerinin ölçüde daha düşük olduğu belirlemişlerdir (Kätterer ve ark., 2019). Araştırmalar, biyokütle uygulamasının, HA'ını azaltmak ve toprak su tutma kapasitesini geliştirmek gibi toprak özellikleri üzerindeki doğrudan etkilerini göstermiştir (Burrell ve ark., 2016).



Şekil 4.2. Biyokömür dozlarının toprak hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

MD x BÇ faktörlerinin interaksiyonunun HA değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.104$) (Çizelge 4.2). En yüksek HA değeri birinci münavebe

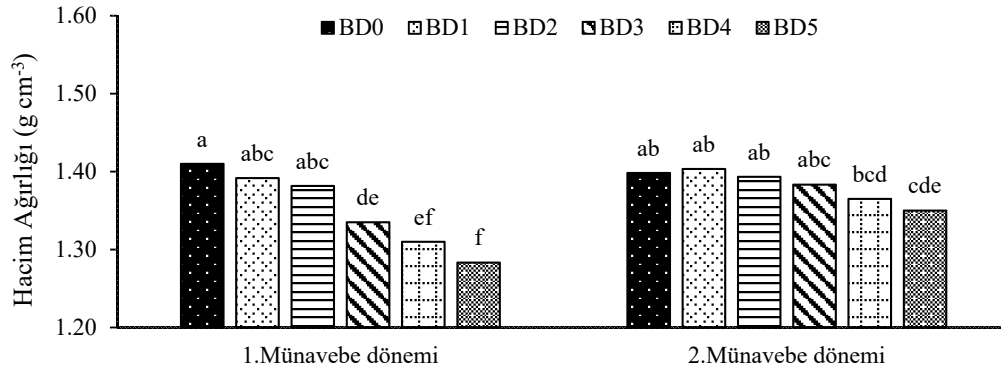
dönemi sonrası tavuk gübresi biyokömürü ile elde edilirken (1.39 g cm^{-3}), en düşük HA ortalama değeri ikinci münavebe dönemi sonrası çeltik kavuzu uygulamasından (1.33 g cm^{-3}) elde edilmiştir (Şekil 4.3). Bilgili ve ark. (2019), 550°C 'de fıstık kabuğu, mısır koçanı ve pamuk samanından elde edilen biyokömürleri üç farklı dozda (ağırlık bazlarında % 0, 0.2 ve 0.4) tarlaya uygulamıştır. Hacim ağırlığı, yarayışlı su içeriği, agregat stabilitesi, gözeneklilik, toprak organik maddesi ve hidrolik iletkenlik gibi toprak kalitesi parametreleri belirlenmiş ve her bir parselin toprak kalitesi indeksleri doğrusal ve doğrusal olmayan puanlama fonksiyonları kullanılarak elde etmişlerdir. Genel olarak uygulama öncesine kıyasla, çeşitli miktarlarda uygulanmış parsellerde, bozulmuş alanların toprak özelliklerinin iyileştirilmesinde, potansiyelini gösteren toprak kalitesi indekslerinde % 15 ila 34 arasında artış sağlandığı rapor edilmiştir.



Şekil 4.3. Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprak hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi

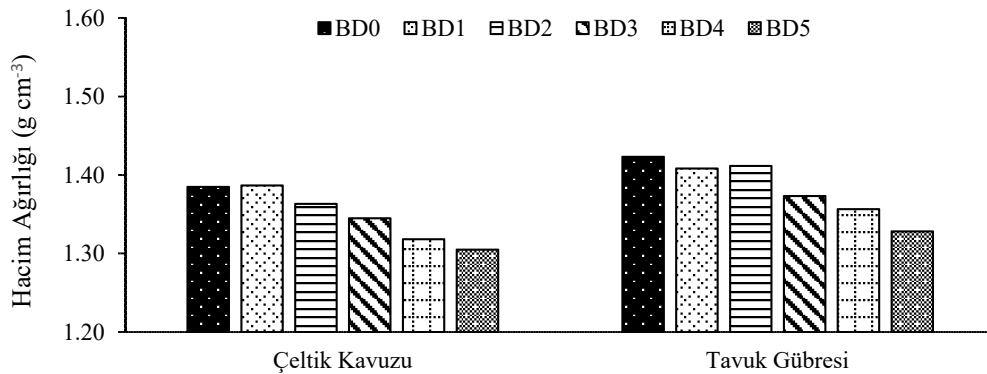
MD x BD interaksiyonunun HA değerleri üzerinde etkisi istatistiki olarak önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.2). En yüksek hacim ağırlığı değeri (1.41 g cm^{-3}) birinci münavebe dönemi sonunda BD0 uygulamasında elde edilirken, en düşük HA değeri birinci münavebe döneminde (1.28 g cm^{-3}) BD5 uygulamasında elde edilmiştir (Şekil 4.4). Xiao ve ark. (2020), söğüt budama atığının 500°C 'de piroliz edilmesi ile elde edilen biyokömürü 0, 1, 2 ve 4 g kg^{-1} dozlarında toprağa uygulamış ve buğday-mısır rotasyonunda toprağın fiziksel özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Dört dönem (22, 238, 321 ve 382 gün) sonunda HA değerlerinde kontrol ile 4 g kg^{-1} doz uygulaması arasında anlamlı bir fark çıktığını, ancak biyokömürün HA'ını azaltmadaki yararlı etkisinin, sonraki tarım uygulamalarıyla zamanla ortadan kalktığı bildirilmiştir. Örneğin, 4 g kg^{-1} dozu ile HA değerleri 1. ve 2. dönem. 1.14 g cm^{-3} 'ten 3. dönem 1.26 g cm^{-3} 'e ve

4. dönem 1.34 g cm^{-3} 'e çıkmıştır. Uygulama öncesine göre biyokömür uygulamasının buğday-mısır rotasyonu sırasında tüm aşamalarda HA'nı azalttığı görülmüştür.



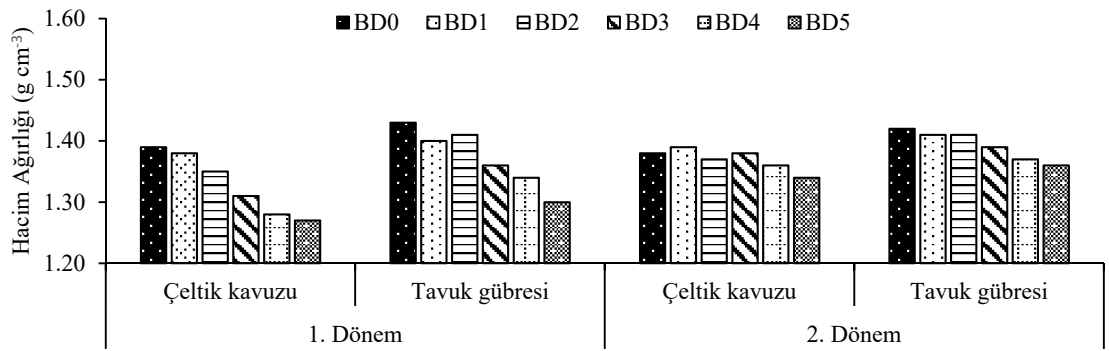
Şekil 4.4. Mönavebe dönemi (MD) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

Biyokömür dozu artışı HA'nda bir azalmaya neden olsa da BÇ x BD interaksiyonunun toprağın HA üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz olmuştur ($p=0.921$) (Çizelge 4.2.). Buna göre en yüksek HA değeri (1.42 g cm^{-3}) tavuk gübresi x BD0 uygulamasından elde edilirken en düşük ortalama HA değeri yine çeltik kavuzu x BD5 uygulamasından (1.31 g cm^{-3}) elde edilmiştir (Şekil 4.5). Benzer olarak şeker kamışı biyokömürü, şeker kamışı kompostu, kazan külü ve kombinasyonlarının uygulayarak toprağın bazı özelliklerindeki değişiklikleri ve ayrıca şeker kamışı verimi üzerindeki etkisini inceleyen Hariyono ve ark. (2020), biyokömürün gözenekli karakteristiği ve geniş özgül yüzeyi düşük HA'na sahip olduğunu böylece toprağa uygulandığında daha düşük toprak HA'na neden olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.5. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

MD x BÇ x BD faktörlerinin interaksyonunun toprakların HA değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.883$) (Çizelge 4.2). En yüksek ortalama HA değeri MD1 x tavuk gübresi x BD0 (1.43 g cm^{-3}) ve en düşük ortalama HA değeri ise MD1 x çeltik kavuzu x BD5 (1.27 g cm^{-3}) interaksyonlarında elde edilmiştir (Şekil 4.6). Radwan ve ark. (2020) zeytin posasını (400°C) ve zeytin budama atığını (350°C) piroliz işlemine tabi tutmuşlar ve elde edilen biyokömürleri %0, 0.2, 0.4, 0.8 dozlarında uygulamışlardır. Uygulama sonrası HA değerlerinin inkübasyonun 36. gününde zeytin posasından üretilen biyokömürün %0.2, 0.4 ve 0.8 dozu sırasıyla %8.82, 10.6, 3.11; zeytin budama atığından üretilen biyokömürün ise %0.2, 0.4 ve 0.8 dozlarında sırasıyla %8.51, 5.45 ve 8.56 oranında azaltığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.6. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprak hacim ağırlığına (g cm^{-3}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

4.1.1.2. Uygulamaların toprak gözenekliliğine etkisi

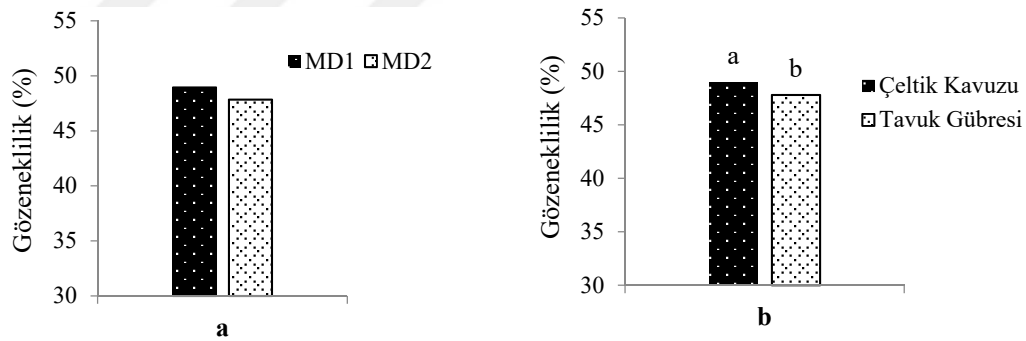
Genel olarak biyokömürün toprakta su tutma özellikleri yüksek gözenekli yapısına atfedilir (Ogawa ve ark., 2006). Biyokömürün piroliz koşulları ve üretildiği hammaddeye bağlı olarak değişmekle beraber toplam gözenekliliği hacimce % 80'i bulmaktadır (Kinney ve ark., 2012). Araştırmamızda mönavebe dönemi haricinde BÇ ve BD faktörleri ve MD x BÇ interaksyonunun HA üzerinde istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$ ve $p<0.01$) düzeyde etki yaptıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte, MD x BD ve BÇ x BD etkileşimlerinin yanı sıra MD x BÇ x BD interaksyonu yanı sıra toprağın gözenekliliği üzerine etkisinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Uygulamaların toprak gözenekliliği üzerine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	22.345	22.345	4.636	0.164 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	25.693	25.693	38.510	0.003**
Biyokömür Dozu (BD)	5	104.982	20.996	11.940	<0.001**
MD*BÇ	1	2.892	2.892	4.335	0.106 ^{öd}
MD*BD	5	23.633	4.727	2.688	0.035*
BÇ*BD	5	2.933	0.587	0.334	0.890 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	2.393	0.479	0.272	0.926 ^{öd}

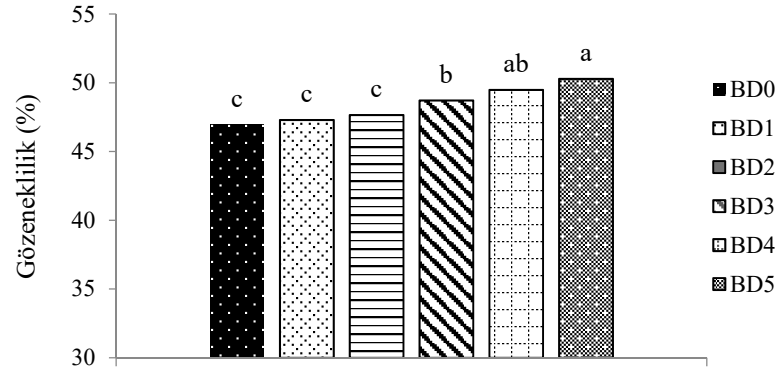
*, %5 hata düzeyinde önemlidir, **, %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Uygulamaların toprak gözenekliliği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.164$) (Çizelge 4.3). Birinci ve ikinci münavebe dönemleri sonrasında ortalama gözeneklilik değerleri sırası ile %48.96 ve %47.84 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.7a). Biyokömür çeşidi faktörünün toprağın gözenekliliği üzerine etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Çizelge 4.3). Çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasında ortama gözeneklilik (%49.00), tavuk gübresi biyokömürü uygulamasına (%47.80) kıyasla bir miktar daha (%2.45) yüksektir (Şekil 4.27).



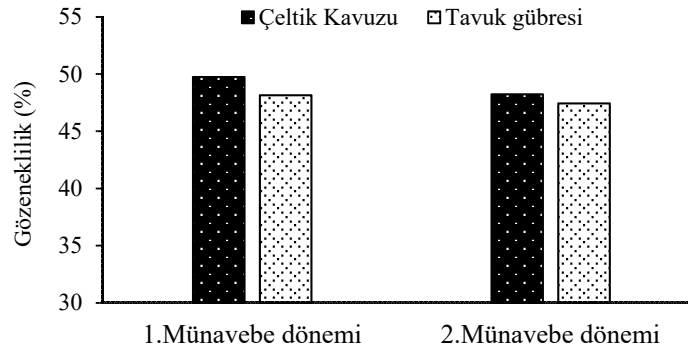
Şekil 4.7. Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin toprak gözenekliliğine (%) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozlarının toprakların gözenekliliği üzerine etkisi istatistiki bakımdan çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.3). En yüksek ortalama gözeneklilik BD5 (%50.29) belirlenirken en düşük ortalama değer BD0 (%46.94) dozunda elde edilmiştir. Biyokömür doz uygulaması sonunda toprağın gözeneklilik miktarı %6.66 oranında artmıştır. Biyokömür dozu arttıkça gözeneklilik değerinin arttığı görülmektedir (Şekil 4.8). Bu araştırma sonuçlarına benzer olarak biyokömür uygulamalarının toprakların toplam gözenek miktarında bir artışa neden olduğu önceki çalışmalarda da rapor edilmiştir (Jones ve ark., 2010; Oguntunde ve ark., 2008)



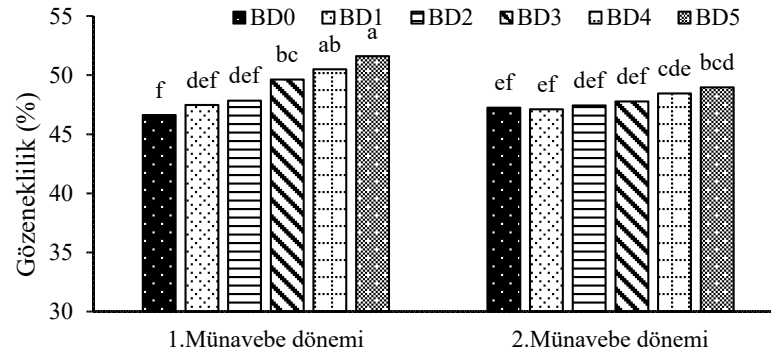
Şekil 4.8. Biyokömür dozu uygulamalarının toprak gözenekliliğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

MD x BÇ etkileşiminin gözeneklilik üzerine etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (p=0.106) (Çizelge 4.3). En yüksek gözeneklilik değeri (%49.75), MD1 x çeltik kavuzu interaksiyonunda elde edilirken en düşük ortalama gözeneklilik değeri (%47.75) ise MD2 x tavuk gübresi interaksiyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.9). Jeffery ve ark. (2011), biyokömür uygulamalarının topraklarda yüzey alanı, gözeneklilik ve su tutma kapasitesi artışına neden olduğunu, aynı zamanda sıkışmanın azalmasına yol açtığını bildirmiştir.



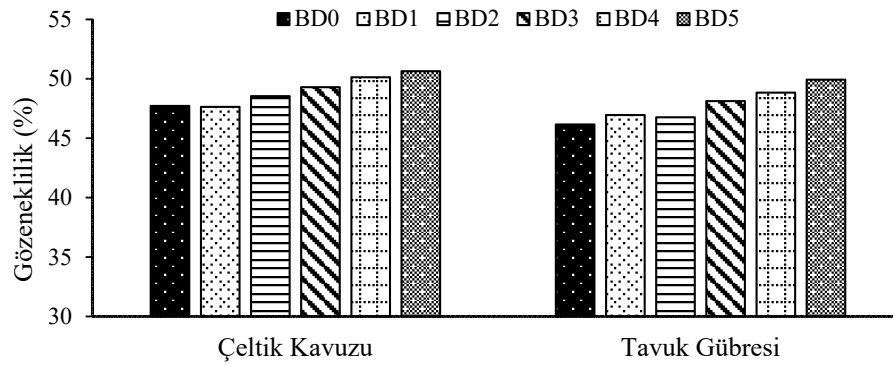
Şekil 4.9. Mönavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprak gözenekliliğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

MD x BD interaksiyonunun gözeneklilik üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.3). En yüksek gözeneklilik (%51.61) MD1 x BD5 uygulamasında elde edilirken, en düşük değer (%46.63) ise MD1 x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.10). Önceki bazı araştırmalarda organik düzenleyicilerin neden olduğu toprak gözenek artışı, esas olarak toprağa düşük hacim ağırlığına sahip bir katkı maddesinin seyreltme etkisi ile ilişkilendirilmiştir (Bhogal ve ark., 2009; Hati ve ark., 2007; Soane, 1990).



Şekil 4.10. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak gözenekliliğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

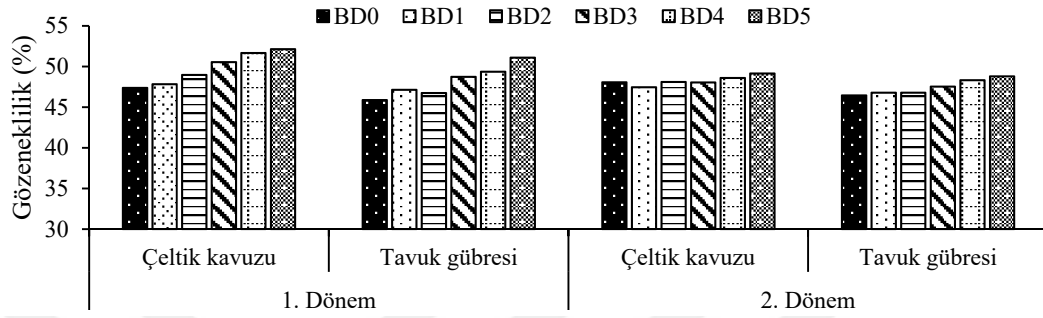
BÇ ve BD interaksiyonunun toprak gözenekliliği üzerine etkisi, istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.890$) (Çizelge 4.3). En yüksek gözeneklilik (%50.64) çeltik kavuzu x BD5 uygulamasından elde edilirken en düşük gözeneklilik (%46.17) tavuk gübresi x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.11). Biyokömür uygulamaları toprağın gözenekliliğini artırmıştır. Biyokömürlerin yüzey alanları, kum ve kil parçacıklarına kıyasla çok daha yüksektir. Bu sebeple, biyokömürler toprak iyileştirici/düzenleyici olarak kullanıldığında toprakların toplam yüzey alanının artmasına neden oldukları bildirilmektedir (Downie ve ark., 2009).



Şekil 4.11. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak gözenekliliğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Mönavebe dönemi x BÇ x BD interaksiyonları toprakların gözenekliliği üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde bir etki yapmamıştır ($p=0.926$) (Çizelge 4.3). En düşük gözeneklilik değeri MD1 x tavuk gübresi x BD0 (%45.88) ve en yüksek gözeneklilik değeri ise birinci mönavebe dönemi x çeltik kavuzu x BD5 (%52.13) interaksiyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.12). Kırımızı meşe ağacının 500 °C'de pirolizi

ile elde edilen biyokömürü %3 ve %6 dozunda kumlu tın yapıdaki bir toprağa uygulayan Dokoochaki ve ark., (2017), bizim elde ettiğimiz bulgularımıza benzer şekilde, kontrol uygulamasına kıyasla biyokömür uygulamalarının toprağın gözenekliliğini arttırdığını ve hacim ağırlığında düşüne neden olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.12. Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak gözenekliliğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

4.1.1.3. Uygulamaların toprağın tarla kapasitesi nem içeriğine etkisi

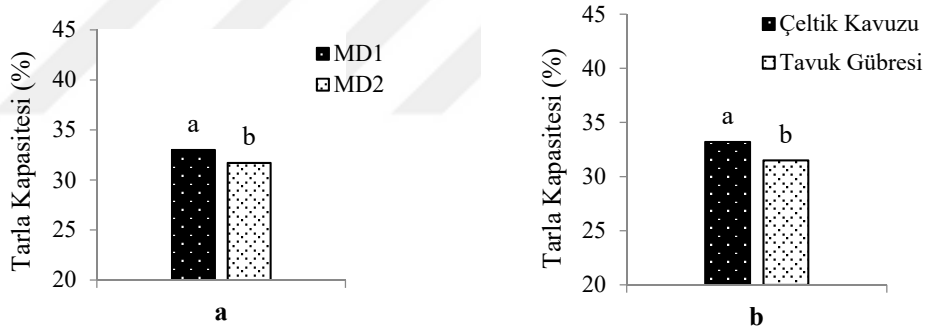
Bu araştırmada test edilen ana faktörlerin (MD, BÇ ve BD) tarla kapasitesi nem içeriği (TKNİ) üzerine önemli düzeyde ($p < 0.01$) etki yaptıkları belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Bununla birlikte, faktörlerin karşılıklı etkileşiminin bütün interaksiyonları (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD, MD x BÇ x BD), TKNİ üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bazı araştırmacılar, biyokömür ilavesinden sonra topraklarda toprak suyu tutma kapasitelerini ve mevcut su içeriğinin arttığını bildirmişlerdir (Glaser ve ark., 2002; Laird ve ark., 2010a; Rogovska ve ark., 2014; Gül ve ark., 2015); bununla birlikte Major ve ark., (2012), 20 ton ha⁻¹'da biyokömür ilavesinin perkolasyon ve su tutulması üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını rapor etmiştir. Ni ve ark. (2020) ise, fıstık kabuğundan 400 °C'de elde ettikleri biyokömürü %10 (v/v) oranında uyguladıktan 6 ay sonra, tarla kapasitesi ve solma noktası sırasıyla % 43 ve % 57 artış gözlenmiştir.

Çizelge 4.4. Uygulamaların toprağın tarla kapasitesi nem içeriği üzerine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	30.044	30.044	178.939	<0.006**
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	51.393	51.393	223.373	<0.001**
Biyokömür Dozu (BD)	5	358.582	71.716	23.116	<0.001**
MD*BÇ	1	0.571	0.571	2.480	0.190 ^{öd}
MD*BD	5	15.626	3.125	1.007	0.426 ^{öd}
BÇ*BD	5	11.253	2.251	0.725	0.608 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	3.444	0.689	0.222	0.951 ^{öd}

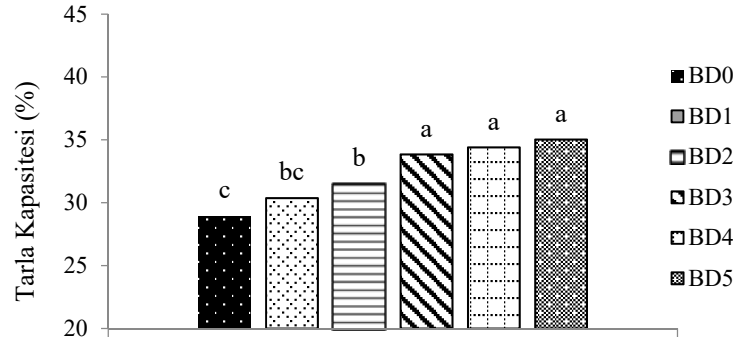
*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Uygulamaların münavebe dönemi sonunda TKNİ üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Birinci ve ikinci münavebe dönemleri sonunda ortalama TKNİ değerleri sırası ile % 33.0 ve 31.7 olmuştur (Şekil 4.13a). Biyokömür ilavesi ile TKNİ artışı uygulama öncesine TKNİ'ne (%28.94) kıyasla MD2 sonunda %9.95 oranında artmıştır. Biyokömür çeşidi faktörü TKNİ üzerine önemli düzeyde ($p<0.01$) etkilidir (Çizelge 4.4). Çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasında ortalama TKNİ değeri (%33.20), tavuk gübresi biyokömürü (%31.51) uygulamasına kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.13b). Tarla kapasitesi nem içeriğindeki artış, biyokömür uygulaması ile artan gözeneklilik ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Kırmızı meşeden 500 °C'de üretilen biyokömürü %3 ve %6 dozlarında kumlu tın tekstürlü bir toprağa uygulayan Dokooohaki ve ark. (2017), kontrol uygulamasına kıyasla biyokömür uygulamasının toprağın gözenekliliğini arttırmasına ilaveten, doygunluk ve tarla kapasitesi nem içeriğini de önemli orada arttırdığını bildirmişlerdir.



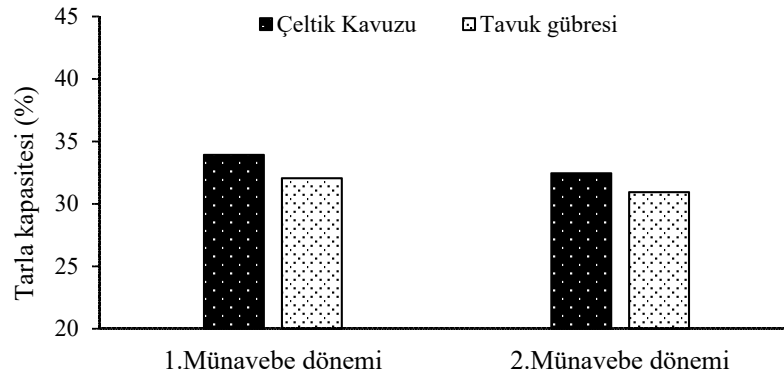
Şekil 4.13. Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin tarla kapasitesi nem içeriğine etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozları toprakların TKNİ üzerine önemli düzeyde ($p<0.01$) etki yapmıştır (Çizelge 4.4). En yüksek ortalama TKNİ, BD5 (%35.03) uygulamasında elde edilirken en düşük ortalama TKNİ değeri BD0 (%28.93) uygulamasında kayıt edilmiştir. Biyokömür dozu artıkça TKNİ'nin BD5 uygulamasında kontrole kıyasla %21 arttığı görülmektedir (Şekil 4.14). Toprağa biyokömür uygulanmasının, yarıyışlı su içeriği veya su tutma kapasitesi üzerinde açık bir etkisi olduğu önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Glaser ve ark., 2002; Kammann ve ark., 2011; Artiola ve ark., 2012; Basso ve ark., 2013; Günel ve ark., 2018a).



Şekil 4.14. Biyokömür dozu uygulamalarının tarla kapasitesi nem içeriğine etkisi ((Kontrol)
BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

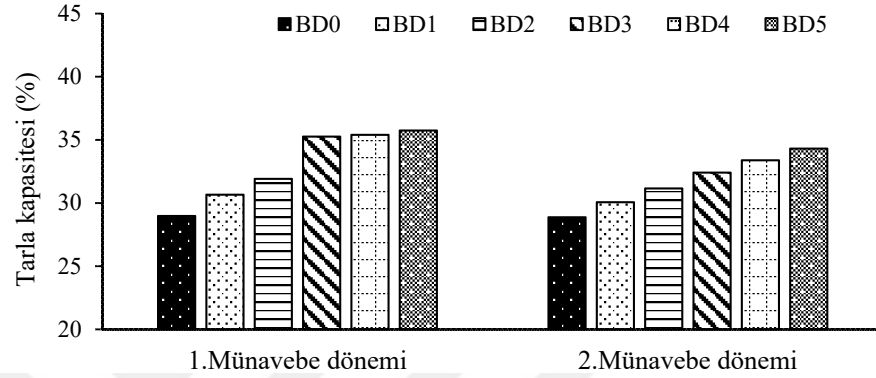
Tarla kapasitesi nem içeriği bakımından MD x BÇ faktörlerinin interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.190$) (Çizelge 4.4). En yüksek TKNİ değeri (%33.93) birinci münavebe döneminde çeltik kavuzu uygulamasından elde edilirken en düşük ortalama TKNİ değeri (%30.95) ise ikinci münavebe döneminde tavuk gübresi uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.15). Mineral gübreler ile birlikte toprağa biyokömür ilave eden Ma ve ark. (2016), kontrole ve sadece mineral gübre uygulamalarına kıyasla biyokömür uygulamasında daha yüksek TKNİ ve yararılı su içeriği değerleri elde edildiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.15. Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkisi

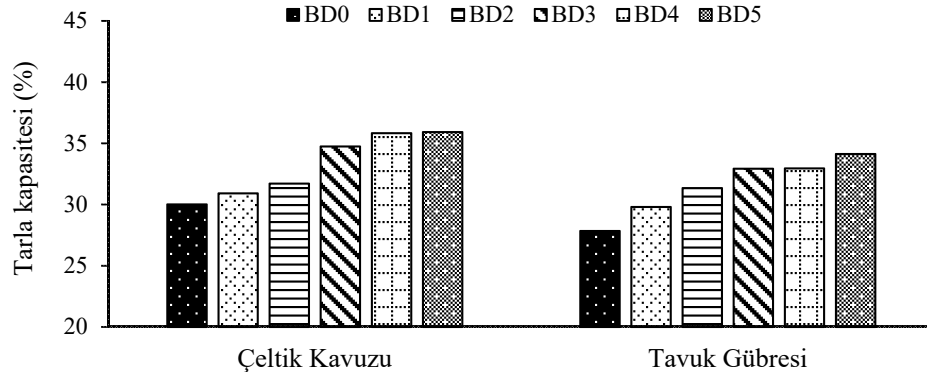
MD x BD interaksyonunun TKNİ üzerine etkisi, istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.426$) (Çizelge 4.4). En yüksek TKNİ değeri (%35.75), MD1 x BD5 interaksyonundan elde edilirken, en düşük değer (%28.88) MD2 x BD0 etkileşiminde

kayıt edilmiştir (Şekil 4.16). Toprak su içeriğinin yarayışlılığının artması, bitkileri su stresinden koruyucu etki göstermektedir. Bu durumun, gözeneklerin, biyokömüre özgü yüzey alanını, ayrıca agregatlaşmayı ve toprak yapısını iyileştiren organik maddenin varlığı nedeniyle topraktaki mevcut nemin artışından kaynaklandığı vurgulanmıştır (Hariyono ve ark., 2020).



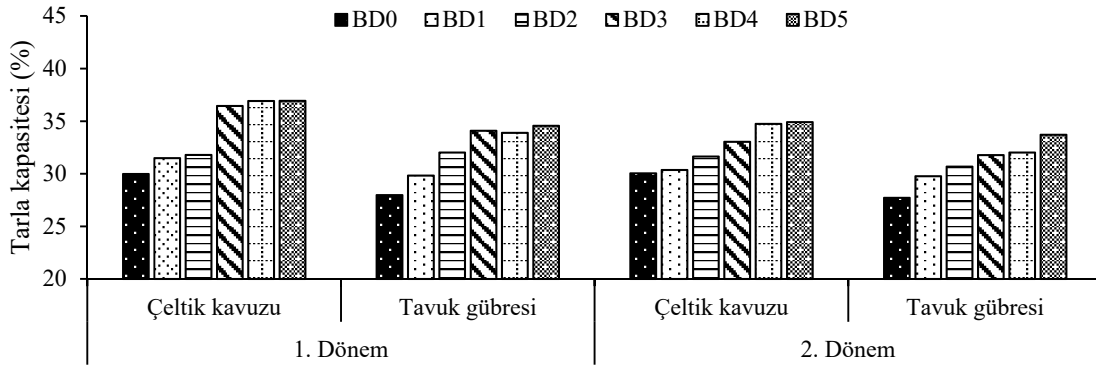
Şekil 4.16. Mönavebe dönemi (MD) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

BÇ ve BD interaksiyonun toprağın TKNİ üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.608$) (Çizelge 4.4). En yüksek ortalama TKNİ (%35.93) çeltik kavuzu x BD5 uygulamasından elde edilirken, en düşük değer (%27.85) tavuk gübresi x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 1.16). Bitkisel atıklardan oluşan biyokömürün piroliz sıcaklığı gibi etmenlere de bağlı olarak genelde hayvansal kökenli materyallerden daha fazla yüzey alanına sahiptir (Alhashimi ve Aktas, 2017). Benzer şekilde Verheijen ve ark. (2010), odun talaşı biyokömürünün, sığır gübresi biyokömüründen daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, farklılığın daha düşük hacim ağırlığı ve daha yüksek yüzey alanlarına sahip olan odun talaşı biyokömürünün suyu tutmak için daha gözenekli olan yapısı ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.17. Biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Münavebe dönemi x BÇ x BD faktörlerinin interaksyonları toprakların TKNİ üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmamıştır (Çizelge 4.4). En yüksek TKNİ değeri (%36.94) MD1 x çeltik kavuzu x BD5 uygulamasında ve en düşük değer (%27.72) ise MD2 x tavuk gübresi x BD0 interaksyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.18). Araştırmacılar biyokömürün iç yüzey alanının fazla ve gözenekli yapıya sahip olması nedeni ile toprağa uygulandığında toprak gözenek yapısını ve su tutmasını iyileştirebileceği ve toprakta su tutulmasını arttırabileceğini bildirmiştir (Verheijen ve ark., 2010; Glaser ve ark., 2002).



Şekil 4.18. Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

4.1.1.4. Uygulamaların toprağın solma noktası nem içeriğine etkisi

Biyokömür uygulamasının toprağın fiziksel özelliklerinden solma noktası nem içeriği incelendiğinde, ana faktörlerden MD ve BD'nin solma noktası nem içeriği (SNNİ)

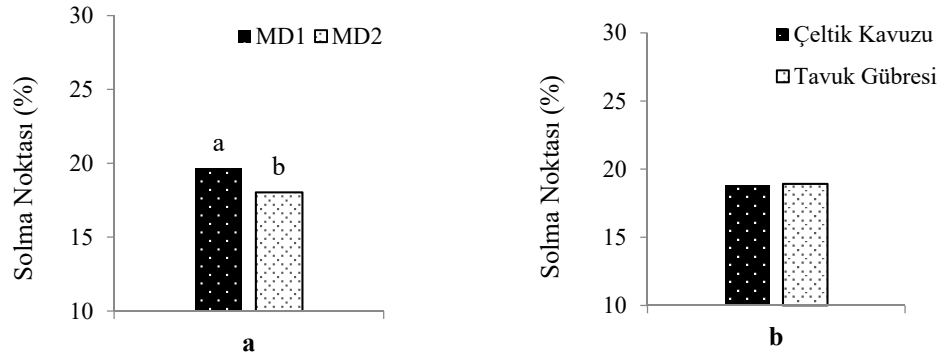
üzerine önemli düzeyde ($p<0.01$) etki yaptıkları belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Bununla birlikte, BÇ'nin etkisinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin tamamının SNNİ üzerine etkisinin ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür (Çizelge 4.5). Biyokömür ilavesi ile yarayıslı su içeriği artmış bir toprağın kalıcı solma noktasında nem içeriğinin arttığı bildirilmiştir (Tryon, 1948). Biyokömürün suyu depolama kapasitesi, yüksek özgül yüzey alanına ve yüksek gözenekliliğine atfedilir ve bu da su adsorpsiyonu için yüksek kapasiteye yol açar (Vartapetyan ve Voloshchuk, 1995). Öte yandan biyokömürün spesifik yüzey alanının $3000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 'den fazla olabilir (Guo ve ark., 2002). Bu yüksek yüzey alanının esas olarak biyokömürün mikro gözeneklerinden kaynaklandığı söylenebilir.

Çizelge 4.5. Uygulamaların toprağın solma noktası nem içeriği üzerine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	46.449	46.449	142.215	0.007**
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	0.422	0.422	0.105	0.762 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	79.360	15.872	7.951	<0.001**
MD*BÇ	1	0.253	0.253	0.063	0.814 ^{öd}
MD*BD	5	8.866	1.773	0.888	0.498 ^{öd}
BÇ*BD	5	8.041	1.608	0.806	0.552 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.381	0.076	0.038	0.999 ^{öd}

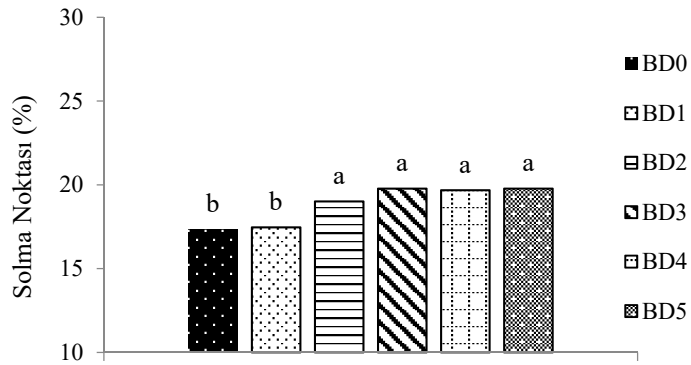
*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, ^{öd}: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Münavebe döneminin toprağın SNNİ üzerine istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) etkisi olduğu görülmektedir (Çizelge 4.5). Birinci münavebe döneminde SNNİ değeri (%19.65) ikinci münavebe dönemi sonrasına (%8.04) kıyasla daha düşüktür (Şekil 4.19a). Çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasında ortalama SNNİ değeri (18.77 %) tavuk gübresi biyokömürü (18.92%) uygulamasına kıyasla daha düşüktür (Şekil 4.19b). Benzer olarak, iki ayrı dönem buğday yetiştiren Günal ve ark. (2018a), biyokömürü sadece deneme başında uygulamışlar ve hasattan sonu alınan toprak örneklerinde toprak tipi, biyokömür tipi, oranı ve mineral gübre oranının toprağın su tutuma ve gözenekliliği üzerine etkisini önemli ($p<0.01$) bulmuşlardır.



Şekil 4.19. Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin solma noktası nem içeriğine etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

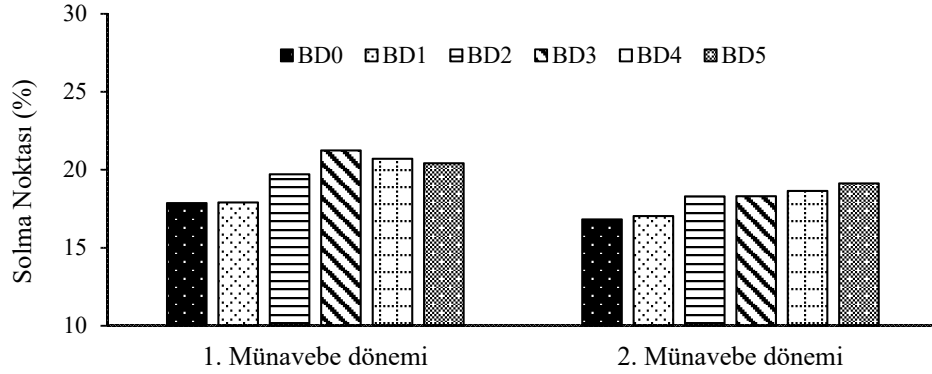
Biyokömür dozlarının SNNİ üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.5). En yüksek ortalama SNNİ değeri BD3 ve BD5 uygulamalarında (%19.78) kayıt edilirken en düşük ortalama SNNİ (%17.34) BD0 dozunda elde edilmiştir (Şekil 4.20). SNNİ değerleri BD5 uygulamasında ile kontrole kıyasla %14 artış göstermiştir. Biyokömür ilavesi ile birlikte toprakta tutulan su miktarının da arttığını gözlemleyen araştırmacılar, toprağa eklenen 30 ton ha^{-1} biyokömür sonrasında uygulamalarda toprak neminin kontrole kıyasla zamana bağlı olarak belirgin bir şekilde arttığını rapor etmişlerdir (Xiao ve ark., 2016).



Şekil 4.20. Biyokömür dozu uygulamalarının solma noktası nem içeriğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

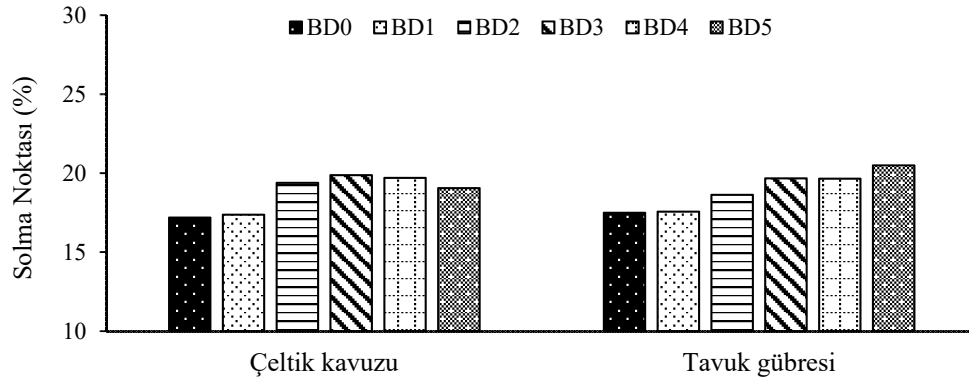
MD x BD interaksyonu SNNİ üzerine istatistiki olarak önemli düzeyde etki yapmamıştır (Çizelge 4.5). En yüksek ortalama SNNİ değeri birinci dönem BD3 uygulamasında (%21.25) elde edilirken, en düşük ortalama SNNİ ise ikinci münavebe döneminde BD0 (%16.82) uygulamasında olduğu görülmüştür (Şekil 4.21). Abel ve ark., (2013), kumlu topraklara ilave edilen biyokömürün toprağın hacim ağırlığını azalttığını, toplam

gözenekliliğini arttırdığını ve solma noktası nem içeriği miktarındaki arttığını bundan dolayı tarla kapasitesi nem içeriğinin de artması ile toprağın yarayışlı su içeriğinin artmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir.



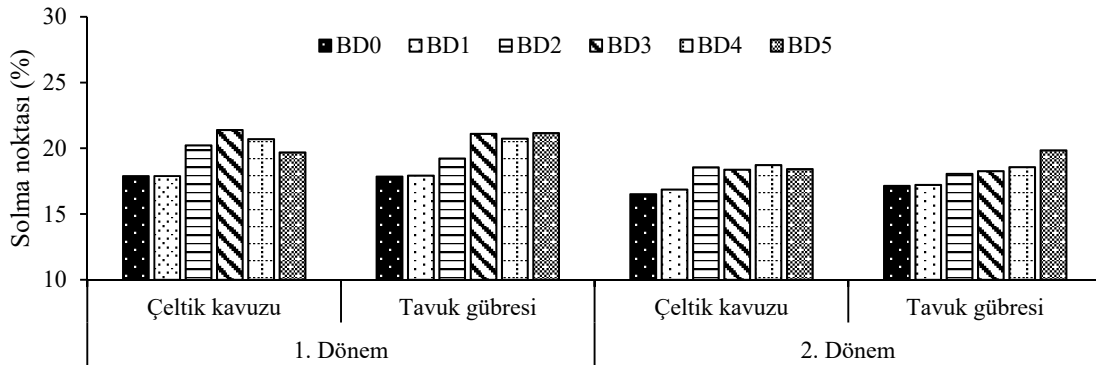
Şekil 4.21. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprak solma noktası nem içeriğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

BÇ ve BD faktörlerinin interaksyonu toprağın SSNİ üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.552$) (Çizelge 4.5). En yüksek ortalama SSNİ değeri (%20.50) tavuk gübresi x BD5 interaksyonundan elde edilirken, en düşük ortalama SSNİ değeri ise (%17.20) çeltik kavuzu x BD0 ve interaksyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.22). Organik gübrelerin ve farklı materyallerden üretilen biyokömür gibi süper absorbent polimerler uygulamaları, besin içeriğini arttırmak ve toprak neminin tutulmasını teşvik etmek için kullanılır. Çalışmalar, uzun süreli tekrarlanan organik madde uygulamalarının, kararsız toprak organik N'nin mineralizasyonunu uyardığını ve absorbentlerin toprağa uygulandığında evaporasyonun oranını önemli ölçüde azalttığını göstermiştir (Narayanan ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2012c). Biyokömür uygulamalarında da gözenekli yapısından dolayı uygulandığı toprakların nem oranını muhafaza ettiği saptanmıştır. Nem muhafazası bakımından üretildiği kaynağa bağlı olarak çeşitli sonuçlar doğuran biyokömürün doz uygulaması arttıkça nispeten arttığı görülmektedir.



Şekil 4.22. Biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

MD x BÇ x BD interaksiyonları toprakların SSNİ değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde bir etki yapmamıştır (Çizelge 4.5). En yüksek SSNİ değeri (%21.39) MD1 x çeltik kavuzu x BD3 interaksiyonunda elde edilirken, en düşük SSNİ değeri (%16.51) ise MD2 x çeltik kavuzu x BD0 interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.23). Radwan ve ark. (2020), zeytin posasını (400 °C) ve zeytin budama atığını (350 °C) piroliz işlemine tabi tutmuşlar ve elde edilen biyokömürleri %0, 0.2, 0.4, 0.8 dozlarında uygulamışlar; sonuçta %0.2 ve 0.4 zeytin budama atığı ve zeytin posası biyokömürü uygulamaları arasında önemli evaporasyon ve permeabilite farklılıkları olduğunu bildirmişlerdir. Öte yandan araştırmacılar, her iki biyokömür çeşidinde de % 0.4 ve % 0.8 uygulamalarında gözlemlenen değerleri, % 0.2 doz uygulamasındaki drenaj değerlerinden önemli ölçüde daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Sonuçlar, kumlu toprağa eklenen biyokömürün su tutma kapasitesini arttırdığını, kumlu toprağın drenajını azalttığını ve bitkinin kullanımı için yararlı suyu arttırabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.23. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

4.1.1.5. Uygulamaların toprağın yarayışlı su içeriğine etkisi

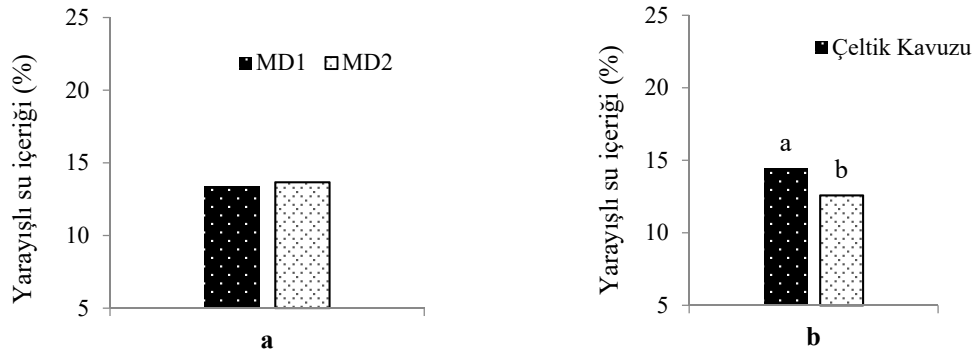
Yarayışlı su, bir bitkinin topraktan kolayca alabileceği sudur ve yarayışlı su, tarla su tutma kapasitesi ile kalıcı solma noktası arasında tutulan su miktarıdır. Bitkiler için yarayışlı olan ve bitki performansını potansiyel olarak arttıran yarayışlı su içeriği biyokömür ilavesi ile artan mikropor ve mezopor ile ilişkili olmaktadır (Xiao ve ark., 2016). Biyokömür uygulamalarının toprağın yarayışlı su içeriği (YSİ) üzerinde önemli düzeyde ($p<0.01$) etki yaptıkları belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Tekli faktörlerden MD ve BD'nin ve tüm interaksiyonların (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD ve MD x BÇ x BD) YSİ üzerinde istatistik olarak etkisi önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Uygulamaların toprağın yarayışlı su içeriği (%) üzerine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	1.767	1.767	1.843	0.308 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	61.088	61.088	19.587	0.011*
Biyokömür Dozu (BD)	5	117.860	23.572	9.932	<0.001**
MD*BÇ	1	0.065	0.065	0.021	0.892 ^{öd}
MD*BD	5	2.528	0.506	0.213	0.955 ^{öd}
BÇ*BD	5	25.802	5.160	2.174	0.076 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	5.197	1.039	0.438	0.819 ^{öd}

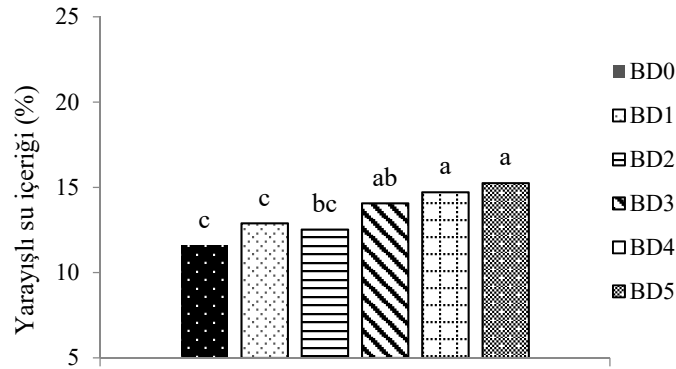
*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Münavebe döneminin YSİ üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ($p=0.308$) (Çizelge 4.6). Ortalama YSİ değeri, birinci münavebe dönemine (13.67%) kıyasla ikinci münavebe döneminde bir miktar (13.35%) daha düşüktür (Şekil 4.24a). Biyokömür çeşidi faktörünün YSİ üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.6). Bununla birlikte, çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasında ortalama YSİ değeri (%14.43) tavuk gübresine biyokömürü uygulamasına (%12.59) kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.24 b). Biyokömür ilavesinin toprak hidrolik özellikleri üzerindeki etkileri, biyokömür kaynağı ve biyokömür üretiminde kullanılan sıcaklık değeri ile ilgili olduğu bildiren Rawls ve ark., (2003), biyokömür ilavesinin bitkiler için gerekli olan yarayışlı su içeriğini arttırdığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.24. Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin yarayışlı su içeriğine etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

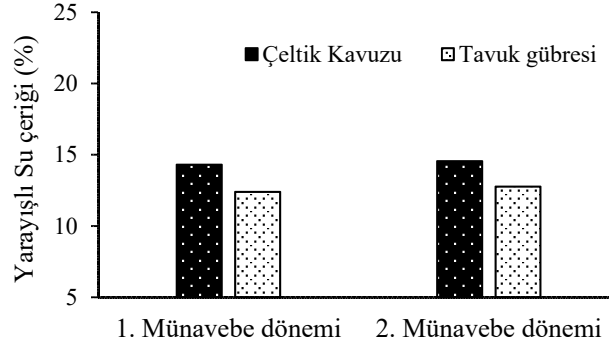
Biyokömür dozları YSİ üzerine $p < 0.01$ önem düzeyinde etki yapmıştır (Çizelge 4.6). En yüksek ortalama YSİ değeri (%15.25) BD5 uygulamasında elde edilirken en düşük ortalama değer ise BD0 (%11.59) biyokömür dozundan elde edilmiştir (Şekil 4.25). En yüksek denem konusu olan 5 t.da⁻¹ uygulandığında kontrol konusuna göre YSİ miktarı %31.59 arttığı görülmektedir. Biyokömürün gözenekli yapısından ötürü gözeneklerde tutulan su hacmi oldukça fazladır. Toprağa biyokömür ilavesi ile birlikte toprağın yarayışlı su içeriğinin önemli ölçüde arttığını rapor etmişlerdir (Glaser ve ark., 2002; Laird ve ark., 2010a).



Şekil 4.25. Biyokömür dozu uygulamalarının yarayışlı su içeriğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

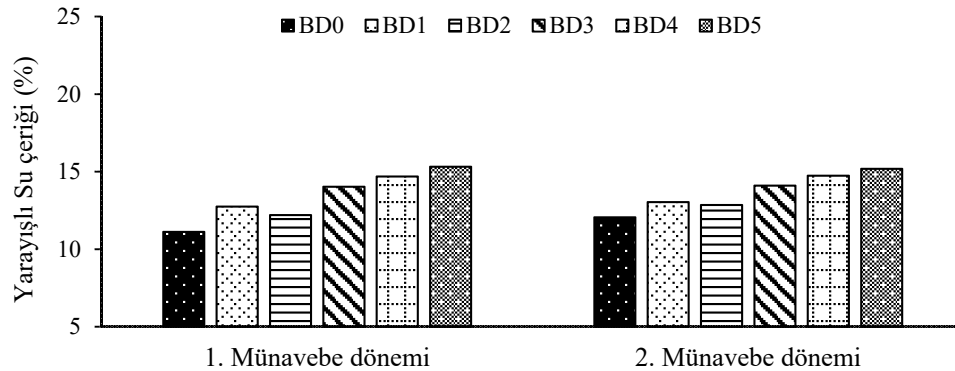
MD x BÇ interaksyonunun YSİ üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.6). En yüksek YSİ değeri MD2 x çeltik kavuzu interaksyonundan elde edilirken (%14.56) en düşük ortalama YSİ değeri (%12.40) ise MD1 x tavuk gübresi interaksyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.26). Kireçli bir toprağa odun talaşının pirolizi (600°C) ile elde edilen biyokömürü %0, 1, 2 ve 10 (w/w) dozlarında uygulayan Ippolito ve ark., (2014), toprak su içeriğini 12 aylık bir sürede izlemiş ve sonuçta uygulama

oranının artırılmasının suyun kısıtlı olduğu durumlarda yarar sağlayacağını ve biyokömürün toprağa ilavesinin genel olarak su tutma kapasitesini arttırdığını rapor etmişlerdir.



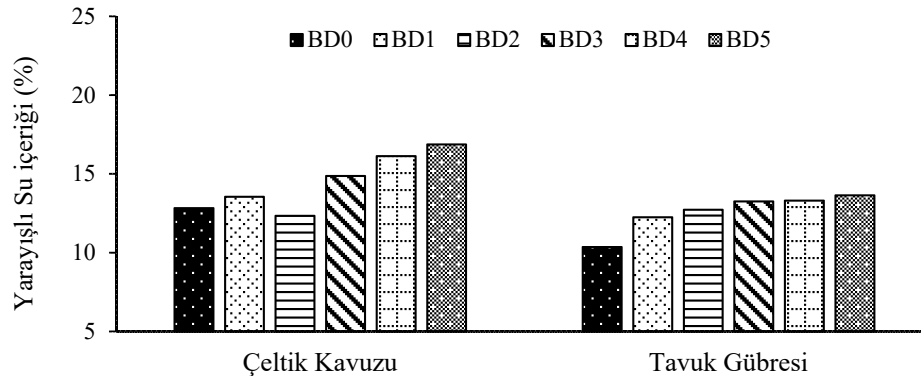
Şekil 4.26. Mönavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkisi

MD x BD interaksiyonunun YSİ üzerinde etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.955$) (Çizelge 4.6). En yüksek ortalama YSİ değeri MD1 x BD5 (%15.32) uygulamasından elde edilirken, en düşük ortalama YSİ değeri ise yine MD1 x BD0 (%11.12) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.27). Gözenekliliğin iyileştirilmesi, toprak suyu tutma kapasitesindeki bir artışla ilgilidir. Hariyono (2020), şeker kamışı biyokömür ve şeker kamışı kompost uygulamasının, bitki büyüme dönemi boyunca topraktaki yarayışlı su içeriğini önemli ölçüde arttırmadığını, ancak hasatta önemli derecede bir artış olduğunu bildirmişlerdir Toprak su içeriğindeki bu artış biyokömürün spesifik yüzey alanından ve gözenekli yapısının yanı sıra organik maddenin varlığından kaynaklanmaktadır. Bu durum ise toprakta agregatlaşmayı ve toprağın sütrüktür yapısını iyileştirmektedir.



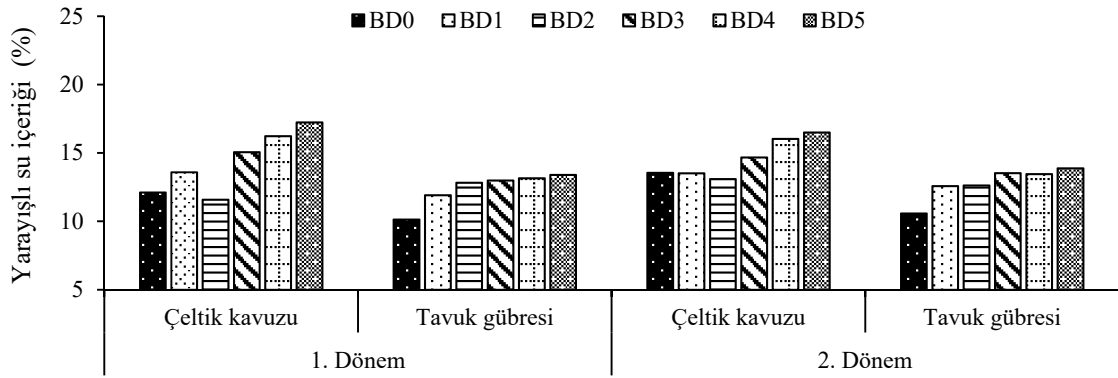
Şekil 4.27. Mönavebe dönemi (MD) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

BÇ ve BD interaksiyonunun YSİ üzerine etkisi de istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.076$) (Çizelge 4.6). Ancak iki biyokömür çeşidi için de, uygulamanın YSİ üzerine etkisi doz arttıkça (Çeltik kavuzu BD2 uygulaması hariç) artmıştır. Buna göre en yüksek ortalama YSİ, çeltik kavuzu x BD5 uygulamasından (%16.87) en düşük ortalama YSİ tavuk gübresi x BD0 (%10.36) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.28). Biyokömür, toprağa ilave edildiğinde toprağın su tutma kapasitesini arttırması durumunda tarım alanlarında, sulama sıklığını veya sulama miktarını azaltmak mümkündür. Bununla birlikte, özellikle makro gözenekli kumlu topraklara biyokömür ilavesi ile mikro gözenek oranının artması ile toprakta suyun tutulma oranını da artacaktır (Verheijen ve ark., 2010).



Şekil 4.28. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun yarayıslı su içeriğine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

Münavebe dönemi x BÇ x BD faktörlerinin interaksiyonları toprakların YSİ değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde bir etki yapmamıştır (Çizelge 4.6). En yüksek YSİ değeri MD1x çeltik kavuzu x BD5 (%17.24) iken en düşük ortalama YSİ değeri MD1 x tavuk gübresi x BD0 (%10.13) interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.29). Yapılan önceki çalışmalarda mineral gübre uygulaması ile birlikte toprağa uygulanan biyokömür ilavesinin kontrole ve sadece mineral gübre uygulamalarına kıyasla tarla kapasitesi ve yarayıslı su içeriğinde önemli miktarda artışa neden olduğu bildirilmiştir (Ma ve ark., 2016).



Şekil 4.29. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun yarayırlı su içeriğine etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

4.1.1.6. Uygulamaların toprağın agregat stabilitesine etkisi

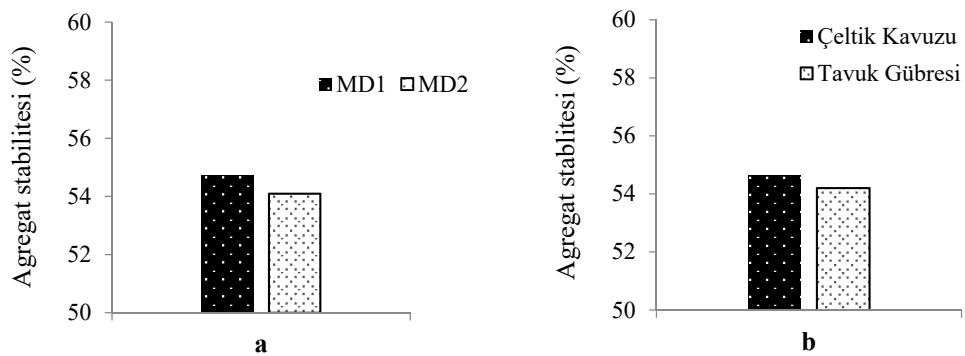
Uygulamaların toprağın agregat stabilitesi (AS) üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. MD, BÇ, BD ve faktörlerin karşılıklı etkileşiminin (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD, MD x BÇ x BD) de AS üzerinde etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür (Çizelge 4.7). Toprak özelliklerinin ve faunanın doğal karmaşıklığı nedeniyle, biyokömürün agregat stabilitesi üzerindeki etkisi belirsizdir ve çeşitli bitki artıklarından elde edilen biyokömür ile ilgili olarak organik C dinamikleri ve toprak agregat stabilitesi arasındaki ilişkiler konusunda bilgi noksanlığı bulunmaktadır. Toprağın stabilitesinin bazı durumlarda toprak ve biyokömür tipine bağlı olarak biyokömür uygulaması ile artabildiği bildirilmiştir (Herath ve ark., 2013; Liu ve ark., 2014a; Lu ve ark., 2014b). Ayrıca agregat stabilitesi ve boyut dağılımı, toprağın erozyona direncini yansıttığı için toprak ve bitki yönetimi uygulamalarının toprak kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için göstergelerdir. Biyokömür ilavesi ile toprakta karbon miktarı artmaktadır. Karbon da bir toprak kalite göstergesi olarak önerilmiştir, çünkü bu parametredeki azalmalar hem makro hem de mikro agregatların su stabilitesinin azalmasıyla doğrudan ilişkili olabilir (Allen ve ark., 2011).

Çizelge 4.7. Uygulamaların toprağın agregat stabilitesi (%) özelliğine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	7.214	7.214	7.996	0.106 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	3.121	3.121	0.036	0.858 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	180.507	36.101	1.157	0.347 ^{öd}
MD*BÇ	1	0.001	0.001	0.000	0.998 ^{öd}
MD*BD	5	23.188	4.638	0.149	0.979 ^{öd}
BÇ*BD	5	19.479	3.896	0.125	0.986 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	6.002	1.200	0.038	0.999 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

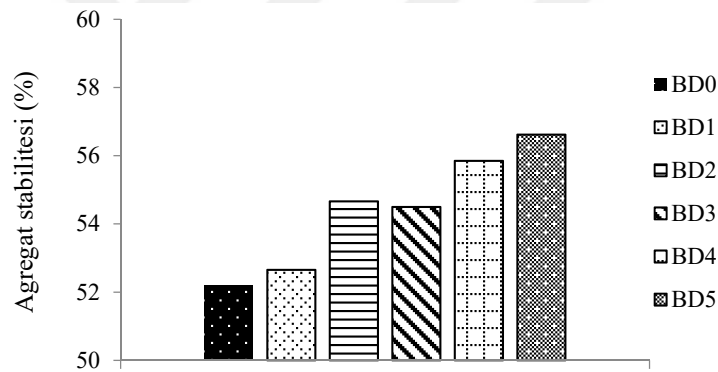
Münavebe döneminin AS üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0.106$) (Çizelge 4.7). Birinci münavebe döneminde AS değerleri (%54.73) MD2'ye (%54.10) kıyasla istatistiksel olarak önemsiz düzeyde çıksa da birinci münavebe dönemi MD2'ye kıyasla (%1.17) daha yüksektir (Şekil 4.30a). Biyokömür çeşidi faktörünün AS üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p=0.858$) (Çizelge 4.7). Bununla birlikte çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasında ortalama AS değeri (%54.62) tavuk gübresi biyokömürü (%54.20) uygulamasına kıyasla (%0.77) daha yüksektir (Şekil 4.30 b). Saman biyokömürü, odun biyokömürü ve bağ budama biyokömürüne kıyasla toprak agregat stabilitesini arttırmada daha etkili olmuştur (Abiven ve ark., 2015). Ayrıca, biyokömürün yüksek C/N oranı, gelişmiş agregat stabilitesi için önemli olan mantar hiflerinin çoğalmasını teşvik etmektedir (Bossuyt ve ark., 2001).



Şekil 4.30. Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidi (b) faktörlerinin agregat stabilitesine etkisi (MD1: Birinci münavebe Dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozlarının toprakların agregat stabilitesi üzerine etkileri önemli bulunmamıştır ($p=0.347$) (Çizelge 4.7). En yüksek ortalama BD5 (%56.62) uygulamalarından elde edilerek analiz sonucunda aynı grupta yer almıştır. En düşük

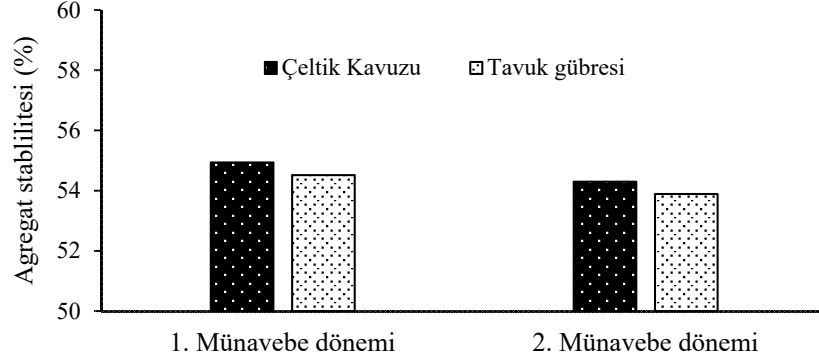
ortalama değer BD0 (%52.19) biyokömür dozundan elde edilmiştir (şekil 4.31). Biyokömür BD5 doz uygulaması kontrole kıyasla %8.49 daha yüksek   kmıştır. Ma ve ark. (2016)'na göre kontrol ile karşılaştırıldığında, hem kimyasal gübre (NPK) + mısır samanı uygulaması hem de kimyasal gübre (NPK) + Biyokömür uygulaması makro-agregaları (> 2 mm) oranını önemli   l  de arttırmıştır. En yüksek makro-agregat oranı NPK + Biyokömür işleminde kaydedilmiştir; (>2 mm). NPK + biyokömür uygulaması ile agregat oranı, sırasıyla NPK + mısır samanı, sadece kimyasal gübre (NPK) ve kontrol uygulamalarından %15, %199 ve %35 daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Bu araştırmacılar, tek başına kimyasal gübre uygulamasına kıyasla, NPK + mısır samanı ve NPK + Biyokömür uygulamalarının toprak agregat stabilitesini önemli   l  de arttırdığını; buna ek olarak biyokömür mısır samanından daha etkili olduğunu rapor etmişlerdir.



şekil 4.31. Biyokömür dozu uygulamalarının agregat stabilitesine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

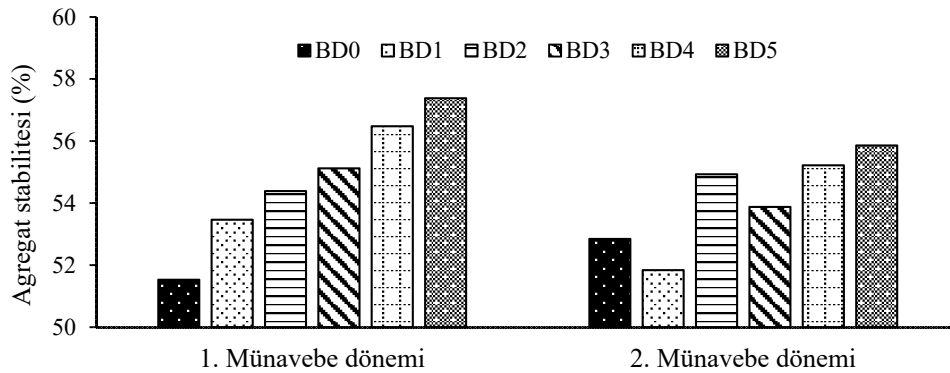
MD x B   interaksiyonunun AS   zerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir (p=0.998) (  zelge 4.7). En yüksek ortalama AS değeri (%54.94) MD1 x   ltik kavuzu interaksiyonundan elde edilirken en d  şuk ortalama AS değeri (%53.89) ise MD2 x tavuk gübresi interaksiyonundan elde edilmiştir (şekil 4.32). Zhang ve ark. (2017), yapmış oldukları bir çalışmada 1-Kontrol, 2-sadece kimyasal gübre, 3-buğday samanı (8t ha⁻¹) + kimyasal gübre, 4-buğday samanından elde edilmiş biyokömür (8 t ha⁻¹) + kimyasal gübre 5- buğday samanından elde edilmiş biyokömür (16 t ha⁻¹) + kimyasal gübre uygulamalarının toprak agregat stabilitesi üzerine etkisini incelemiştir. Araştırma sonunda, 8 t ha⁻¹ saman ve biyokömür uygulamalarının toprak agregasyonu üzerinde önemli bir etkisi olmadığını, ancak buğday samanından elde edilmiş biyokömür (16 t ha⁻¹)

¹⁾ + kimyasal gübre uygulamasının toprak makro agregalarında (>2 mm) (% 105.8) önemli bir artış olduğu rapor edilmiştir.



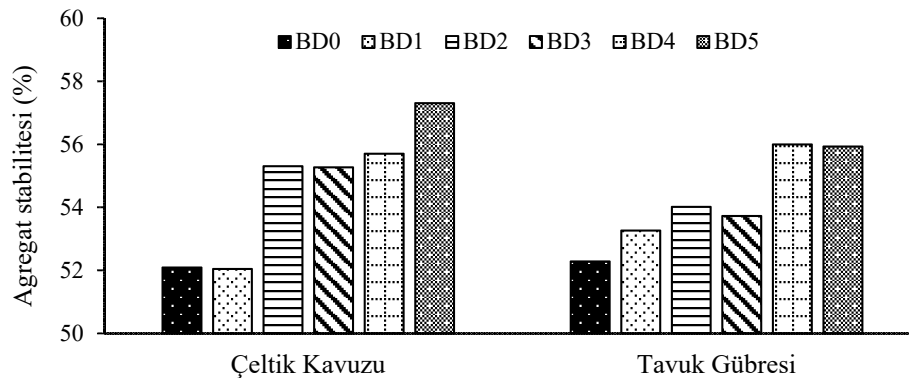
Şekil 4.32. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun agregat stabilitesine (%) etkisi

MD x BD interaksyonunun AS üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.979$) (Çizelge 4.7). En yüksek ortalama AS değeri (%57.38) MD1 x BD5 uygulamasından elde edilirken, en düşük ortalama AS değeri (%51.53) ise MD1 x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.33). Tarla denemisinde çeşitli dozlarda biyokömür (0, 2.5, 5, 10, 20, 30 ve 40 t ha⁻¹) uygulaması yapan Liu ve ark. (2014a), bu uygulamaların AS ve toprak organik karbonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kontrol ile karşılaştırıldığında, 40 t ha⁻¹ biyokömür uygulamasının 0-15 cm derinliğindeki toprakta özellikle >2 mm'den büyük makro agregatlarda belirgin bir artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.33. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun agregat stabilitesine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

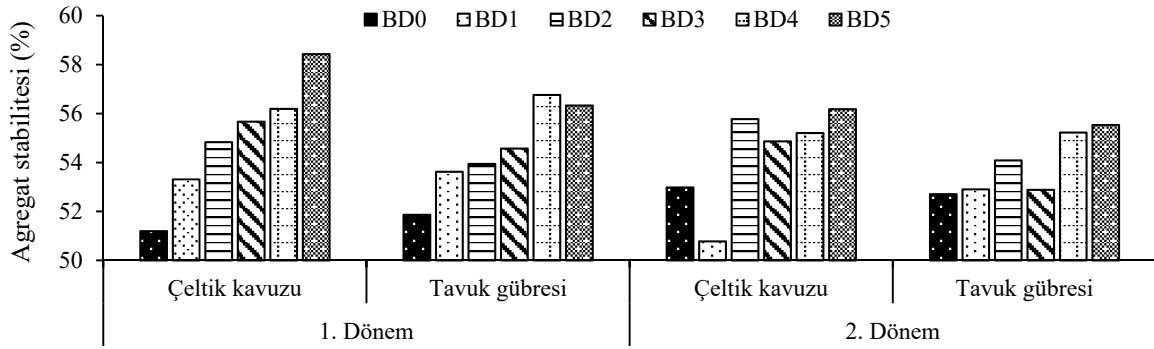
BÇ ve BD interaksiyonunun AS üzerine etkisi de istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.7). Ancak iki biyokömür çeşidinde artan dozlarında AS değerleri artmıştır. Buna göre en yüksek ortalama AS değeri (%57.31) çeltik kavuzu x BD5 uygulamasından elde edilirken en düşük ortalama AS değeri (%52.05) çeltik kavuzu x BD1 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.34). Şeker kamışı biyokömürü, kazan külü, şeker kamışı kompostu ve bu uygulamaların kombinasyonu, bitki çimlenme aşamasının sonunda ve hasat zamanında agregat stabilitesini önemli ölçüde arttırdığını bildiren Hariyono ve ark. (2020), şeker kamışı biyokömür uygulamasının diğer uygulamalardan daha iyi olduğunu vurgulamışlardır. Agregatların gittikçe stabil olmasını sağlamak için fiziksel faktörler (toprak mineralleri), kimyasal faktörler (metal/toprak bazları ve biyokömür fonksiyonel grupları) ve biyolojik faktörler (organik madde ve toprak mikropları) birbirleriyle etkileşime girdiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 4.34. Biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun agregat stabilitesine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

Münavebe dönemi x BÇ x BD interaksiyonlarının AS değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır (Çizelge 4.7). En yüksek ortalama AS değeri (%58.43), MD1 x çeltik kavuzu x BD5 uygulamasında, en düşük ortalama AS değeri ise (%50.78) MD1 x çeltik kavuzu x BD1 interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.35). Biyokömür ilavesinin toprağın agregat stabilitesi üzerine etkisi araştıran Hariyono ve ark. (2020), şeker pancarı atığı biyokömürü; 1) STB (10 t ha⁻¹), 2) kül; K (10 t ha⁻¹), 3) şeker pancarı atığı kompostu; STK (10 t ha⁻¹), 4) STB (5 t ha⁻¹)+STK (5 t ha⁻¹), 5) kül (5 t ha⁻¹) + STK (5 t ha⁻¹) ve 6) kontrol uygulaması olmak üzere 6 farklı uygulamayı kumlu toprakta denemişlerdir. Deneme sonunda toprağın agregat stabilitesinin kontrole (10.11 su damlası

kırılma noktası) kıyasla şeker pancarı biyokömürü (10 t ha⁻¹) uygulamasında (19.22 su damlası kırılma noktası) %90 arttığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.35. Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun agregat stabilitesine (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

4.1.2. Uygulamaların Toprağın Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi

Biyokömür, toprakların kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesinde potansiyel faydalara sahiptir. Bir çok araştırma bulgusu bu faydaların, pH, organik karbon, değişebilir katyonlar ve N gübre kullanım etkinliğinde olduğunu göstermektedir (Chan ve ark., 2008a; 2008b; Bera ve ark., 2016; Glaser ve ark., 2002; Laird ve ark., 2010b). Biyokömürün toprağa uygulanması, bitki besin elemnti alım etkinliğini arttırabilir. Toprak reaksiyonu (pH), besin elementi yarayırlılığı ve bitki büyümesi açısından toprakların önemli bir özelliğidir. Önceki çalışmalar, yüksek pH'lı biyokömürün toprak pH'nını arttırdığını ve kırmızı ferralitlik topraklardaki alüminyum toksisitesini azalttığını göstermiştir (Glaser ve ark., 2002; Lehmann ve ark., 2003a; Steiner ve ark., 2007).

Biyokömür ilave edilmiş topraktaki besin maddelerinin yarayırlılığının artması, adsorpsiyon yeteneği ve biyokömürün geniş yüzey alanı ile ilişkili olduğu bildirilmektedir. Organik materyale biyokömür ilavesinin, besin tutulmasını daha da arttırabileceği ifade edilmektedir (Bruun ve ark., 2011). Biyokömür uygulaması, topraktan besin elementi yıkanmasını azaltarak gübre kullanım etkinliğinde bir artış sağlayabilir (Prabha ve ark., 2013; Chintala ve ark., 2014a). Biyokömürler, organik madde ve kil gibi yüzeyine bitki besin elementlerini tutma veya bağlama yeteneğine sahiptir. Bu nedenle katyonların biyokömür etkisi ile toprakta yıkanıp kaybolmasından

ziyade tutulur ve bitkiler tarafından alınması kolaylaşır. Toprakların katyon değişim kapasitesini arttırır (Glaser ve ark., 2002; Laird ve ark., 2010b; Lehmann ve ark., 2003a). Bu tez çalışmasında tarlaya biyokömürün toprağa uygulanmasının ardından birinci münavebe dönemi bitmiş ve ikinci münavebe dönemi başında tekrar biyokömür uygulaması yapılmamıştır. Deneme sonunda tekrar toprak numunesi alınmış aynı alanda ikinci münavebe sonrası biyokömürün bakiye etkisi araştırmak adına topraklarda toprak reaksiyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC), kireç (CaCO_3), organik madde (OM) karbon (C), azot (N), fosfor (P), potasyum (K), demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn) ve mangan (Mn) içerikleri incelenmiştir. Her iki dönem belirlenen toprağın kimyasal özellikleri arasındaki farklılığı tespit için yapılan test sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Biyokömür uygulamaları sonrasında deneme başında ve sonunda elde edilen P ($p<0.05$) CaCO_3 , OM, C, K, Fe, Cu ve Mn ($p<0.01$) değerlerinin birbirlerinden önemli düzeyde farklı oldukları pH, EC, N ve Zn değerlerinin ise birbirinden farklı olmadığı görülmektedir (Çizelge 4.8).

Biyokömür uygulamaları sonrasında deneme başında ve sonunda elde edilen P ($p<0.05$), CaCO_3 , OM, C, K, Fe, Cu ve Mn ($p<0.01$) değerlerinin birbirlerinden önemli düzeyde farklı oldukları pH, EC, N ve Zn değerlerinin ise birbirinden farklı olmadığı görülmektedir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Deneme başı ve sonuna ait toprağın kimyasal özelliklerinin eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılması

Değişken	Dönem	SD	Ortalama	Ortalama Farkı	t (gözlenen)	t (kritik)	P
pH	Öncesi	35	7.77	-0.035	-1.268	2.03	0.213
	Sonrası	35	7.81				
EC (µS/cm)	Öncesi	35	343	-4.556	-0.566	2.03	0.575
	Sonrası	35	348				
Kireç (%)	Öncesi	35	6.86	-0.577	-8.380	2.03	<0.01
	Sonrası	35	7.44				
Organik madde (%)	Öncesi	35	1.99	-0.162	-4.077	2.03	<0.01
	Sonrası	35	2.15				
Karbon (%)	Öncesi	35	2.15	-0.152	-5.139	2.03	<0.01
	Sonrası	35	2.30				
Azot (%)	Öncesi	35	0.143	-0.002	-0.412	2.03	0.683
	Sonrası	35	0.145				
Fosfor (mg kg ⁻¹)	Öncesi	35	27.43	2.156	2.027	2.03	<0.05
	Sonrası	35	25.28				
Potasyum (mg kg ⁻¹)	Öncesi	35	266	-103.500	-6.631	2.03	<0.01
	Sonrası	35	370				
Demir (mg kg ⁻¹)	Öncesi	35	19.12	5.168	6.546	2.03	<0.01
	Sonrası	35	13.95				
Bakır (mg kg ⁻¹)	Öncesi	35	6.01	0.595	4.317	2.03	<0.01
	Sonrası	35	5.41				
Çinko (mg kg ⁻¹)	Öncesi	35	0.85	0.034	0.672	2.03	0.506
	Sonrası	35	0.82				
Mangan (mg kg ⁻¹)	Öncesi	35	18.08	3.743	6.967	2.03	<0.01
	Sonrası	35	14.34				

SD: Serbestlik derecesi

4.1.2.1. Uygulamaların toprak pH'sına etkisi

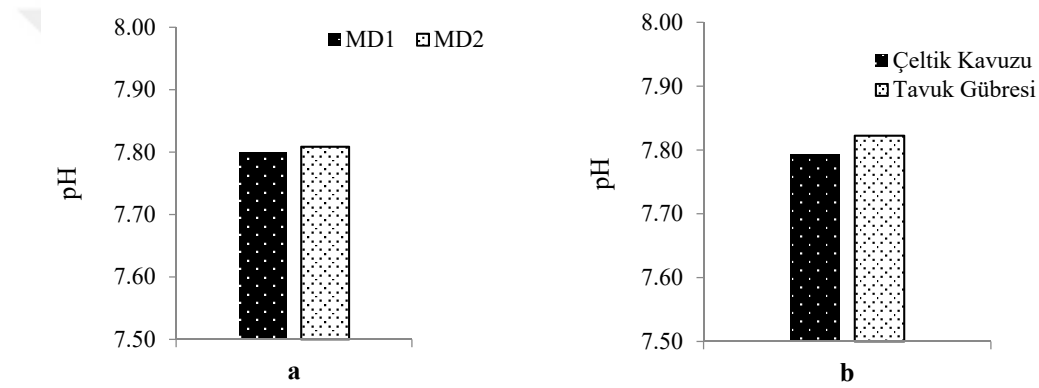
Ana faktörlerin ve interaksiyonların toprak pH'sına etkilerini gösteren varyans analiz tablosu Çizelge 4.9'da verilmiştir. Biyokömür materyalinin yüksek pH'sı sebebi ile uygulandıkları topraklarda pH değerlerini değiştirebilecekleri ifade edilmiştir. Biyokömürün tipik olarak, kül bileşenlerinde tutulan karbonatların kireçleme kapasitesi nedeniyle toprağın pH'sını artırma eğiliminde olduğu rapor edilmiştir (Gaskin ve ark., 2010; Lehmann ve ark., 2003b; Van Zwieten ve ark., 2010). Ancak, deneme sonunda uygulamaların toprak pH'sında önemli bir değişime neden olmadığı görülmüştür. Bu durum, deneme kurulan toprağın tamponlama özelliğinin etkinliğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.9. Uygulamaların toprağın pH özelliğine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	0.00006806	0.00006806	0.005	0.950 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	0.016	0.016	1.021	0.370 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	0.239	0.048	1.726	0.151 ^{öd}
MD*BÇ	1	0.015	0.015	0.946	0.386 ^{öd}
MD*BD	5	0.021	0.004	0.150	0.979 ^{öd}
BÇ*BD	5	0.031	0.006	0.223	0.951 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.040	0.008	0.290	0.916 ^{öd}

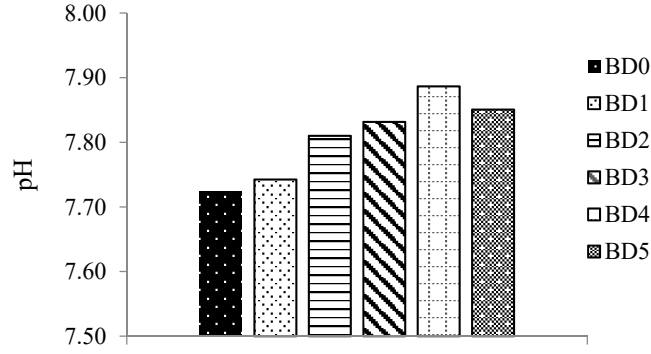
*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Münavebe döneminin pH üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ($p=0.950$) (Çizelge 4.9). Ortalama pH değerleri birinci münavebe dönemi sonunda 7.80 iken ikinci münavebe dönemi sonunda ise 7.81 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.36a). Toprağa uygulanan çeltik kavuzu biyokömürün pH'sı 10.20 iken tavuk gübresi biyokömürünün pH'sı 11.57'dir. Biyokömür çeşidi faktörünün de toprağın pH'sı üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır ($p=0.370$) (Çizelge 4.9). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında ortalama pH değerinin (7.82) çeltik kavuzu biyokömürü (7.79) uygulamasına kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.36b).



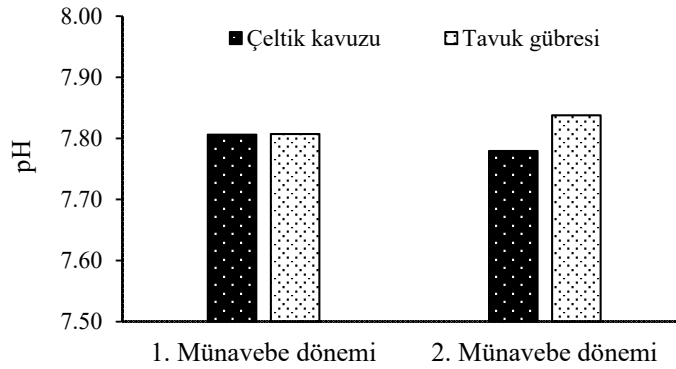
Şekil 4.36. Münavebe dönemi (a) ve biyokömür çeşidinin (b) toprak pH'sına etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozlarının toprak pH'sı üzerine istatistik olarak önemli bir etki yapmadığı anlaşılmaktadır ($p=0.151$) (Çizelge 4.9). En yüksek toprak pH değeri (7.89) BD4 uygulamasında, en düşük ortalama değer (7.72) ise BD0 uygulamasında ölçülmüştür (Şekil 4.37). Uzoma ve ark., (2011), inek gübresinden 500 °C de elde ettikleri biyokömürü 0, 10, 15 ve 20 t ha⁻¹ dozlarında pH'sı 6.35 olan % 95 kumlu toprağa uygulamış biyokömür ile pH arasında anlamlı pozitif doğrusal ilişki olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca araştırmacılar çoğu durumda 30 t ha⁻¹ biyokömür uygulamasının toprak pH'sını 0.5 birim arttırabileceğini bildirmişlerdir (Shackley ve ark., 2013). pH değerlerindeki artışın piroliz sıcaklığının yükselmesiyle alkali tuzların organik maddelerden ayrılması ile ilişkilidir (Yuan ve ark., 2011).



Şekil 4.37. Biyokömür dozu uygulamalarının toprak pH'sına etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

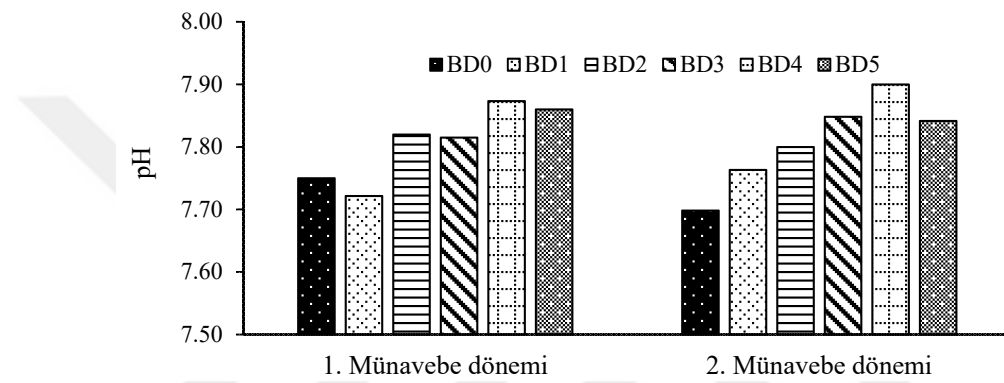
MD x BÇ interaksyonunun pH değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.386$) (Çizelge 4.9). En yüksek ortalama pH değeri (7.84) MD2 x tavuk gübresi interaksyonundan elde edilirken en düşük pH ortalama değeri (7.78) ise MD2 x çeltik kavuzu interaksyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.38). Biyokömür ilavesi ile pH artışı dozların uygulanması sonrasında kontrole kıyasla BD4 sonunda %2.20 artmıştır. Çoğu araştırmacılar biyokömür uygulaması ile birlikte toprak pH'sının arttığını bildirilmiş olmasına rağmen tınlı bir toprağa çam odunundan 450 - 700 °C arası sıcaklıkta hızlı piroliz ile elde ettikleri biyokömürü 30 Mg ha⁻¹ uygulayan Foster ve ark., (2016), bulgularımıza benzer şekilde biyokömür uygulamasının toprağın pH'sında önemli bir değişime neden olmadığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.38. Mönavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprak pH'sına etkisi

Biyokömür dozlarının toprağın pH'sı üzerine önemli bir etki olmamıştır ($P=0.979$) (Çizelge 4.9). İkinci mönavebe dönemi sonrasında toprak pH'sında birinci mönavebe dönemine kıyasla doz artışı ile nispeten bir artış gözlenmiştir, ancak bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. İki mönavebe dönemin de tüm biyokömür dozlarındaki

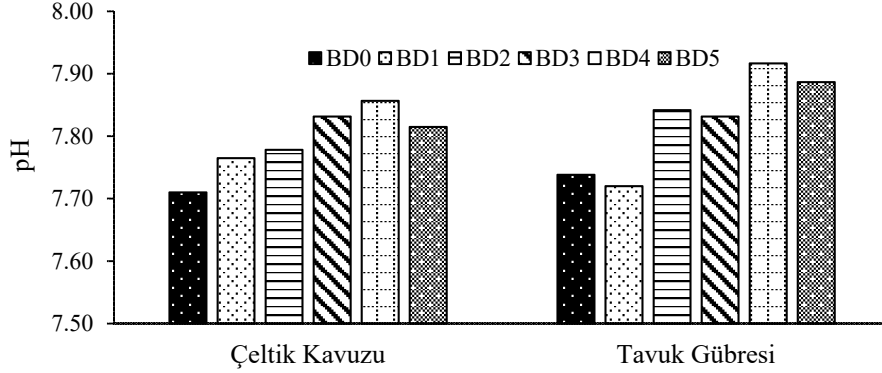
ortalama pH değerleri kontrol uygulamasından istatistiksel olarak farklı olmamıştır (Şekil 4.39). En yüksek ortalama pH değeri (7.90) MD2 x BD4 interaksyonundan elde edilirken, en düşük pH ortalama değeri (7.72) MD1 x BD1 interaksyonundan elde edilmiştir. Toprak pH değerinde farklı sonuçların elde edilmesinin en önemli nedeninin kullanılan biyokömürün hangi materyalden elde edilmiş olduğu ve bu materyalin içeriği olduğu bildirilmiştir (Saygan ve Aydemir, 2016). Prosopis ağaçlarından elde edilen biyokömürün uygulandığı bir inkübasyon çalışmasında ise pH değerinde düşüş olduğu rapor edilmiştir (Shenbagavalli ve Mahimairaja, 2012).



Şekil 4.39. Mönavebe dönemi (MD) x biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprak pH'sına etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

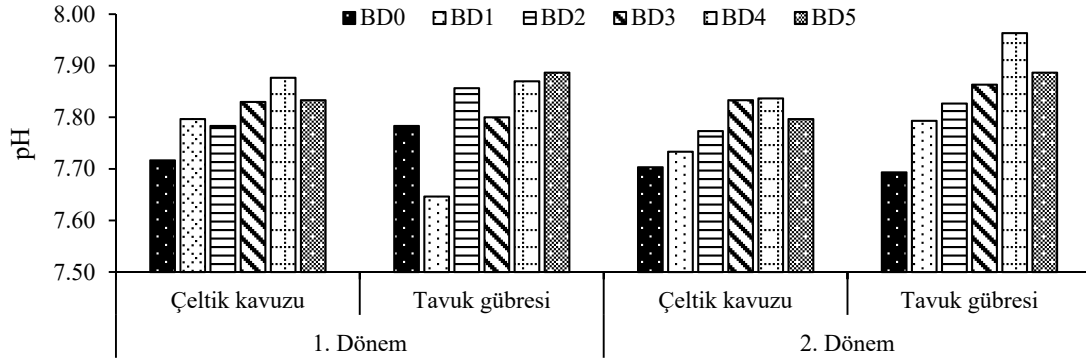
BÇ ve BD interaksyonunun pH üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.951$) (Çizelge 4.9). Buna göre en düşük ortalama pH değeri (7.71), çeltik kavuzu x BD0 interaksyonundan elde edilirken en yüksek ortalama pH değeri (7.92) ise tavuk gübresi x BD4 interaksyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.40). Uygulanan biyokömürün pH'sının yüksek olmasının yanı sıra, uygulanan toprağın kireç içeriğinin yüksek olmasına bağlı olarak zamanla karbonatın hidrolizi sonrasında toprak pH'sının nispeten yükselmesi beklenmektedir (Saygan ve Aydemir, 2016). Gonzaga ve ark., (2020) yapmış oldukları çalışmada biyokömürün uygulanmasından kısa bir süre sonra toprak pH'ında artış gözlemlendiğini ve zamanla daha etkili olduğunu, inkübasyon çalışması boyunca neredeyse atık çamuru hariç sabit kaldığını bildirmişlerdir. Portakal posası biyokömürü toprak pH'sını 30 t ha⁻¹ dozunda 1.81 ve 60 t ha⁻¹ dozunda 2.86 birim arttırdığını bildirmişlerdir. Hindistan cevizi kabuğu biyokömürünün toprak pH'sını 30 t ha⁻¹ uygulaması ile 0.82 ve 60 t ha⁻¹ uygulaması ile 1.81 biriminde arttırdığını gözlemlemişlerdir. Buna ek olarak artıma çamuru biyokömürü ise toprak pH'ını 30 t ha⁻¹ uygulamasında 0.96 ve 60 t ha⁻¹ uygulamasında ise 1.49 birim arttırdığını rapor etmişlerdir. Biyokömür uygulamasının

toprağın pH'ya etkisi üzerine başka çalışan araştırmacılar da konu ile ilgili benzer sonuçlar gözlemlemişlerdir (Li ve ark., 2016; Zhou ve ark., 2017).



Şekil 4.40. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak pH'sına etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

Münavebe dönemi x BÇ x BD interaksiyonları toprakların pH değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde bir etki yapmamıştır ($p=0.916$) (Çizelge 4.9). En yüksek ortalama pH değeri (7.96) MD2 x tavuk gübresi x BD4 uygulamasında, en düşük ortalama pH değeri (7.65) ise MD1 x tavuk gübresi x BD1 interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.41). Zhai ve ark. (2014), mısır samanından 400 °C'de elde ettikleri biyokömürü farklı iki içeriğine sahip toprağa uygulamış, kil oranı nispeten daha düşük olan (%30) toprağa %8 (w/w) oranında biyokömür uygulayan araştırmacılar, deneme toprağında %11'lik bir pH artışı gözlemlerken kil oranı daha yüksek olan deneme toprağının pH değerinde önemli bir fark olmadığını rapor etmişlerdir. Killi topraklara kıyasla kumlu toprakların pH'sında meydana gelen daha belirgin bir artışın, kaba bünyeli toprakların pH değişikliklerine karşı daha düşük tamponlama kapasitesine sahip olmasından kaynaklanabildiği ifade edilmiştir (Soinne ve ark., 2014). Bizim araştırmamızda pH değerinde önemli bir değişkenliğin olmamasının temel nedeninin deneme alanındaki toprağın kil içeriğinin yüksek olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.41. Münavebe dönemi (MD) x biyokömür çeşidi (BÇ) x biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprak pH'sına etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

4.1.2.2. Uygulamaların toprağın elektriksel iletkenliğine etkisi

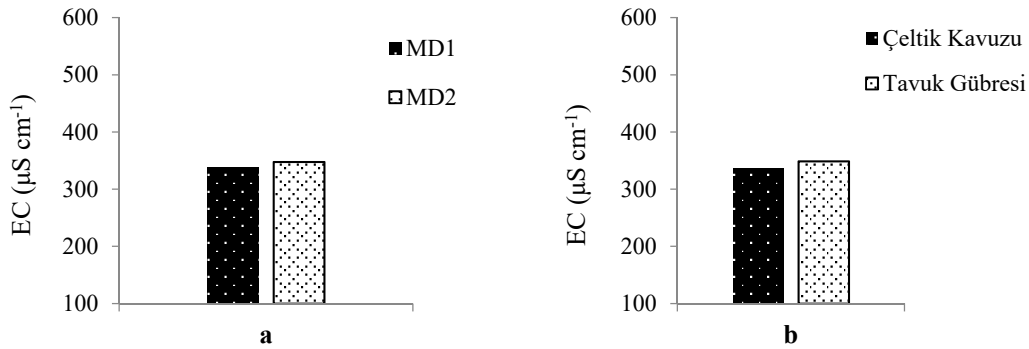
De Luca ve ark., (2009) yüksek piroliz sıcaklığında (800 °C) elde edilen biyokömürün genel olarak daha yüksek EC değerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Chintala ve ark., (2014b) yapmış oldukları çalışmada farklı biyokömür oranlarının (52, 104 ve 156 Mg ha⁻¹) ve kireç uygulamasının, kontrol işlemleriyle karşılaştırıldığında toprak EC'sini önemli ölçüde arttırdığını bildirmiştir. Ayrıca bu araştırmacılar, mısır artığı biyokömürü, uygulama oranları arttıkça (52, 104 ve 156 Mg ha⁻¹) asidik toprağın EC'sini önemli ölçüde % 21, 40 ve 83 arttırdığını, meşe biyokömürü ise toprağın EC'sini 52, 104 ve 156 Mg ha⁻¹ uygulama oranlarında sırasıyla % 19, 51 ve 57 arttığını bildirmişlerdir. Öte yandan, biyokömürlerin asidik toprağa eklenmesi, bitki alımına uygun olan zayıf çözeltilerin toprak çözeltisine (bağlar ve anyonlar) salınması nedeniyle EC'de bir artışa neden olduğu rapor edilmiştir (Glaser ve ark., 2000; Gundale ve DeLuca 2007; Chan ve ark., 2008a). Bu tez çalışmasında ise yukarıdaki çalışmaların aksine olarak, doz ve çeşit uygulamaların toprakların elektriksel iletkenlikleri (EC) üzerine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçlarına göre, bireysel faktörler, ikili ve üçlü faktörlerin interaksiyonlarının hiç biri toprağın EC özelliği üzerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmamıştır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Uygulamaların toprağın elektriksel iletkenlik (EC) özelliği üzerine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	1800.000	1800.000	0.947	0.433 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	2738.000	2738.000	2.767	0.172 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	3683.444	736.689	0.629	0.679 ^{öd}
MD*BÇ	1	1317.556	1317.556	1.332	0.313 ^{öd}
MD*BD	5	4420.000	884.000	0.754	0.588 ^{öd}
BÇ*BD	5	4186.333	837.267	0.714	0.616 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	1800.000	1800.000	0.947	0.433 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

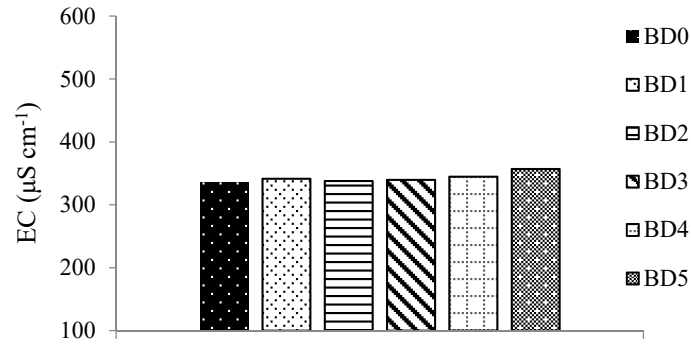
Elektriksel iletkenlik bakımından, münavebe döneminin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.433$) (Çizelge 4.10). Ortalama EC değerleri birinci münavebe dönemine ($338 \mu\text{S cm}^{-1}$) kıyasla ikinci münavebe döneminde ($348 \mu\text{S cm}^{-1}$) daha yüksektir (Şekil 4.42a). Zhai ve ark., (2014) biyokömür uygulamasının hem kıvıllı hem de Fluvo-aquik toprakta EC'yi önemli ölçüde ($p<0.05$) arttırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca, kıvıllı toprakta inkübasyon sonunda, %8 (w/w) biyokömür ilavesinde EC değerinin %50 oranında arttığını bildirmişlerdir. Biyokömür çeşidi faktörü toprağın EC değeri üzerine etkisi önemsizdir (0.172) (Çizelge 4.10). Ortalama EC değeri, tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında ($349 \mu\text{S cm}^{-1}$) çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasına ($336 \mu\text{S cm}^{-1}$) kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.42b).



Şekil 4.42. Münavebe döneminin (a) Biyokömür çeşidinin (b) toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

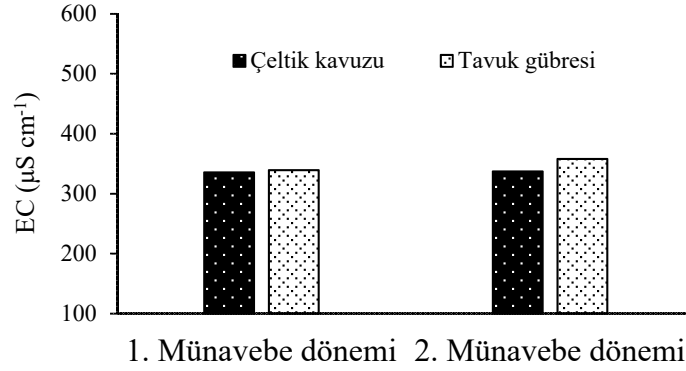
Biyokömür dozları toprakların EC değeri üzerine istatistiki olarak önemli bir etki yapmamıştır ($p=0.679$) (Çizelge 4.10). En yüksek ortalama EC değeri ($357 \mu\text{S cm}^{-1}$) BD5 uygulamasında iken en düşük ortalama EC değeri ($335 \mu\text{S cm}^{-1}$) BD0 uygulamasında elde edilmiştir (Şekil 4.43). Biyokömür dozu uygulamalarında toprakların elektriksel iletkenliği üzerine etkisi BD0 uygulamasına kıyasla BD5 uygulamasında %6.57 arttığı

tespit edilmiştir. Biyokömür uygulamasından sonra gözlenen toprak pH ve EC'sindeki artış, kül birikmesine (Chirenje ve Ma, 2002) ve toprağın katyon değişim kapasitesini arttıran yüksek yüzey alanına ve biyokömürün gözenekli yapısına bağlanabilir (Jeffery ve ark., 2011). Bu tez çalışmasında biyokömür dozlarına bağlı olarak toprağın EC değerinde BD2 uygulaması hariç nispeten bir yükselme görülmektedir.



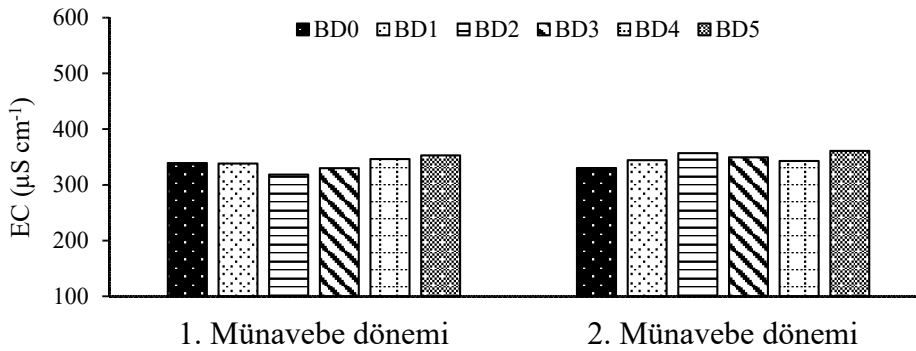
Şekil 4.43. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, µS/cm) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

MD x BÇ faktörlerinin interaksyonu ortalama EC değerleri üzerinde istatistiki olarak önemli düzeyde etki yapmamıştır ($p=0.313$) (Çizelge 4.10). En yüksek ortalama EC değeri ($358 \mu\text{S cm}^{-1}$) MD2 x tavuk gübresi interaksyonundan elde edilirken en düşük EC ortalama değeri ($336 \mu\text{S cm}^{-1}$) ise MD1 x çeltik kavuzu interaksyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.44). Zeytin artıklarından zayıf piroliz (400°C) ile elde edilen biyokömürü % 0, 5, 10 ve 15 dozlarında ilave edilerek. Biyokömür ilavesinden sonra 30. ve 90. günlerindeki EC değişimini inceleyen Hmid ve ark., (2015) biyokömür ilavesinden sonra toprağın EC'si arttığını bildirmişlerdir. Biyokömürün farklı toprak tipleri üzerinde sınırlayıcı bir etkisi olduğunu bildiren çeşitli çalışmalar da mevcuttur (Van Zwieten ve ark., 2010; Cui ve ark., 2011b; Lehmann ve ark., 2011; Albuquerque ve ark., 2013). Bu bağlamda çalışma alanımızdaki toprak tipi killi yapıda olduğundan dolayı bu değişimi toprağın tamponlama kapasitesinden ötürü net göremememize sebep olabilir.



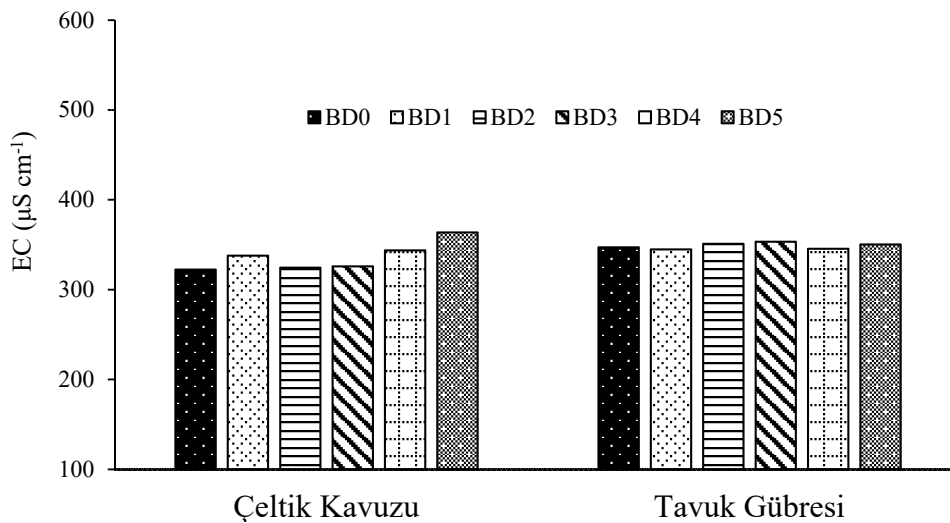
Şekil 4.44. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$) etkisi

MD x BD interaksiyonunun EC değerleri üzerinde etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.588$) (Çizelge 4.10). En yüksek ortalama EC değeri ($361 \mu\text{S cm}^{-1}$) MD2 x BD5 uygulamasından elde edilirken, en düşük ortalama EC değeri ($319 \mu\text{S cm}^{-1}$) MD2 x BD3 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.45). Arjumend (2019), yapmış olduğu çalışmada zeytin küspesi ve pamuk sapından elde ettikleri biyokömürü toprağa 0, 1, 2 t da^{-1} dozlarında ilave etmişler ve her iki biyokömür çeşidi içinde, inkübasyon sonunda uygulama öncesi değerlere kıyasla artan elektriksel iletkenlik (EC) ile sonuçlandığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, pamuk sapı biyokömürü uygulanmış toprakların EC'si zeytin küspesi biyokömürü uygulanan topraklardan daha fazla olduğunu ve bu pamuk sapı biyokömürünün daha yüksek EC'ye sahip olmasına atfetmiştir. Bu araştırmada, uygulama sonrası toprağın her ne kadar EC değerleri konular arası istatistik olarak önemsiz çıkmış olsa da nispeten bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte EC'deki artışın, biyokömürün yüksek kül içeriğinden kaynaklandığı sonucuna varılabilir.



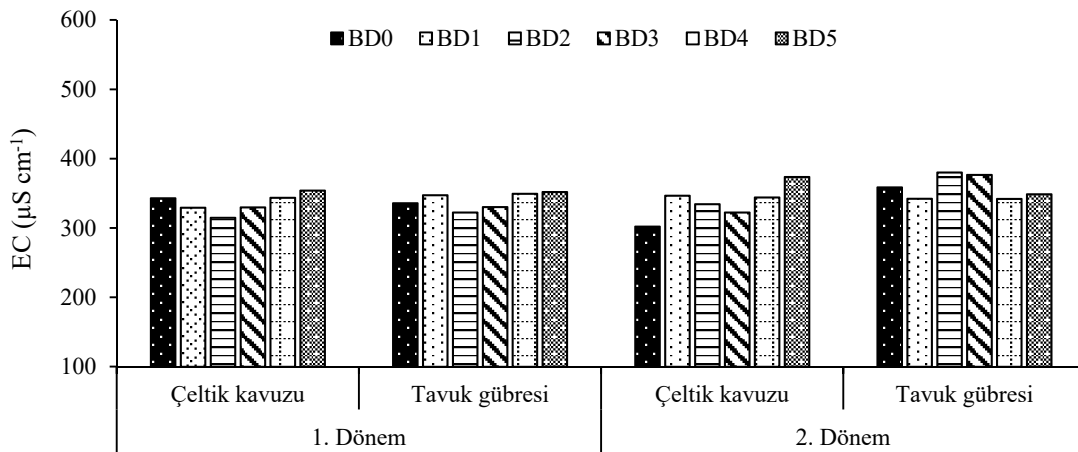
Şekil 4.45. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

BÇ ve BD interaksiyonunun EC üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.616$) (Çizelge 4.10). En yüksek ortalama EC değeri ($364 \mu\text{S cm}^{-1}$) çeltik kavuzu x BD5 uygulamasından elde edilirken en düşük EC değeri ($323 \mu\text{S cm}^{-1}$) çeltik kavuzu x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.46). Biyokömürün toprağın EC'si üzerinde net bir etkisi olup olmadığı çok açık değildir (Abu Zied Amin, 2014). Ancak bunun aksine, biyokömür ilavesi ile toprağın EC'sinde önemli bir artışla sonuçlanan çalışmalar da mevcuttur (Oguntunde ve ark., 2004). Chintala ve ark. (2014b) kili tın tekstüre sahip asidik karakterli toprağa (pH:4.73, EC: $93 \mu\text{S cm}^{-1}$) mısır ve dallı darı artığının pirolizi (650°C) ile elde edilen biyokömürü ve kireç materyallerini 0, 52, 104 ve 156 t ha^{-1} dozlarında uygulamışlar ve EC değerinin inkübasyon süresinin sonuna kadar biyokütle ve kireç uygulamasıyla önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, mısır biyokömürü, uygulama oranı arttıkça asidik toprağın EC'sini önemli ölçüde (% 21, 40 ve 83) arttırırken, dallı darı biyokömürü, toprağın EC'sini 52, 104 ve 156 t ha^{-1} uygulama oranlarında sırasıyla % 19 % 51 ve % 57 arttırdığını bildirmişlerdir. Araştırma sonuçları 156 t ha^{-1} uygulama oranı, mısır biyokömürü ve dallı darı biyokömürü için önemli ölçüde farklı EC değerleri göstermiştir (Chintala ve ark., 2014b). Biyokömürün asidik toprağa eklenmesi, bitki alımına uygun olan zayıf çözeltilerin toprak çözeltisine (bağlar ve anyonlar) salınması nedeniyle EC'de bir artışa neden olmuştur (Glaser ve ark., 2000; Gundale ve DeLuca 2007; Chan ve ark., 2008a).



Şekil 4.46. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Münavebe dönemi x BÇ x BD interaksiyonları toprakların EC değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde bir etki yapmamıştır ($p=0.433$) (Çizelge 4.10). En yüksek ortalama EC değeri ($380 \mu\text{S cm}^{-1}$) ikinci münavebe dönemi x tavuk gübresi x BD2 uygulamasından ve en düşük ortalama EC değeri ($302 \mu\text{S cm}^{-1}$) ise ikinci münavebe dönemi x çeltik kavuzu x BD0 interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.47). Dou ve ark. (2012), iki farklı patates denemesi kurulan arazide (Mito tarım arazisi ve araştırma arazisi) biyokömür, odun sirkesi ve gıda kompostu uygulamışlardır. Patates hasatı sonrası toprak EC değerlerinin, biyokömür uygulamasının odun sirkesi ve gıda kompostu uygulamalarından önemli ölçüde daha yüksek olduğunu ancak bu etkilerin Mito tarım arazisinde anlamlı olmadığını vurgulamışlardır.



Şekil 4.47. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

4.1.2.3. Uygulamaların toprağın kireç içeriğine etkisi

Uygulamaların toprakların kireç içeriği üzerine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Ana faktörler ve karşılıklı etkileşimlerinin (MD, BÇ, BD, MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD ve MD x BÇ x BD) hiçbirisi toprağın kireç içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır (Çizelge 4.11). Biyokömürlerin düzenleyici kabiliyeti, fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle değişebilir. Bu biyokömür özellikleri pirolitik parametrelerden ve hammadde türünden etkilenir (Lei ve ark., 2009). Herhangi bir düzenleyicinin kirletici etkisi, toprak pH'ı ve

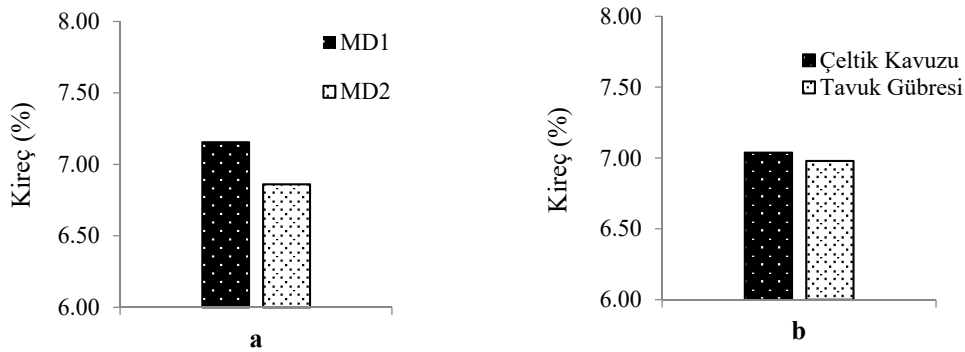
değiştirilebilir asitlik gibi toprak indeksleri incelenerek belirlenebilir (Wong ve Swift 1995; Wang ve ark., 2009). Bir materyalin kireçlenme potansiyeli, kalsiyum karbonat eşdeğeri (Mokolobate ve Haynes 2002) ve kül alkalinitesi (Noble ve ark., 1996) ile de öngörülebilir. Farklı biyokütle hammaddeleri kullanılarak çeşitli pirolitik işlemlerden üretilen biyokömürlerin kireçlenme potansiyeli ve bunların toprak asitliğini azaltmak için ilgili reaksiyon mekanizmaları hakkında çok az bilgi bulunmaktadır.

Çizelge 4.11. Uygulamaların toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriği üzerine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	1.564	1.564	1.053	0.413 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	0.062	0.062	0.159	0.710 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	0.446	0.089	0.759	0.585 ^{öd}
MD*BÇ	1	0.431	0.431	1.109	0.352 ^{öd}
MD*BD	5	0.299	0.060	0.509	0.768 ^{öd}
BÇ*BD	5	0.169	0.034	0.287	0.917 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.309	0.062	0.525	0.756 ^{öd}

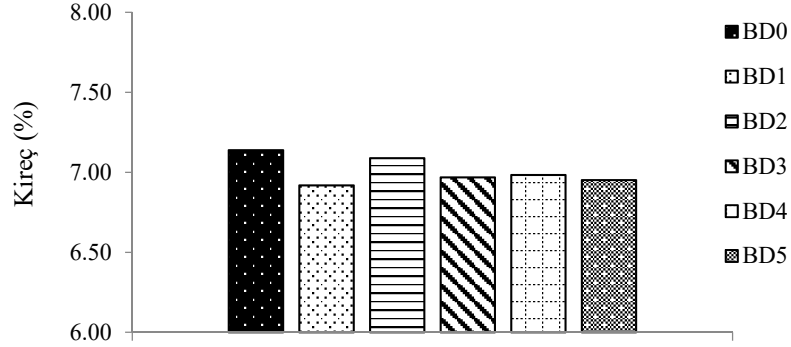
*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Birinci ve ikinci münavebe döneminin kireç içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ($p=0.413$) (Çizelge 4.11). Ortalama kireç içeriği birinci münavebe dönemine (%7.16) kıyasla ikinci münavebe döneminde (%6.86) daha düşüktür (Şekil 4.48a). Biyokömür çeşidinin toprağın kireç içeriği üzerine etkisi önemsizdir ($p=0.710$) (Çizelge 4.11). Tavuk gübresi biyokömürü (%7.04) çeltik kavuzu biyokömürüne (%6.98) kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.48b).



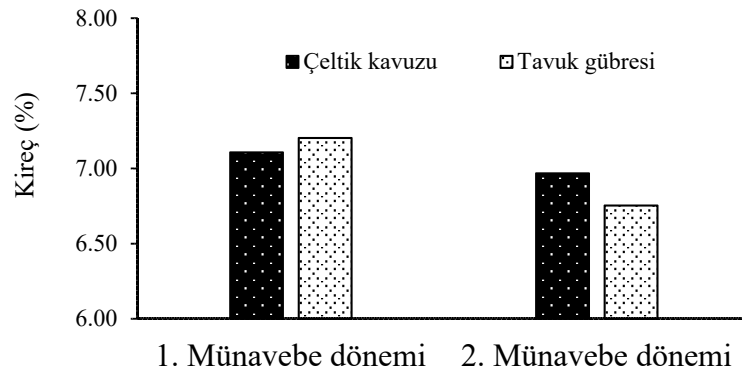
Şekil 4.48. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozlarının kireç içeriği üzerine etkisi istatistik olarak önemsiz olduğu görülmektedir ($p=0.585$) (Çizelge 4.11). En yüksek ortalama kireç içeriği (%7.14) BD0 uygulamasında iken en düşük ortalama değer (%6.92) BD1 uygulamasında olduğu görülmektedir (Şekil 4.49).



Şekil 4.49. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

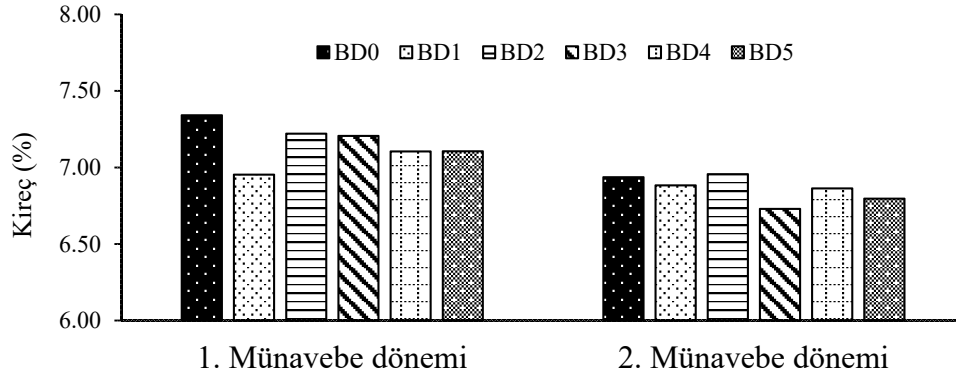
MD x BÇ interaksiyonunun toprağın kireç içeriği üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.585$) (Çizelge 4.11). En yüksek ortalama kireç içeriği birinci münavebe dönemi x tavuk gübresi interaksiyonundan elde edilirken (%7.20) en düşük kireç ortalama değeri ise ikinci münavebe dönemi x tavuk gübresi interaksiyonundan (%6.75) olduğu bulunmuştur (Şekil 4.50).



Şekil 4.50. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi

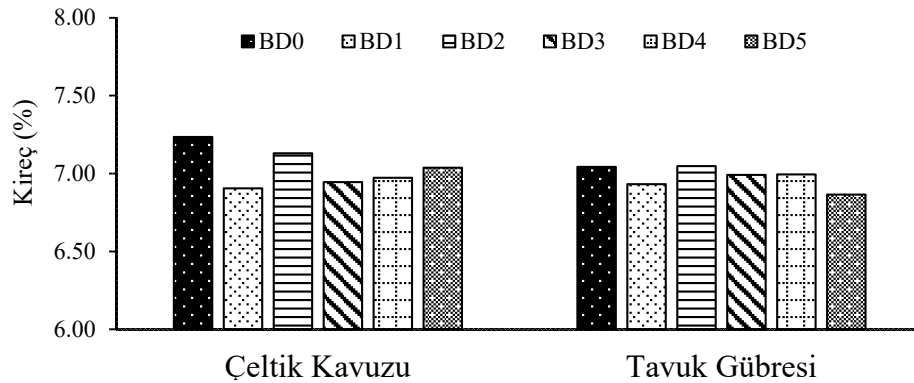
MD x BD interaksiyonunun kireç içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.352$) (Çizelge 4.11). En yüksek ortalama kireç içeriği (7.34%) MD1x BD0

uygulamasından elde edilirken, en düşük ortalama kireç içeriği ise (6.73%) MD2 x BD3 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.51).



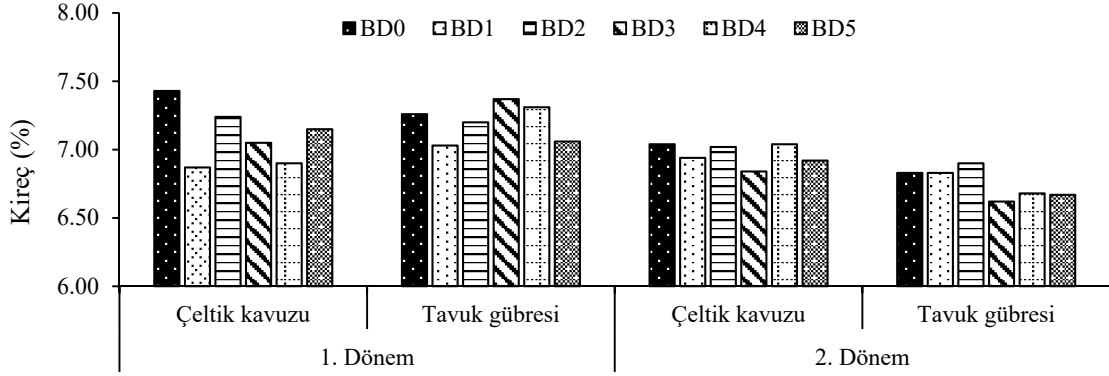
Şekil 4.51. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

BÇ ve BD interaksyonunun kireç içeriğine etkisi de istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.768$) (Çizelge 4.11). En yüksek ortalama kireç içeriği çeltik kavuzu x BD0 uygulamasından (%7.24) ve en düşük kireç içeriği (%6.87) ise tavuk gübresi x BD5 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.52). Turgay ve ark. (2018), yapmış oldukları çalışmada, %48 kil ve %23.36 kireç içeren bir toprağa tavuk gübresi, arıtma çamuru ve zeytinyağı küspesi atıkları pirolitik (300 °C) ve hidrotermal (220 °C) işlemi ile 0, 2.5, 5 ve 10 t da^{-1} dozlarında biyokömür haline getirilmiş, farklı biyokömür uygulamaları ile toprağın kireç içeriği %19.56–26.32 arasında değişmiştir. Uygulama sonunda biyokömür x doz interaksyonu önemli bulunmuş ancak pirolitik ve hidrotermal biyokömürler ve bunların farklı doz uygulamaları arasında belirgin farklar kaydedilmemiştir.



Şekil 4.52. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2:2 t da^{-1} , BD3:3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

MD x BÇ x BD interaksiyonları kireç içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde bir etki yapmamıştır ($p=0.756$) (Çizelge 4.11). En yüksek ortalama kireç içeriği (%7.43) MD1 x çeltik kavuzu x BD0 ve en düşük ortalama kireç içeriği (%6.62) MD2 x tavuk gübresi x BD3 interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.53).



Şekil 4.53. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) intraksiyonunun toprağın kireç (CaCO_3 , %) içeriğine etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

4.1.2.4. Uygulamaların toprağın organik madde içeriğine etkisi

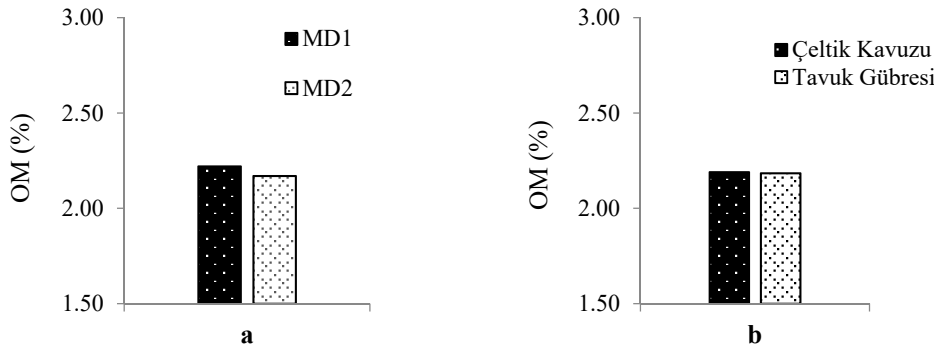
Toprak organik maddesi, toprağın sahip olduğu birçok fonksiyonu gerçekleştirmesinde doğrudan veya dolaylı katkı yapan toprağın en önemli bileşenidir. Bu nedenle, organik madde içeriğinin düşük olması, tarım arazilerinin verimliliğinin de düşük olması anlamına gelir (Van Wambeke, 1992). Bu bağlamda, tarımsal atıkların yüksek sıcaklıkta piroliz ile elde edilen biyokömürün uygulanması, toprak kalitesini arttırmada önemli bir katkı maddesi olarak düşünülebilir (Lehmann, 2007). Biyokömürün etkisini görmek amacı ile yürütülen bu tez çalışmasında MD, BÇ ve BD faktörlerinin ve karşılıklı etkileşimlerinin (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD ve MD x BÇ x BD toprağın organik madde içeriğine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.53’de verilmiştir. Analiz sonuçları, ana faktörlerin ve interaksiyonlarının toprak OM içeriği üzerine istatistiki olarak önemli bir etkisinin olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Uygulamaların toprağın organik madde (%) içeriğine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	0.072	0.072	1.443	0.353 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	0.001	0.001	0.016	0.905 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	0.607	0.121	2.195	0.074 ^{öd}
MD*BÇ	1	0.008	0.008	0.113	0.754 ^{öd}
MD*BD	5	0.011	0.002	0.041	0.999 ^{öd}
BÇ*BD	5	0.012	0.002	0.043	0.999 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.004	0.001	0.014	0.999 ^{öd}

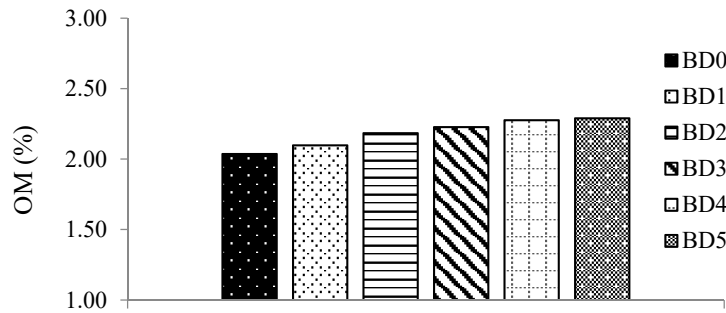
*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Münavebe dönemlerinin toprağın OM içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0.353$) (Çizelge 4.12). İkinci münavebe dönemi sonunda OM içeriği (%2.22) birinci münavebe dönemine (%2.17) kıyasla istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte, bir miktar daha yüksektir (Şekil 4.54a). Biyokömür uygulamasının toprak organik karbonu üzerindeki etkisinin uygulanan biyokömür çeşidi ve uygulama dozuna göre değişiklik gösterebileceği bildirilmiştir (Lei ve ark., 2013). Sığır gübresi ve odun talaşından, düşük (300 °C) ve yüksek piroliz sıcaklıklarında (500 ve 700 °C) üretilen biyokömürler %5 (w/w) dozunda toprağa uygulanmıştır. İlave edilen biyokömürler kontrol ile karşılaştırıldığında, düşük sıcaklıkta üretilen biyokömürün yüksek sıcaklıkta üretilen biyokömüre kıyasla toprakta daha yüksek OM miktarı içerdiği ve tüm biyokömür işlemlerinde OM miktarının 50 günlük inkübasyondan sonra azaldığını rapor edilmiştir (Lei ve ark., 2013). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında toprak OM içeriği (%2.18) çeltik kavuzu biyokömürü (%2.19) uygulamasına son derece benzerdir (Şekil 4.54b). Biyokömür çeşitleri arasında uygulamaya bağlı TOM içeriğinde istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.905$) (Çizelge 4.12).



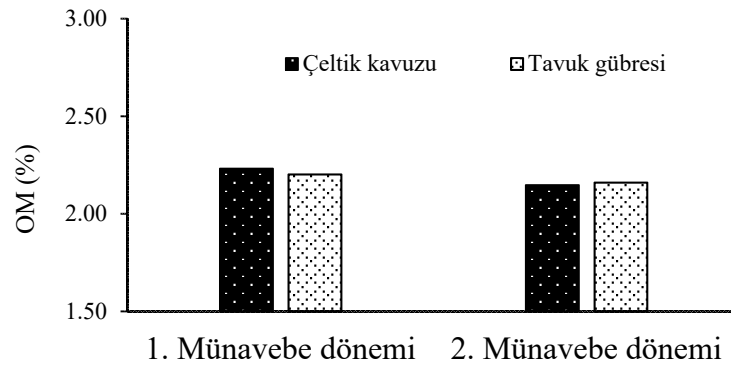
Şekil 4.54. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozları toprakların organik madde içeriği üzerine önemli düzeyinde etki yapmamasına rağmen dozlara göre bir artış olduğu belirlenmiştir ($p=0.074$) (Çizelge 4.12). En yüksek ortalama BD5 (%2.29) iken en düşük ortalama değer BD0 (%2.04) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.55). Yapılan varyans analizi sonunda biyokömür dozu uygulaması ile toprağın OM miktarında önemli düzeyde bir değişme olmasa da doz uygulaması artıkça toprağın organik madde miktarında bir artış meydana gelmiştir. Kızılçam budama atıklarının 600°C’de piroliz edilmesi sonucunda elde edilen biyokömürü dört farklı tipte toprağa 0, 2, 4 ve 16 g kg⁻¹ dozlarını uygulayan Luo ve ark. (2020), biyokömür ilavesinin toprağın 0-10, 10-20, 20-30 ve 30-40 cm derinliklerden aldıkları örnekler üzerinde toprağın organik C konsantrasyonu üzerine etkisi incelemişler ve toprak organik karbon (TOK) içeriğinin artma eğilimi sadece biyokömür uygulama oranından değil, aynı zamanda toprak tipi ve toprak derinliğinden de etkilendiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada, 0-20 cm toprak derinliğinde, organik C içeriği Lou (siltli tın) toprağı ve Loessal (kumlu tın) toprağında artan biyokömür uygulama oranı ile artarken Kara Loessial (tın) toprağa 16 g kg⁻¹’da biyokömür ilave edildiğinde azalmıştır. Aeolian (kumlu) toprak için, organik C sadece 16 g kg⁻¹ biyokömür işleminde önemli ölçüde artmıştır. Biyokömür uygulamasının organik C üzerindeki etkisi sadece biyokömürlü 0-20 cm’lik derinlikte değil, aynı zamanda biyokömür olmayan 20-40 cm derinliğe de yansıdığını bildirmişlerdir. Eklenen biyokömür miktarındaki artışla birlikte, Aeolian kumlu toprağı için, 16 g kg⁻¹ biyokömür ilave edildiğinde organik C konsantrasyonunda önemli bir değişiklik gözlemlendiğini, bu da 8 g kg⁻¹ ile 16 g kg⁻¹ arasında kritik bir biyokömür değişikliği değerini ortaya koyduğunu başka bir deyişle, eklenen biyokömür miktarı kritik değerden daha büyük olduğunda, organik C konsantrasyonunun hızla artabileceğini rapor etmişlerdir.



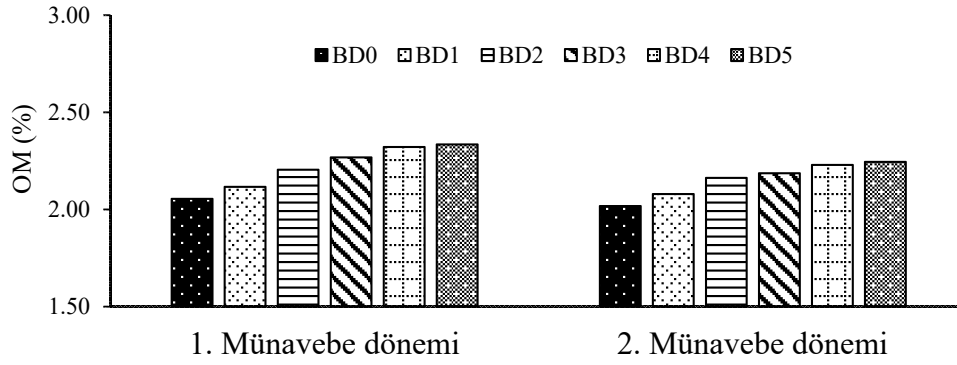
Şekil 4.55. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

MD x BÇ interaksiyonunun toprağın OM içeriği üzerine istatistiki olarak önemli düzeyinde etki yapmadığı belirlenmiştir ($p=0.754$) (Çizelge 4.12). En yüksek ortalama OM içeriği (%2.23) MD1 x çeltik kavuzu ve en düşük ortalama toprağın OM içeriği (%2.15) ise MD2 x çeltik kavuzu interaksiyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.56). Kuzyakov ve ark. (2009), biyokömür ilavesi sonrası, uygulama yapılan iki ayrı bölgede de orijinal organik maddenin ayrışma oranında azalma gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Bu durum, biyokömürün OM üzerine koruyucu etkisinin göstergesi olduğunu belirtmişlerdir.



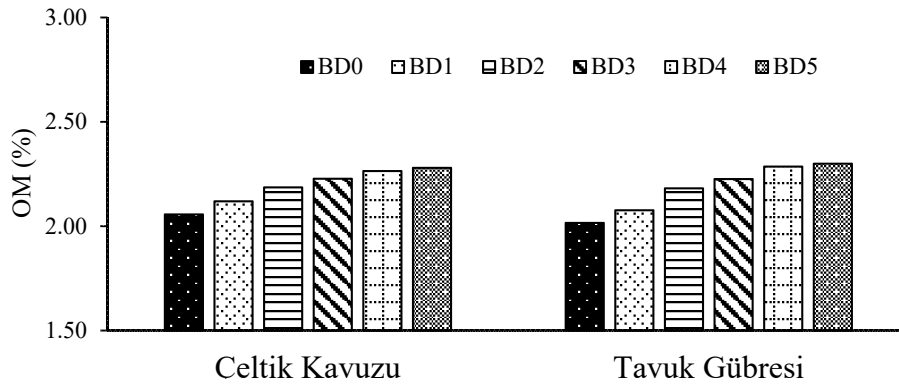
Şekil 4.56. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi

MD x BD interaksiyonunun toprağın OM içeriği üzerinde istatistiki olarak düzeyinde etkili olmadığı saptanmıştır ($p=0.999$) (Çizelge 4.12). Ancak iki dönem için de, uygulamanın TOM üzerine etkisi doz arttıkça artmıştır. Buna göre en yüksek TOM içeriği (%2.34), MD1 x BD5 uygulamasından ve en düşük OM içeriği (%2.02) MD2 x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.57). Akça ve Namlı (2015) tavuk altlığından elde edilen biyokömür uygulamalarının saksı denemesi olarak yürüttükleri sera denemesinde toprak organik maddesinde önemli miktarda artış sağladığını saptamışlardır. Öte yandan Namlı ve ark. (2017), fındık kabuğu ve tavuk gübresinden elde ettikleri biyokömürlerin tarla şartlarında buğday gelişimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar uygulamaların Toprak OM içeriğinde önemli bir değişime neden olmadığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.57. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

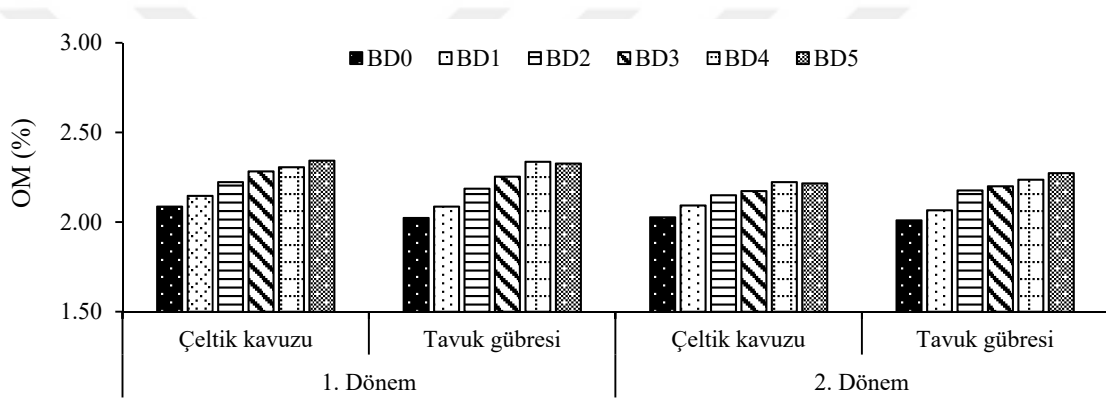
BÇ ve BD interaksyonunun OM üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.999$) (Çizelge 4.12). Ortalama en yüksek OM içeriği (%2.30), tavuk gübresi x BD5 uygulamasından ve en düşük OM içeriği (%2.02) ise tavuk gübresi x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.58). Buğday sapından elde ettikleri biyokömürü 0, 1, 2, 3, 4 t da⁻¹ dozlarında tarlaya uygulayan Jing ve ark. (2020), toprak organik madde içeriğinin 0-17 cm toprak derinliğinde, biyokömür uygulama oranı arttıkça arttığını, çözünmüş organik karbon ise biyokömür ilavesi ile azaldığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.58. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

MD x BÇ x BD interaksyonları toprağın OM içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde bir etki yapmamıştır ($p=0.999$) (Çizelge 4.12). En yüksek OM içeriği (%2.34) MD1 x çeltik kavuzu x BD5 ve en düşük ortalama OM içeriği (%2.01) ile MD2 x tavuk gübresi x BD0 interaksyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.59). Mönavebe dönemleri

sonrası toprak organik madde içeriğinde çok az da olsa düşüş meydana gelmiştir, bunda zamanın etkisi yanı sıra münavebe bitkileri ekim/dikim işlemleri için toprak işlemenin de etkisi olduğu düşünülmektedir. Munera-Echeverri ve ark. (2020) yapmış oldukları çalışmada güvercin bezelyesi (*Cajanus cajan*) atığından (600 °C) elde ettikleri biyokömürü 400 kg da⁻¹ dozunda toprağa ilavesi ile soya-mısır rotasyonunda denemişlerdir. Biyokömür etkisinin geleneksel ve koruyucu toprak işleme ile birlikte araştırıldığı çalışmada biyokömürün ilavesinin, toprak organik C miktarında, koruyucu toprak işleme konusuna kıyasla geleneksel toprak işlemede daha az bir artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.59. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın organik madde (%) içeriğine etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

4.1.2.5. Uygulamaların toprağın karbon (C) konsantrasyonuna etkisi

Karbon bakımından zengin aromatik yapısı nedeniyle biyokömür ayrışmaya karşı dayanıklıdır. Bu nedenle toprakta uzun süre ayrışmadan kalabilme potansiyeline sahip olan toprak karbon fraksiyonunu oluşturabilirler (Kuhlbusch ve ark., 1996; Dai ve ark., 2005). Biyokömür uygulamaların toprağın karbon konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Çizelge 4.13’de gösterilmiştir. Ana faktörlerden biyokömür dozu, karbon konsantrasyonuna önemli düzeyde bir etki yapmış, ancak diğer faktörlerin etkisi önemsiz bulunmuştur. Bireysel faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin tamamının (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD ve MD x BÇ x BD) karbon konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

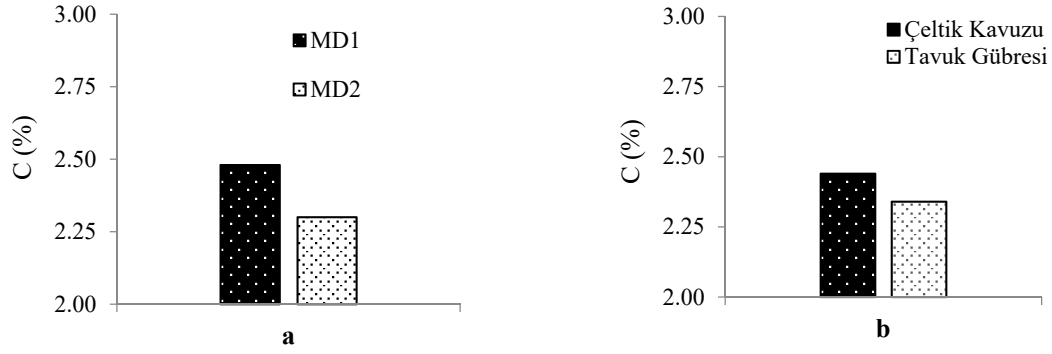
Çizelge 4.13. Uygulamaların toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	0.537	0.537	10.847	0.081 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	5	0.170	0.170	2.156	0.216 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	1	0.896	0.179	7.370	<0.001 ^{**}
MD*BÇ	5	0.000055	0.000055	0.000	0.994 ^{öd}
MD*BD	5	0.183	0.037	1.502	0.211 ^{öd}
BÇ*BD	1	0.122	0.024	1.007	0.426 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.035	0.007	0.287	0.918 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

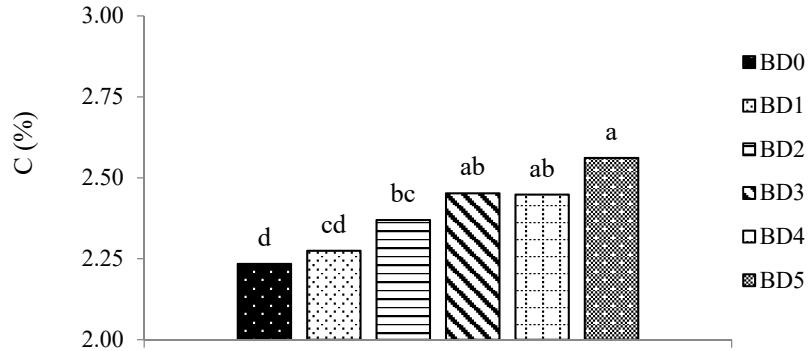
Biyokömür uygulamasının toprakta C mineralizasyonun azalmasına etkileri Jones ve ark. (2011), tarafından 6 başlıkta açıklanmıştır. Bunlar; (1) Biyokömür, toprak organik maddesinin parçalanmasıyla ilişkili hücre dışı enzimleri (ekstraselüler) kısıtlayan ve bağlayan çözünebilir organik maddelerin serbest hale geçmesine neden olmaktadır; (2) Potansiyel substratlara bağlanamama ve inaktivasyonuna neden olarak biyokömürün yüzeyinde ekstraselüler enzimlerin sorpsiyonu; (3) Toprak mikrobiyal topluluğuna alternatif bir substrat sağlamasıyla biyokömürden değişken (Labile) çözünebilir karbonun serbest hale geçmesi, (4) Toprak mikrobiyal yapısında ve fonksiyonunda değişikliklere neden olan toprak pH'sında biyokömür kaynaklı bir değişme; (5) Mikrobiyal tüketicilere hareketi engelleyen, toprak organik maddesinden serbest hale geçen çözünmüş organik karbonun sorpsiyonu ve (6) Toprak organik maddesinden CO₂ salınımında belirgin bir azalmaya neden olarak daha fazla toprak organik maddeden gelen karbonu anabolik ve katabolik mikrobiyal süreçlere bölen mikrobiyal topluluğun biyokömür kaynaklı büyümesi olarak ifade edilmiştir.

Münavebe dönemlerinin toprağın karbon konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli değildir (p=0.081) (Çizelge 4.13). Birinci münavebe dönemi sonrası ortalama C konsantrasyonu (%2.48) iken ikinci münavebe dönemi sonunda ortalama C konsantrasyonunun (%2.30) bir miktar azaldığı görülmüştür (Şekil 4.60a). Biyokömür çeşidi faktörünün de toprağın C konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p=0.216) (Çizelge 4.13). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında toprağın C konsantrasyonu (%2.34), çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasına (%2.44) kıyasla daha düşüktür (Şekil 4.60b).



Şekil 4.60. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın karbon (%) konsantrasyonuna etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

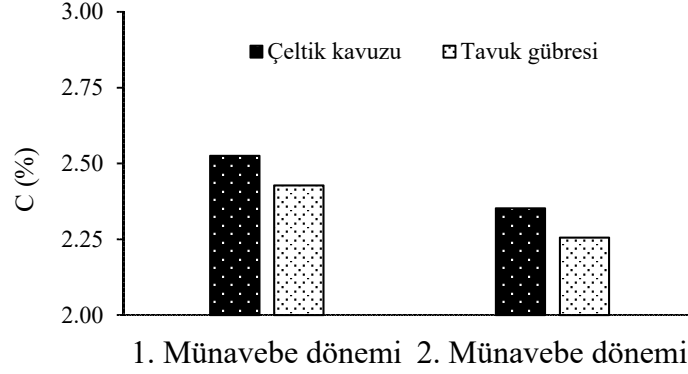
Biyokömür dozları toprakların karbon konsantrasyonu üzerine önemli düzeyinde etki yapmıştır ($p < 0.01$) (Çizelge 4.13). En yüksek ortalama BD5 (%2.56) iken en düşük ortalama değer BD0 (%2.23) olduğu belirlenmiştir. Biyokömür dozu arttıkça karbon değerinin arttığı görülmektedir (Şekil 4.61). Aromatik C gruplarının varlığı, mikrobiyal ayrışmaya karşı depolanmamış organik maddelere göre daha fazla inatçı hale getirir (Baldock ve Smernik 2002). Bu nedenle, biyokömür toprakta 1000 yıl gibi süre kalabilir (Krull ve ark., 2003), böylece toprak C depolanmasını artırır.



Şekil 4.61. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

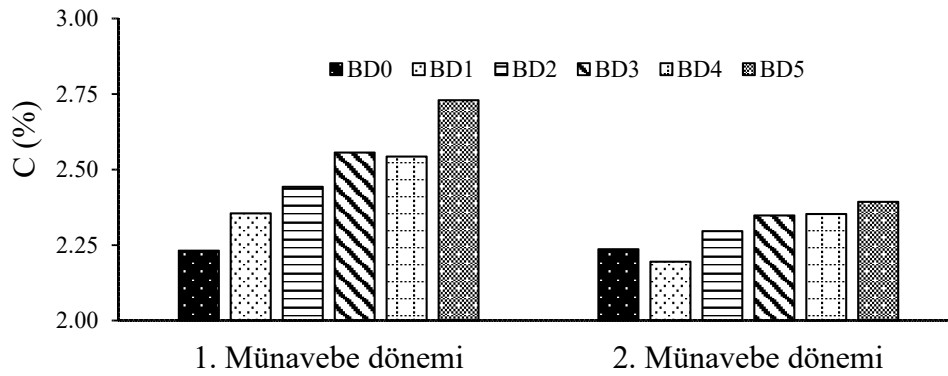
Bu çalışmada, MD x BÇ interaksyonunun toprakların C konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiki olarak önemsizdir ($p = 0.994$) (Çizelge 4.13). En yüksek ortalama C konsantrasyonu (%2.53) MD1 x çeltik kavuzu ve en düşük ortalama C konsantrasyonu (%2.26) ise MD2 x tavuk gübresi interaksyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.62). Biyokömürün toprakta etkisinin uzun yıllar kalacağı rapor edilse de topraktaki organik C konsantrasyonunun zamanla azaldığı da bildirilmiştir. Topraktaki C'nun bir kısmının

kararsız halde olduğu ve mikroorganizmalar için uygun olduğunu da tespit edilmiştir (Cross ve Sohi, 2011).



Şekil 4.62. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisi

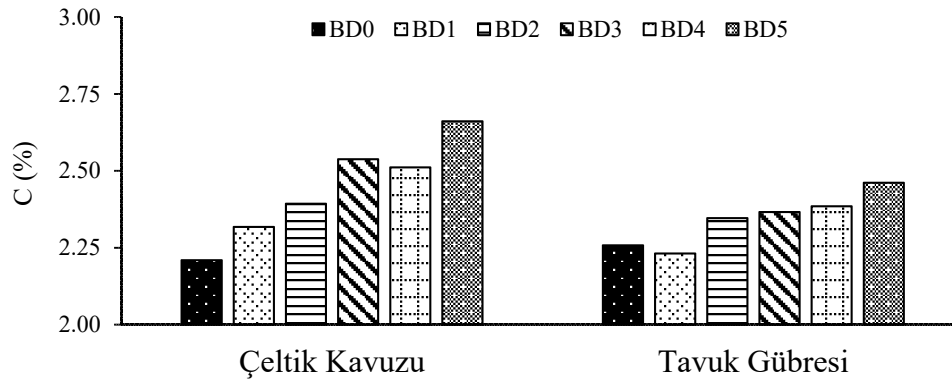
MD x BD interaksyonunun toprağın C konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.211$) (Çizelge 4.13). En yüksek C konsantrasyonu (%2.73) MD1 x BD5 ve en düşük ortalama C konsantrasyonu ise (%2.20) MD2 x BD1 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.63). Araştırmacılar biyokömür ilavesinin (10 t ha^{-1}), inkübasyon döneminin sonunda kadar (Ekim, 2013 – Ekim, 2014) toprak organik-C seviyelerini arttırdığını, organik-C seviyesi, inkübasyon döneminin sonunda kontrolden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (Hariyono 2020).



Şekil 4.63. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

BÇ ve BD interaksyonun C konsantrasyonu üzerine etkisi de istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.426$) (Çizelge 4.13). Ancak iki biyokömür çeşidi için de, doz arttıkça

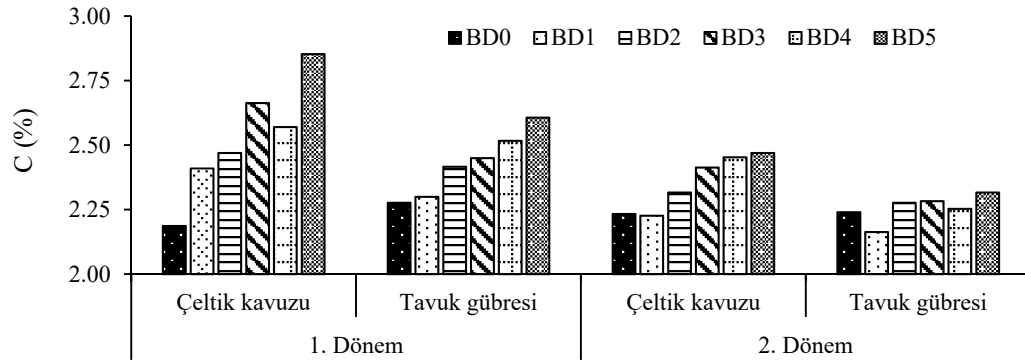
(tavuk gübresi BD1 uygulaması hariç) toprağın C konsantrasyonunun arttığı görülmüştür. Buna göre en yüksek C konsantrasyonu (%2.66) çeltik kavuzu x BD5 ve en düşük C konsantrasyonu (%2.21) ise çeltik kavuzu x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.64). Biyokömür ilavesinin toprağın organik karbon üzerine etkisi araştıran Hariyano ve ark. (2020), şeker pancarı atığı biyokömürü; STB (10 t ha⁻¹), kül; K (10 t ha⁻¹), şeker pancarı atığı kompostu; STK (10 t ha⁻¹), STB (5 t ha⁻¹) + STK (5 t ha⁻¹), kül (5 t ha⁻¹) + STK (5 t ha⁻¹) ve kontrol uygulaması olmak üzere 6 farklı uygulamayı kumlu toprakta denemişlerdir. Deneme sonunda toprağın organik karbon konsantrasyonunun kontrole (%0.45) göre şeker pancarı biyokömürü 10 t ha⁻¹ uygulaması (%0.70) sonrasında %55.56 arttığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.64. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Toprağın C konsantrasyonu üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde değildir ($p=0.918$) (Çizelge 4.13). En yüksek ortalama C değeri (%2.85) MD1 x çeltik kavuzu x BD5 ve en düşük C konsantrasyonu (%2.16) MD2 x tavuk gübresi x BD1 interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.65). Brezilyada hindistan cevizi, portakal posası ve atık çamurundan 500°C piroliz işlemi ile elde edilen biyokömür 30 ve 60 t ha⁻¹ dozunda toprağa uygulayan Gonzaga ve ark. (2020), toprak organik karbonunun zamanla arttığını (30 t ha⁻¹'da hindistan cevizi kabuğu biyokömürü hariç) ve tüm biyokömür ilavelerinde 60 ton ha⁻¹ uygulamasında, organik karbon konsantrasyonu, biyokömür uygulamasından iki yıl sonra hindistan cevizi kabuğu biyokömürü > portakal posası biyokömürü > artıma çamuru biyokömürü şeklinde belirlenmiştir. Biyokömürün 30 ton ha⁻¹ uygulama dozunda ise, organik karbon,

biyokömür uygulamasından iki yıl sonra portakal posası biyokömürü > artıma çamuru biyokömürü > hindistan cevizi biyokömürü şeklinde olduğunu rapor etmişlerdir. Atık (kanalizasyon) çamurundan elde edilen biyokömür, muhtemelen daha düşük doğal karbon konsantrasyonundan dolayı toprağın organik madde içeriğinin arttırılmasında rolünün en az olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.65. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın karbon (C) konsantrasyonuna (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

4.1.2.6. Uygulamaların toprağın azot (N) konsantrasyonuna etkisi

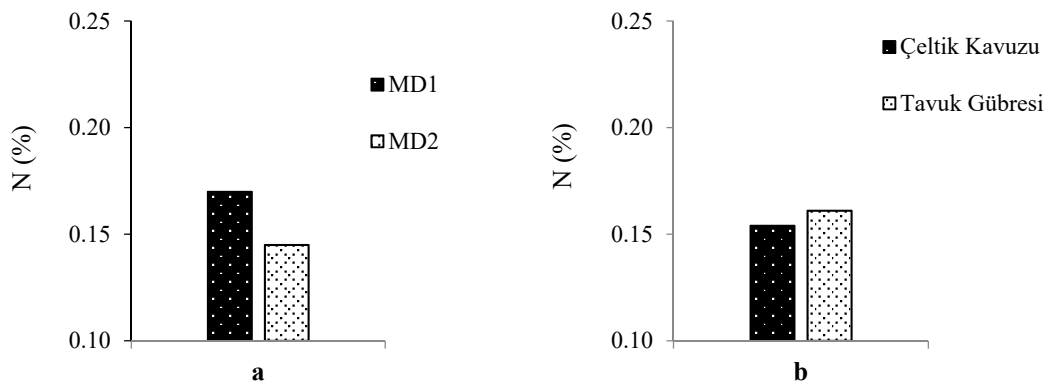
Biyokömürün bitki tarafından kullanılabilir N havuzları ve toprak N döngüsü üzerine etkisi tarım sistemlerinde yoğun bir şekilde incelenmiştir (Li ve ark., 2018b). Tarım topraklarında bitki için gerekli N genellikle kimyasal gübre ile sağlanmaktadır. Biyokömür dozu ve çeşidi biyokömürün N üzerindeki etkilerini düzenleyen önemli bir faktör olabilir. Bununla birlikte, toprakların N'a tepkileri biyokömür uygulama oranına duyarlıdır, çünkü N döngüsünü etkileyebilecek toprakların fizyokimyasal özellikleriyle yakından ilişkilidir (Liu ve ark., 2018; Omondi, ve ark., 2016). Bununla birlikte, yüksek dozajlı biyokömür çalışmaları sınırlı sayıda çalışma ile hala yeterince temsil edilmemektedir ve biyokömür-toprak etkileşimlerinin net bir şekilde değerlendirilmesi için daha fazla gözlem gerekmektedir (Nguyen ve ark., 2017). Bu araştırmada test edilen ana faktörlerin (MD, BÇ ve BD) ve faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD ve MD x BÇ x BD) toprağın azot konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Uygulamaların toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	0.011	0.0112	1.341	0.366 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	0.001	0.0007	0.302	0.612 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	0.003	0.0005	0.612	0.691 ^{öd}
MD*BÇ	1	0.00008681	0.00008681	0.004	0.955 ^{öd}
MD*BD	5	0.001	0.0003	0.325	0.895 ^{öd}
BÇ*BD	5	0.002	0.0003	0.371	0.866 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.001	0.0002	0.215	0.954 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

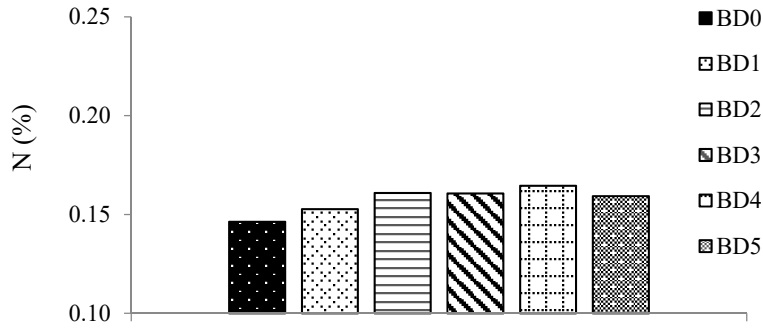
Azotun piroliz işlemi esnasında piroller, imidazoller ve piridinler gibi heterosiklik bileşiklere dönüşmesi nedeni ile (Knicker, 2010), tek başına biyokömür uygulamasının toprakta biyo yarayırlı bir azot kaynağı olamayacağı (Liu ve ark., 2017b) ifade edilmiştir. Çalışmamızda, münavebe dönemlerinin toprağın N içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.366$) (Çizelge 4.14). Birinci münavebe dönemi sonunda N içeriği (%0.170) ikinci münavebe dönemine (%0.145) kıyasla istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte N konsantrasyonu birinci münavebe döneminde, ikinci münavebe dönemine göre %17.24 daha yüksektir (Şekil 4.66a). Öte yandan benzer aolarak biyokömür çeşidi faktörünün de toprağın N içeriği üzerine etkisi önemsizdir ($p=0.612$) (Çizelge 4.14). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında ortalama N içeriği (%0.161) çeltik kavuzu biyokömürü (%0.154) uygulamasına kıyasla %4.54 daha yüksektir (Şekil 4.66b).



Şekil 4.66. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

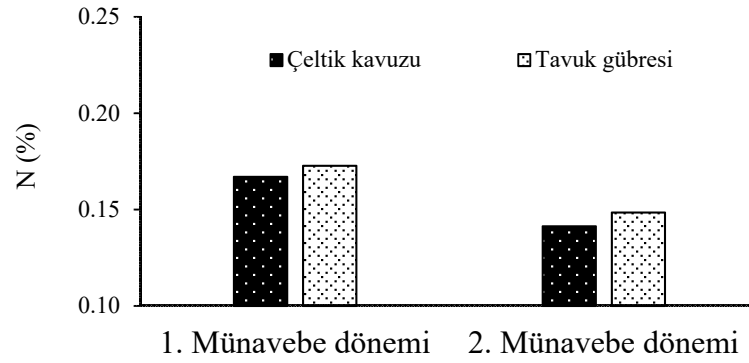
Biyokömür dozlarının toprakların N konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı belirlenmiştir ($p=0.691$) (Çizelge 4.14). En düşük ortalama N

konsantrasyonu (%0.146) BD0 ve en yüksek ortalama N konsantrasyonu (%0.165) ise BD4 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.67). Biyokömür ilavesi ile N içeriğinin artışını ifade eden çalışmalar bulunmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009; Novak ve ark., 2010; Chintala ve ark., 2013). Kızılçam budama atıklarının 600 °C’de piroliz edilmesi sonucunda elde edilen biyokömürü dört farklı tipte toprağa uygulayan Luo ve ark. (2020), her parselde 0, 2, 4 ve 16 g kg⁻¹ dozlarını uygulayarak biyokömür ilavesinin toprağın TN konsantrasyonu üzerine etkisi incelemişlerdir. 0-10, 10-20, 20-30 ve 30-40 cm derinliklerden toprak örneği alan araştırmacılar, tüm toprakların toplam N konsantrasyonunun, özellikle en yüksek (16 g kg⁻¹) biyokömür dozunda yüksek en yüksek seviyede olduğunu bildirmişlerdir.



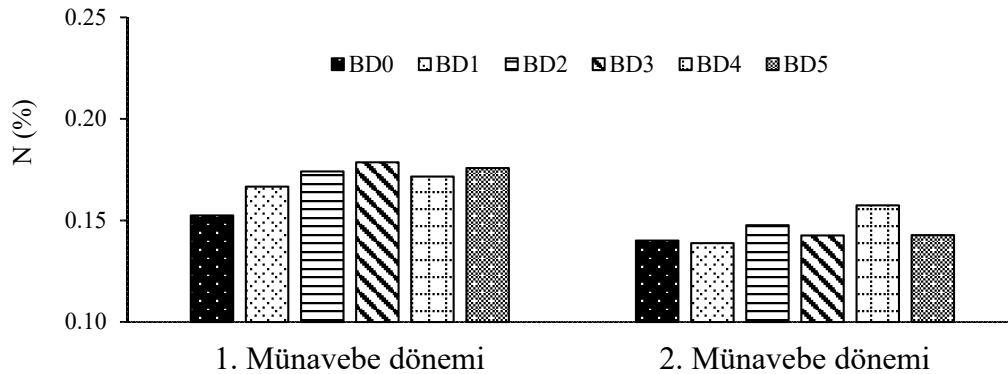
Şekil 4.67. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

MD x BÇ interaksiyonu toprağın N konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (p=0.955) (Çizelge 4.14). En yüksek ortalama N (%0.173) MD1 x tavuk gübresi ve en düşük ortalama N konsantrasyonu ise (%0.141) MD2 x çeltik kavuzu interaksiyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.68). Kireç içeriği yüksek bir toprağa %10 (ağırlıkça) oranındaki biyokömür uygulaması yapılan toprakta, kontrole kıyasla daha yüksek N konsantrasyonu tespit edilmiştir. Biyokömür uygulamasının N-döngüsü mikrobiyal dinamiklerini etkili bir şekilde azaltmasının mümkün olabileceği bildirilmiştir (Ducey ve ark., 2013).



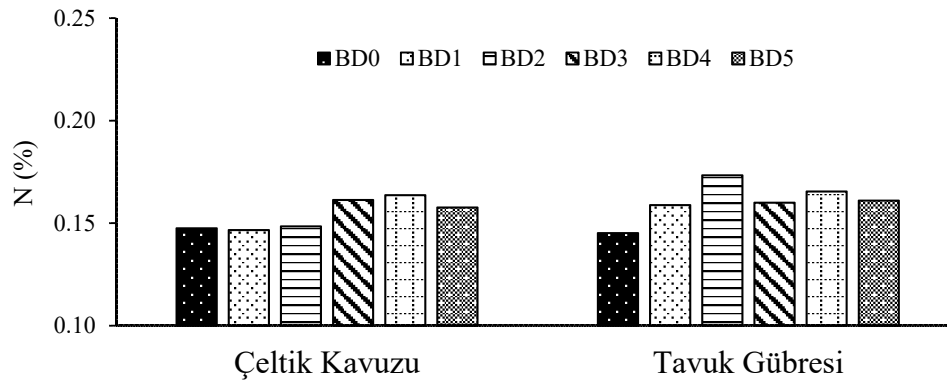
Şekil 4.68. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi

MD x BD interaksyonunun N konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.895$) (Çizelge 4.14). En yüksek ortalama N konsantrasyonu (%0.179) MD1 x BD3 ve en düşük N konsantrasyonu ise (%0.139) MD2 x BD1 interaksyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.69). Wang ve ark. (2020)'nın yapmış oldukları çalışmada buğday samanından 550 °C'de elde ettikleri biyokömürü 0 ve 15 t ha⁻¹ biyokömür ve 0, 75, 150 ve 300 kg N ha⁻¹ dozları ile toprağa uygulamışlardır. Toprakta toplam azot konsantrasyonu artan N uygulama oranı ile önemli ölçüde arttığını ($p<0.01$), biyokömür N'lu gübre interaksyonunun pamuk ve arpa mönavebe döneminde toplam N konsantrasyonu üzerinde etki göstermediğini ancak tüm uygulamalarda dönem olarak toplam N konsantrasyonu arpa döneminde pamuk yetiştirme dönemine göre önemli derecede ($p<0.05$) ve %8 azaldığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.69. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

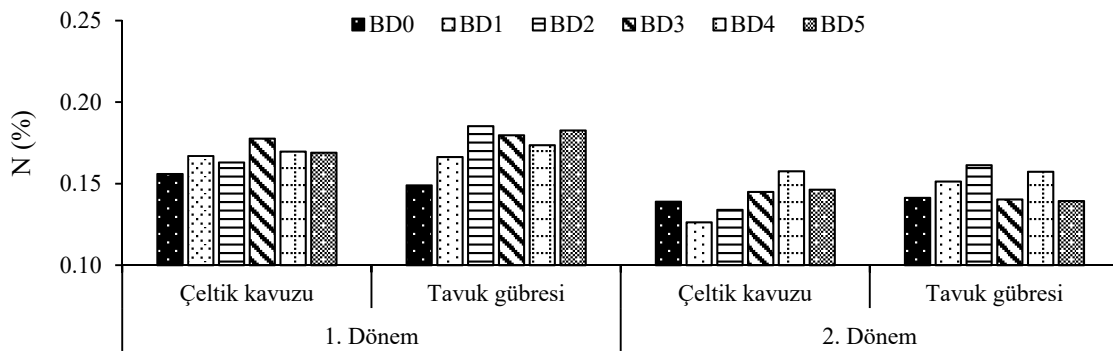
Toprağın N içeriği üzerine BÇ x BD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.866$) (Çizelge 4.14). Çeltik kavuzu biyokömürü dozu arttıkça (BD5 hariç) N içeriği artmıştır. Genel olarak BÇ x BD etkisine bakılacak olursa en yüksek N içeriği (%0.173) tavuk gübresi x BD2 konusundan elde edilirken, en düşük N ise (%0.145) yine tavuk gübresi biyokömürünün BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.70). Shan ve Coleman (2020), düşük, orta ve yüksek rakımdan alınan orman topraklarına kaynağı ağaç kabuğu olan ve 450 °C’de piroliz edilen biyokömürü %10 ve 20 dozlarında toprağa uygulamışlar, toprakları 120 gün inkübasyona tabi tutmuşlar ve sonuç olarak, toplam N içeriğinin, düşük rakım arazilerde yer alan topraklarda artışa ve yüksek rakımlı arazilerde yer alan topraklarda azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Orman ve tarım ekosistemleri toprakta N koşulları bakımından farklıdır, bu da farklı biyokömür etkilerine yol açabilir. Tarım toprakları yüksek N miktarına sahiptir ve genellikle ormanlara kıyasla daha yüksek nitrat kaybı potansiyeli yaratan gübreler kullanılabilir. Biyokömür ilavesi, toprak katyon değişim kapasitesini arttırdığından ve yıkanmayı azalttığından dolayı (Clough ve ark., 2013; Zheng ve ark., 2013) tarım topraklarında gübre kullanım etkinliğinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Biederman ve Harpole, 2013).



Şekil 4.70. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Toprağın N konsantrasyonu üzerine MD x BÇ x BD interaksyonların etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.954$) (Çizelge 4.14). En yüksek ortalama N konsantrasyonu (%0.185) MD1 x tavuk gübresi x BD2 ve en düşük ortalama N konsantrasyonu ise (%0.126) MD2 x çeltik kavuzu x BD1 interaksyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.71).

Biyokömür ilavesinin toprağın toplam azot konsantrasyonu üzerine etkisi araştıran Hariyano ve ark. (2020), şeker pancarı atığı biyokömürü; STB (10 t ha⁻¹), kül; K (10 t ha⁻¹), şeker pancarı atığı kompostu; STK (10 t ha⁻¹), STB (5 t ha⁻¹)+STK (5 t ha⁻¹), kül (5 t ha⁻¹) + STK (5 t ha⁻¹) ve kontrol uygulaması olmak üzere 6 farklı uygulamayı kumlu toprakta denemişlerdir. Deneme sonunda toprağın toplam N konsantrasyonunda kontrole kıyasla uygulamaların sırası ile %26.86, 17.07, 46.34, 24.39 ve 46.34 artış olduğunu rapor etmişlerdir.



Şekil 4.71. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

4.1.2.7. Uygulamaların toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna etkisi

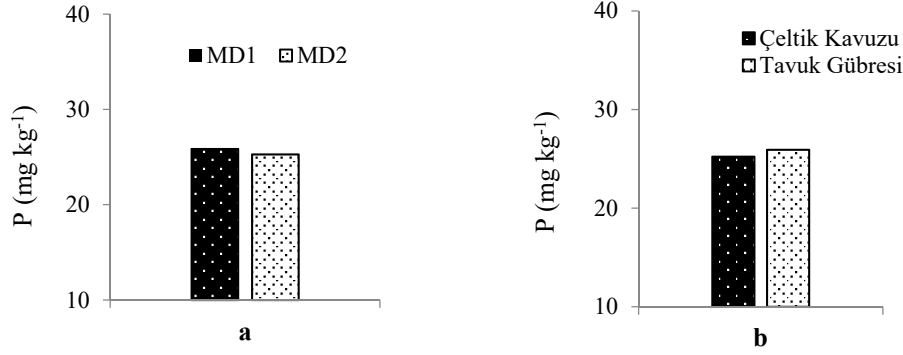
Toprağa biyokömür uygulaması, başta toprağın C bakımından zenginleşmesi olmak üzere, toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirme, besin elementleri döngüsü, besin elementlerinin yarıyışlılığının artırılması ve yıkanmalarının önlenmesinde önemli katkılar sağlamaktadır (Nelson ve ark., 2011). Thies ve Riling (2009) ise biyokömür uygulamalarının topraktaki P yarıyışlılığını arttırdığını rapor etmiştir. Ancak bu çalışmada, bireysel faktörlerden MD, BÇ ve BD'nin toprağın yarıyışlı P konsantrasyonu üzerinde önemli bir etki yapmadığı görülmektedir (Çizelge 4.15). Faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin de (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD ve MD x BÇ x BD) toprağın P konsantrasyonu üzerine etkisinin önemsiz olduğu görülmektedir. Kumlu topraklara ilave edilen biyokömüre bağlı olarak artan P yarıyışlılığı, killi topraklara kıyasla, P'un daha yüksek kil içerikli toprak yapısında daha fazla adsorpsiyonu ile ilişkili olabilir (Petter ve ark., 2012).

Çizelge 4.15. Uygulamaların toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	6.195	6.195	0.174	0.717 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	8.820	8.820	0.280	0.625 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	173.176	34.635	1.852	0.125 ^{öd}
MD*BÇ	1	1.786	1.786	0.057	0.824 ^{öd}
MD*BD	5	13.582	2.716	0.145	0.980 ^{öd}
BÇ*BD	5	9.784	1.957	0.105	0.991 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	8.700	1.740	0.093	0.993 ^{öd}

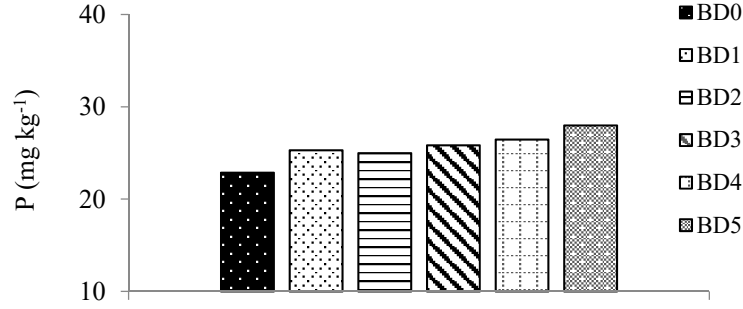
*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Münavebe dönemlerinin P konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0.717$) (Çizelge 4.15). İkinci münavebe dönemi sonunda ortalama P konsantrasyonu (25.28 mg kg^{-1}) birinci münavebe döneminde (25.86 mg kg^{-1}) çok benzerdir (Şekil 4.72a). Bizim bulgularımıza benzer şekilde, Hansen ve ark. (2017), toprağa biyokömür uygulamasının yararışlı P konsantrasyonunda önemli bir değişime neden olmadığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada da biyokömür çeşidinin yararışlı P konsantrasyonu üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p=0.625$) (Çizelge 4.15). Tavuk gübresi biyokömürü uygulanan parsellerdeki ortalama yararışlı P konsantrasyonu (25.92 mg kg^{-1}), çeltik kavuzu biyokömürü uygulanan parsellere (25.22 mg kg^{-1}) kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.72b). Kızılçam budama atıklarının 600°C 'de piroliz edilmesi sonucunda elde edilen biyokömürü dört farklı tipte toprağa uygulayan Luo ve ark. (2020), her parsele 0, 2, 4 ve 16 g kg^{-1} dozlarını uygulayarak biyokömür ilavesinin toprağın P konsantrasyonu üzerine etkisi incelemişlerdir. Biyokömürün toprağa uygulanmasının, toprak tipine bağlı olarak toprak fosfor konsantrasyonu üzerinde küçük etkileri olduğunu veya hiç etkisi olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, Lou (Siltli tın) topraklarında ve Aeolian (kumlu) topraklarında yüksek seviyelerde biyokömür ilavesi (8 g kg^{-1} veya 16 g kg^{-1}) için önemli etkiler görülürken Loessial (kumlu tınlı) ve Kara Loessial (tın) toprak için kontrol grafiklerine göre toprak P konsantrasyonunu etkilemediğini rapor etmişlerdir.



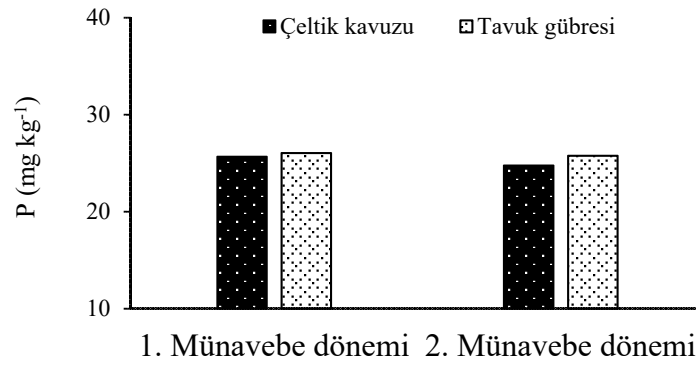
Şekil 4.72. Mönavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi (MD1: Birinci mönavebe dönemi, MD2: İkinci mönavebe dönemi)

Biyokömür dozları toprakların P konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde bir etki yapmamıştır ($p=0.125$) (Çizelge 4.15). En yüksek ortalama P konsantrasyonu (27.98 mg kg^{-1}) BD5 ve en düşük ortalama P konsantrasyonu (22.86 mg kg^{-1}) ise BD0 uygulamasından ele edilmiştir. Genel olarak biyokömür dozu artıka topraktaki P konsantrasyonunun da istatistik olarak önemli olmasa da ($p=0.125$) nispeten arttığı görölmektedir (Şekil 4.73). Bulgularımızda biyokömür ilavesi sonrası kontrole kıyasla BD5 uygulamasında %22 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. İki farklı toprakta mısır koçanı biyokömürünü 0, 2 ve 20 g kg^{-1} dozlarında uygulayan Nelson ve ark. (2011), fosfor ilavesi ile birlikte yapıldığında biyokömürün topraktaki P konsantrasyonunu 0.9 mg kg^{-1} azalttığını ancak fosfor kaynağı ile eklendiğinde P konsantrasyonunun ortalama 3.3 mg kg^{-1} arttırdığını rapor etmişlerdir. Biyokömür ilavesinin toprağın yarayışlı P üzerine etkisi araştıran Hariyano ve ark. (2020), şeker pancarı atığı biyokömürü; STB (10 t ha^{-1}), kül; K (10 t ha^{-1}), şeker pancarı atığı kompostu; STK (10 t ha^{-1}), STB (5 t ha^{-1})+STK (5 t ha^{-1}), kül (5 t ha^{-1}) + STK (5 t ha^{-1}) ve kontrol uygulaması olmak üzere 6 farklı uygulamayı kumlu toprakta denemişlerdir. Deneme sonunda toprakta yarayışlı P konsantrasyonu kontrole (4.33 mg kg^{-1}) göre en yüksek (4) uygulamasından (9.13 mg kg^{-1}) elde edildiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 4.73. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

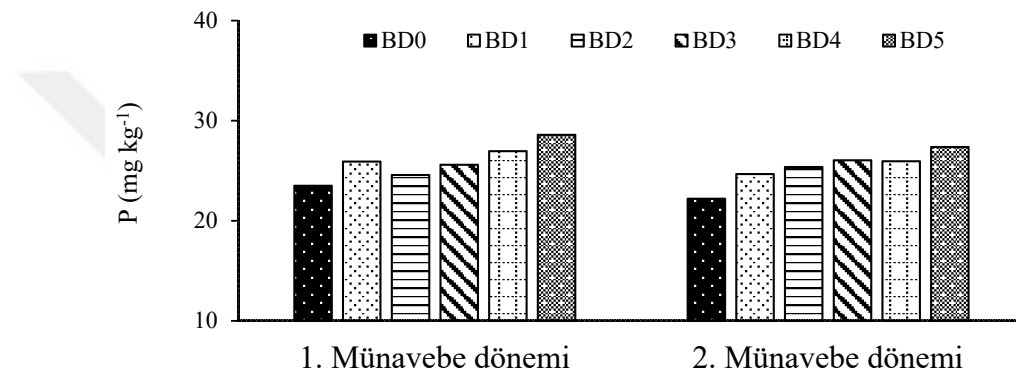
Toprağın P konsantrasyonu üzerine BÇ x MD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.824$) (Çizelge 4.15). En yüksek ortalama P konsantrasyonu (26.06 mg kg⁻¹) tavuk gübresi x MD1 ve en düşük ortalama P konsantrasyonu (24.77 mg kg⁻¹) ise çeltik kavuzu x MD2 interaksyonunda elde edilmiştir (Şekil 4.74). Biyokömür gibi toprak iyileştiricilerinin uygulanması, inkübasyon periyodu ve şeker kamışı büyüme aşamasının sonunda yarıyıllı P'yi önemli ölçüne etkilediğini, ancak hasat zamanında önemli ölçüde etkilenmediğini bildiren Hariyono ve ark. (2020) topraktaki yarıyıllı P'un, toprak reaksiyonlarındaki değişikliklerin yanı sıra P'nin biyokömürden serbest kalması ile açığa çıktığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.74. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi

Toprağın P konsantrasyonu üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.980$) (Çizelge 4.15). En yüksek ortalama P konsantrasyonu (28.59 mg kg⁻¹) MD1x BD5 ve en düşük ortalama P konsantrasyonu (22.22 mg kg⁻¹) ise MD2 x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.75). Uzoma ve ark. (2011),

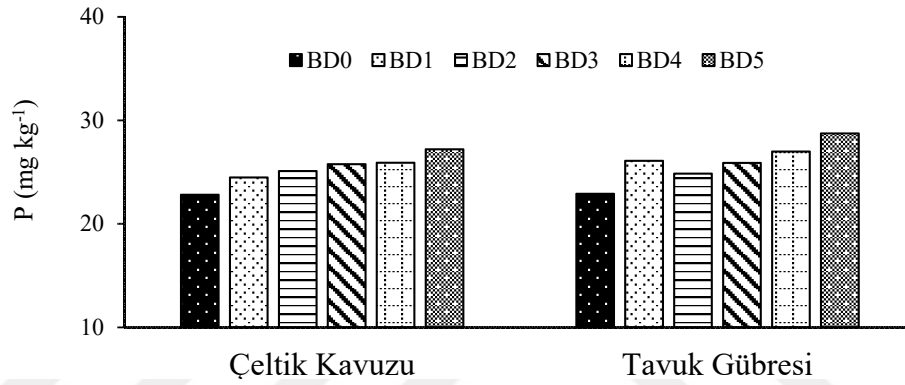
biyokömürün toprağa ilavesinde, toprakta çözünür P önemli ölçüde arttığını ve bu biyokömürde bulunan P'den kaynaklandığını (8.14 g kg^{-1}) ancak, 15 t ha^{-1} uygulamasının 20 t ha^{-1} uygulamasından daha yüksek çözünür P konsantrasyonuna sahip olduğu bildirmişlerdir. Biyokömür ilavesi ile toprakta P'nin yarıyışlılığı üzerine etkisi göz önüne alındığında 20 t ha^{-1} uygulamasına kıyasla 15 t ha^{-1} uygulaması çözülebilir P konsantrasyonunu arttırdığı düşünülebilir. Araştırmacılar bunun sebebini 20 t ha^{-1} uygulaması ile pH'nın daha çok artması ile birlikte kalsiyum ile fosforun fikse olabileceğini vurgulamışlardır.



Şekil 4.75. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın (P) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Deneme toprağının P konsantrasyonu üzerine BÇ x BD interaksiyonun da etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p=0.991$) (Çizelge 4.15). Ancak iki biyokömür çeşidi için de, doz arttıkça (çeltik kavuzu BD4 hariç) toprağın P konsantrasyonu artmıştır. Buna göre en yüksek ortalama P (28.75 mg kg^{-1}) konsantrasyonu tavuk gübresi x BD5 uygulamasından elde edilirken en düşük ortalama P konsantrasyonu (22.82 mg kg^{-1}) çeltik kavuzu x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.76). Turgay ve ark. (2018), yapmış olduğu çalışmada piroliz ve hidrokarbon yöntemi ile arıtma çamuru tavuk gübresi ve zeytin küspesinden elde ettikleri biyokömürleri $0, 2.5, 5$ ve 10 t ha^{-1} dozlarında uygulamışlardır. Deneme sonrasında tavuk gübresi biyokömürünün toprağın yarıyışlı P konsantrasyonunda daha fazla artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu durumu tavuk gübresi biyokömürünün P konsantrasyonunun daha yüksek olması ile ilgili olduğu; bir diğer faktörün ise hidrotermal yöntem ile üretilen biyokömürün yarıyışlı fosforu adsorbe etme yeteneği ile açıklamışlardır (Fuertes ve ark., 2010). Gondek ve ark. (2019), domuz gübresi, tavuk gübresi ve bu materyellerin $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ de piroliz edilmesi ile elde edilen

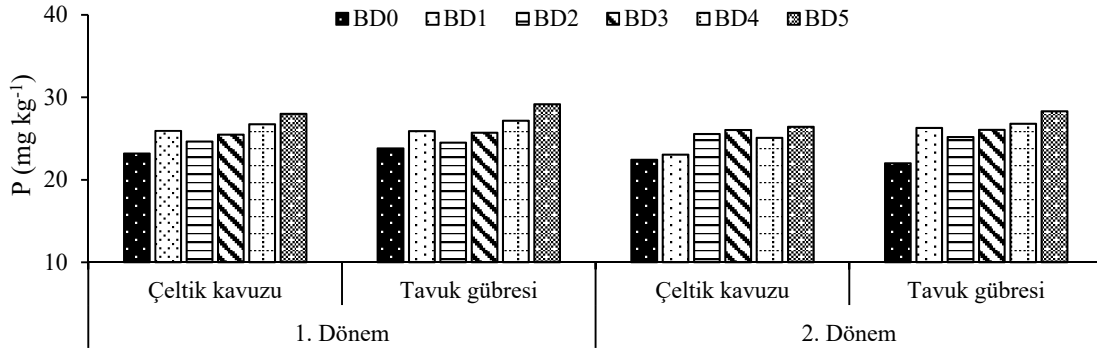
biyokömürleri, %0.5, 1 ve 2 dozlarıyla kumlu toprağa uygulayarak topraktaki P konsantrasyonunu incelemişlerdir. Toprakta daha düşük (%0.5 ve 1) biyokömür dozlarında toprağın P konsantrasyonunda önemli bir artışa neden olmadığını sadece en yüksek (%2) biyokömür dozu, topraktaki P konsantrasyonunda önemli bir artışa neden olduğunu rapor etmişlerdir. Bu durum, fosfatların çok güçlü bir kimyasal adsorpsiyonu nedeniyle olabilir. Toprak pH değerlerinin, artan biyokömür dozuyla birlikte arttığı ve P'nin salınmasına neden olan kimyasal süreçleri etkili bir şekilde zayıflattığına dikkat edilmelidir.



Şekil 4.76. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Toprağın P konsantrasyonu üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonları etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.993$) (Çizelge 4.15). En yüksek ortalama P konsantrasyonu (29.17 mg kg⁻¹) MD1 x tavuk gübresi x BD5 ve en düşük ortalama P konsantrasyonu (22.00 mg kg⁻¹) ise MD2 x tavuk gübresi x BD0 interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.77). Biyokömür, P konsantrasyonu bakımından mineral gübreler ile karşılaştırılmaz. Örneğin, di amonyum fosfat (DAP) gübreside fosfor konsantrasyonu P₂O₅ olarak %46'dır. Li ve ark., (2020)'nin yapmış olduğu çalışmanın sonuçları biyokömürün P adsorpsiyonu ile toprakta P alınabilirliğini azalttığını göstermişlerdir. Araştırmacılar mineral P gübresi ve P ile zenginleştirilmiş biyokömürün uygulamalarında P fraksiyonları arasında önemli bir fark olmadığını bununla birlikte mineral P gübresi ile karşılaştırıldığında, özellikle 600 °C'de piroliz sıcaklığı ile elde edilen P-yüklü biyokömürün, inkübasyon boyunca toprakta yarıyışlı P'yi önemli ölçüde daha yüksek bir seviyede tutabileceğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar, P yüklü biyokömürün, toprak P

kullanım verimliliğini arttırmak için P gübresi olarak çalışabileceğini göstermiştir. Biyokömürün P konsantrasyonu çok düşüktür (<%1) (Ducey ve ark., 2017). Fakat biyokömür, gözenekli yapısı nedeniyle P yarıyışlılığını P adsorpsiyonu yoluyla arttırabilir.



Şekil 4.77. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

4.1.2.8. Uygulamaların toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna etkisi

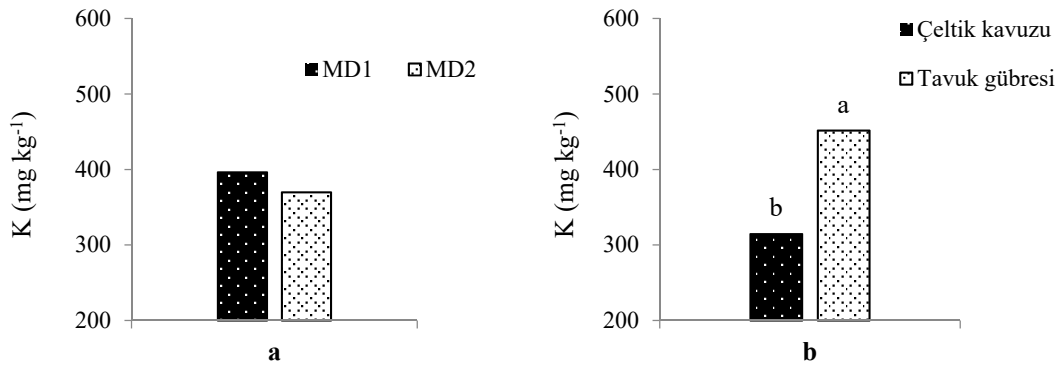
Topraktaki potasyum değişikliği için piroliz işlemi sonrasında potasyum açısından zengin biyokömürün kullanılabileceği belirtilmiştir (Safar ve ark., 2019). Potasyumun piroliz sonrası verimi, fosfor ile karşılaştırıldığında daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Banks ve ark., 2016). Biyokömür içinde potasyum varlığı, elde edilen biyokömürün yapısı ve üretim şekline bağlıdır (Kramb ve ark., 2017). Biyokömürdeki kül konsantrasyonları, yumuşak ağaçta %1'den az, bazı hayvan gübresi biyokömürlerinde % 60'tan fazladır (Kim ve ark., 2009). Tavuk gübresi, biyokütle ayrışma ve kömür oluşum reaksiyonlarını katalize ettiği gösterilen yüksek miktarlarda potasyum (K) konsantrasyonuna sahiptirler (Agblevor ve Besler, 1996). Bu çalışmada ana faktörlerden BÇ ve BD'nin K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde ($p<0.01$) etki yaptıkları belirlenmiştir. Faktörlerin karşılıklı etkileşiminden ise MD x BÇ ($p<0.05$) ve BÇ x BD ($p<0.01$) interaksiyonlarının K konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.16). Lehmann ve ark. (2003a), toprağa odundan üretilen biyokömür uygulanmasının toprağın mevcut K konsantrasyonunu arttırdığını belirtmiştir.

Çizelge 4.16. Uygulamaların toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	12614.014	12614.014	2.266	0.271 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	5	338253.125	338253.125	124.149	<0.001 ^{**}
Biyokömür Dozu (BD)	1	176193.236	35238.647	16.458	<0.001 ^{**}
MD*BÇ	5	27105.681	27105.681	9.949	0.034 [*]
MD*BD	5	14828.569	2965.714	1.385	0.250 ^{öd}
BÇ*BD	1	78756.792	15751.358	7.357	<0.001 ^{**}
MD*BÇ*BD	5	7713.903	1542.781	0.721	0.612 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

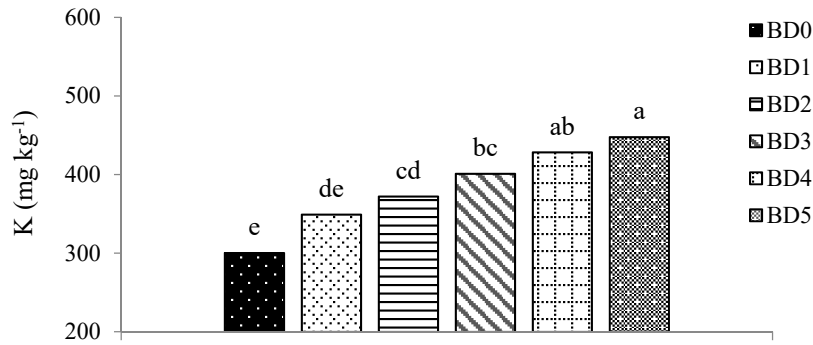
Toprağın potasyum konsantrasyonu bakımından, münavebe döneminin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.271$) (Çizelge 4.16). Ancak, birinci münavebe dönemi sonunda ortalama potasyum konsantrasyonu (396 mg kg^{-1}) ikinci münavebe dönemine (370 mg kg^{-1}) kıyasla %6.57 daha yüksektir. (Şekil 4.78a). Biyokömür çeşidi faktörünün ise toprağın potasyum konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yaptığı görülmüştür ($p<0.01$) (Çizelge 4.16). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında ortalama potasyum konsantrasyonu (452 mg kg^{-1}) çeltik kavuzu biyokömürüne (315 mg kg^{-1}) kıyasla önemli düzeyde daha yüksektir (Şekil 4.78b). Deneme sonrası alınan toprak örneklerinde tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında çeltik kavuzu biyokömürüne kıyasla toprakta %30.3 daha fazla K konsantrasyonu belirlenmiştir.



Şekil 4.78. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Toprak K konsantrasyonu bakımından, biyokömür dozlarının etkisi istatistikî bakımdan çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Çizelge 4.16; Şekil 4.79). Buna göre en yüksek ortalama K konsantrasyonu (448 mg kg^{-1}) BD5 ve en düşük ortalama K konsantrasyonu (300 mg kg^{-1}) ise BD0 uygulamasında elde edilmiştir. Biyokömür ilavesi ile toprakta K

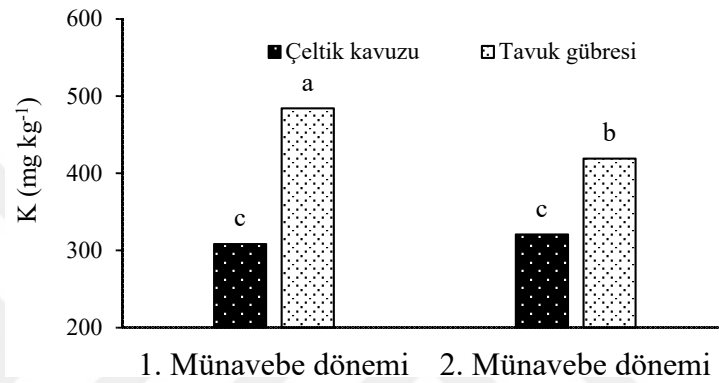
konsantrasyonu kontrole kıyasla MD2 sonunda %49 artmıştır. Abu Zied Amin (2014) yapmış olduğu bir çalışmada, mısır koçanından üretilen biyokömürü 0, 20, 40, ve 60 Mg ha⁻¹ kireçli kumlu bir topraktaki bazı kimyasal özellikler ve potasyum durumu üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Toprağa biyokömür ilavesi, toprak pH'sı, organik maddede (OM) ve yarıyışlı potasyumda önemli artışa ($p<0.05$) neden olduğunu bildirmiştir. Araştırmacı, mısır koçanından üretilen biyokömürün kireçli kumlu toprağa uygulanması, toprağın yarıyışlı potasyum potansiyelini tamponlama kapasitesinde artışa neden olduğu ve biyokömür, potasyumlu kimyasal gübreler için bir potasyum ikame kaynağı olarak kullanılabileceğini vurgulamıştır. Ayrıca, biyokömür ilavesi toprağın bazı fiziksel özelliklerini iyileştirebileceğini, bu nedenle, kireçli ve kumlu topraklarda mısır koçanından üretilen biyokömürün kullanılması tavsiye etmiştir.



Şekil 4.79. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

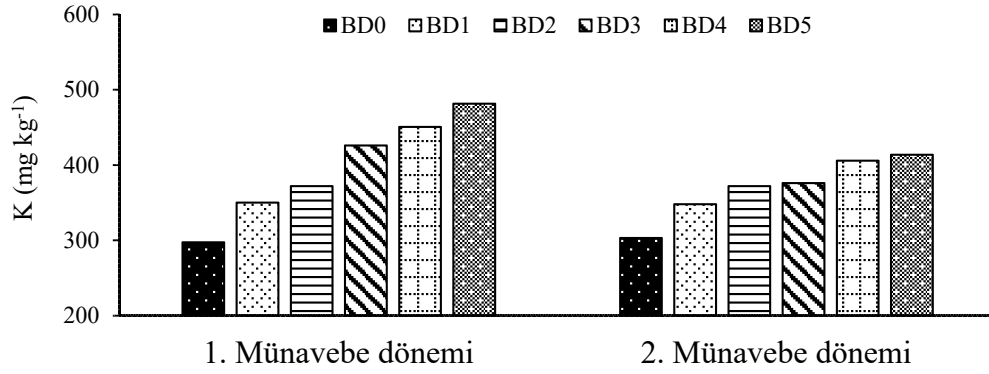
Toprağın potasyum konsantrasyonu üzerine MD x BÇ interaksyonu etkisi istatistiki olarak önemlidir ($p<0.05$) (Çizelge 4.16). En yüksek potasyum konsantrasyonu (484 mg kg⁻¹) MD1 x çeltik kavuzu interaksyonundan elde edilirken en düşük ortalama potasyum konsantrasyonu ise MD1 x çeltik kavuzu interaksyonundan (308 mg kg⁻¹) elde edilmiştir (Şekil 4.80). Dou ve ark. (2012), iki farklı arazide patatese biyokömür, odun sirkesi ve gıda kompostu uygulamışlar, patates hasatı sonrası toprak K içeriğinin, birinci araştırma arazisinde biyokömür uygulamasının odun sirkesi ve gıda kompostu uygulamalarından önemli ölçüde daha yüksek olduğunu, ancak bu etkilerin ikinci (Mito) tarım arazisinde konular arasında fark olmadığını ve bu sonucun iki bölgedeki farklı toprak özelliklerinden kaynaklandığını vurgulamışlardır. Dou ve ark. (2012), iki farklı arazide (Mito tarım arazisi ve Araştırma arazisi) biyokömür, odun sirkesi ve gıda kompostu

uygulamışlardır. Patates hasatı sonrası alınan toprak örnekleri Araştırma arazisinde biyokömür uygulaması, odun sirketi ve gıda kompostu uygulamalarından daha yüksek toprak K konsantrasyonuna sahip olurken, Mito tarım arazisi toprakları uygulama sonrası eşit seviyede K konsantrasyona sahip olduğu bildirmişlerdir. Bu farklılığın sebebi iki bölgedeki farklı toprak özellikleri olabilir. Buna ek olarak, biyokömürün mikrobiyal ayrışmaya karşı güçlü direnci ve dolayısıyla toprakta kalıcılığı, biyokömür uygulamasının faydalarının uzun vadeli olmasını sağlar (Asai, 2009).



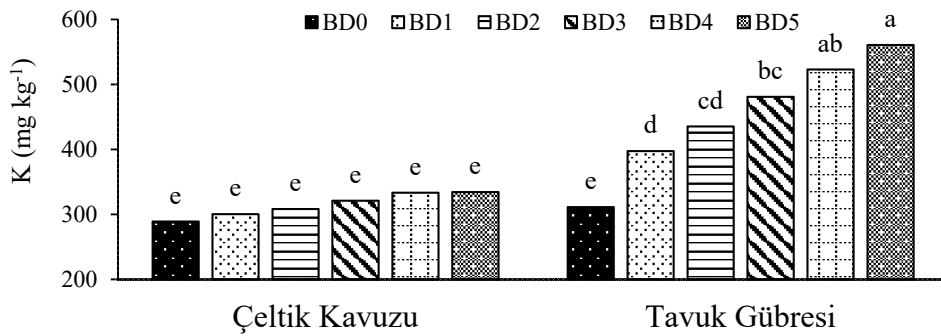
Şekil 4.80. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi

Toprağın K konsantrasyonu üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.250$) (Çizelge 4.16). En yüksek ortalama potasyum konsantrasyonu (482 mg kg^{-1}) MD1 x BD5 uygulamasından elde edilirken, en düşük ortalama potasyum konsantrasyonu (303 mg kg^{-1}) MD2 x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.81). Biyokömür ilavesi sonrası topraklarda birinci dönem sonrası tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasına kıyasla %57.84 daha fazla K konsantrasyonu içerirken, ikinci dönem %30.53 daha fazla K konsantrasyon içerdiği belirlenmiştir. Gondek ve ark. (2019), domuz gübresi, tavuk gübresi ve bu materyallerin 300°C de piroliz edilmesi ile elde edilen biyokömürleri, %0.5, 1 ve 2 dozlarında kumlu toprağa uygulayarak topraktaki K konsantrasyonunu incelemişlerdir. Toprağa ilave edilen bu materyallerin %0.5, 1 ve 2 doz uygulamaları toprağın potasyum konsantrasyonunda domuz gübresi biyokömürü ilavesinin %30, 37 ve 40 artışa neden olurken tavuk gübresi biyokömür ilavesi %9, 22 ve 34 artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.81. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

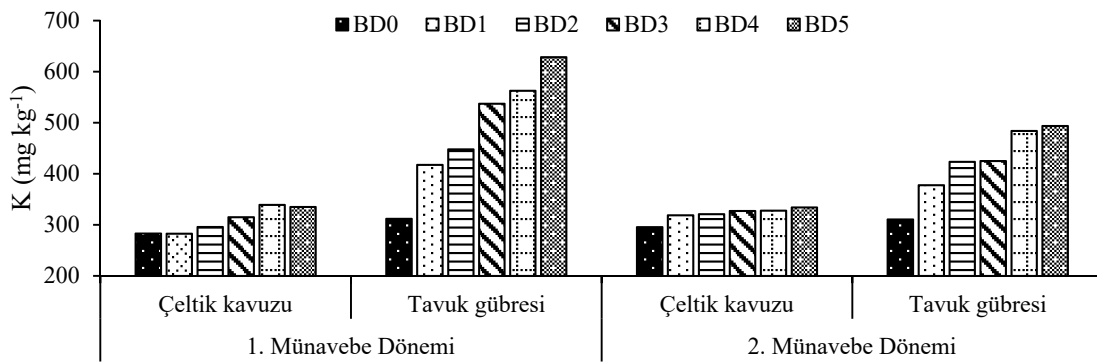
Deneme toprağının potasyum konsantrasyonu üzerine BÇ x BD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.16). İki biyokömür çeşidi için de, doz arttıkça toprağın potasyum konsantrasyonu artmıştır. Buna göre en yüksek ortalama potasyum konsantrasyonu (561 mg kg^{-1}) tavuk gübresi x BD5 uygulamasından elde edilirken en düşük ortalama potasyum konsantrasyonu (289 mg kg^{-1}) ise çeltik kavuzu x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.82). İki ürün yetiştirme dönemi sonunda Major ve ark., (2010a) kontrole kıyasla toprakta yarıyışlı K konsantrasyonunun daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumun aksine, Steiner ve ark. (2007), bir odun biyokömürünü Oxisol toprağa eklendiğinde bir ürün yetiştirme dönemi sonunda topraktaki K konsantrasyonunda değişim gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.82. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

MD x BÇ x BD interaksyonu toprağın K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmamıştır ($p = 0.612$) (Çizelge 4.16). En yüksek ortalama K konsantrasyonu (628 mg

kg⁻¹) MD1 x tavuk gübresi x BD5 ve en düşük ortalama K (283 mg kg⁻¹) ise MD1 x çeltik kavuzu x BD0 ve BD1 interaksiyonlarında elde edilmiştir (Şekil 4.83). Araştırmacılar mercimek artığı, buğday samanı, çam iğnesi biyokömürü ve mine ağacı budama atığı biyokömürü farklı dozlarda (0, 2 ve 5 t da⁻¹ eş değer C) uygulamışlardır. Besin elementlerinin yarıyışlılığını inceleyen Bhattacharjya ve ark. (2016), yarıyışlı K durumunda her iki mine ağacı biyokömürü dozu, iki ekim sezonunda K konsantrasyonda kontrolden önemli ölçüde artış olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.83. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömrü çeşidi (BÇ) x Biyokömrü dozu (BD) interaksiyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

4.1.2.9. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir demir (Fe) konsantrasyonuna etkisi

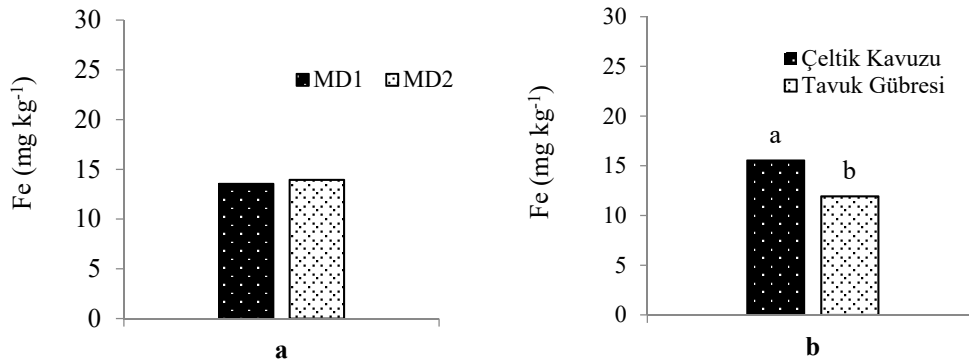
Denemede bireysel faktörlerin yarıyışlı Fe konsantrasyonu üzerine BÇ ve BD faktörlerinin önemli düzeyde ($p < 0.01$) etki yaptıkları görülmüştür (Çizelge 4.17). Faktörlerin karşılıklı etkileşiminden sadece BÇ x BD faktörünün etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$), diğer interaksiyonların (MD x BÇ, MD x BD ve MD x BÇ x BD) Fe konsantrasyonuna etkisi ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.17. Uygulamaların toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Mönavebe Dönemi (MD)	1	2.985	2.985	0.160	0.728 ^{öd}
Biyokömrü Çeşidi (BÇ)	1	235.517	235.517	42.218	0.003**
Biyokömrü Dozu (BD)	5	286.681	57.336	27.378	<0.001**
MD*BÇ	1	15.924	15.924	2.854	0.166 ^{öd}
MD*BD	5	5.393	1.079	0.515	0.763 ^{öd}
BÇ*BD	5	28.631	5.726	2.734	0.032*
MD*BÇ*BD	5	9.147	1.829	0.874	0.507 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

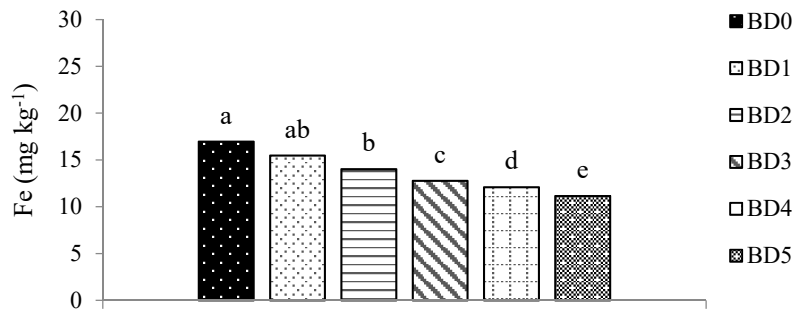
Münavebe döneminin toprağın yarayışlı Fe konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır ($p=0.728$) (Çizelge 4.17). Birinci münavebe dönemi sonunda toprağın yarayışlı Fe konsantrasyonuna (13.54 mg kg^{-1}) ikinci münavebe dönemine (13.95 mg kg^{-1}) oldukça benzerdir (Şekil 4.84a). Biyokömür çeşidinin toprağın yarayışlı Fe konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yaptığı görülmüştür ($p<0.01$) (Çizelge 4.17). Çeltik kavuzu biyokömürü uygulaması sonrasında ortalama yarayışlı Fe konsantrasyonu (15.55 mg kg^{-1}) tavuk gübresi biyokömürü (11.94 mg kg^{-1}) uygulamasına kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.84b). Toprakta Fe iyonu, tipik olarak nötr ve alkali koşullarda toprak organik maddesi ile kompleks oluşturmaktadır. Hızlı piroliz ile elde edilen biyokömürün eklenmesinin kararsız organik C veya doğal toprak organik maddesinin primer ayrışmasını sağlayarak, toprak çözeltisindeki Fe konsantrasyonunda bir artışa yol açmış olabileceğini vurgulayan Ippolitto ve ark., (2014)'nın aksine bu araştırmada demir konsantrasyonu biyokömürün artan dozları ile ters orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Bunu nedeni ise biyokömürün yapısı gereği Fe ile kompleks yapı oluşturarak bir bağlanma durumu yarattığını düşünülmektedir.



Şekil 4.84. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

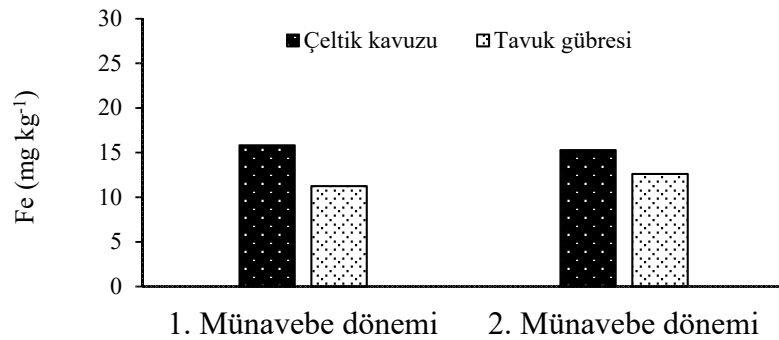
Biyokömür dozları toprağın yarayışlı Fe konsantrasyonu üzerine önemli ($p<0.01$) düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.17). En düşük yarayışlı Fe konsantrasyonu (11.15 mg kg^{-1}) BD5 uygulamasından elde edilirken en yüksek ortalama Fe konsantrasyonu (16.97 mg kg^{-1}) BD0 uygulamasından elde edilmiştir. Genel olarak biyokömür dozu arttıkça Fe konsantrasyonunun azaldığı görülmektedir (Şekil 4.85). Bizim bulgularımıza benzer bir sonuç Jing ve ark., (2020)'nin yapmış olduğu çalışmada ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar,

buğday sapından elde ettikleri biyokömürü tarla denemesinde 0, 1, 2, 3, 4 t da⁻¹ dozlarıyla toprağa uygulamış, çalışma sonunda toprağa biyokömür ilavesi ile 0-17 cm derinliğinden alınan toprak örneklerinde, yarayışlı demir (Fe) konsantrasyonunun azaldığını belirlemişlerdir. Buna ek olarak Hartley ve ark. (2016), biyokömür dozu artışı ile buğday tanesinde Fe konsantrasyonunun azaldığını bildirmişlerdir. Demir, toprakta halihazırda düşük biyoyararlanımı nedeniyle daha sorunludur (Ortiz-Monasterio ve ark., 2007) ve kontrollere kıyasla tüm biyokömür işlemlerinden tahılda önemli ölçüde azalmıştır.



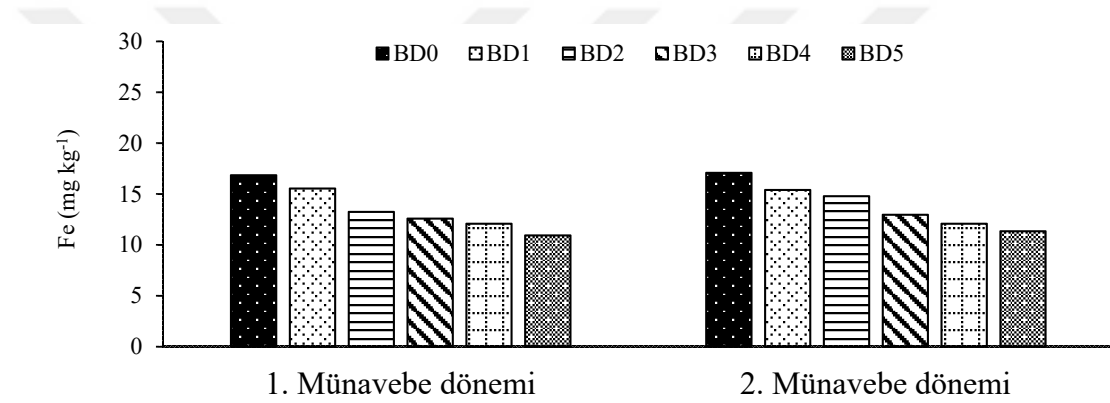
Şekil 4.85. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Yarayışlı Fe konsantrasyonu üzerine MD x BÇ interaksiyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (p=0.166) (Çizelge 4.17). En yüksek yarayışlı Fe konsantrasyonu (15.82 mg kg⁻¹) MD1 x çeltik kavuzu interaksiyonundan elde edilirken en düşük ortalama Fe konsantrasyonu (11.26 mg kg⁻¹) ise MD1 x tavuk gübresi interaksiyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.86). Tavuk gübresi biyokömürü, çeltik kavuzu biyokömürüne kıyasla daha yüksek pH ya sahip olması ve biyokömürün kireçleme etkisi nedeni ile toprak çözeltisindeki Fe ve Al konsantrasyonunu azaltması ile ortaya çıkmıştır (Cui ve ark., 2011a).



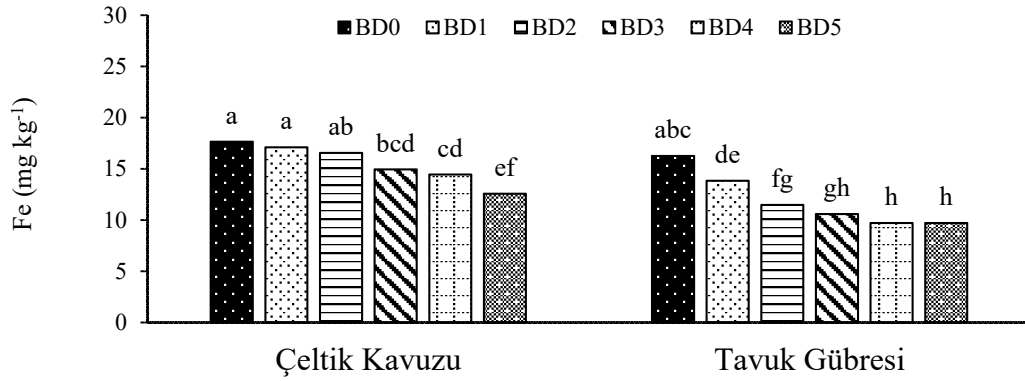
Şekil 4.86. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi

Yarayışlı Fe konsantrasyonu üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.763$) (Çizelge 4.17). En yüksek Fe konsantrasyonu (17.08 mg kg^{-1}) MD2 x BD0 uygulamasından elde edilirken, en düşük Fe konsantrasyonu (10.94 mg kg^{-1}) MD1 x BD5 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.87). Toprak çözeltisindeki Fe^{+2} iyonu biyokömür yüzeyindeki aktif karboksil ve fenol fonksiyonel grupları tarafından elektrostatik olarak bağlanırlar (Lin ve ark., 2012). Bu sebepten biyokömür toprakta elektron yüklü bir araç gibi yüzeyinde demiri bağlayarak oksit haline gelmesine neden olmaktadır (Kappler ve ark., 2014).



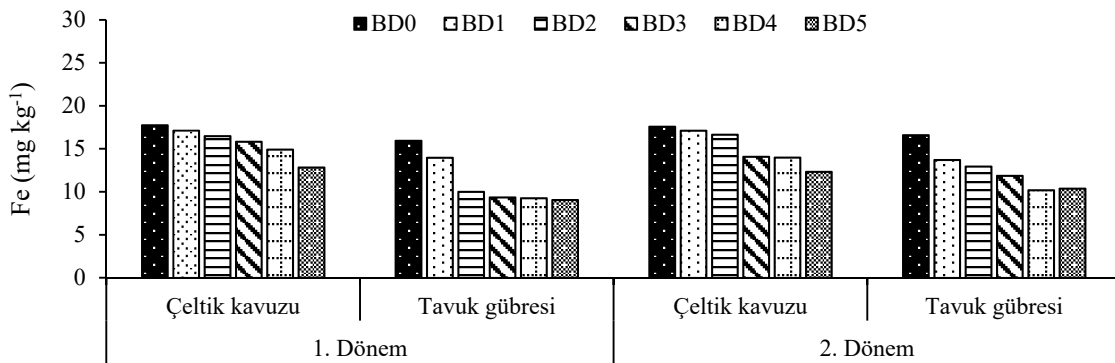
Şekil 4.87. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Yarayışlı Fe konsantrasyonu üzerine BÇ x BD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$) (Çizelge 4.17). İki biyokömür çeşidi için de doz artışı toprağın yarayışlı Fe konsantrasyonunun azalmasına neden olmuştur. Buna göre en yüksek Fe konsantrasyonu (17.67 mg kg^{-1}) çeltik kavuzu x BD0 uygulamasından elde edilirken en düşük Fe konsantrasyonu (9.71 mg kg^{-1}) ise tavuk gübresi x BD5 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.88). Tarakçioğlu ve ark. (2019), 0, 3 ve 6 ton da^{-1} uyguladıkları biyokömürün en yüksek doz (6 ton da^{-1}) uygulamasında Fe konsantrasyonunun düştüğünü bildirmişlerdir.



Şekil 4.88. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Yarayışlı Fe konsantrasyonu üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemsiz düzeydedir ($p=0.507$) (Çizelge 4.17). En yüksek Fe konsantrasyonu (17.75 mg kg^{-1}) MD1 x çeltik kavuzu x BD0 ve en düşük Fe konsantrasyonu ise (9.06 mg kg^{-1}) MD1 x tavuk gübresi x BD5 interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.89). Yarayışlı Fe konsantrasyonunun kontrole kıyasla azalmasının sebebi biyokömür uygulaması ile toprak pH'sında az da olsa yükselmesi ile ilişkilendirilmiştir (Pandit ve ark., 2017, 2018). Buna ilaveten, biyokömürün spesifik yüzey alanının, aktif fonksiyonel gruplarının ve katyon değişim kapasitesinin oldukça yüksek olması Fe gibi metallerin yarayışlılığını azaltmaktadır (Ahmad ve ark., 2014; Park ve ark., 2011).



Şekil 4.89. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

4.1.2.10. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir bakır (Cu) konsantrasyonuna etkisi

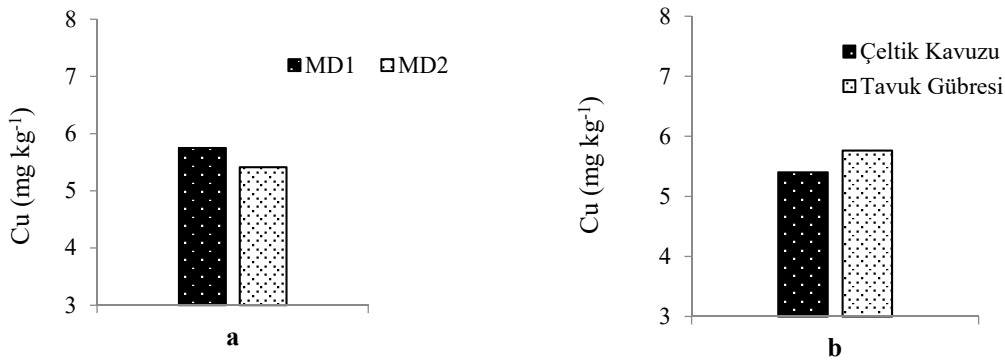
Denemede uygulamaların (MD, BÇ, BD) ve faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD ve BÇ x D x BD) toprağın yarayışlı Cu konsantrasyonu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Uygulamaların toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	2.044	2.044	3.795	0.191 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	2.365	2.365	2.710	0.175 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	0.424	0.085	0.306	0.906 ^{öd}
MD*BÇ	1	0.360	0.360	0.412	0.556 ^{öd}
MD*BD	5	0.415	0.083	0.300	0.910 ^{öd}
BÇ*BD	5	0.439	0.088	0.318	0.899 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.346	0.069	0.250	0.937 ^{öd}

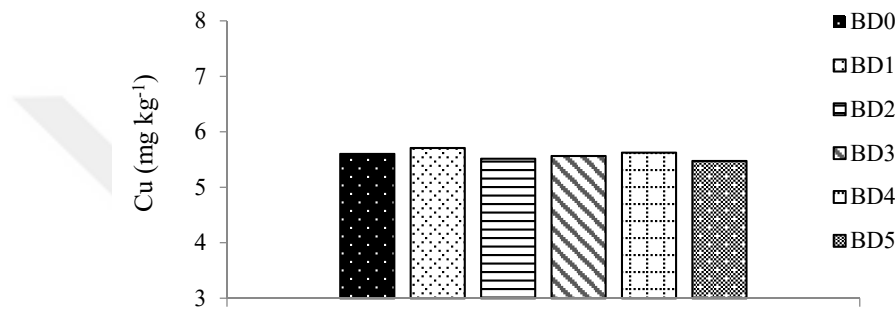
*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Münavebe döneminin toprağın yarayışlı Cu konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ($p=0.191$) (Çizelge 4.18). Birinci münavebe dönemi sonunda yarayışlı Cu konsantrasyonu (5.75 mg kg^{-1}) ikinci münavebe dönemine (5.41 mg kg^{-1}) kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.90a). Denemede BÇ faktörü toprağın yarayışlı Cu konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmüştür ($p=0.175$) (Çizelge 4.18). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında yarayışlı Cu konsantrasyonu (5.76 mg kg^{-1}) çeltik kavuzu biyokömürüne (5.40 mg kg^{-1}) kıyasla istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte daha yüksektir (Şekil 4.90b).



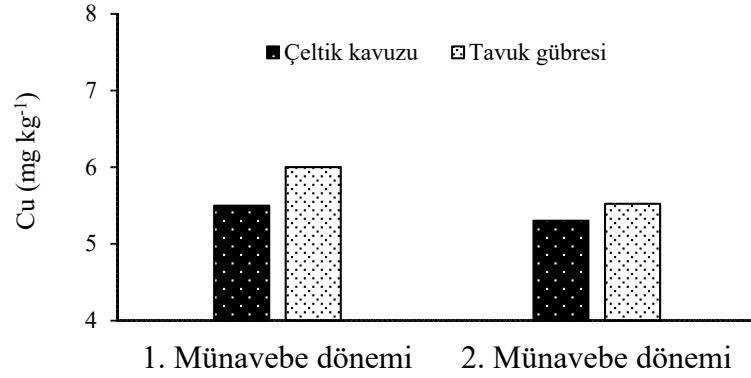
Şekil 4.90. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür uygulama dozları toprakların Cu konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır ($p=0.906$) (Çizelge 4.18). En yüksek ortalama yarayışlı Cu konsantrasyonu (5.71 mg kg^{-1}) BD1 iken en düşük ortalama Cu konsantrasyonu (5.47 mg kg^{-1}) BD5 uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.91). Artan biyokömür uygulama dozunun yarayışlı Cu konsantrasyonu üzerine hiçbir etkisinin olmadığı, özellikle alkali koşullarda Zn, Cu ve Fe gibi mikro elementlerin oksitlerle güçlü bağ oluşturduğu ve bu nedenle kullanılabilirliklerinin sınırlanabildiği rapor edilmiştir (Ippolitto ve ark., 2014).



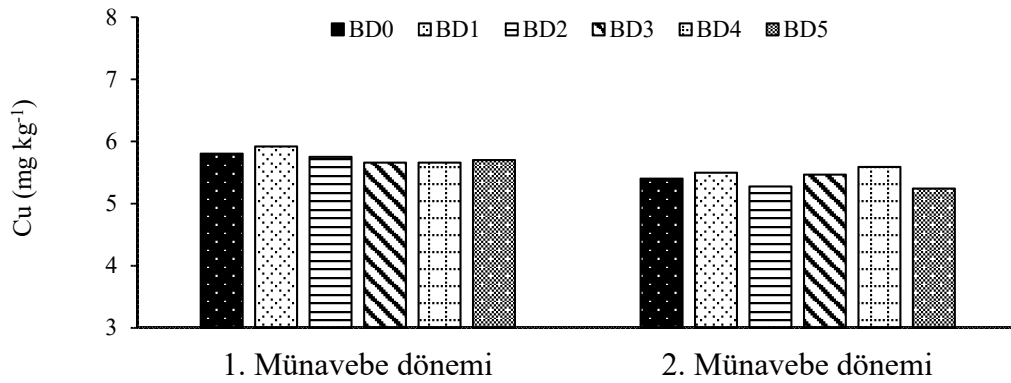
Şekil 4.91. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Yarayışlı Cu konsantrasyonu üzerine MD x BÇ interaksyonu etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.556$) (Çizelge 4.18). En yüksek ortalama yarayışlı Cu konsantrasyonu (6.00 mg kg^{-1}) MD1 x tavuk gübresi ve en düşük ortalama yarayışlı Cu konsantrasyonu ise MD2 x çeltik kavuzu interaksyonundan (5.30 mg kg^{-1}) elde edilmiştir (Şekil 4.92). Topraktaki bakır çözünürlüğü büyük ölçüde toprak bünyesine, pH'ya ve organik maddeye bağlıdır (Bravin ve ark., 2012; Adrees ve ark., 2015). Gonzaga ve ark., (2020) yapmış oldukları çalışmada 3 ayrı biyokömür çeşidini (hindistan cevizi, portakal posası ve arıtma çamuru), 30 ve 60 t ha^{-1} dozlarında uygulamışlardır. İki yıl sonra yarayışlı bakır konsantrasyonun %18.8 (Hindistan cevizi biyokömür 60 t ha^{-1}), %25.4 (60 t ha^{-1} portakal posası biyokömürü) ve %17.2 (arıtma çamuru biyokömürü 60 t ha^{-1}) azaldığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.92. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksijonunun toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi

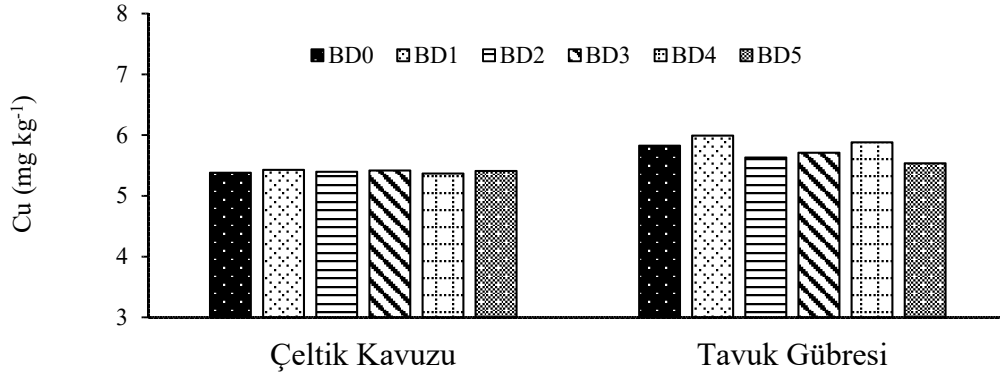
Bakır konsantrasyonu üzerine MD x BD interaksijonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.910$) (Çizelge 4.18). En yüksek Cu konsantrasyonu (5.92 mg kg^{-1}) MD1 x BD1 uygulamasından ve en düşük Cu konsantrasyonu ise (5.25 mg kg^{-1}) MD2 x BD5 uygulamalarından elde edilmiştir (Şekil 4.93). Bakshi ve ark. (2014), odundan elde ettikleri (650°C) biyokömürü toprağa 0, 1 ve 5 (w/w) dozlarında ilave ederek Cu immobilizasyonu ve dönüşümleri üzerindeki etkilerini açıklamak ve Cu-biyokömür etkileşimlerinin mekanizmalarını ve daha sonra Cu-kontamine olmuş topraklardaki makrobesinlerin yıkanma potansiyeli üzerindeki etkisini ortaya koymuşlardır. Toprağa biyokömür ilavesi ile bakırın immobilize hale geldiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 4.93. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksijonunun toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

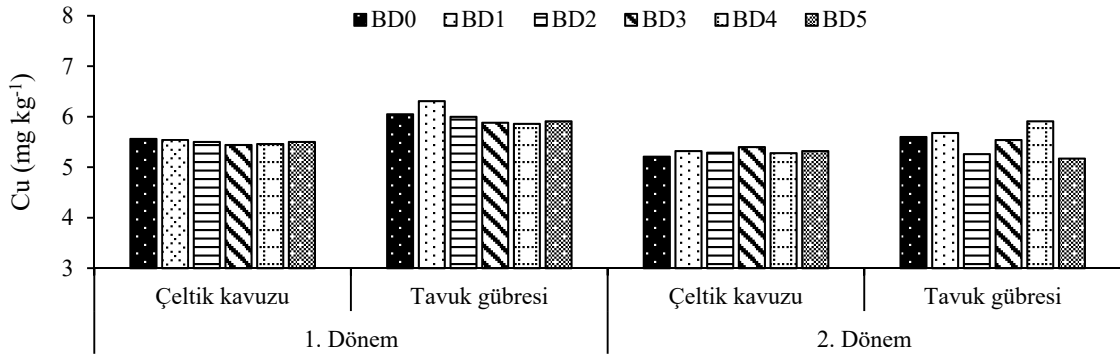
Cu konsantrasyonu üzerine BÇ ve BD interaksijonun istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmadı belirlenmiştir ($p=0.899$) (Çizelge 4.18). Buna göre, en yüksek Cu konsantrasyonu (5.99 mg kg^{-1}) tavuk gübresi x BD1 uygulamasından ve en düşük Cu

konsantrasyonu (5.37 mg kg^{-1}) ise çeltik kavuzu x BD4 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.94). Jatav ve ark. (2018), kimyasal gübreleme + arıtma çamuru + biyokömürün çeşitli oranlarda karışımını toprağa uygulamış ve topraktaki DTPA ile ekstrakte edilebilen Cu konsantrasyonu ile ilgili olarak 1.57 ila 6.69 mg kg^{-1} arasında değiştiğini, maksimum Cu konsantrasyonunun 3 t ha^{-1} arıtma çamur + NPK (60.30.30) uygulaması olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilen Fe, Mn, Cu ve Zn konsantrasyonu artıma çamuru uygulaması ile toprakta önemli bir artış olduğunu ancak, biyokömür uygulamasıyla azaldığını bildirmişlerdir. Biyokömürdeki daha yüksek katyon değişim kapasitesi, toprakta daha az kullanılabilirliği yansıtan mikrobelerin emilmesinden sorumlu olarak kabul edilebilir, ancak besin elementi yıkanmasını azaltır ve bitkiler tarafından daha yüksek alım ile bunları yavaşça serbest bırakabilmektedir.



Şekil 4.94. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Yarayışlı Cu konsantrasyonu üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.937$) (Çizelge 4.18). Ortalama en yüksek yarayışlı Cu konsantrasyonu (6.31 mg kg^{-1}) MD1 x tavuk gübresi x BD1 ve en düşük Cu konsantrasyonu ise (5.17 mg kg^{-1}) MD2 x tavuk gübresi x BD5 interaksiyonundan elde edilmiştir. Önceki çalışmalar, biyokömür uygulamasının asit toprağının pH'ını arttırdığını, böylelikle metal katyonlarının biyokömür üzerindeki adsorpsiyonunu ve kompleksleşmesini arttırdığını ve metal hareketliliğini azalttığını göstermiştir (Beesley ve Marmioli, 2011; Ahmad ve ark, 2012b). Yapılan başka çalışmada tropikal bölgelerde yüksek dozda biyokömür ilavesinin bakırın bitki tarafından alınımı arttırdığı rapor edilmiştir (Lehmann ve Rondon, 2006).



Şekil 4.95. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın bakır (Cu) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

4.1.2.11. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir çinko (Zn) konsantrasyonuna etkisi

Denemede bireysel faktörlerin tamamının (MD, BÇ ve BD) ve faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin (BÇ x BD, MD x BD, MD x BÇ ve MD x BÇ x BD) toprağın Zn konsantrasyonu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.19).

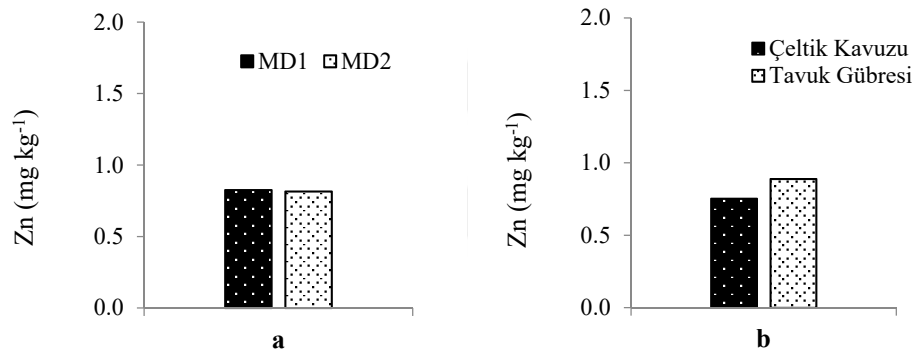
Çizelge 4.19. Uygulamaların toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	0.891	0.891	3.450	0.204 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	5	0.253	0.051	1.760	0.167 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	1	0.021	0.021	1.413	0.246 ^{öd}
MD*BÇ	5	0.254	0.051	1.768	0.165 ^{öd}
MD*BD	5	0.025	0.005	0.333	0.888 ^{öd}
BÇ*BD	1	0.048	0.048	3.197	0.086 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.015	0.003	0.203	0.958 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Münavebe döneminin toprağın Zn konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ($p=0.204$) (Çizelge 4.19). Birinci münavebe dönemi sonunda ortalama Zn konsantrasyonu (0.83 mg kg^{-1}) ikinci münavebe dönemi sonunda belirlenen ortalama Zn konsantrasyonuna (0.82 mg kg^{-1}) oldukça benzerdir (Şekil 4.96a). Biyokömür çeşidi faktörünün toprağın Zn konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmüştür ($p=0.167$) (Çizelge 4.19). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında Zn konsantrasyonu 0.89 mg kg^{-1} iken çeltik kavuzu biyokömüründe 0.75 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Şekil 4.96b). Saleem ve ark. (2020), biyokömür (Hint gülü

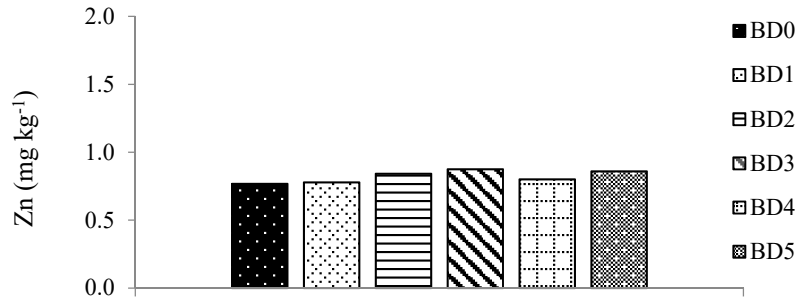
ağacından 450 °C’de elde edilen), çiftlik gübresi ve tavuk gübresi ilavesinin ekstrakte Zn üzerindeki etkilerini yüksek kireçli (%16.6) ve düşük kireçli (%6.6) topraklar üzerinde gözlemlemek için bir tarlada inkübasyon çalışması yürütmüşlerdir. Her iki toprak da 10 g kg⁻¹ (20 t ha⁻¹) biyokömür, çiftlik gübresi ve tavuk gübresi ile 0, 1.5 ve 3 mg kg⁻¹ dozlarında Zn (ZnSO₄ olarak), toprağa ilave etmişlerdir. Araştırma sonuçlarında 28 gün inkübasyondan sonra tavuk gübresi, çiftlik gübresi ve biyokömür Zn konsantrasyonunu (%84, 69 ve 52) arttırmıştır. Organik materyaller iki tip toprakta da karbonatlı tuzlarla çözünemeyen Zn komplekslerini oluşumunu engellemiş ve Zn yarıyışlılığını arttırmıştır. 56. Günde en yüksek ekstrakte edilebilir Zn tavuk gübresi, çiftlik gübresi olsa da 56 günlük inkübasyondan sonra biyokömür en yüksek Zn konsantrasyonunu vermiştir (Saleem ve ark., 2020).



Şekil 4.96. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

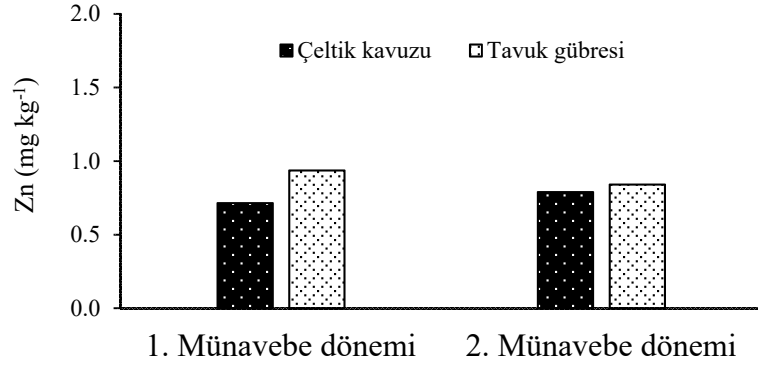
Biyokömür dozları toprakların Zn konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır (p=0.246) (Çizelge 4.19). En yüksek ortalama Zn konsantrasyonu BD3 (0.88 mg kg⁻¹) iken en düşük ortalama değer ise BD0 (0.77 mg kg⁻¹) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.97). Farklı oranlarda biyokömür uygulamalarının, topraktaki mikro elementlerin biyo-yarıyışlılığı üzerine olan etkisi birçok araştırmaya konu edilmiştir. Okalipütüs odununun 550 °C’de pirolizinden elde edilen biyokömürü kumlu topraklara uygulayan Namgay ve ark. (2010), biyokömür uygulamaları ile ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonu artarken Cu’nin etkilenmediğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar mikro elementlerin alınabilirliği ve yarıyışlılığının mikro element çeşidi ile biyokömür uygulama dozlarına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, kullanılan biyokömürün çok yüksek Zn konsantrasyonuna (1599 mg / kg) sahip olduğunu ve biyokömür

uygulamasını ile topraktaki ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonunun arttığını rapor etmişlerdir. Sanchez-Monedero ve ark. (2004)'nın yapmış oldukları bir çalışmada yüksek Zn içeriğine sahip organik düzenleyicilerin toprağa ilavesi sonrasında ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonunda önemli artışa neden olduğunu bildirmiştir.



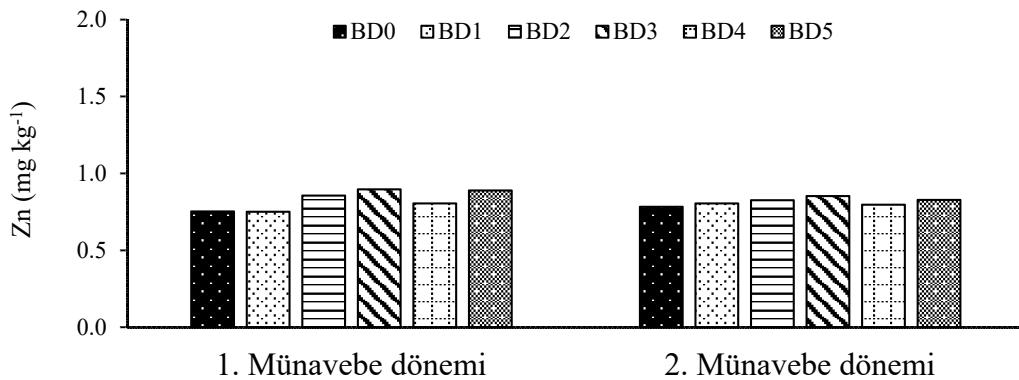
Şekil 4.97. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Ortalama Zn konsantrasyonu üzerine MD x BÇ interaksyonu etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.165$) (Çizelge 4.19). En yüksek ortalama Zn konsantrasyonu MD1 x tavuk gübresi (0.94 mg kg^{-1}) ve en düşük ortalama Zn konsantrasyonu ise MD1 x çeltik kavuzu interaksyonundan (0.72 mg kg^{-1}) elde edilmiştir (Şekil 4.98). Kumlu bir toprağa Zn ilave (880 mg kg^{-1}) ettikten sonra 60 gün inkübasyonda tutan Kumar ve ark. (2018a), 60 gün sonunda buğday kabuğu ve sığır gübresi yavaş piroliz ile (450°C) üretilen biyokömürleri, 0, 10, 30 ve 50 g kg^{-1} toprağa uygulamışlardır. Tekrar 7 gün bekledikten sonra, 180 gün sonunda biyokömürde artan oksijenli fonksiyonel gruplar Zn bağlanmasını kolaylaştırdığını ifade etmişlerdir. Genel olarak, sığır gübresi biyokömürüyle Zn immobilizasyonu, yüksek alkalinitesi, mevcut negatif yüklü grupların daha yüksek konsantrasyonu ve organo mineral katmanlarının daha fazla birikmesi nedeniyle buğday kabuğu biyokömüründen daha yüksek bulunmuştur. Bu bulgular ile ağır metal konsantrasyonu yüksek toprakların biyokömür uygulamasının, toprakları optimize edilebileceğini düşünülmektedir.



Şekil 4.98. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x interaksyonunun toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi

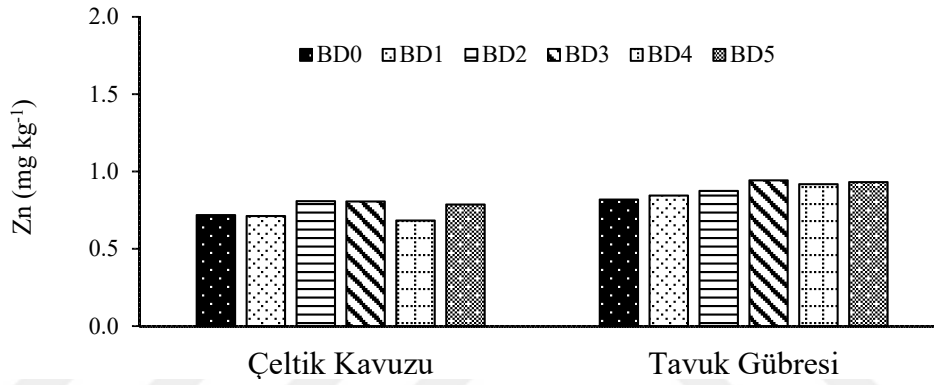
Ortalama Zn konsantrasyonu üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.888$) (Çizelge 4.19). En yüksek ortalama Zn konsantrasyonu (0.90 mg kg^{-1}) MD1 x BD3 ve en düşük ortalama Zn konsantrasyonu (0.75 mg kg^{-1}) MD1x BD0 ve BD1 uygulamalarından elde edilmiştir (Şekil 4.99). Laird ve ark. (2010a), piroliz esnasında Zn gibi mikroelementlerin N ve S gibi uçucu bileşiklere dönüşmediklerinden dolayı biyokömür ile birlikte toprağa katıldıklarını bildirmişlerdir. Ancak biyokömürün toprak özellikleri üzerindeki etkisinin oldukça dinamik ve değişken olduğu ve biyokömürü hazırlama yöntemi, piroliz sıcaklığı, biyokütle tipi ve uygulandığı toprak sınıfı gibi birçok faktöre bağlıdır (Lehmann ve ark., 2006).



Şekil 4.99. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

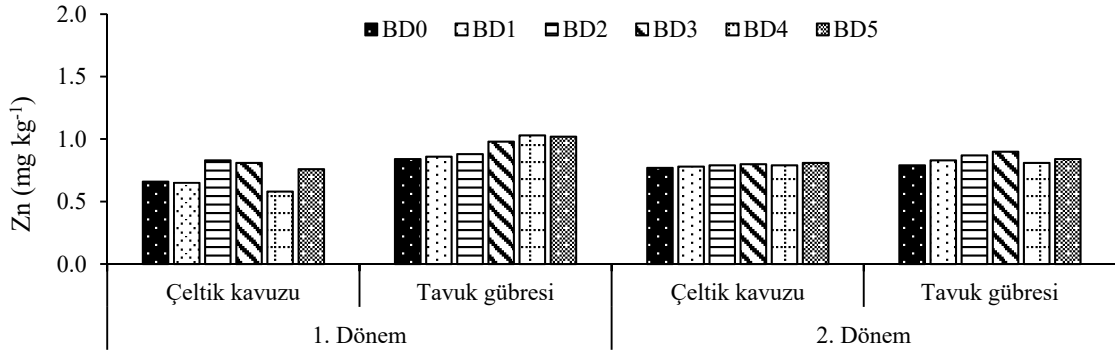
Yarayışlı Zn konsantrasyonu üzerine BÇ ve BD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde değildir ($p=0.086$) (Çizelge 4.19). Buna göre en yüksek ortalama

Zn konsantrasyonu (0.94 mg kg^{-1}) tavuk gübresi x BD3 uygulamasından ve en düşük ortalama Zn konsantrasyonu (0.68 mg kg^{-1}) çeltik kavuzu x BD4 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.100). Özellikle hayvansal atık olan tavuk gübresi biyokömürü uygulamasının kontrol uygulamasına (0.82 mg kg^{-1}) göre biyokömürün 3 t da^{-1} dozunda (0.94 mg kg^{-1}) toprağa ilavesi ile %14 arttırdığı belirlenmiştir. Hayvansal atıkların çoğu, çok az miktarda bitkiye yararışlı Zn içermektedir. Yüksek dozlarda hayvansal atık uygulamasının yararı toprakta organik maddenin artması ve böylece toprağın şelatlama özelliğinin de artmasıdır (Güzel ve ark., 2008).



Şekil 4.100. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Yararışlı Zn konsantrasyonu üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonu etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.958$) (Çizelge 4.19). En yüksek ortalama Zn konsantrasyonu (1.03 mg kg^{-1}) MD1 x tavuk gübresi x BD4 ve en düşük ortalama Zn konsantrasyonu ise (0.58 mg kg^{-1}) MD1 x çeltik kavuzu x BD4 interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.101). Günal (2018), yapmış olduğu sera çalışmasında biyokömür çeşidi ve biyokömür dozu faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprağın Zn konsantrasyonu üzerine önemli etki yapmamıştır. İlk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu çeltik x 2 g g^{-1} (0.76 mg kg^{-1}) ve en düşük Zn konsantrasyonu ise fasulye x 1 g g^{-1} (0.55 mg kg^{-1}) interaksiyonlarında elde edilmiştir. İkinci dönemde ise en yüksek toprak Zn konsantrasyonu fasulye x 3 g g^{-1} (1.80 mg kg^{-1}) ve en düşük Zn konsantrasyonları ise mısır x 2 g g^{-1} (1.11 mg kg^{-1}) ile mısır x BD3 (1.18 mg kg^{-1}) interaksiyonlarında görülmüştür.



Şekil 4.101. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

4.1.2.12. Uygulamaların toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir mangan (Mn) konsantrasyonuna etkisi

Denemede bireysel faktörlerin (MD, BÇ ve BD) mangan (Mn) konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. Faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin tamamının da (MD x BÇ, MD x BD ve BÇ x BD ve MD x BÇ x BD) Mn konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.20).

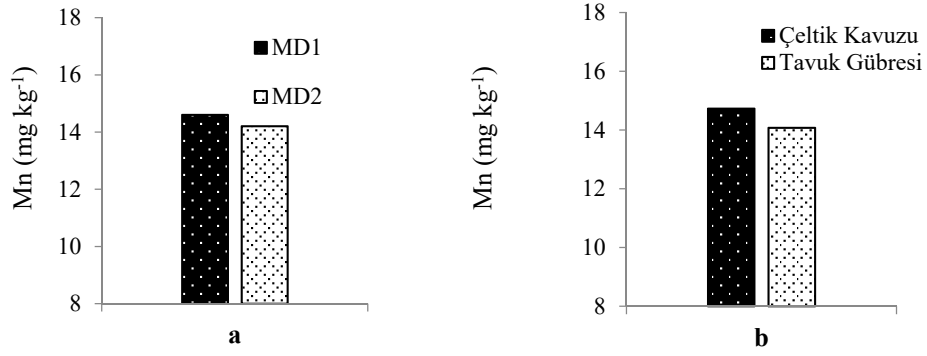
Çizelge 4.20. Uygulamaların toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	2.793	2.793	0.204	0.696 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	7.788	7.788	0.610	0.478 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	44.238	8.848	2.055	0.091 ^{öd}
MD*BÇ	1	0.580	0.580	0.045	0.842 ^{öd}
MD*BD	5	6.047	1.209	0.281	0.921 ^{öd}
BÇ*BD	5	5.576	1.115	0.259	0.933 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	17.159	3.432	0.797	0.558 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

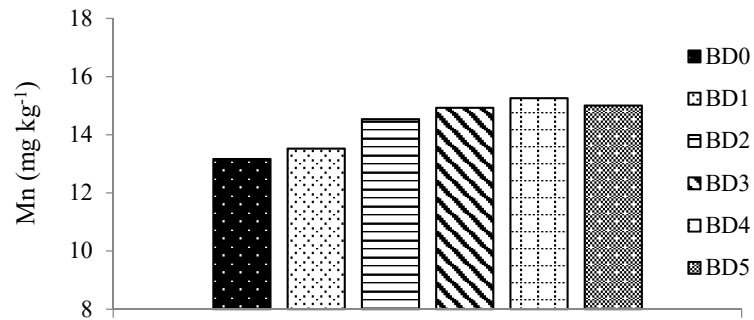
Münavebe döneminin toprağın Mn konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ($p=0.696$) (Çizelge 4.20). Birinci münavebe dönemi sonrasında ortalama Mn konsantrasyonu (14.60 mg kg^{-1}) ikinci münavebe döneminden (14.21 mg kg^{-1}) istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte daha düşüktür. (Şekil 4.102a). Yarıyıllı Mn konsantrasyonu üzerine BÇ etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.478$) (Çizelge 4.20). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında ortalama Mn konsantrasyonu (14.08

mg kg⁻¹) çeltik kavuzu biyokömürüne (14.73 mg kg⁻¹) kıyasla daha düşüktür (Şekil 4.102b).



Şekil 4.102. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

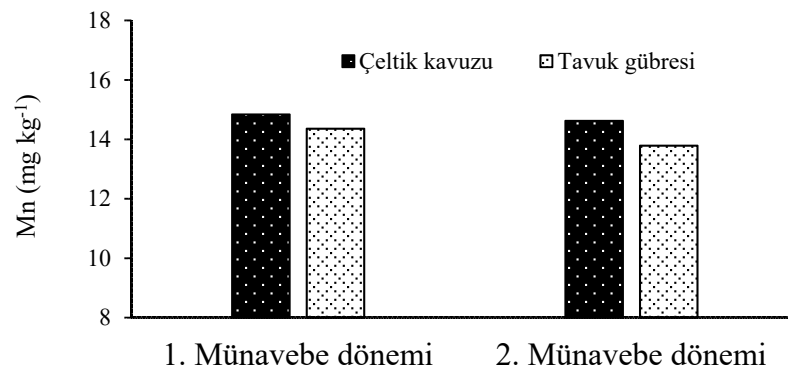
Yarayışlı Mn konsantrasyonu üzerine BD faktörünün etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde değildir ($p=0.091$) (Çizelge 4.20). En düşük ortalama Mn konsantrasyonu (13.17 kg⁻¹) BD0 uygulamasında iken en yüksek ortalama değer (15.26 mg kg⁻¹) BD4 uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.103). Yapılan bir inkübasyon çalışmasında odun talaşının piroliz (600 °C) ile elde edilen biyokömür %0, 1, 2 ve 10 oranında topraklara ilave edilmiştir (Ippolito ve ark., 2014). Çalışmada biyokömür uygulama dozunun artması ile Mn, konsantrasyonun arttığı rapor edilmiştir



Şekil 4.103. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

Yarayışlı Mn konsantrasyonu üzerine MD x BÇ interaksiyonu etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.842$) (Çizelge 4.20). En düşük ortalama Mn konsantrasyonu

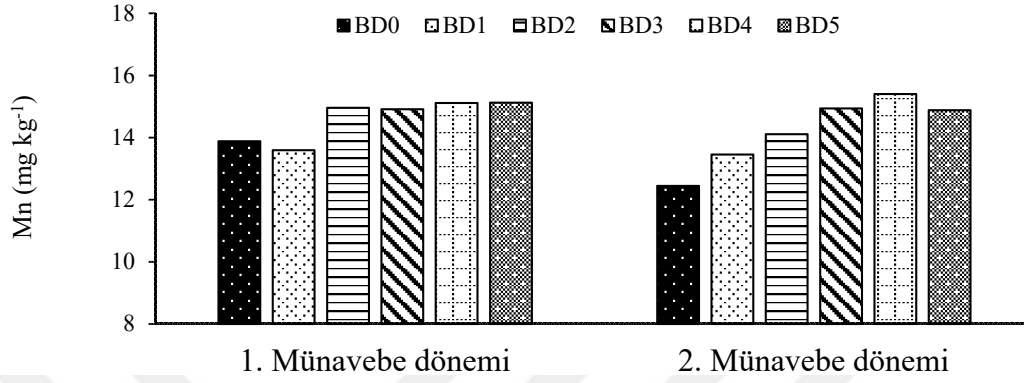
(13.79 mg kg⁻¹) MD2 x tavuk gübresi ve en yüksek ortalama Mn konsantrasyonu ise (14.84 mg kg⁻¹) MD1 x çeltik kavuzu interaksyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.104). Jing ve ark. (2020) yapmış oldukları bir çalışmada buğday sapından elde ettikleri biyokömürü tarla denemesinde 0, 1, 2, 3 ve 4 t da⁻¹ dozlarıyla toprağa uygulamışlardır. Araştırmacıların çalışma sonuçları, biyokömürün toprağa ilavesi ile 0-17 cm derinliğinden alınan toprak örneklerinde, yarayışlı mangan (Mn) konsantrasyonun azaldığını göstermiştir.



Şekil 4.104. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi

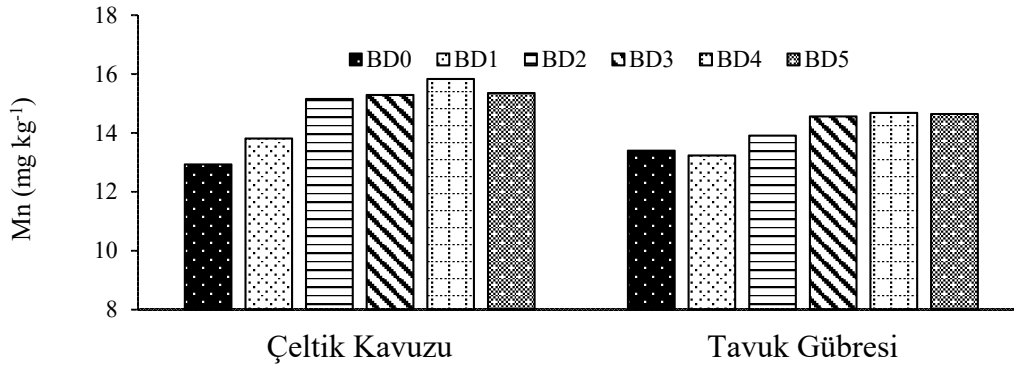
Yarayışlı Mn konsantrasyonu üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.921$) (Çizelge 4.20). En yüksek ortalama Mn konsantrasyonu (15.41 mg kg⁻¹) MD2 x BD4 ve en düşük ortalama Mn konsantrasyonu (12.45 mg kg⁻¹) MD2 x BD0 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.105). Lentz ve Ippolito (2012), yapmış oldukları araştırmada meşe talaşından pirloliz işlemi (600 °C) ile elde ettikleri biyokömürü (22.2 t ha⁻¹), sığır gübresini (4.2 t ha⁻¹) ve biyokömür (22.2 t ha⁻¹) + sığır gübresi (4.2 t ha⁻¹) konularının toprak özellikleri üzerindeki etkisini 4 dönem örnek olarak araştırmışlardır. Tarla koşullarında biyokömür uygulandığında Mn yarayışlılığında bir artış gözlemlenmiş ve bunun potansiyel bir fayda olduğunu düşünmüşlerdir. Birinci dönem (2009) kontrole göre, biyokömür toprakta yarayışlı Mn'yi 1.5 kat arttırırken, sığır gübresi 1.4 kat artış sağlamıştır. Sığır gübresi ile biyokömürün eklenmesi, kontrole kıyasla toprak Mn'de sinerjik bir etki ile 2.1 kat artış sağlamıştır. Biyokömür ve sığır gübresinin Mn konsantrasyonuna etkisi geçici olduğunu vurgulayan araştırmacılar, 2. ve 3. dönem önemli ancak 4. dönem için önemsiz olduğunu biyokömürün, sığır gübresi ile birleştirildiğinde

toprakta Mn yarıyışlılığı üzerinde sinerjistik bir etkiye sahip olduğunu ancak faydanın zamanla azaldığını rapor etmişlerdir.



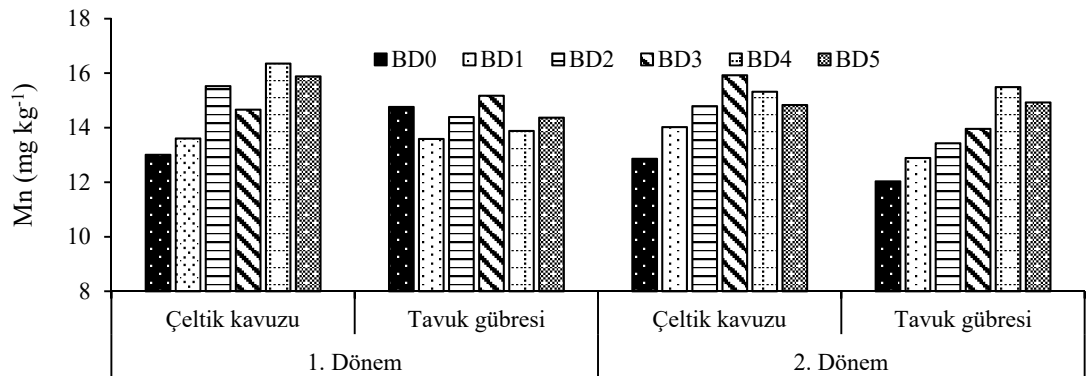
Şekil 4.105. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

Yarayışlı Mn konsantrasyonu üzerine BÇ x BD interaksyonun etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.933$) (Çizelge 4.20). Buna göre en yüksek ortalama Mn konsantrasyonu (15.84 mg kg^{-1}) çeltik kavuzu x BD5 uygulamasından elde edilirken ve en düşük ortalama Mn konsantrasyonu ise çeltik kavuzu x BD0 (12.94 mg kg^{-1}) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.106). Çeltik kavuzu biyokömürü (BD5 uygulaması hariç) ve tavuk gübresi biyokömürü (BD1 dozu hariç) uygulama sonrası istatistik olarak önemsiz olmakla birlikte Mn konsantrasyonunda nispeten bir artış gözlemlenmektedir. Bitkisel kökenli ve hayvansal atıkların uygulanması Mn gibi mikroelementlerin yarıyışlılığını olumlu yönde etkilemektedir. Bazı organik bileşikler bu katyonlarla reaksiyona girerek bu mikro elementleri mineral parçacıklarla etkileşime girmekten korurlar ki mineral parçacıklar bu elementleri çözünemeyen formda bağlarlar. Diğer bazı kompleks bileşikler ise daha fazla mikrobiyal parçalanmaya uğradıkça bileşikler yavaş olarak yarıyışlı besin elementi sağlayabilirler (Güzel ve ark., 2008).



Şekil 4.106. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

Yarayışlı Mn konsantrasyonu üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.558$) (Çizelge 4.20). En yüksek ortalama Mn konsantrasyonu MD1 x çeltik kavuzu x BD4 (16.35 mg kg^{-1}) ve en düşük Mn konsantrasyonu ise MD2 x tavuk gübresi x BD0 (12.04 mg kg^{-1}) interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.107). De Figueiredo ve ark. (2019), biyokömür etkisini araştırmak için dört konulu (kontrol, NKP gübrelemesi, arıtma çamurunun 300 °C ve 500 °C’de pirolizi) bir deneme kurmuşlar ve biyokömürü 15 Mg ha⁻¹ dozunda toprağa uygulamışlar ve çalışma sonunda, 300 °C’de pirolizi ile elde edilen biyokömür uygulamasının toprağın toplam Mn konsantrasyonunda kontrole kıyasla bir artış sağladığını belirtmişlerdir. Khanmohammadi ve ark. (2017), 14.5 Mg ha⁻¹ dozunda arıtma çamuru biyokömürü (350 °C) uygulanmasının ardından, hasat sonrası topraktaki Cu ve Mn seviyelerinde de anlamlı bir fark bulamazken ve Fe ve Zn’da bir artış gözlemişlerdir.



Şekil 4.107. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın mangan (Mn) konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

4.1.3. Uygulamaların Toprağın Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi

Toprakların sahip oldukları fonksiyonları yerine getirebilme kapasitelerinin sürdürülebilirliği, kimyasal ve fiziksel özellikleri yanı sıra biyolojik özellikleri ile de yakından ilişkilidir. Toprak sağlığını ve ekosistemlerde üretkenlik yönetimini sürdürmek için toprak enzimlerinin olası rollerini anlamak çok önemlidir. Toprakta bulunan enzimlerin, toprak biyolojisi, çevre yönetimi, büyüme ve besin alımı üzerinde önemli etkileri olabilir. Enzimlerin faaliyetleri üzerine kültürel yönetim uygulamalarının etkisi oldukça fazladır. Topraktaki mikrobiyal çeşitlilikten yeni enzimlerin keşfine odaklanan çalışmalar, daha iyi bitki büyümesi için faaliyetlerini olumlu yönde etkileyebilecek ve diğer canlıları sürdürülebilir kılmak için dost biyolojik ortamlar yaratabilecek en uygun uygulamalar olabilir (Das ve Varma, 2010). Topraktaki biyolojik faaliyetler ve enzim aktiviteleri önemli toprak kalite parametrelerindendir. Bu özellikler toprak kalitesi ile ilgili birçok çalışmada kalite göstergesi olarak kullanılmaktadırlar.

Çeşitli bileşim ve karmaşıklığa sahip makromolekülleri mikrobiyal asimilasyon için çözünür substratlara ayıştıran hidrolazlar ve oksidazlar dahil olmak üzere biyokömür uygulama deneylerinde çok çeşitli toprak enzimleri (hücre dışı ve hücre içi) incelenmektedir. Bu enzimler OM ayrışması için topraklarda bulunan farklı substrat gruplarını hedefler (Sinsabaugh, 2010) ve faaliyetleri biyokömür uygulamasından önemli ölçüde etkilenmiştir (Paz-Ferreiro ve ark., 2012; Zhang ve ark., 2014; Song ve ark., 2018). Biyokömür uygulama çalışmalarında, C döngüsü (C-edinimi) için en çok analiz edilen toprak hidrolitik enzimleri β -1,4-glukosidaz, N döngüsü için üreaz (N-edinimi); ve P döngüsü (P-edinimi) için asit fosfataz ve alkalın fosfatazdır (Chen ve ark., 2013; Song ve ark., 2016; Pukalchik ve ark., 2018). Dehidrojenaz biyokömür uygulama çalışmalarında oldukça çok çalışılan hücre içi enzimdir (Ouyang ve ark., 2014; Chen ve ark., 2017).

Bu çalışmada ise mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) ve mikrobiyal solunumun (CO_2) yanı sıra, yukarda biyokömür uygulamaları ile ilişkili en çok çalışılan enzimlerden mikroorganizmaların salgıladığı betaglikosidaz (BGEA), alkalın fosfataz (AFEA), dehidrojenaz (DEA) ve üreaz (ÜEA) enzim aktiviteleri incelenmiştir.

Biyokömürün toprağa uygulanmasının ardından birinci münavebe dönemi bitmiş ve ikinci münavebe dönemi başında tekrar biyokömür uygulaması yapılmamıştır. Deneme sonunda tekrar toprak numunesi alınmış aynı alanda ikinci münavebe sonrası biyokömürün bakiye etkisi araştırmak adına topraklarda mineralize olabilir azot (N_{min}), mikrobiyal solunum (CO_2), Mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC), Beta glikosidaz (BGEA), Alkalen fosfataz (AFEA), Dehidrogenaz (DEA) ve Üreaz (ÜEA) enzim aktiviteleri belirlenmiştir. Her iki dönem belirlenen toprağın biyolojik özellikleri arasındaki farklılığı tespit için yapılan test sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir. Biyokömür uygulamaları sonrasında deneme başında ve sonunda elde edilen ÜEA ($p<0.05$), CO_2 , BGEA, AFEA ve DEA ($p<0.01$) değerlerinin birbirlerinden önemli düzeyde farklı oldukları N_{min} ve MBC değerlerinin ise birbirinden farklı olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.21. Deneme başı ve sonuna ait toprağın biyokimyasal özelliklerinin eşleştirilmiş t-testi ile karşılaştırılması

Değişken	Dönem	SD	Ortalama	Ortalama Farkı	t (gözlenen)	t (kritik)	P
Mineral N (mg kg ⁻¹)	Öncesi	35	58.57	6.449	1.767	2.03	0.086
	Sonrası	35	52.12				
Mikrobiyal solunum (µg CO ₂ -C g ⁻¹)	Öncesi	35	0.00255	0.0003	-2.753	2.03	<0.01
	Sonrası	35	0.00285				
Mikrobiyal biyokütle C (µg CO ₂ -C 100g ⁻¹)	Öncesi	35	1.29	0.075	1.246	2.03	0.221
	Sonrası	35	1.22				
Beta glikosidaz EA (µg p nitrofenol g)	Öncesi	35	80.74	-12.656	-5.692	2.03	<0.01
	Sonrası	35	93.39				
Alkalen fosfataz EA (µg p nitrofenol g)	Öncesi	35	195	-33.750	-6.265	2.03	<0.01
	Sonrası	35	229				
Dehidrogenaz EA (µg TPF g ⁻¹)	Öncesi	35	1.74	0.282	4.238	2.03	<0.01
	Sonrası	35	1.46				
Üreaz EA (µg N g ⁻¹)	Öncesi	35	51.78	6.085	2.648	2.03	<0.05
	Sonrası	35	45.70				

SD: Serbestlik derecesi

4.1.3.1. Uygulamaların toprağın mineralize olabilir azot (N_{min}) konsantrasyonuna etkisi

Birçok toprak özelliği, biyokömürün toprağa dahil edilmesinden etkilenebilir, özellikle biyokömür ilavesinin nitrifikasyon oranlarını değiştirdiği (Berglund ve ark., 2004; DeLuca ve ark., 2006) ve potansiyel olarak azotlu bileşikler adsorbe ettiği bildirilmiştir (Lehmann ve ark., 2003a; Hina ve ark., 2010). Orman topraklarında, biyokömür genellikle artan azot (N) mineralizasyonu ile ilişkilendirilmiştir (Berglund ve ark., 2004; DeLuca ve ark., 2006). Ancak tarım topraklarındaki etkiler daha az belirgindir (DeLuca

ve ark., 2006; Deenik ve ark., 2010). Bu tür topraklara biyokömür uygulaması, N mineralizasyonunda herhangi bir değişikliğe (DeLuca ve ark., 2006) veya azalmaya (Deenik ve ark., 2010) dolayısıyla azotun bitkiler için daha az bulunabilirliğine yol açmıştır (Lehmann ve ark., 2003a). Günümüzde biyokömürün toprak N süreçleri ve özellikle N dönüşümlerinde yer alan organizmalar üzerindeki etkisi konusunda sınırlı bir anlayış mevcuttur.

Bu tez çalışmasında mineralize N konsantrasyonunun biyokömür uygulaması ile tarla koşullarında nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Yapılan uygulamalar sonunda deneme faktörlerinin (MD, BÇ ve BD) ve faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin (MD x BÇ, MD x BD ve BÇ x BD ve MD x BÇ x BD) mineralize olabilir azot (N_{min}) konsantrasyonu üzerine etkisi istatistik olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.22).

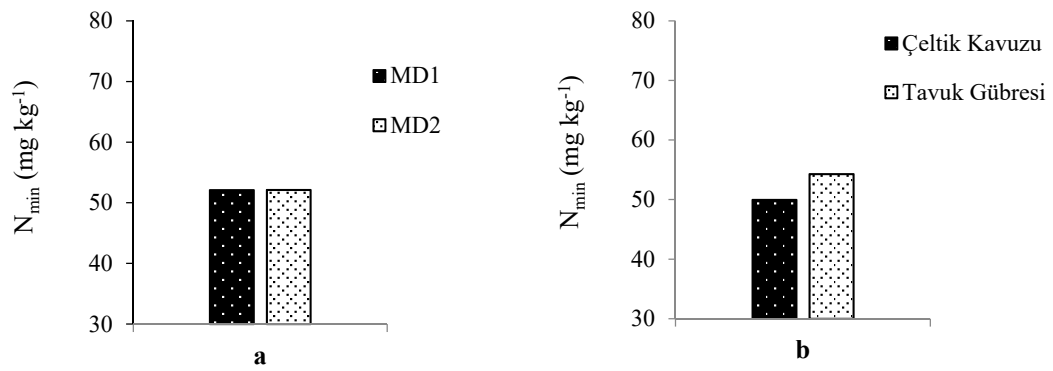
Çizelge 4.22. Uygulamaların toprağın mineralize olabilir azot (N_{min}) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	0.001	0.001	0.000	0.999 öd
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	337.870	337.870	1.213	0.333 öd
Biyokömür Dozu (BD)	5	168.996	33.799	0.303	0.908 öd
MD*BÇ	1	3.113	3.113	0.011	0.921 öd
MD*BD	5	81.278	16.256	0.146	0.980 öd
BÇ*BD	5	129.838	25.968	0.233	0.946 öd
MD*BÇ*BD	5	204.193	40.839	0.367	0.868 öd

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

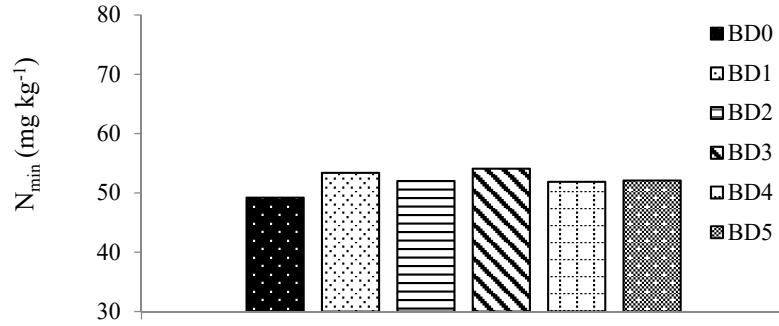
Münavebe dönemlerinin N_{min} konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.999$) (Çizelge 4.22). Her iki münavebe döneminde belirlenen ortalama N_{min} konsantrasyonları birbirlerine çok benzerdir (52.12 ve 52.09 mg kg^{-1}) (Şekil 4.108a). Biyokömür uygulamaları toprağın N_{min} konsantrasyonu üzerine etkisi önemli değildir ($p=0.333$) (Çizelge 4.22). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında belirlenen N_{min} konsantrasyonu (54.29 mg kg^{-1}) çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasından (49.95 mg kg^{-1}) daha yüksektir (Şekil 4.108b). Biyokömür uygulamasının farklı koşulları altında bitki besin elementi yarayışlılığı üzerindeki etkilerini araştırmalar çok azdır. Farklı toprak tiplerinin özellikle uzun vadeli arazi koşullarının araştırılması nispeten azdır. Örneğin, farklı toprak tiplerine biyokömür uygulamasının N mineralizasyonu üzerindeki etkisine ilişkin raporlarda, mineral azot konsantrasyonu için azalma, artma ve değişmediği şeklinde etkilerin çelişkili raporlar

bulunmaktadır (Singh ve ark., 2010; Zimmerman ve ark., 2011; Jones ve ark., 2012). Ayrıca, çalışmalar, biyokömür uygulamasının topraktaki besin elementleri döngüsü üzerindeki kısa ve uzun dönemli etkilerinin farklı olabileceğini göstermiştir. Örneğin, toprak mineralleri ile birleştirilen biyokömür partikülleri toprak N mineralizasyonunu azaltabilir (Singh ve ark., 2010) ancak üç yıllık bir saha deneyi biyokömür değişikliğinin N havuz boyutunu veya N mevcudiyetini etkilemediğini gösteren raporlar mevcuttur (Jones ve ark., 2012).



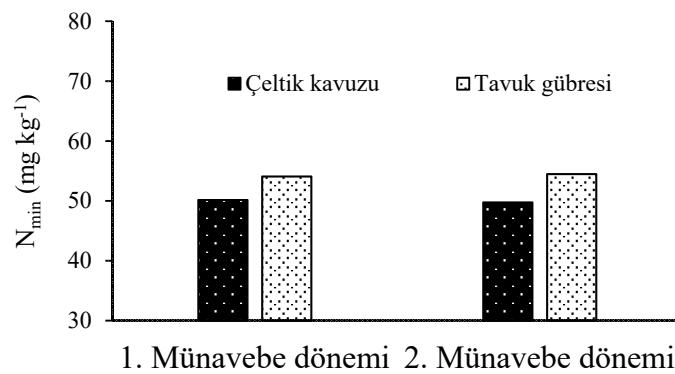
Şekil 4.108. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprağın N_{min} konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozları toprakların N_{min} konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır ($p=0.908$) (Çizelge 4.22). En düşük ortalama N_{min} konsantrasyonu (49.21 mg kg⁻¹) BD0 iken en yüksek ortalama N_{min} konsantrasyonu (54.11 mg kg⁻¹) BD3 dozunda görülmektedir (Şekil 4.109). Jones ve ark. (2012), ılıman bölge topraklarında biyokömürün N mineralizasyonu üzerine uzun vadeli etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, biyokömürün topraktaki NO₃-N, NH₄-N ve toplam N konsantrasyonları üzerinde önemli bir etkisi olmadığını tespit etmiştir.



Şekil 4.109. Biyokömür dozu uygulamalarının toprağın N_{min} konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

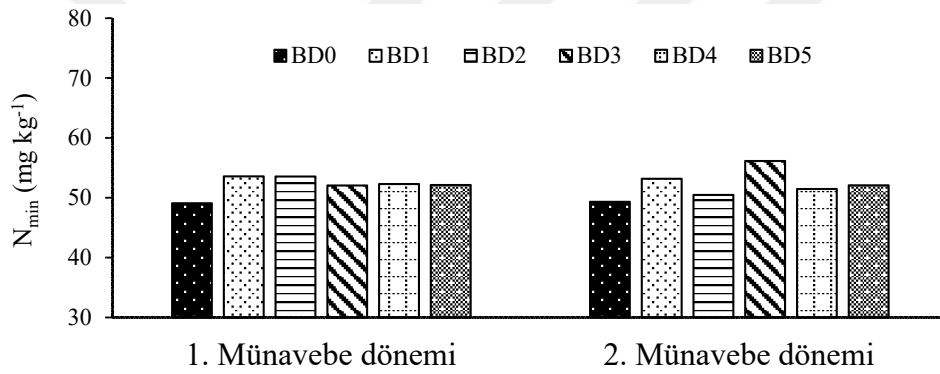
Toprağın N_{min} konsantrasyonu üzerine MD x BÇ interaksiyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.921$) (Çizelge 4.22). En yüksek ortalama N_{min} değeri (54.49 mg kg⁻¹) MD1 x tavuk gübresi ve en düşük ortalama N_{min} konsantrasyonu ise (49.74 mg kg⁻¹) MD2 x çeltik kavuzu interaksiyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.110). Song ve ark. (2014) pamuk sapından 650 °C sıcaklıkta elde edilen biyokömürün %5, 10 ve 20 dozlarındaki etkileri 12 haftalık bir inkübasyon denemesinde incelenmiştir. Nitrat (NO₃-N) konsantrasyonu ikinci haftada kontrole kıyasla biyokömür uygulanan örneklerle göre 2-3 kat daha yüksek olduğu vurgulanmıştır. Amonyum konsantrasyonundaki hızlı azalma NO₃-N konsantrasyonunda hızlı artışa neden olduğunu ve en yüksek değere 4'üncü haftada ulaştığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.110. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun toprağın N_{min} konsantrasyonuna (mg kg⁻¹) etkisi

Toprağın N_{min} konsantrasyonuna MD x BD interaksiyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.980$) (Çizelge 4.22). En yüksek ortalama N_{min}

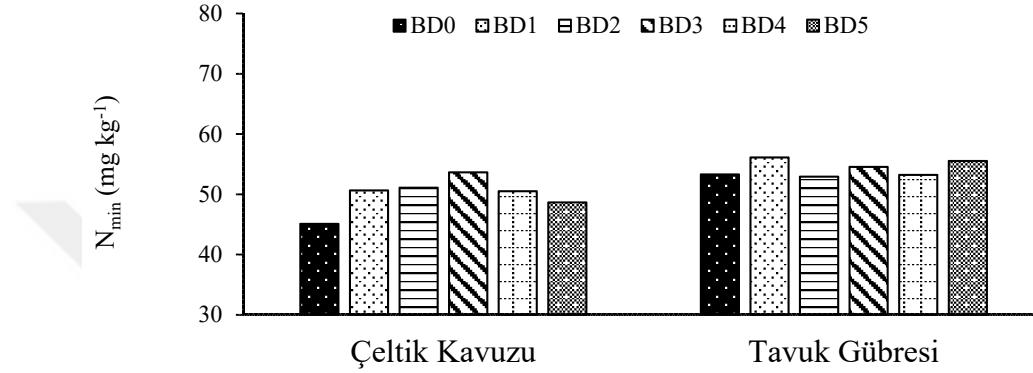
konsantrasyonu (56.15 mg kg^{-1}) MD2 x BD3 uygulamasından elde edilirken, en düşük $N_{\min}$ konsantrasyonu MD2 x BD0 (49.34 mg kg^{-1}) interaksiyonundan elde edilmiştir (Şekil 4.111). Mısır koçanlarının 305°C 'de pirolizinden elde edilen biyokömürü 0, 2 ve 20 g kg^{-1} dozlarında, iki N (0 ve 100 mg kg^{-1}) veya iki P (0 ve 20 mg kg^{-1}) uygulama dozu ile birlikte toprağa ilave eden Nelson ve ark., (2011) 56 günlük inkübasyona süresince mineral azot miktarını belirlemişlerdir. Uygulamadan 0, 3, 10, 17, 28 ve 56 gün sonra 20 g kg^{-1} biyokömür uygulamasında, ilk 10 gün boyunca $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu 1.1 ile 4.8 mg kg^{-1} arasında artış olmuş ve bu uygulamanın $\text{NO}_3\text{-N}$ geri kazanımını deneme süresince 5 ile 10 mg kg^{-1} azalttığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.111. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın $N_{\min}$ konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

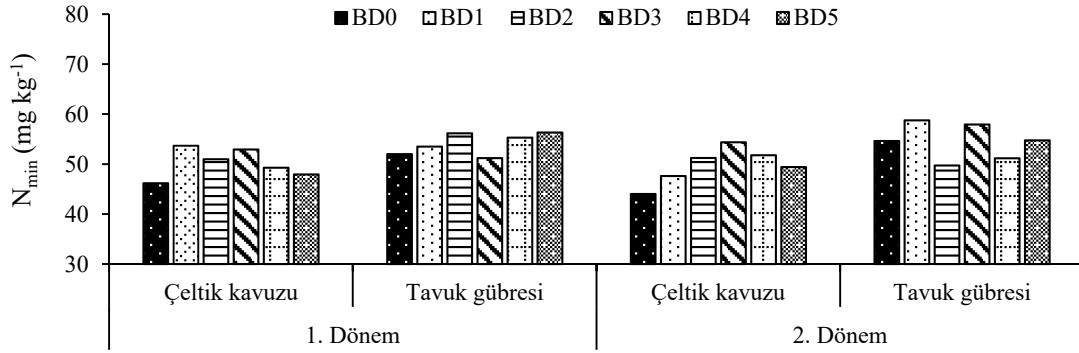
Toprağın $N_{\min}$ konsantrasyonu üzerine BÇ x BD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.946$) (Çizelge 4.22). Ancak iki biyokömür çeşidi için de, doz artışı ile (çeltik kavuzu BD4 ve tavuk gübresi BD5 hariç) $N_{\min}$ konsantrasyonu artmıştır. Buna göre en yüksek $N_{\min}$ konsantrasyonu (56.13 mg kg^{-1}) tavuk gübresi x BD1 uygulamasından elde edilirken en düşük $N_{\min}$ konsantrasyonu ise çeltik kavuzu x BD0 (45.11 mg kg^{-1}) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.112). Kızılçam budama atıklarının 600°C 'de piroliz edilmesi sonucunda elde edilen biyokömürü dört farklı tipte toprağa uygulayan Luo ve ark., (2020) her parselde 0, 2, 4 ve 16 gr.kg^{-1} dozlarını uygulayarak biyokömür ilavesinin toprağın $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonu üzerine etkisi incelemişlerdir. Genel olarak, biyokömür ilavesi, özellikle Loessal toprak ve Kara Loessial toprakta amonyum azot konsantrasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını bildirmişlerdir. Lou (kumlu tın) toprağı ve Aeolian (kumlu) toprağındaki

amonyum azot konsantrasyonu, 0-20 cm toprak derinliğinde 4 g kg^{-1} biyokömür uygulamasında artarken, 8 g kg^{-1} dozunda ise azaldığını bildirmişlerdir. Öte yandan 20-40 cm toprak derinliğinde ise, Aeolian (kumlu) toprağın amonyum azot konsantrasyonu 8 g kg^{-1} biyokömür dozunda azalırken 16 g kg^{-1} biyokömür ilavesinde arttığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.112. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprağın N_{min} konsantrasyonuna (mg kg^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Toprakların N_{min} konsantrasyonu üzerine MD x BÇ x BD interaksyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p=0.868$) (Çizelge 4.22). En yüksek N_{min} konsantrasyonu (58.75 mg kg^{-1}) MD2 x tavuk güresi x BD1 ve en düşük N_{min} konsantrasyonu ise MD2 x çeltik kavuzu x BD0 (44.05 mg kg^{-1}) interaksyonlarından elde edilmiştir. Biyokömür uygulama oranının artması ile su tutma kapasitesi, bitkilerde yarayışlı Fe ve Mn, toprak C konsantrasyonu, mikrobiyal solunum oranı artarken $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonunun azaldığı rapor edilmiştir (Ippolito ve ark., 2014). Kontrol uygulaması ile %10 biyokömür uygulaması karşılaştırıldığında biyokömür uygulamasının $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonunu %85 ile 97 oranlarında azaldığı bildirilmiştir. Prendergast-Miller ve ark. (2011), 60 t ha^{-1} biyokömür uygulanan toprakların, 20 t ha^{-1} ve kontrol uygulamalarından daha fazla $\text{NO}_3\text{-N}$ içerdiğini bildirmişlerdir. Rajkovich ve ark., (2012) artan biyokömür uygulama dozlarının (%7'ye kadar) N immobilizasyonuna azalttığı ve daha sonra yaprak N konsantrasyonunda bir azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.113. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprağın N_{min} konsantrasyonuna ($mg\ kg^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 $t\ da^{-1}$, BD1: 1 $t\ da^{-1}$, BD2: 2 $t\ da^{-1}$, BD3: 3 $t\ da^{-1}$, BD4: 4 $t\ da^{-1}$, BD5: 5 $t\ da^{-1}$)

4.1.3.2. Uygulamaların mikrobiyal solunuma (CO_2 çıkışına) etkisi

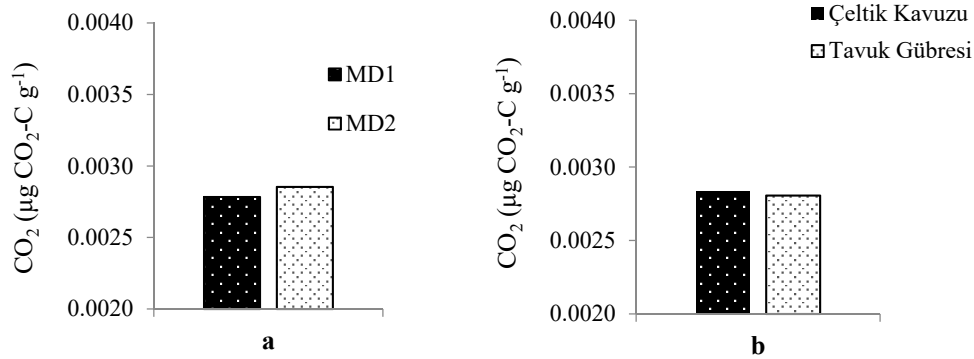
Toprakta organik karbon (TOK) sekestrasyonunda, özellikle ekili arazilerde, iklim değişikliğinin azaltılması için çok önemlidir (Lal, 2004). Toprak karbon (C) sekestrasyon stratejileri, toprak C emisyonlarını azaltmayı ve atmosferik CO_2 'nin çıkarılmasını arttırmayı içerir ve birçok tarımsal yönetim uygulaması bu hedefe ulaşabilir (Lehmann, 2007; Luo ve ark., 2010; Liu ve ark., 2014b). Düşük (tercihen sıfır) oksijen konsantrasyonları altında biyokütlenin termokimyasal dönüşümünden üretilen biyokömür (Luo ve ark., 2011; Lehmann ve Joseph, 2015b), son yıllarda değişen süreler boyunca toprak C depolaması için potansiyel bir araç olarak çok dikkat çekmiştir. Biyokömür on yıllardan yüzyıllara kadar ve bu nedenle muhtemelen artan atmosferik CO_2 seviyelerini azaltmaktadır (Lehmann, 2007; Schmidt ve ark., 2011; He ve ark., 2017). Toprakta C mineralizasyonu, metabolik olaylar sonucu üretilen CO_2 salınımı ile karakterize edilmektedir. Bu çalışmada biyokömür uygulama sonrasında bireysel faktörlerin topraktan mikrobiyal solunumu üzerine etkisi ve faktörlerin karşılıklı interaksiyonlarının (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD ve MD x BÇ x BD) toprakta mikrobiyal solunuma üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Uygulamaların toprağın mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	9.173E-08	9.173E-08	1.064	0.411 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	1.003E-08	1.003E-08	0.020	0.895 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	3.462E-07	6.925E-08	0.287	0.917 ^{öd}
MD*BÇ	1	3.946E-07	3.946E-07	0.781	0.427 ^{öd}
MD*BD	5	6.224E-08	1.245E-08	0.052	0.998 ^{öd}
BÇ*BD	5	9.797E-08	1.959E-08	0.081	0.995 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	5.127E-08	1.025E-08	0.043	0.998 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

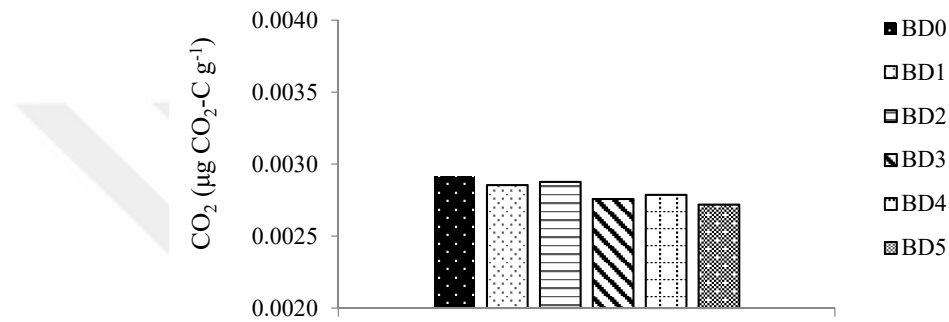
Birinci ve ikinci münavebe döneminden sonra alınan toprak örneklerinde uygulamaların etkisi iki dönem arasında önemli düzeyde farklı çıkmamıştır ($p=0.411$) (Çizelge 4.23). Toprak solunumu değerleri birinci münavebe dönemi sonrasına ($0.00285 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) kıyasla ikinci münavebe dönemi sonunda ($0.00278 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. (Şekil 4.114a.). Biyokömür çeşidi faktörü ise toprak solunumu değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmüştür ($p=0.895$) (Çizelge 4.23). Tavuk gübresi biyokömürü ($0.00281 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) çeltik kavuzu biyokömürüne ($0.00283 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) kıyasla daha düşüktür (Şekil 4.114b).



Şekil 4.114. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

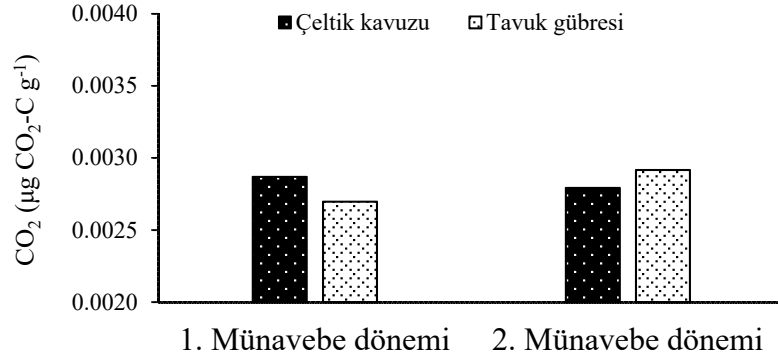
Biyokömür dozları toprakların mikrobiyal solunuma üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır ($p=0.917$) (Çizelge 4.23). En yüksek ortalama mikrobiyal solunuma ($0.00292 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) BD5 uygulamasında iken en düşük ortalama mikrobiyal solunuma BD0 ($0.00272 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.115). Biyokömür uygulaması ile kontrole kıyasla mikrobiyal solunum %6.84 azalmıştır. Bu da biyokömür ilavesi ile toprakta C tutulumunun bir göstegesidir. Mısır

atığını 350-550 °C arasında piroliz eden Pei ve ark. (2020), çeltik alanında %0, 1, 2, 3, 4 ve 5 oranında biyokömür uygulamışlardır. Bir toprak-bitki-biyokömür sisteminde önceden var olan organik karbon ayrışması üzerinde, CO₂ konsantrasyonlarını inceleyen araştırmacılar, sonuçlarımızla uyumlu olarak, elde edilen CO₂-C konsantrasyonunun, artan biyokömür ilavesi oranlarıyla azaldığını rapor etmişlerdir. Sonuçlarımız artan biyokömür uygulama oranının toprağın organik C ayrışımı üzerinde güçlü bir inhibitör etkisi olduğunu göstermektedir.



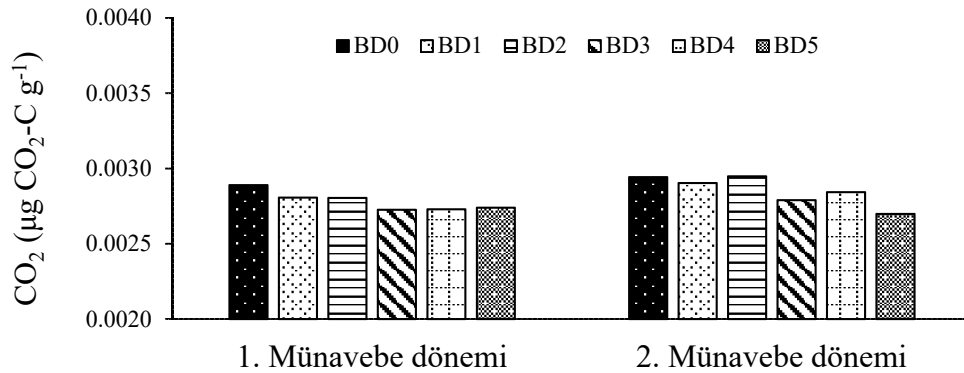
Şekil 4.115. Biyokömür dozu uygulamalarının toprakta mikrobiyal solunuma (μg CO₂-C g⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Toprağın mikrobiyal solunumu üzerine MD x BÇ interaksiyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (p=0.427) (Çizelge 4.23). En yüksek CO₂ salınımı MD2 x tavuk gübresi interaksiyonundan elde edilirken (0.00292 μg CO₂-C g⁻¹) en düşük CO₂ salınımı değeri ise MD1 x tavuk gübresi interaksiyonundan (0.00270 μg CO₂-C g⁻¹) elde edilmiştir (Şekil 4.116). Mikrobiyal topluluk yapısındaki değişim ve biyokömürün nispeten uzun bir süre boyunca özelliğini sürdürmesi ve killi bir toprakta organik karbonun mineralizasyonu çalışmalara konu olmaktadır. Toprağa biyokömür ilavesi ile toprakta C miktarı artmakta ve mikrobiyal faaliyetlerde buna paralel olarak artmaktadır. Fang ve ark. (2019), *Eucalyptus saligna sm.*'dan 450 °C ve 550 °C pirolizi ile elde edilen biyokömür %2 (w/w) dozu ile şeker pancarı atığı %0, 1, 2 ve 4 (w/w) dozları uygulayarak iki yıllık bir inkübasyon çalışması yürütmüşlerdir. İki yılın sonunda 450 ve 550 °C'de yavaş piroliz yoluyla üretilen biyokömürlerin, değişken organik madde varlığında bile uzun süreli C depolamada fayda sağlayabildiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 4.116. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi

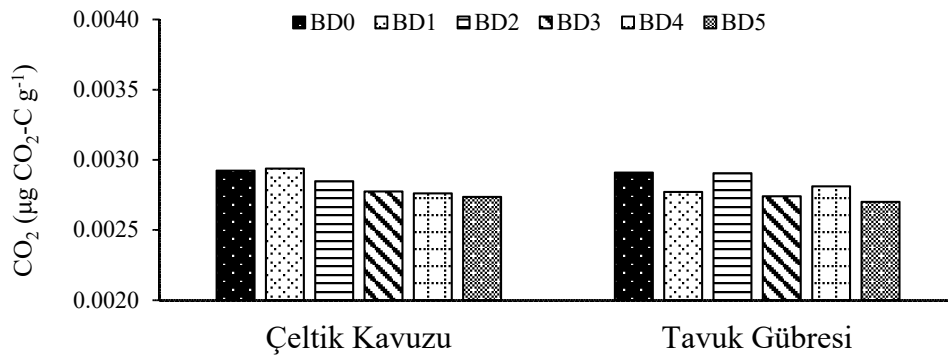
Toprağın mikrobiyal solunumu üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.998$) (Çizelge 4.23). En yüksek ortalama mikrobiyal solunumu MD2 x BD2 ($0.00295 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) uygulamasından elde edilirken, en düşük değer MD2 x BD5 ($0.00270 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.117). Toprakta C mineralizasyonu toprağın diğer özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda biyokömür ilavesinden sonra toprak pH sın yükselmesi ile C mineralizasyonun arttığı bildirilmiştir. Bazı araştırmacılar ise toprağa biyokömür ilavesinin toprağın C mineralizasyonuna bir etkisi olmadığını rapor etmişlerdir (Novak ve ark., 2009a).



Şekil 4.117. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Toprağın mikrobiyal solunumu üzerine BÇ x BD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.995$) (Çizelge 4.23). Buna göre en yüksek mikrobiyal solunumu çeltik kavuzu x BD1 uygulamasından elde edilirken ($0.00294 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) en düşük

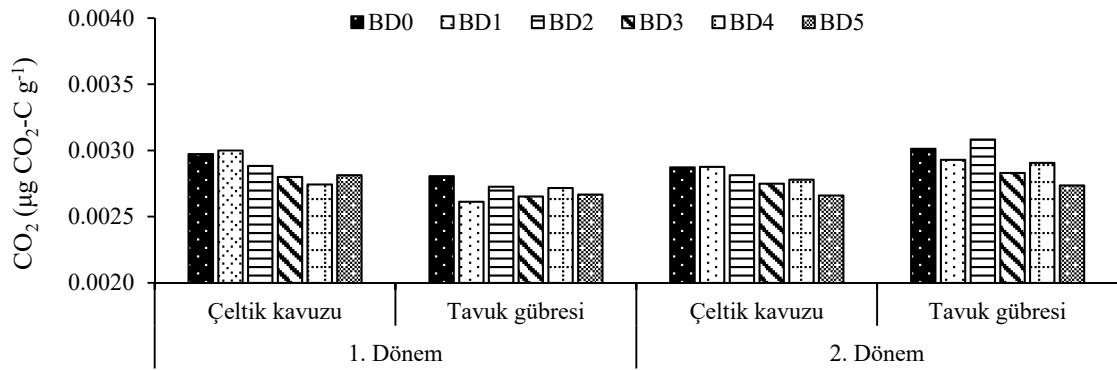
mikrobiyal solunumu tavuk gübresi x BD5 ($0.00270 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.118). Zavalloni ve ark. (2011), 500°C 'de orman, huş ve meşe atıklarından ürettikleri biyokömürün toprakta solunum oranlarını kontrole kıyasla önemsiz ölçüde değiştirdiğini rapor etmişlerdir. Hayvansal ve bitkisel kaynaklı materyallerin piroliz işleminden sonra toprağa uygulanması çevresel kirliliği de azaltmakta önemli rol oynamaktadır. Topraklara biyokömür ilave edildiğinde toprağa C gömülerek sera gazı çıkışı azalmakta ve karbonun toprakta tutulumu artmaktadır. Khan (2020)'a göre biyokömür uygulamaları; toprağa fazla miktarda C'ü bağlayarak mikrobiyal faaliyetlerin de artmasına sebep olmaktadır. Kimyasal güre ile beraber uygulanan biyokömürün yanı sıra, kanatlı altlığının biyokömür ile birlikte kompostlanması sırasında nitrojen kayıplarında azalma (toplam N'nin %51'i ve NH_3 'ün %60'ı) gözlenmiştir ve bu yüksek kaliteli kompost üretimiyle sonuçlanmıştır (Agyarko-Mintah ve ark., 2017). Benzer şekilde, atıkların kompostlanması sırasında biyokömür eklemek, mineralizasyon ve biyolojik bozunma süreçlerini iyileştirerek kompostlama sürecini ve kompost kalitesini arttırmaktadır (Waqas ve ark., 2017). Steiner ve ark. (2011), kompostlama işlemi sırasında biyokömür ilavesinin mikroorganizmaların çoğalması nedeniyle artmış mikrobiyal aktiviteler ve daha yüksek mikrobiyal solunum hızı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.118. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Toprağın mikrobiyal solunumu üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.998$) (Çizelge 4.23). En yüksek mikrobiyal solunumu MD2 x tavuk gübresi x BD2 ($0.00308 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) ve en düşük mikrobiyal solunumu ise MD1 x tavuk gübresi x BD1 ($0.00261 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) interaksiyonlarından elde

edilmiştir (Şekil 4.119). Wu ve ark. (2018), biyokömür etkisinin araştırmak amacıyla yürüttükleri inkübasyon çalışmasında sera gazları (CO₂ ve N₂O) emisyonlarında amonyum sülfatla zenginleştirilmiş mısır koçanı ve zeytin posasında elde edilen biyokömürü asitli kumlu ve alkali killi toprağa ilave etmişlerdir. Mısır koçanı biyokömür ilavesinin alkali killi toprakta CO₂ ve N₂O çıkışı üzerine etkisinin önemsiz olduğunu vurgulayan Wu ve ark. (2018), amonyum sülfat eklendiğinde asidik kumlu topraklarda CO₂ çıkışını %11.8 ve N₂O çıkışının ise %26.9 azalttığını bildirmişlerdir. Zeytin posası biyokömür ilavesinde ise CO₂ çıkışı üzerine önemli bir etki göstermese de azaldığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.119. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun toprakta mikrobiyal solunuma ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

4.1.3.3. Uygulamaların mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) konsantrasyonuna etkisi

Bireysel faktörlerden MD'nin mikrobiyal biyokütle karbon (MBC) konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0.01$) iken BÇ ve BD ile faktörlerin karşılıklı interaksiyonlarının tamamının (MD x BÇ, MD x BÇ, BÇ x BD ve MD x BÇ x BD) etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.24). Biyokömürden türetilen C'un düşük mikrobiyal yarayırlılığına sahip olmasına rağmen, araştırmacılar, gözenekli yapısının, çözünebilir organik maddeyi adsorbe etme kabiliyeti ile birlikte, gazların ve inorganik besin maddelerinin, mikroorganizmaların kolonileşmesi için oldukça uygun bir yaşam alanı sağlama ihtimalinin olduğunu öne sürmüşlerdir (Pietikäinen ve ark., 2000; Saito ve Marumoto, 2002; Warnock ve ark., 2007). Aksine, Chan ve ark. (2008a), biyokömür ilavesinden sonra mikrobiyal aktivitede bir değişme olmadığını bildirmiştir. Bu farklı

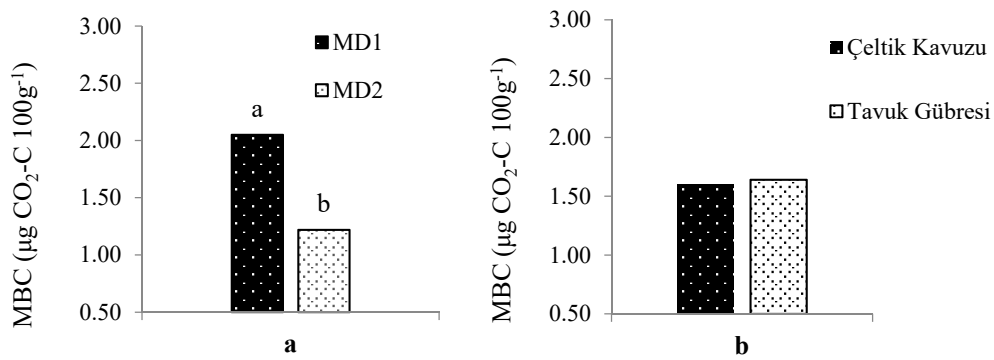
sonuçlar, kullanılan biyokömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile uygulama yapılan toprağın özellikleri, uygulanan tarım teknikleri ve iklimden de kaynaklanıyor olabilir. Biyokömür çeşitliliği alifatik ve uçucu bileşen miktarı ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu rapor edilmiştir (Zimmerman, 2010; Zimmerman ve ark., 2011). Toprak MBC konsantrasyonu, uzun vadede, moleküler yapı, yüksek aromatiklik ve C/N oranı ile ilgili olabilecek farklı işlemlere göre değişimleyebilir (Shenbagavalli ve Mahimairaja, 2012).

Çizelge 4.24. Uygulamaların toprağın mikrobiyal biyokütle karbon (MBC $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) özelliğine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	12.533	12.533	205.544	0.005**
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	0.003	0.003	0.080	0.791 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	0.428	0.086	1.846	0.126 ^{öd}
MD*BÇ	1	0.162	0.162	4.438	0.103 ^{öd}
MD*BD	5	0.027	0.005	0.116	0.988 ^{öd}
BÇ*BD	5	0.078	0.016	0.336	0.888 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.147	0.029	0.636	0.673 ^{öd}

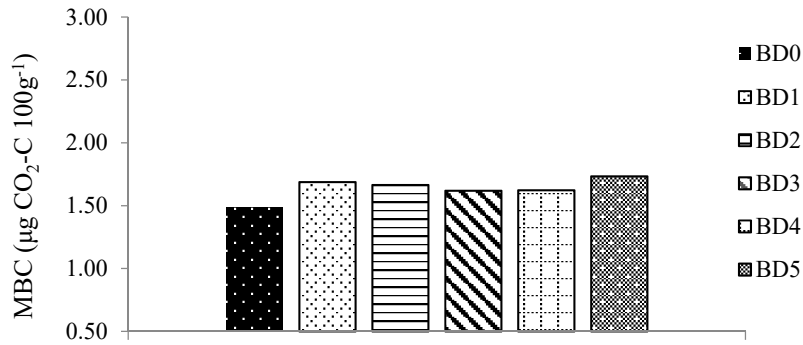
*, %5 hata düzeyinde önemlidir, **, %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Münavebe döneminin toprağın MBC konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yaptığı belirlenmiştir ($p < 0.01$) (Çizelge 4.24). Ortalama MBC konsantrasyonu MD1’de ($2.05 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) MD2’ye ($1.22 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.120a). Gübre veya hasat atıklarından üretilen biyokömürlerin uygulanmasının toprak MBC konsantrasyonunu, odun bazlı biyokömürlere kıyasla daha fazla arttırdığı rapor edilmiştir (Mitchell ve ark., 2015). Tavuk gübresinden üretilen biyokömürün toprağa uygulandığı parsellerdeki ortalama MBC konsantrasyonu ($1.64 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasına ($1.60 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) kıyasla az da olsa yüksek olmakla beraber istatistik olarak önemsizdir ($p = 0.791$) (Çizelge 4.24).



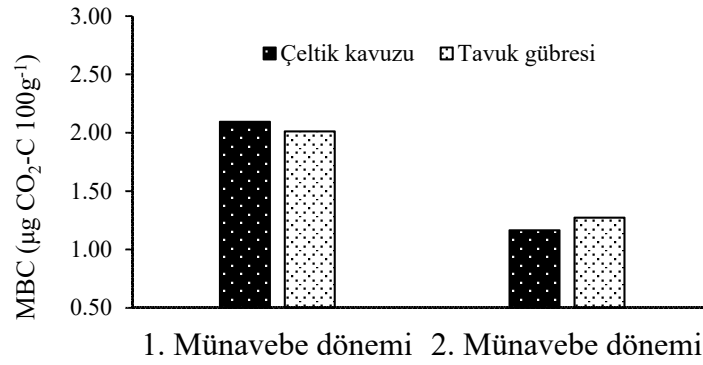
Şekil 4.120. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozları toprakların MBC üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır ($p=0.126$) (Çizelge 4.24). En yüksek ortalama MBC ($1.73 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) BD5 uygulamasında iken en düşük ortalama MBC ($1.49 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) BD0 uygulamasında elde edilmiştir (Şekil 4.121). Çam odunundan elde edilen biyokömür ve hayvan gübresini toprağa uygulayarak mısır yetiştiren Foster ve ark., (2016) hayvan gübresinin MBC konsantrasyonunu kontrole kıyasla %15 oranında arttırdığını bildirmişlerdir. Ancak biyokömür uygulamasının MBC üzerine önemli bir etki yapmadığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar farklı toprak işlemlerinin MBC üzerindeki etkilerini yedi günlük inkübasyondan itibaren belirlemişlerdir. Sadece biyokömür ilavesinin MBC üzerinde önemli bir etkisi olmamasına karşın, bitki artıkları ile birlikte yapılan uygulamanın MBC'yi önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, biyokömür ve mikrobiyal işlev arasında karmaşık bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir.



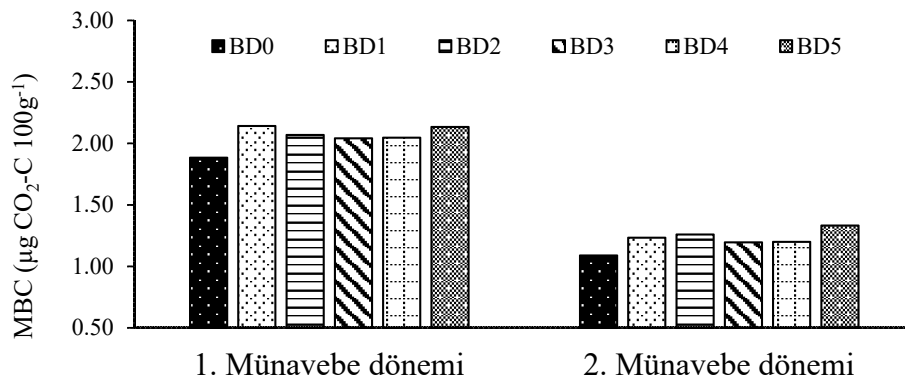
Şekil 4.121. Biyokömür dozu uygulamalarının mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Toprağın MBC konsantrasyonu üzerine MD x BÇ interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.103$) (Çizelge 4.24). En yüksek MBC değeri MD1 x çeltik kavuzu interaksyonunda ($2.09 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) ve en düşük ortalama MBC değeri ise ($1.17 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) MD2 x çeltik kavuzu interaksyonunda elde edilmiştir (Şekil 4.122). Farklı uygulamaların MBC üzerindeki etkilerini inceleyen Zavalloni ve ark. (2011), inkübasyonun yedinci gününden itibaren sadece biyokömür ilavesinin MBC üzerinde önemli bir etkisi olmamasına karşın, biyokömür + buğday atığı uygulamasının MBC'yi önemli ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir.



Şekil 4.122. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) etkisi

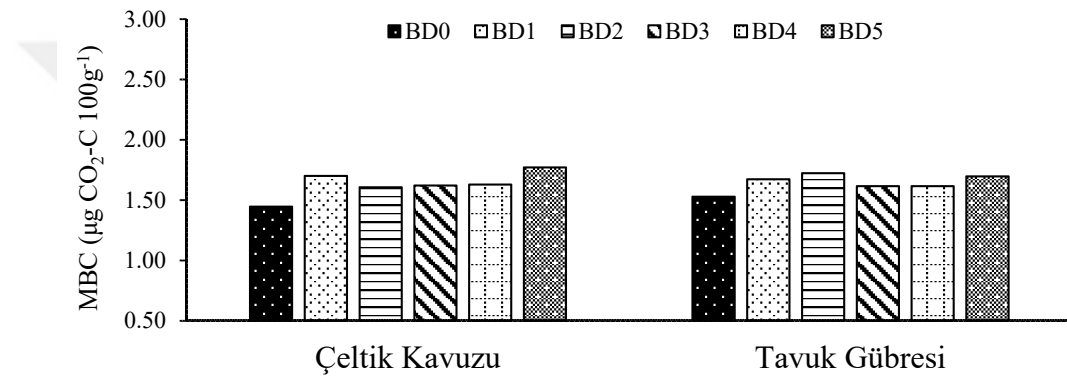
Toprağın MBC konsantrasyonu üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.988$) (Çizelge 4.24). En yüksek MBC konsantrasyonu MD1 x BD2 ve BD5 ($2.14 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) uygulamasından elde edilirken, en düşük MBC ise MD2 x BD0 ($1.09 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.123). Toprakta mikrobiyal solunumdaki değişiklikleri 12 aylık bir sürede izleyen Ippolito ve ark., (2014) 500°C sıcaklıkta üretilen ceviz ve meşe biyokömürü %10 oranında toprağa uygulamışlar, bu uygulamanın mikrobiyal topluluğun yapısında aşırı düzeyde bir değişime neden olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.123. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun mikrobiyal biyokütle karbona (MBC $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

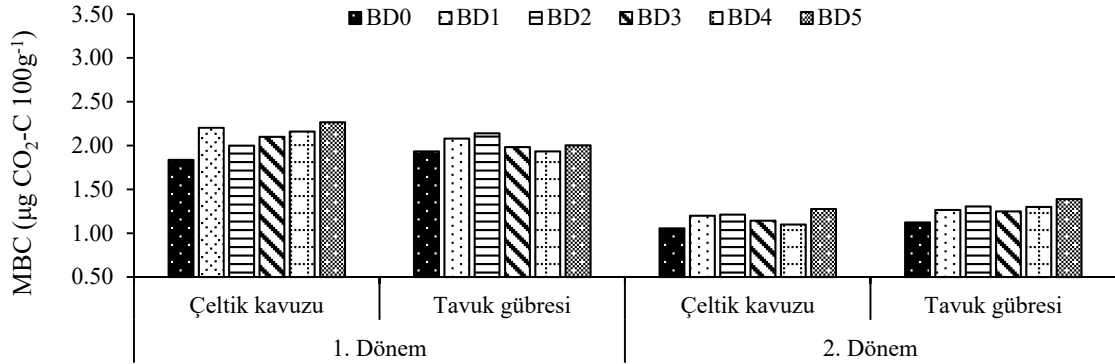
Toprağın MBC konsantrasyonu üzerine BÇ x BD interaksyonunun istatistiksel olarak önemli düzeyde yapmadığı anlaşılmıştır ($p=0.145$) (Çizelge 4.24). Buna göre en yüksek

MBC içeriği çeltik kavuzu x BD5 uygulamasından elde edilirken ($1.77 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) en düşük MBC değeri ise çeltik kavuzu x BD0 ($1.45 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.124). Petter ve ark., (2019), *Qualea grandiglora*, *Qualea parviflora*, *Qualea multiflora* ve *Tachigali vulgaris* atıklarından ürettikleri biyokömür 15 cm derinliğe rotatiller ile 0, 2, 4, 8 ve 16 Mg ha⁻¹ dozlarında uygulamışlardır. Biyokömür uygulaması MBC üzerinde pozitif veya negatif bir etkisi olmamıştır. Bu durum, araştırmacılar tarafından biyokömür uygulamasının uzun vadede MBC artışını veya azalmasını etkilemeyeceğinin göstergesi olarak rapor edilmiştir.



Şekil 4.124. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100\text{g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Toprağın mikrobiyal biyokütlesi, organik madde dinamiği ve besin elementlerinin döngüsünden önemli rol oynamaktadır (Balota ve Auler, 2011). Bu nedenle MBC, biyokömür ilavesi gibi farklı toprak yönetimi stratejilerini değerlendirmek için kullanılabilecek oldukça önemli bir göstergedir (Lopes ve ark., 2010; Zhang ve ark., 2014). Toprakların MBC konsantrasyonu üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.673$) (Çizelge 4.24). En yüksek ortalama MBC değeri MD1 x çeltik kavuzu x BD5 ($2.27 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) ve en düşük MBC değeri ise MD2 x çeltik kavuzu x BD0 ($1.06 \mu\text{g CO}_2\text{-C } 100 \text{ g}^{-1}$) interaksiyonlarından elde edilmiştir. Ağaç kabuğundan elde edilen biyokömürün %10 dozunun kontrol uygulamasına kıyasla toprakta mikrobiyal topluluğunun yapısında önemli değişiklikler meydana getirdiği, gram negatif bakteri sayısında strese neden olduğu ve nitrat azotunda etkili bir (%85-97) azalma söz konusu olduğu rapor edilmiştir (Ippolito ve ark., 2014).



Şekil 4.125. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun mikrobiyal biyokütle karbona (MBC, $\mu\text{g CO}_2\text{-C } 100\text{g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

4.1.3.4. Uygulamaların toprağın betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA) etkisi

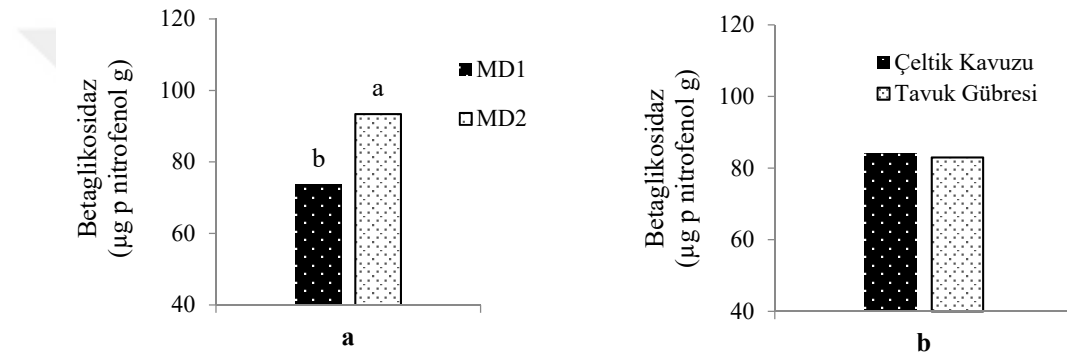
Betaglikosidaz enzim aktivitesi (BGEA) önemli bir toprak kalitesi göstergesi olarak kullanılır. Biyolojik aktivitenin ve toprağın organik madde dengeleme kapasitesini yansıtan BGEA amanjmanın etkisini belirlemede kullanılmaktadır (Bandick ve Dick 1999; Ndiaye ve ark., 2000). Betaglikosidaz enzimi topraklardaki pH değişimine ve amanjman uygulamalarına çok hassastır (Acosta-Martínez ve Tabatabai, 2000; Madejo'n ve ark., 2001). Denemede bireysel faktörlerden MD ve BD'nin BGEA üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Bireysel faktörlerin karşılıklı etkileşiminden BÇ x BD interaksiyonunun etkisi de önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Bunun haricindeki tüm interaksiyonların BGEA üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.25). Biyokömür dahil olmak üzere farklı organik değişikliklerin uygulanması, farklı çevresel koşullar altında toprak BGEA'nın katalizör davranışını etkileyebilir ancak etkiler farklı deneme koşullarına bağlıdır.

Çizelge 4.25. Uygulamaların toprağın betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}^{-1}$) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Mönavebe Dönemi (MD)	1	6971.640	6971.640	390.974	0.003**
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	21.813	21.813	0.292	0.618 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	2650.806	530.161	17.173	<0.001**
MD*BÇ	1	48.626	48.626	0.650	0.465 ^{öd}
MD*BD	5	177.606	35.521	1.151	0.350 ^{öd}
BÇ * BD	5	470.072	94.014	3.045	0.020*
MD*BÇ*BD	5	79.033	15.807	0.512	0.766 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

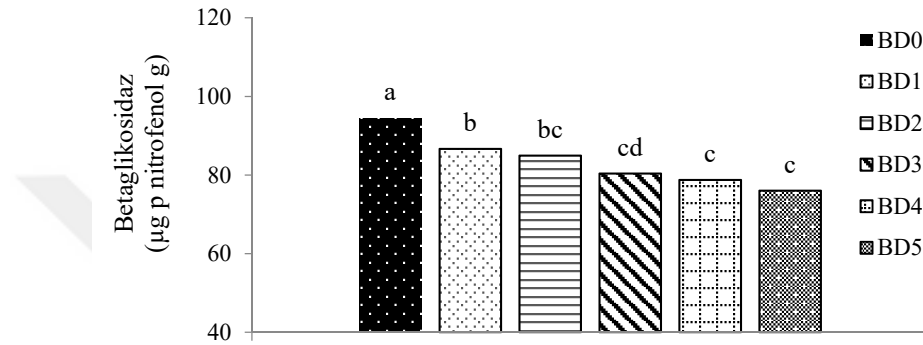
Münavebe döneminin BGEA üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.25). Toprakların ortalama BGEA, MD1 sonunda ($93.39 \mu\text{g p nitrofenol g}^{-1}$) MD2 sonrasına ($73.71 \mu\text{g p nitrofenol g}$) kıyasla daha yüksek olarak ölçülmüştür (Şekil 4.126a). Bu çalışmada, BÇ faktörünün toprağın BGEA üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmüştür ($p=0.618$) (Çizelge 4.25). Çeltik kavuzu biyokömürü uygulanan toprakta ortalama BGEA ($84.10 \mu\text{g p nitrofenol}$) tavuk gübresi biyokömürü ($83.00 \mu\text{g p nitrofenol}$) uygulamasına kıyasla bir miktar daha yüksektir (Şekil 4.126b).



Şekil 4.126. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

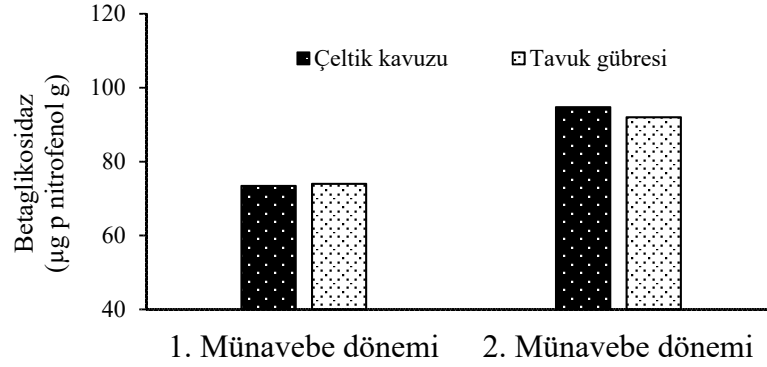
Biyokömür dozlarının toprakların BGEA üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yaptığı belirlenmiştir ($p=0.01$) (Çizelge 4.25). En yüksek ortalama BGEA ($94.51 \mu\text{g p nitrofenol g}$) BD0 uygulamasında iken BGEA doz artışı ile azalmış ve en düşük ortalama değer BD5 ($76.05 \mu\text{g p nitrofenol g}$) uygulamasında kayıt edilmiştir (Şekil 4.127). Günal ve ark. (2018b), kumlu tınlı ve tınlı toprağa biyokömür mısır fasulye ve çeltik kavuzu biyokömürü %2, 3, 4 ve 5 dozunda ilave ederek bir saksı denemesi kurmuşlardır. Biyokömür ilavesinin β -glukosidaz enziminin aktivitesinde önemli bir azalmaya ($p<0.01$) neden olduğunu bildiren araştırmacılar biyokömür uygulamalarına göre ortalaması alınan β -glukosidaz aktivitesi, %0.5, 1, 2 ve 3 biyokömür uygulamasının kontrolüne göre sırasıyla %3.7, 11.7, 16.4 ve 16.4 azaldığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada da biyokömür işlemleri, toprak organik karbonunun daha az parçalandığını gösteren kontrole kıyasla β -glukosidaz aktivitesi azalmıştır (Wu ve ark., 2013). Biyokömürün, β -glukosidaz aktivitesinde önemli bir azalmaya neden olan substrat için bağlanma yerlerini kimyasal

olarak değiştirdiği veya bloke ettiği bildirilmektedir (Yoo ve Kang 2012; Chintala ve ark., 2014c). Biyokömürün toprağa ilavesinde belirlediğimiz doz artışı ile birlite BGA enzim aktivitesi önemli seviyede ($p<0.01$) düşmüştür. Sonuçlarımız (Zhang ve ark., 2015b; Bera ve ark., 2016; Chen ve ark., 2017; Benavente ve ark., 2018; Li ve ark., 2018a; Günal ve ark., 2018b; Teutscherova ve ark., 2018) ile uyumlu olduğu görülmektedir.



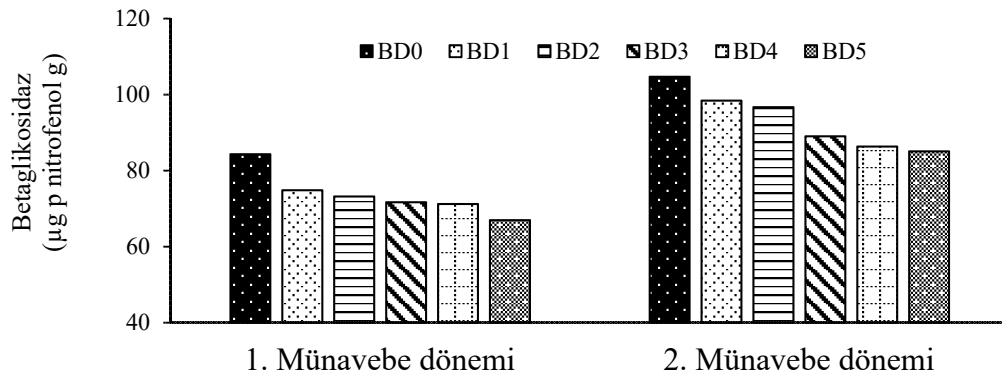
şekil 4.127. Biyokömür dozu uygulamalarının betaglukosidaz enzim aktivitesine (BGEA,   g p nitrofenol g) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Toprağın BGEA   zerine MD x B   interaksiyonu etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.465$) (  zelge 4.25). En yüksek ortalama BG BGEA MD2 x   ltik kavuzu interaksiyonundan elde edilirken (94.77   g p nitrofenol g) en düşük ortalama BGEA MD1 x   ltik kavuzu interaksiyonundan (73.44   g p nitrofenol g) elde edilmiştir (şekil 4.128). Araştırmacılar,   am iğnesi biyokömürü, mine ağacı biyokömürü, buğday samanını ve mercimek hasat atıkları iki farklı dozunu (2 ve 5 ton C ha⁻¹'e eşdeğer) uygulamışlardır. Buğday -   ltik yetiştirme dönemi sonrası toprak özelliklerine etkisi inceleyen Bhattacharjya ve ark. (2016), uygulamaların toprağın biyolojik özelliklerine ve bitki besin elementlerinin alınabilirliğine olumlu etki yaptığını bildirmişlerdir. Her iki biyokömür de   -glikosidaz aktivitesinde çalışma sonunda yapılan analizler sonucunda kontrole kıyasla %33.9 ve 71.7 oranında anlamlı bir azalma kaydetmiştir.



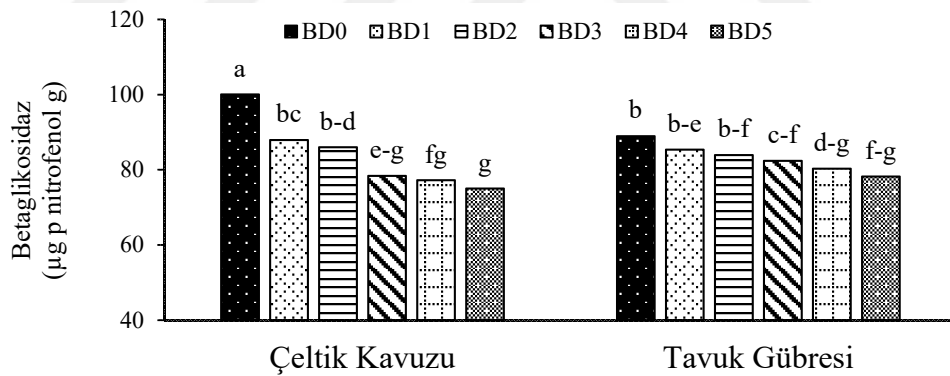
Şekil 4.128. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, µg p nitrofenol g) etkisi

Toprağın BGEA üzerine MD x BD interaksyonunun etkileri istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p = 0.350$) (Çizelge 4.25). En yüksek ortalama BGEA, MD2 x BD0 (104.70 µg p nitrofenol g) uygulamasından elde edilirken, en düşük ortalama değer MD1 x BD5 (66.99 µg p nitrofenol g) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.129). Shan ve Coleman (2020), düşük, orta ve yüksek rakımdan alınan orman topraklarına kaynağı ağaç kabuğu olan ve 450 °C’de piroliz edilen biyokömürü %10 ve 20 dozlarında toprağa uygulamışlardır. Toprakları 120 gün inkübasyona tabi tutan araştırmacılar, biyokömürün doz artışı ile β-glukosidaz enzim aktivitesini azalttığını vurgulamışlardır. Ayrıca biyokömür ilavesinin, biyokömür partikülleri ile ilişkili piroliz yağı girişi ile toprak mikroorganizmalarına kısa süreli C miktarını arttırmış olabileceğini ve C mevcudiyeti, C enzimlerinin mikrobiyal üretimini baskılamış olabileceğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.129. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, µg p nitrofenol g) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

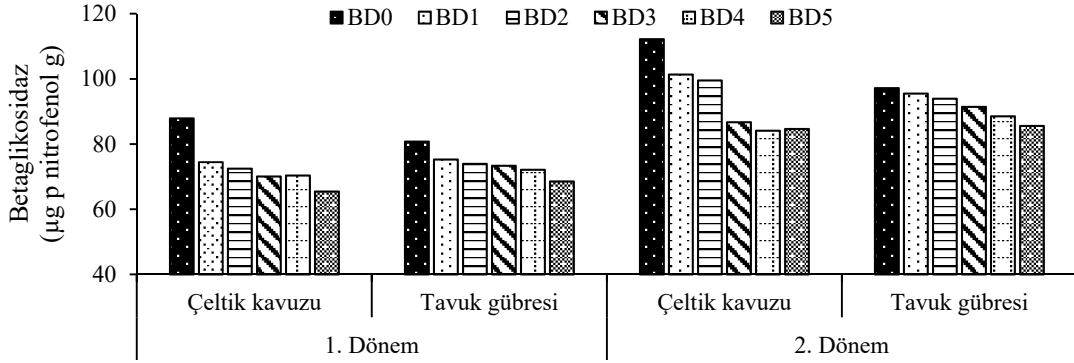
Toprağın BGEA üzerine BÇ x BD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p=0.022$) (Çizelge 4.25). Buna göre en yüksek ortalama BGEA çeltik kavuzu x BD0 uygulamasından elde edilirken ($100.07 \mu\text{g p nitrofenol g}$) en düşük ortalama BGEA çeltik kavuzu x BD5 ($75.04 \mu\text{g p nitrofenol g}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.130). Selüloz hidrolizinin son aşamasında hız sınırlayıcı enzim olan toprak glukosidaz (BGEA), mikrobiyal metabolizma, karbon (C) döngüsü ve karasal ekosistemlerde sekestrasyonda önemli bir rol oynar. Biyokömür uygulamasının toprak BG enzim aktivitesini etkilediği bilinmektedir. Raiesi ve Khadem (2019) yapmış oldukları bir çalışmada mısır atığından 600°C 'de elde ettikleri biyokömürü kontrol (mısır artığı), %0.5 (mısır atığı biyokömürü) ve %1 (mısır atığı biyokömürü) kumlu tın ve killi toprakta ilave etmişler, 90 gün inkübasyon sonunda biyokömür ilavesi ile potansiyel BG enzim aktivitesinin kumlu tın toprakta sadece %1 biyokömür ilavesinde %81 arttığını saptarken, killi toprakta %0.5 biyokömür ilavesinde %10, %1 biyokömür ilavesinde ise %29 azaldığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.130. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Toprağın BGEA üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.766$) (Çizelge 4.25). En yüksek ortalama BGEA değeri ikinci münavebe dönemi x çeltik kavuzu x BD0 ($112.23 \mu\text{g p nitrofenol g}$) ve en düşük BGEA değeri ise MD1 x çeltik kavuzu x BD5 ($65.45 \mu\text{g p nitrofenol g}$) interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.131). Yapılan bir çalışmada, toprağa 0 (kontrol), %0.5, 1.0 ve 2.0 dozunda biyokömür uygulamış 90 gün süreyle inkübe edilmiş, inkübasyondan sonra, b-glukosidaz

enzim aktivitesi kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.01$) şekilde artmıştır (Raiesi ve Khadem, 2019).



Şekil 4.131. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun betaglikosidaz enzim aktivitesine (BGEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi (BD0, (Kontrol) 0 t da^{-1} Biyokömür; BD1, 1 t da^{-1} Biyokömür; BD2, 2 t da^{-1} Biyokömür; BD3, 3 t da^{-1} Biyokömür; BD4, 4 t da^{-1} Biyokömür; BD5, 5 t da^{-1} Biyokömür)

4.1.3.5. Uygulamaların toprağın alkalin fosfataz enzim aktivitesine (AFEA) etkisi

Tarım topraklarında fosfataz, fosfor döngüsünde çok önemli bir rol oynar ve enzim faaliyetleri amanejman uygulamalarına duyarlı olduğu için toprak kalitesinin bir göstergesi olarak kullanılabilirler (Makoi ve Ndakidemi, 2008). Toprak kalitesi yönetimini ve tarımsal verimliliği arttırmak için, farklı yönetim uygulamalarının topraktaki fosfataz aktivitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek önemlidir. Topraktaki fosfor stresinden sorumlu tarımsal yöntemler, bu enzimlerin ekosistemdeki üretimini etkileyebilir (Ndakidemi, 2006). Fosfataz enzimleri, fosforik asidin esterlerinin ve anhidritlerinin hidrolizini katalize eden bir grup enzimdir (Condrón ve ark., 2005). Bitkiler ve mikroorganizmalar topraktaki ana fosfataz enzim kaynaklarıdır. Toprakta bulunan fosfataz miktarı mikroorganizma sayısına ve organik maddelerin, mineral ve organik gübrelerin, toprak işlemenin ve diğer tarımsal uygulamaların boyutuna göre değişir (Banerjee ve ark., 2012).

Bu tez çalışmasında alkali fosfataz enzim aktivitesi biyokömür uygulamasına nasıl tepki verdiği araştırılmıştır. Uygulamalar sonunda bireysel faktörlerin toprakların alkalin fosfataz enzim aktivitesi (AFEA) üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Benzer şekilde

biyoreysel faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin tamamının da AFEA üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.26). Yapılan çalışmalarda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak enzim-substrat uyumu ile (Lehmann ve ark., 2011; Gul ve ark., 2015) biyokömürün toprağa ilavesi AFE aktivitesini arttırdığı bildirilmiştir (Masto ve ark., 2013; Oleszczuk ve ark., 2014; Jin ve ark., 2016; Abujabhah ve ark., 2016; Bhaduri ve ark., 2016; Bera ve ark., 2016; Al Marzooqi ve Yousef, 2017). Bununla birlikte, biyokömür uygulamasının toprak AFE aktivitesi üzerinde olumsuz etkisi olabilir (Kumar ve ark., 2013; Noyce ve ark., 2017) hatta hiç (Zhang ve ark., 2017) etkisi de olmayabilir. Toprak AFE aktivitesi üzerindeki biyokömür etkilerine ilişkin çelişkili sonuçlar, toprak tipi ve biyokömür (hammadde kaynağı), biyokömür üretim koşulları (piroliz sıcaklığı, partikül büyüklüğü), uygulama oranı (dozu) ve deneme koşulları ve süresindeki farklılıklara bağlıdır (Jin ve ark., 2016; Noyce ve ark., 2017; Song ve ark., 2018).

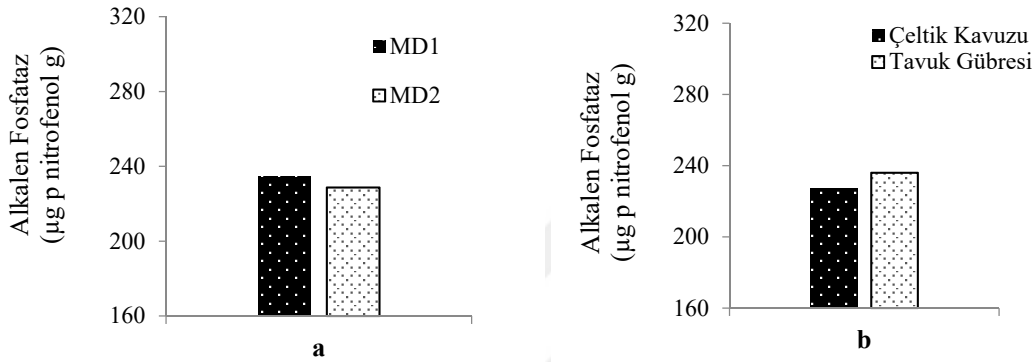
Çizelge 4.26. Uygulamaların toprağın alkalin fosfataz enzim aktivitesi (AFE, $\mu\text{g p}$ nitrofenol g) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	654.014	654.014	0.198	0.700 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	1378.125	1378.125	1.426	0.298 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	5108.292	1021.658	1.462	0.224 ^{öd}
MD*BÇ	1	1750.347	1750.347	1.812	0.250 ^{öd}
MD*BD	5	1324.736	264.947	0.379	0.860 ^{öd}
BÇ * BD	5	315.958	63.192	0.090	0.993 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	287.403	57.481	0.082	0.995 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

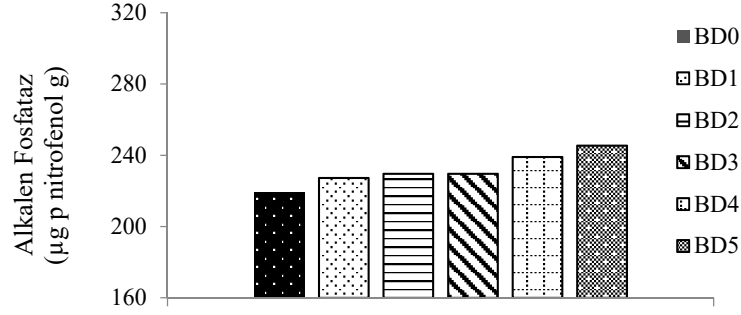
Her iki münavebe dönemi sonunda belirlenen ortalama AFEA değerleri arasında istatistik olarak önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p=0.700$) (Çizelge 4.26). İkinci münavebe dönemi sonunda ortalama AFEA değeri (229 g p nitrofenol g) MD1'e (235 g p nitrofenol g) kıyasla bir miktar daha düşüktür (Şekil 4.132a). Toprağın AFEA içeriği üzerine BÇ faktörünün etkisi de istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.298$) (Çizelge 4.26). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında ortalama AFEA ($236 \mu\text{g p}$ nitrofenol g) çeltik kavuzu biyokömürüne ($227 \mu\text{g p}$ nitrofenol g) kıyasla istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte bir miktar daha yüksektir (Şekil 4.132b). Khadem ve Raiesi (2019)'da yapmış oldukları bir çalışmada mısır artığı ve mısır artığının iki farklı sıcaklıkta (450 ve 600°C) üretilmesi ile elde edilen biyokömürleri kumlu tın ve killi topraklara %1 (w/w) oranında ilave etmiş ve 90 gün inkübasyona tabi tutmuşlardır. Araştırma sonuçları AFE aktivitesinin biyokömür uygulamasından sonra arttığını göstermektedir, bu

da P döngüsünü ve toprak kalitesini hızlandırmak için AFE aktivite işlevinin geliştiğini göstermektedir. Biyokömür ilavesi ile enzim aktivitelerindeki artış esas olarak OM içeriğinin artmasına ve toprak mikroorganizmalarının besin döngüsüne dahil olan hücre dışı enzimlerin sentezine ve üretilmesine ve ayrıca toprak mikrobiyal topluluklarının bileşimindeki değişikliklere açıklanmaktadır.



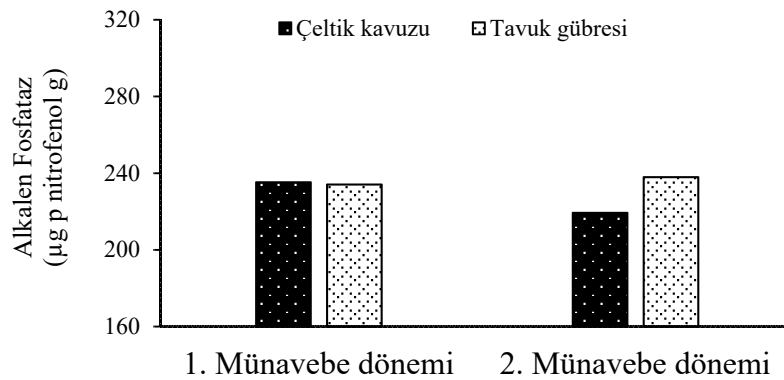
Şekil 4.132. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFE, µg p nitrofenol g) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozları, toprakların AFEA içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır ($p=0.224$) (Çizelge 4.26). En yüksek ortalama AFEA değeri ($245 \mu\text{g p nitrofenol g}$) BD5 uygulamasında iken en düşük ortalama değer BD1 ($219 \mu\text{g p nitrofenol g}$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.133). Çeltik ve buğday yetiştirme alanına mercimek atığı, buğday samanı, çam iğnesi biyokömürü ve mine ağacı biyokömürünü iki farklı dozda (2 ve 5 ton C ha^{-1} 'e eşdeğer) uygulayan Bhattacharjya ve ark. (2016), çeltik ve buğday yetiştirilmesinden sonra alkalen fosfataz aktivitesinin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Alkalen fosfataz enzim aktivitesinde önemli artış, biyokömür ve buğday samanında mevcut olan yüksek toplam P miktarına bağlanabilir ve bu da alkalen fosfataz aktivitesini artırır. Mine ağacı biyokömürü ile alkalın fosfataz daha düşük olmasını (Kumar ve ark., 2013) aromatik organik asit anyonlarının su ile proton değişimi yoluyla biyokömüre seçici adsorpsiyonundan ve daha sonra karboksilat veya fenolat biyokarbon yüzeyi ile H-bağlanmasından kaynaklanabileceği vurgulanmıştır. Bu mekanizmanın anyonik pNP (p nitrofenol) ve pNPP (p-nitrofenil fosfat) sorpsiyonuna katkıda bulunması ile mümkün olabileceğin bildirilmiştir (Ni ve ark., 2011).



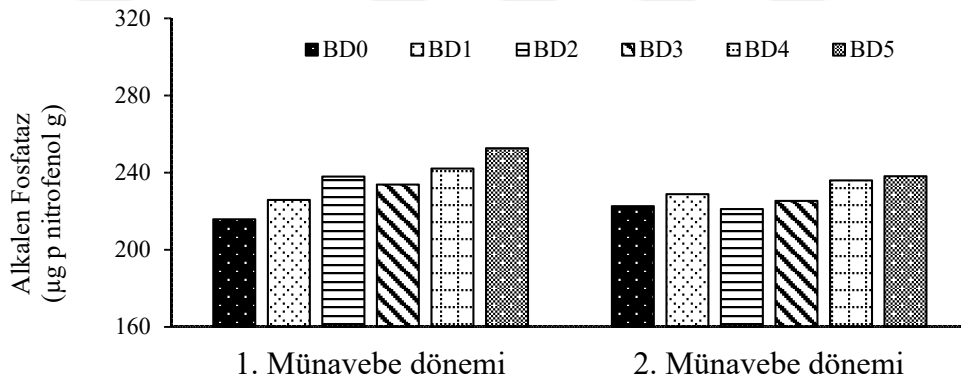
Şekil 4.133. Biyokömür dozu uygulamalarının alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFA, µg p nitrofenol g) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Toprağın AFEA üzerine MD x BÇ interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.250$) (Çizelge 4.26). En yüksek ortalama AFEA değeri MD2 x tavuk gübresi interaksyonundan elde edilirken (238 µg p nitrofenol g) en düşük ortalama AFEA değeri ise MD2 x çeltik kavuzu interaksyonundan (219 µg p nitrofenol g) elde edilmiştir (Şekil 4.134). Biyokömür uygulaması altındaki toprak enzimi aktivitelerinde meydana gelen değişikliklerin farklı olması, toprağın fiziko kimyasal özelliklerine, kullanılan biyokömür çeşidi ve oluşma şekline bağlı olabilir (Lehmann ve ark., 2011). Bunun yanında biyokömür ilavesinin toprak AF enzim aktivitesi üzerindeki pozitif etkisi, düşük sıcaklıktaki biyokömürlerden daha fazla ve kumlu tınlılarda killi topraklardan daha fazladır (Khadem ve Raiesi, 2019). Biyokömürün kaynağı uygulandığı toprak, piroliz sıcaklığı ve üretim koşulları gibi etkenler toprağa ilavesi sonrası sonuçları farklı olabilir.



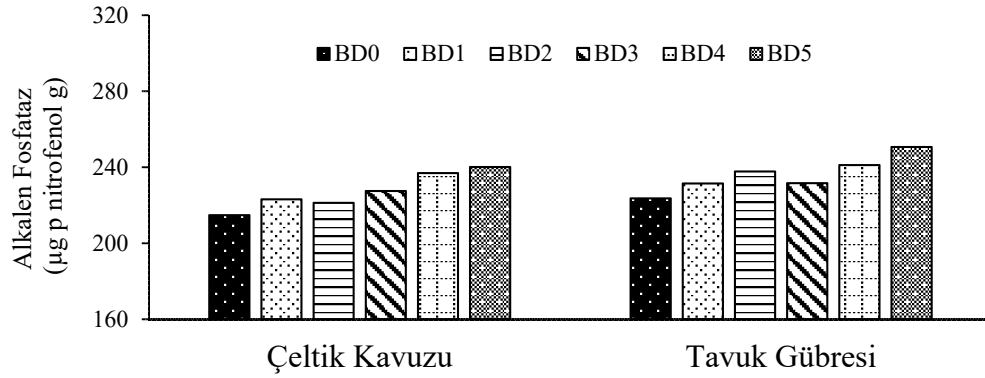
Şekil 4.134. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFA, µg p nitrofenol g) etkisi

Toprağın AFEA içeriği üzerine MD x BD interaksiyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.860$) (Çizelge 4.26). En yüksek AFEA içeriği, MD1 x BD5 (253 $\mu\text{g p nitrofenol g}$) uygulamasından elde edilirken, en düşük AFEA değeri MD1 x BD0 (216 $\mu\text{g p nitrofenol g}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.135). Saygan (2017)'de yapmış olduğu inkübasyon çalışması sonuçları incelediğinde; alkale fosfataz enzim aktivitesinde toprağa biyokömür ilavesi (%0, 0.2, 0.4, 0.6, 1.2 ve 2.4) yapılan uygulamalar ile kontrol uygulaması karşılaştırıldığında uygulanan dozların artışına bağlı olarak önemli oranda bir artış olduğu tespit edilmiştir ve en yüksek artış %2.4 dozunda olduğu belirlenmiştir.



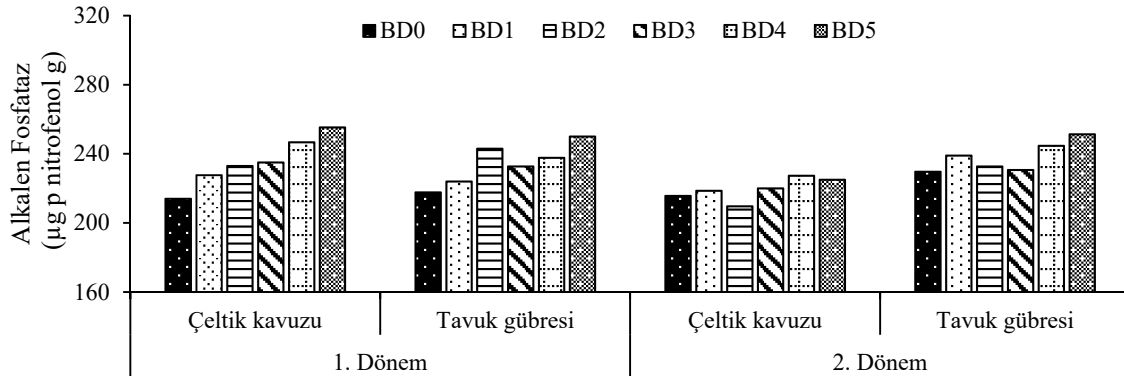
Şekil 4.135. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun alkale fosfataz enzim aktivitesine (AFEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

Toprağın AFEA üzerine BÇ x BD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.993$) (Çizelge 4.26). Buna göre en yüksek ortalama AFEA değeri MD2 x BD5 uygulamasından elde edilirken (251 $\mu\text{g p nitrofenol g}$) en düşük ortalama AFEA değeri ise çeltik kavuzu x BD0 (215 $\mu\text{g p nitrofenol g}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.136). Zhang ve ark. (2017), yapmış oldukları bir çalışmada 1-kontrol, 2-sadece kimyasal gübre, 3-buğday samanı (8 t ha⁻¹) + kimyasal gübre, 4-buğday samanından elde edilmiş biyokömür (8 t ha⁻¹) + kimyasal gübre 5-buğday samanından elde edilmiş biyokömür (16 t ha⁻¹) + kimyasal gübre uygulamalarının AFEA üzerine etkisini araştırmış, biyokömür (8 t ha⁻¹) + kimyasal gübre uygulamasının, diğer tüm uygulamalardan daha yüksek olduğunu (31.0 mg PNP g⁻¹ toprak 12 saat⁻¹), ancak uygulamalar arasında alkale fosfataz aktiviteleri arasında önemli bir fark olmadığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.136. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

Toprağın AFEA içeriği üzerine MD x BÇ x BD interaksyonu etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.995$) (Çizelge 4.26). En yüksek ortalama AFEA değeri MD1 x çeltik kavuzu x BD5 (255 $\mu\text{g p nitrofenol g}$) ve en düşük AFEA içeriği ise MD2 x çeltik kavuzu x BD2 (210 $\mu\text{g p nitrofenol g}$) interaksyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.137). Mısır ekili deneme alanında, çam ağacından hızlı piroliz ile elde edilen biyokömürün (30 Mg ha⁻¹) fosfataz aktivitesine etkisi üzerine bir araştırma yapan Foster ve ark. (2016) biyokömür uygulamasının alkalen fosfataz enzim aktivitesini önemli ölçüde ($p < 0.05$) azalttığını belirlemişlerdir.



Şekil 4.137. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun alkalen fosfataz enzim aktivitesine (AFEA, $\mu\text{g p nitrofenol g}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

4.1.3.6. Uygulamaların toprağın dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA) etkisi

Dehidrogenaz enzim aktivitesi (DEA), genellikle topraklardaki biyolojik aktivitenin bir göstergesi olarak kabul edilir (Burns, 1978). Bu enzimin bozulmamış hücrelerin ayrılmaz bir parçası olduğu düşünülür, ancak toprakta hücre dışı birikmez. Dehidrogenaz enziminin, protonları ve elektronları substratlardan alıcılara aktararak toprak organik maddesini oksitlediği bilinmektedir. Bu süreçler toprak mikroorganizmalarının solunum yollarının bir parçasıdır ve toprak tipi ve toprak hava-su koşulları ile yakından ilişkilidir (Doeleman ve Haanstra, 1979; Kandeler, 1996; Glinski ve Stepniowski, 1985). Bu süreçler toprak mikroorganizmalarının solunum yollarının bir parçası olduğundan, dehidrogenaz enziminin topraktaki aktiviteleri üzerine yapılan çalışmalar, toprağın verimliliğini korumak için gerekli olan biyokimyasal süreçleri destekleme potansiyelinin göstergesi olması nedeni ile toprak sağlığı için çok önemlidir.

Bireysel uygulamalardan sadece BÇ DEA üzerine istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) düzeyde etki yapmıştır. Bununla birlikte, BÇ ve BD ile faktörlerin karşılıklı etkileşimi olan interaksiyonların tamamının (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD, MD x BÇ x BD) toprak DEA üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.27).

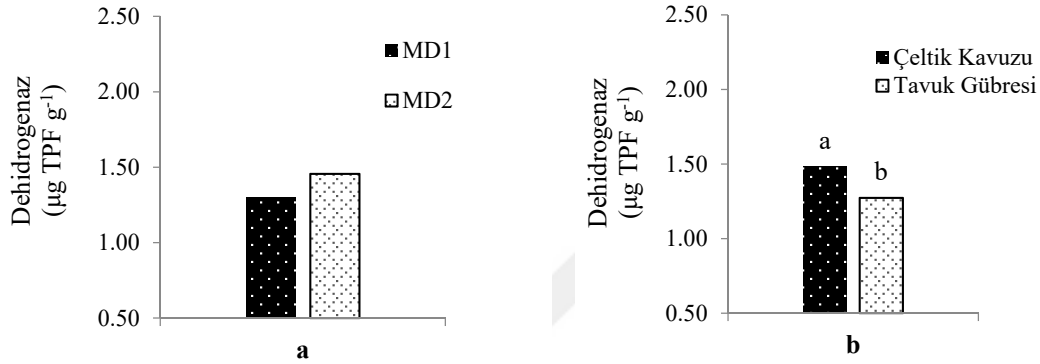
Çizelge 4.27. Uygulamaların toprağın dehidrogenaz enzim aktivitesi (DEA $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) üzerine etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	0.447	0.447	2.318	0.267 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	0.788	0.788	14.531	0.019*
Biyokömür Dozu (BD)	5	0.239	0.048	1.149	0.351 ^{öd}
MD*BÇ	1	0.012	0.012	0.222	0.662 ^{öd}
MD*BD	5	0.175	0.035	0.841	0.529 ^{öd}
BÇ * BD	5	0.221	0.044	1.062	0.396 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	0.075	0.015	0.359	0.873 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

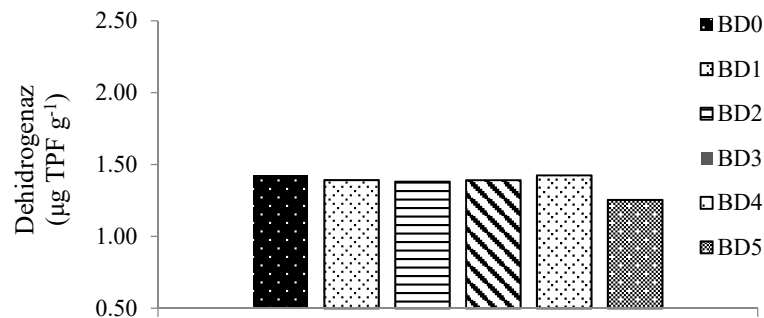
Organik bileşiklerin biyolojik oksidasyonu genellikle bir hidrojen giderme işlemidir (Tabatabai, 1994) ve bu nedenle dehidrogenazlar organik bileşiklerin biyolojik oksidasyonu sırasında önemli enzimlerdir. Bu çalışmada birinci ve ikinci münavebe dönemi sonunda alınan toprak örneklerinin ortalama DEA arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı gözlemlenmiştir ($p=0.267$) (Çizelge 4.27). Birinci münavebe dönemi sonunda ortalama DEA içeriği ($1.30 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) MD2'ye ($1.46 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) kıyasla bir miktar daha düşüktür (Şekil 4.138a). Biyokömür çeşidi faktörü toprağın DEA

içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki ($p < 0.05$) yapmıştır (Çizelge 4.27). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında ortalama DEA içeriği ($1.27 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasına ($1.48 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) kıyasla daha düşüktür (Şekil 4.138b).



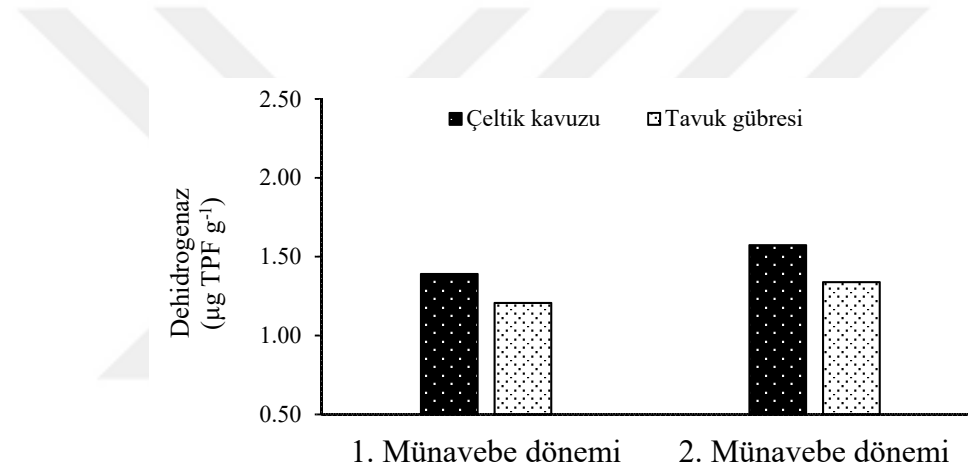
Şekil 4.138. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA, $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi (MD1: Birinci münavebe Dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozlarının toprakların DEA içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmektedir ($p = 0.351$) (Çizelge 4.27). En yüksek ortalama DEA içeriği BD4 ($1.43 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) uygulamasında iken, en düşük ortalama değer BD5 ($1.25 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) uygulamasında kayıt edilmiştir (Şekil 4.139). Bulgularımızın aksine Mierzwa-Hersztek ve ark. (2016), tavuk altlığından elde edilen biyokömürün DEA'sı kontrole kıyasla %15 oranında arttırdığını ve Delgado ve ark. (2012) ise 9 t ha^{-1} tavuk altlığı uygulamasının kontrol uygulamasına göre DEA içeriğini %400 arttırdığını rapor etmişlerdir.



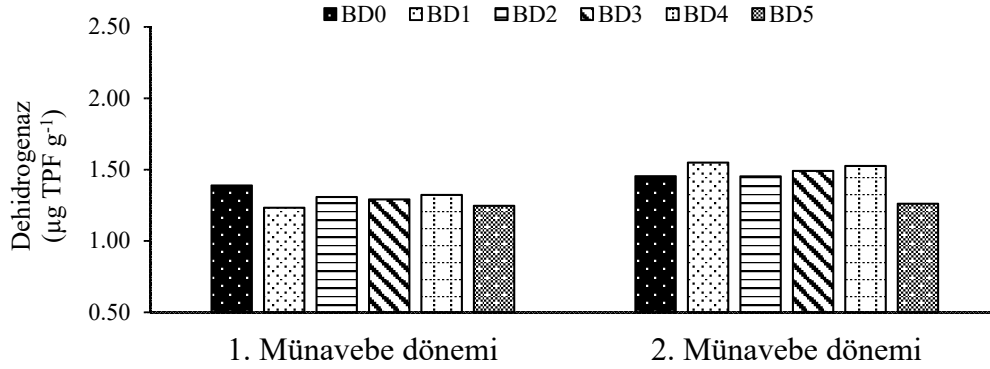
Şekil 4.139. Biyokömür dozu uygulamalarının dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA, $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Toprağın DEA içeriği üzerine MD x BÇ interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.662$) (Çizelge 4.27). En yüksek ortalama DEA içeriği, MD2 x çeltik kavuzu biyokömürü interaksyonundan elde edilirken ($1.57 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) en düşük ortalama DEA değeri ise MD1 x tavuk gübresi interaksyonundan ($1.21 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) elde edilmiştir (Şekil 4.140). Bhattacharjya ve ark. (2016), çeltik ve buğday yetiştirdikten sonra, her iki çam iğnesi biyokömür dozu (2 t C ha^{-1} ve 5 t C ha^{-1}), düşük buğday samanı doz uygulaması (2 t C ha^{-1}) ve yüksek mercimek artığı doz uygulaması (5 t C ha^{-1}), kontrol ile değerlendirildiğinde önemli ölçüde daha fazla DEA içeriği saptandığı rapor edilmiştir.



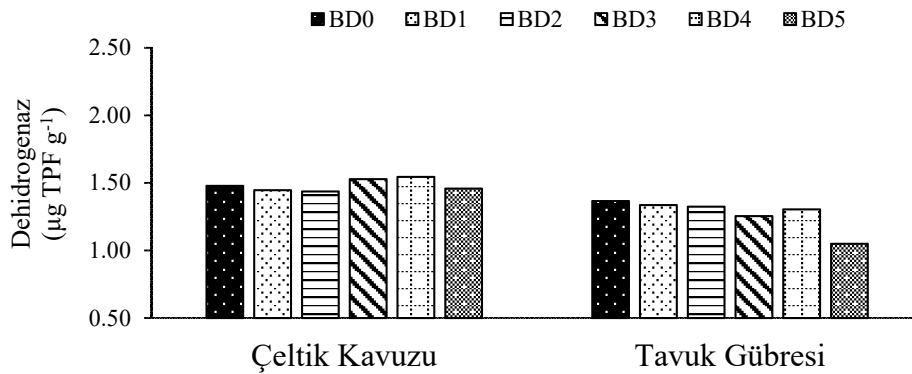
Şekil 4.140. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA, $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi

Toprağın DEA içeriği üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.529$) (Çizelge 4.27). En yüksek DEA içeriği MD2 x BD1 ($1.55 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) uygulamasından elde edilirken, en düşük DEA içeriği MD1 x BD1 ($1.23 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.141). Ergün (2017), fındık kabuğundan üretilen biyokömürü (BK) farklı dozları ($0, 5, 10, 15$ ve 20 t ha^{-1}) ve hayvan gübresini (AG) farklı dozları ($5, 10$ ve 20 t ha^{-1}) farklı oranlarda denemişlerdir. Uygulamaların topraktaki enzimlerin aktivite değişimini inceleyen araştırmacı, dehidrogenaz enzim aktivitesindeki artışın önemli ($p<0.01$) olduğunu bildirmiştir. Dehidrogenaz enzim aktivitesinin arttıran dozların BK5+AG5, BK15+AG5, BK20 ve AG20 dozları olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.141. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömr dozu (BD) interaksyonunun dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA, $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

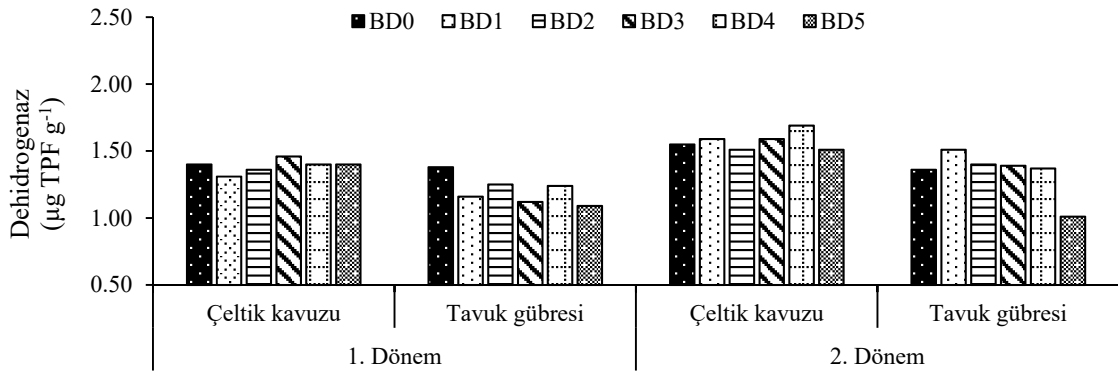
Toprağın DEA üzerine BÇ x BD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.396$) (Çizelge 4.27). Buna göre en yüksek DEA içeriği çeltik kavuzu x BD4 uygulamasından elde edilirken ($1.55 \mu\text{g TPF g}^{-1}$), en düşük DEA içeriği tavuk gübresi x BD5 ($1.05 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.142). Zeytin posasından elde edilmiş biyokömrü (BC) ve kükürt (S) ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının killi-tınlı ve pH'sı yüksek olan topraklarda dehidrogenaz enzim aktivite üzerine etkileri araştıran Turan (2019), topraklara farklı biyokömr (%0, 0.75 ve 1.5) ve kükürt (0 ve 800 mg kg⁻¹) dozları uygulanarak 45 günlük inkübasyona bırakan araştırmacı, DEA üzerine biyokömr ve kükürt uygulamasının etkisinin olmadığını rapor etmiştir.



Şekil 4.142. Biyokömr çeşidi (BÇ) x Biyokömr dozu (BD) interaksyonunun dehidrogenaz enzim aktivitesine (DEA, $\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

Toprağın DEA üzerine MD x BÇ x BD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde bir etki yapmamıştır ($p=0.873$) (Çizelge 4.27). En yüksek ortalama DEA, MD2

x çeltik kavuzu x BD4 ($1.69 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) ve en düşük DEA içeriği ise MD2 x tavuk gübresi x BD5 ($1.01 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) interaksyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.143). Wu ve ark. (2013), yapmış oldukları çalışmada buğday samanının pirolizi (450°C) ile elde ettikleri biyokömürü çernozyom toprağına 0, 10 ve 25 t ha^{-1} biyokömür ve 0, 15 ve 37.5 t ha^{-1} dozlarında buğay samanı uygulamışlardır. 100 günlük bir inkübasyon sonrası biyokömür uygulamalarının kontrol ile karşılaştırıldığında dehidrogenaz enzim aktiviteleri (DEA) üzerinde hiçbir etkisi olmamıştır; bununla birlikte, buğday samanı ilavesi dehidrogenaz aktivitelerini biyokömür uygulaması ve kontrole göre önemli ($p < 0.01$) ölçüde arttırdığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.143. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun dehidrogenaz enzim aktivitesine ($\mu\text{g TPF g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

4.1.3.7. Uygulamaların toprağıın üreaz enzim aktivitesine (ÜEA) etkisi

Üreaz enzimi, ürenin CO_2 ve NH_3 'e hidrolizine yardımcı olarak NH_3 buharlaşması yoluyla yüksek toprak pH'sında azotun atmosfere kaybının önlenmesine katkı sağlar (Das ve Varma, 2010). Üreaz ayrıca hidroksiüre, dihidroksiüre ve semikarbazidin hidrolizini, ko-faktör olarak nikel ile katalize eder (Alef ve Nannipieri, 1995). Enzim doğada yaygın olarak bulunur ve bakteri, mayalar, mantarlar, algler, hayvan atıkları ve bitkilerden kaynaklanır (Follmer, 2008). Üreaz bazı organizmalarda yapısal olarak sentezlenebilse de, ekspresyonu genellikle N düzenlemesi altındadır (Machuca ve ark., 2015). Enzim sentezi, hücreler tercih edilen N kaynağı olarak NH_4^+ varlığında büyüdüğünde önlenir (Geisseler ve ark., 2010). Bununla birlikte, üre veya alternatif bir N kaynağının varlığı üreaz üretimini aktive eder (Mobley ve ark., 1995). Üreaz aktivitesi, toprak yönetim

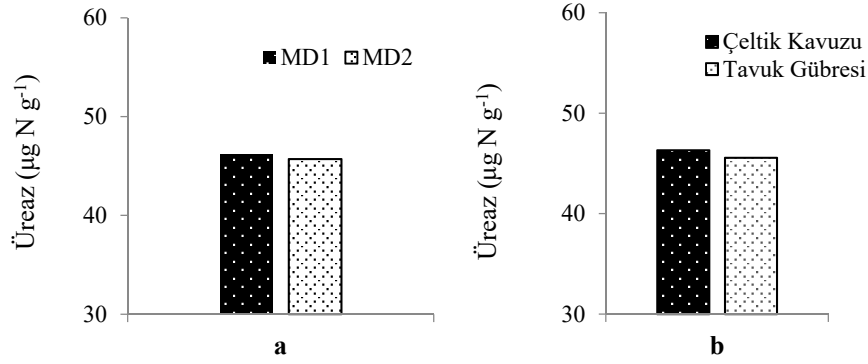
uygulamalarına hızlı tepki veren önemli bir kalite göstergesidir. Hassasiyeti, çevresel faktörleri ve N döngüsünü birleştiren bilgi sağlama kapasitesi nedeniyle, üreaz aktivitesi toprak verimliliğini değerlendirmek için yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır. Üreaz aktivitesinin değerlendirilmesi, mikrobiyal metabolizmayı ve N döngüsünü en iyi şekilde iyileştiren yönetim yöntemleri hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu çalışmada yer alan bireysel uygulamaların tamamının (BÇ, BD, BD) ve faktörlerin karşılıklı etkileşimi olan bütün interaksiyonların (MD x BÇ, MD x BÇ, MD x BD ve MD x BÇ x BD) ÜEA üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. Uygulamaların toprarağın üreaz enzim aktivitesine (ÜEA, $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	4.014	4.014	0.034	0.871 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	10.125	10.125	0.175	0.697 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	131.394	26.279	0.807	0.552 ^{öd}
MD*BÇ	1	26.161	26.161	0.453	0.538 ^{öd}
MD*BD	5	28.722	5.744	0.176	0.970 ^{öd}
BÇ * BD	5	104.865	20.973	0.644	0.668 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	40.101	8.020	0.246	0.939 ^{öd}

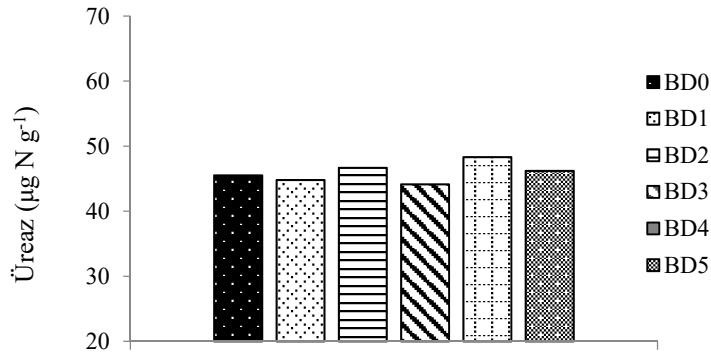
*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Üreaz enzim aktivitesi, ürenin karbondioksit ve amonyağa hidrolizini sağlayan bir enzim olarak görev almaktadır (Blakeley, 1969). Birinci ve ikinci münavebe döneminden sonra alınan toprak örneklerinde ÜEA içeriği birbirlerine son derece benzerdir ($p=0.871$) (Çizelge 4.28). Birinci dönem sonunda ortalama ÜEA içeriği ($46.18 \mu\text{g N g}^{-1}$) MD2'ye ($45.71 \mu\text{g N g}^{-1}$) kıyasla istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte bir miktar daha yüksektir (Şekil 4.144a). Toprağın üreaz içeriği üzerine BÇ faktörünün istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmüştür ($p=0.697$) (Çizelge 4.28). Çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasında ortalama ÜEA içeriği ($46.32 \mu\text{g N g}^{-1}$) tavuk gübresi biyokömürüne ($45.57 \mu\text{g N g}^{-1}$) kıyasla daha yüksektir (Şekil 144b).



Şekil 4.144. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) üreaz enzim aktivitesine (ÜEA, $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

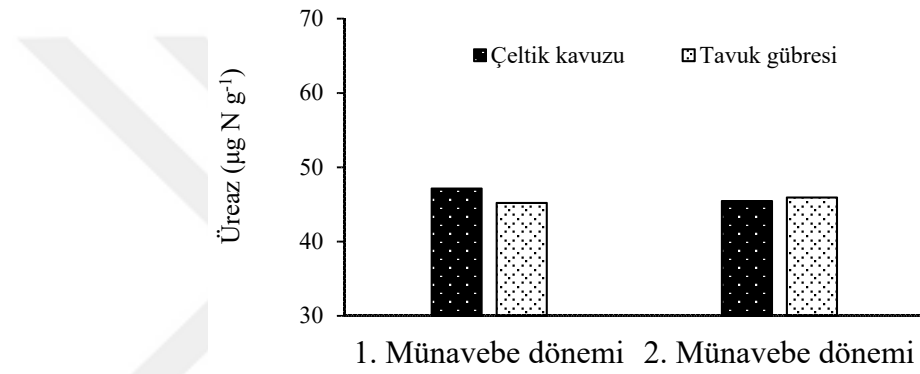
Biyokömür dozları toprakların ÜEA içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır ($p=0.552$) (Çizelge 4.28). En yüksek ortalama ÜEA, BD4 ($48.32 \mu\text{g N g}^{-1}$) dozunda iken en düşük ortalama değerin BD3 ($44.14 \mu\text{g N g}^{-1}$) dozunda olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.145). Saygan (2017), ÜEA üzerine organik karbonun (Tabatabai, 1977; Zantua ve ark., 1977), organik madde içeriğinin (Burns, 1982) ve KDK'nın önemli düzeyde etkili olduğunu belirtmiştir. Speir (1984), toprakların üreaz aktivitesi ile KDK, toplam değişebilir katyonlar ve azot konsantrasyonları arasında çok önemli pozitif ilişki olduğunu vurgulamıştır.



Şekil 4.145. Biyokömür dozu uygulamalarının üreaz enzim aktivitesine (ÜEA, $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

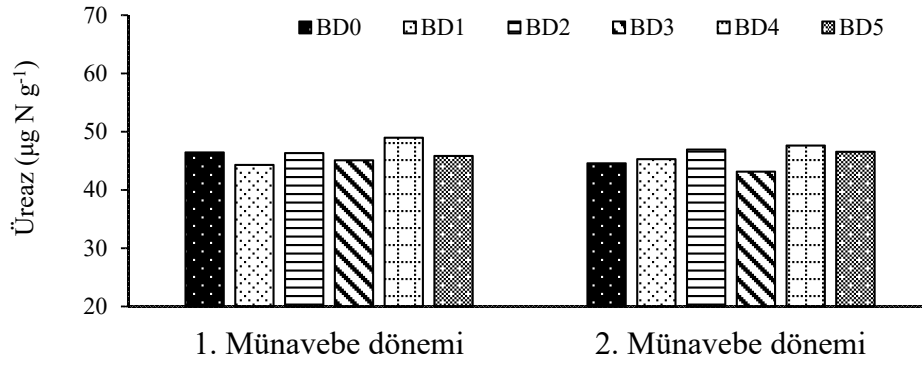
Üreaz aktivitesi, farklı tarımsal yönetim uygulamalardan etkilendiğinden toprak kalitesini izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Toprak enzimleri, TOM ayrışması ve besin döngüsünün rasyonelleştirici adımlarını katalize eder ve faaliyetleri, biyokömür uygulamasıyla ortaya çıkabilen toprak ortamındaki değişikliklere karşı çok duyarlıdır

(Sinsabaugh ve Moorhead 1994; Burns ve ark., 2013). Toprak kalitesi farklı tarımsal yönetim uygulamalarından etkilenir. Üreaz enzim aktivitesi toprak kalitesini izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Corstanje ve ark., 2007; Błońska ve Lasota, 2014). Münavebe dönemi ve uygulanan farklı biyokömür çeşitlerinin ÜEA üzerine etkisi (MD x BÇ) istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.538$) (Çizelge 4.28). En yüksek ÜEA değeri MD1 x çeltik kavuzu interaksyonundan elde edilirken ($47.16 \mu\text{g N g}^{-1}$) en düşük ortalama ÜEA değeri ise MD1 x tavuk gübresi interaksyonundan ($45.20 \mu\text{g N g}^{-1}$) elde edilmiştir (Şekil 4.146).



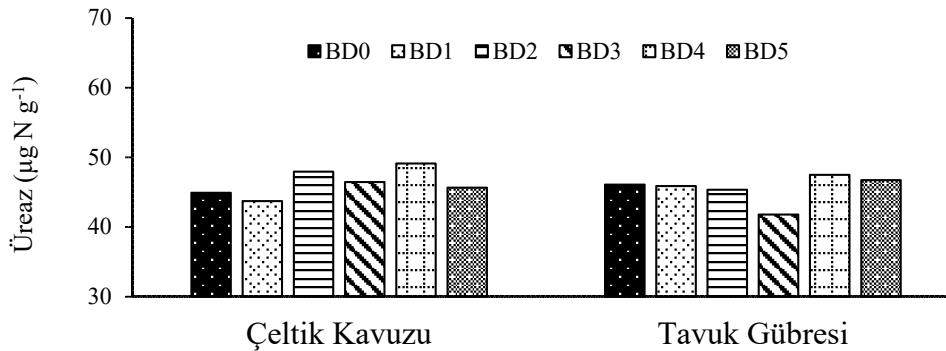
Şekil 4.146. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun üreaz enzim aktivitesine (ÜEA, $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisi

Kompost, kanalizasyon çamuru ve saman malçı gibi organik gübreleme ile artan ÜEA, toprak işleme ve bazı amanejman uygulamaları ile azalma eğilimi gösterebilir (Crecchio ve ark., 2004; Kızılkaya ve Bayraklı, 2005; Meyer ve ark., 2015). Organik gübreleme ile kaydedilen ÜEA artışı, bu enzimin toprak organik maddesi ve N döngüsü arasındaki yakın ilişkiyi göstermektedir. Bu çalışmada, toprağın ÜEA içeriği üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.970$) (Çizelge 4.28). En yüksek değer MD1 x BD4 ($48.98 \mu\text{g N g}^{-1}$) uygulamasından elde edilirken, en düşük ÜEA değeri ise MD2 x BD3 ($43.17 \mu\text{g N g}^{-1}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.147).



Şekil 4.147. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun üreaz enzim aktivitesine (ÜEA, $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

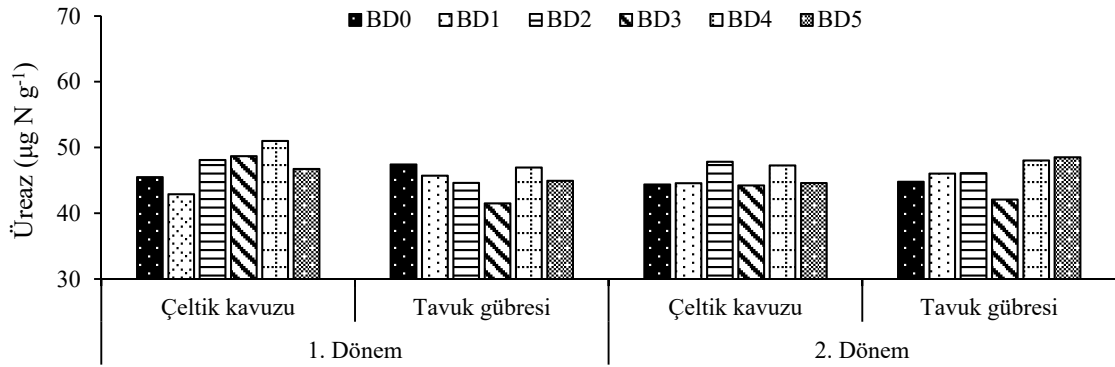
Toprağın ÜEA üzerine BÇ x BD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.668$) (Çizelge 4.28). Buna göre en yüksek ortalama ÜEA içeriği çeltik kavuzu x BD4 ($49.13 \mu\text{g N g}^{-1}$) uygulamasından elde edilirken en düşük ortalama ÜEA tavuk gübresi x BD3 ($41.81 \mu\text{g N g}^{-1}$) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.148). Wu ve ark. (2020), kolza atığı, çeltik atığı, buğday atığı ve mısır atığına piroliz (500 °C) işlemi uygulayarak 10 g kg⁻¹ dozunda toprağa ilave ederek bir saksı denemesi yürütmüş ve biyokömür ilavesinin üreaz enzim aktivitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada, tüm biokömür uygulaması toprak üreaz aktivitesini önemli ölçüde arttırmıştır. Ayrıca, üreaz enzim aktivitesi, buğday samanı biyokömürü uygulamasında kolza ve mısır biyokömüründen daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.



Şekil 4.148. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun üreaz enzim aktivitesine (ÜEA, $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

Toprağın ÜEA içeriği üzerine MD x BÇ x BD interaksyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde bir etki yapmamıştır ($p=0.939$) (Çizelge 4.28). En yüksek ortalama

ÜEA içeriği MD1 x çeltik kavuzu x BD4 (51.00 $\mu\text{g N g}^{-1}$) ve en düşük ortalama ÜEA değeri ise MD2 x tavuk gübresi x BD3 (42.10 $\mu\text{g N g}^{-1}$) interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 149). Biyokömür uygulamasının ÜEA üzerine etkisini araştıran Zhang ve ark. (2017), sadece kimyasal gübrelemeye kıyasla 8 t ha⁻¹ ve 16 t ha⁻¹ biyokömür + kimyasal gübre uygulamalarında sırasıyla %41.2 ve %44.3 oranında bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte Demisie ve ark., (2014) ve Wang ve ark., (2015) ise biyokömür uygulaması ile N kullanımının artması ile enzimlerin aktivitesinin arttığını gözlemlemiştir. Bunun aksine, Wu ve ark. (2013), 10 ve 25 t ha⁻¹ biyokömür uygulaması sonrasında üreaz enzim aktivitelerinin azaldığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.149. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun üreaz enzim aktivitesine (ÜEA, $\mu\text{g N g}^{-1}$) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

4.2. Biyokömür Uygulamalarının Bitki Verimlerine Olan Etkisi

Tarımsal atıkların pirolizi ile yüksek sıcaklıkta gerçekleşen termo kimyasal değişim sonucu ortaya çıkan ürün biyokömür olarak adlandırılmıştır ve toprak kalitesini iyileştirme potansiyelinin bulunduğu bildirilmiştir (Lehmann, 2007). Biyokömürün özellikle de toprağın fiziksel özelliklerinde meydana getirdiği iyileşmeye paralel olarak bitkisel verimde de bir artışa neden olduğunu gösteren birçok çalışma yayınlanmıştır (Chan ve ark., 2008a; 2008b; Asai ve ark., 2009; Zhang ve ark., 2010; Zhang ve ark., 2012b). Biyokömür konusunda yapılan çok sayıda araştırma raporunun incelendiği meta-analizlerde, biyokömür ilavesi ile ürün verimi artışının pH'sı düşük kum içeriği yüksek topraklarda, killi topraklara kıyasla daha fazla öne çıktığının altı çizilmektedir. Bu durum ise biyokömürün kireçlenme ve agregat etkisi ile ilişkilendirilmiştir (Jeffery ve ark., 2011; Liu ve ark., 2013). Biyokömürün bitki gelişimi ve verimi üzerine olumlu etkisinden

bahseden araştırmalar yayınlandığı gibi, bu etkinin önemsiz hatta aksine gerilemeye neden olduğunu bildiren araştırma raporları da mevcuttur (Lehmann ve ark., 2003b; Jeffery ve ark., 2011). Bu sebepten biyokömürün bitki gelişiminine etkisinin nasıl etkilenebileceğini anlamak için, büyümede farklılıklara neden olan değişkenleri araştırmak gerekir. Bu tez çalışmanında Bafra ovasında bol miktarda bulunan ve önemli bir sorun olan çeltik kavuzu ve tavuk gübresi atıklarından üretilmiş biyokömürün, tarım toprağına etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte ova genelinde olduğu yaygın ekmeklik buğday, kırmızı lahana ve kırmızı biber münavebesindeki bitkilerin verimine olan etkisi araştırılmıştır.

Biyokömürün bakiye etkisi araştırmak amacıyla toprağa biyokömür ilavesi sonrası birinci münavebe döneminde (MD1) buğday, kırmızı lahana ve kırmızı biber yetiştirilmiş ve aynı rotasyonda ikinci münavebe döneminde (MD2) aynı sırayla bitkiler yetiştirilmiş ve verimleri kayıt altına alınmıştır. Her iki dönem belirlenen verim değerleri arasındaki farklılığı tespit için yapılan test sonuçları Çizelge 4.29’da verilmiştir. Biyokömür uygulamaları MD1 ve MD2 sonunda elde edilen buğday verimi ($p<0.05$) ve kırmızı biber verimi ($p<0.01$) değerlerinin birbirlerinden önemli düzeyde farklı oldukları, Kırmızı lahana veriminin ise birbirinden farklı olmadığı ($p<0.403$) görölmektedir.

Çizelge 4.29. Birinci ve ikinci münavebe dönemi sonrası elde edilen bitkilerin verimlerinin karşılaştırılması, eşleştirilmiş t-testi

Değişken	Dönem	SD	Ortalama	Ortalama Farkı	t (gözlenen)	t (kritik)	P
Buğday (kg da ⁻¹)	MD1	35	762	28	2.548	2.03	<0.05
	MD2	35	734				
Kırmızı lahana (kg da ⁻¹)	MD1	35	5915	-63	-0.846	2.03	0.403
	MD2	35	5978				
Kırmızı biber (kg da ⁻¹)	MD1	35	4345	-323	-3.391	2.03	<0.01
	MD2	35	4668				

SD: Serbestlik Derecesi

4.2.1. Uygulamaların buğday verimine etkisi

Biyokömür hakkında dünya çapında, son 15 yıl için çeşitli veriler rapor edilmiştir (Major ve ark., 2010a, Park ve ark., 2011; Vaccari ve ark., 2011; Schulz ve Glaser, 2012). Biokömürün buğday verimi üzerindeki etkisi üzerine yapılan araştırmalar, biyokömür ve mineral gübrelerin farklı kombinasyonlarının, kontrole kıyasla verimi %18 oranında ve 1.5 t ha⁻¹ biyokömür ve mineral gübrelerin katkısı ile %48 oranında arttırdığını

göstermektedir (Solaiman ve ark., 2010). Blackwell ve ark. (2010) 1 t ha⁻¹ oranında ve 50 kg ha⁻¹ fosforlu gübre ile uygulandığında kontrole kıyasla buğday veriminin artırılması açısından en etkili biyokömür uygulaması olduğunu vurgulamışlardır. Karadeniz bölgesinde ekilen ekmeklik buğday verimlerinin %7.5'i 300- 400 kg da⁻¹, %25'i 400- 500 kg da⁻¹, %17.5'i 500- 600 kg da⁻¹ ve %47.5'i ise 600-700 kg da⁻¹ arasında olduğu saptanmıştır (Kars ve Ekberli, 2019). Orta Karadeniz Bölgesi'nde yetiştirilen buğday çeşitlerinin tane verimi 335.63 kg da⁻¹ ile 686.20 kg da⁻¹ arasında değişmektedir (Oktay, 2006). Bafra koşullarında yetişen buğday veriminin toprağa biyokömür ilavesine tepkisini incelediğimizde bireysel faktörler (MD, BÇ ve BD) ile faktörlerin karşılıklı interaksiyonların (MD x BÇ, MD x BD, BÇ x BD ve MD x BÇ x BD) tamamının buğday verimi üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.30).

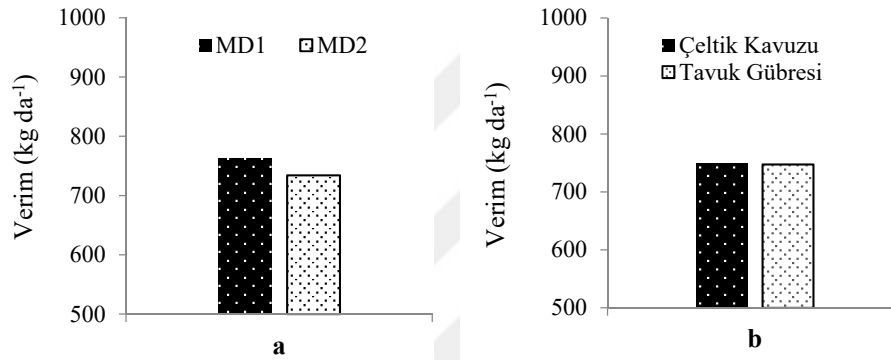
Çizelge 4.30. Uygulamaların buğday tane verimine (kg da⁻¹) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	13695.125	13695.125	6.884	0.120 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	36.125	36.125	0.010	0.926 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	12470.792	2494.158	1.167	0.342 ^{öd}
MD*BÇ	1	21805.681	21805.681	5.964	0.071 ^{öd}
MD*BD	5	1787.792	357.558	0.167	0.973 ^{öd}
BÇ * BD	5	5013.458	1002.692	0.469	0.797 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	3667.236	733.447	0.343	0.884 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

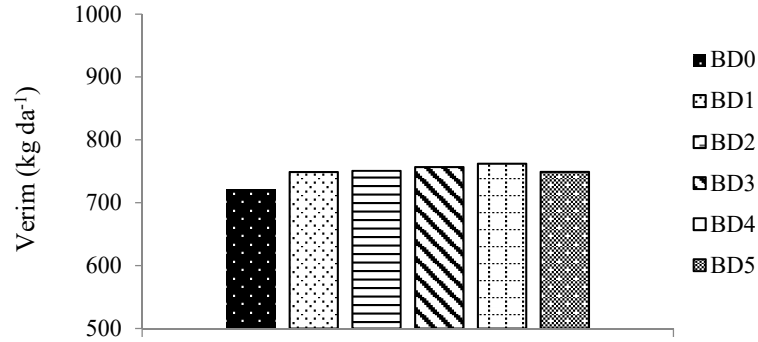
Münavebenin ilk bitkisi olan buğdayın tane verimine uygulamaların istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmüştür (p=0.120) (Çizelge 4.30). Birinci münavebe sonrasında buğday verimi 762 kg da⁻¹ iken MD2'de 734 kg da⁻¹ olarak kayıt edilmiştir (Şekil 4.150a). Denemede BÇ faktörü buğday verimi üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmüştür (p=0.926) (Çizelge 4.30). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında verimi (747 kg da⁻¹) çeltik kavuzu biyokömürüne uygulamasındaki verime (749 kg da⁻¹) oldukça benzerdir (Şekil 4.150b). Farrell ve ark., (2014), evsel yeşil atığın pirolizi (550°C) ile elde edilen biyokömür 0, 35 ve 175 kg ha⁻¹ ve 5 t ha⁻¹ (kıyaslama amacı ile) dozunda biyokömür fosforlu gübrenin çeşitli doz (0, 35 ve 70 kg ha⁻¹ DAP) kombinasyonları ile kireçli bir toprağa uygulanmıştır. Uygulama sonunda biyokömürün buğday verimliliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığını rapor etmişlerdir. Bu, biyokömürün, bu topraklardaki P'nin düşük hareketliliği göz önüne alındığında, gelişmiş P kazanımı için beklenen bir mekanizma olabilecek bitki

P alımı için daha elverişli koşullar yaratamadığını gösterir (McBeath ve ark., 2005). Araştırmacılar yüksek oranda kireçli topraktaki biyokömür ilavesi ile ilgili olarak bu çalışmanın iki yılı boyunca bir verim artışı görülmediği ve verim üzerine biyokömür uygulamalarının doğrudan etkisi olmamakla birlikte bazı kimyasal özelliklerin biyokömür ilavesinden istatistiksel olarak önemli derecede etkilendiğini bildirmişlerdir. Çalışmalarda meydana gelen biyokömüre bağlı verimlerin artışı nedenleri muhtemelen bitkinin büyüme mevsimi boyunca biyo-çevresel gerekliliklere karşılık gelen elverişli koşullardır.



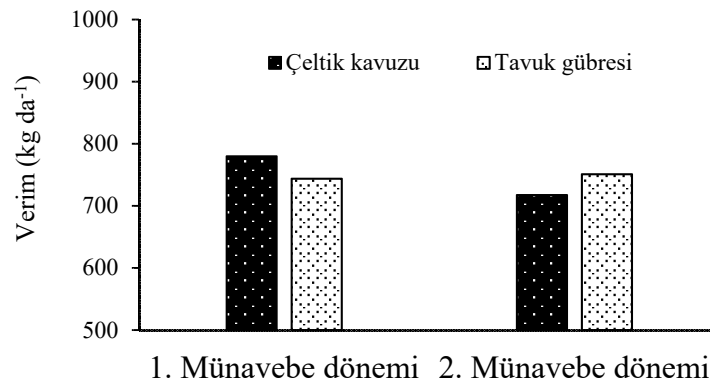
Şekil 4.150. Mönavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) buğday tane verimine (kg da⁻¹) etkisi (MD1: Birinci mönavebe dönemi, MD2: İkinci mönavebe dönemi)

Biyokömür dozları buğday tane verimi üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır ($p=0.342$) (Çizelge 4.30). En yüksek verim ortalaması BD4 (762 kg da⁻¹) uygulamasında elde edilirken en düşük ortalama verim BD0 (721 kg da⁻¹) uygulamasında kayıt edilmiştir (Şekil 4.151). Biyokömür ilavesi ile buğday veriminde kontrole kıyasla BD4 uygulamasında %5.7 artış olduğu belirlenmiştir. Vaccari ve ark., (2011) buğday verimini ve biyokömürün bakiye etkisi görmek adına iki yıllık bir tarla denemesi yürütmüşlerdir. Biyokömürün 0, 30 ve 60 t ha⁻¹ doz uygulamalarının iki yıl üst üste verim ve verim kalitesi üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, biyokömür uygulamasının 2009 ve 2010 yılında, kontrole kıyasla buğday verimini önemli ölçüde arttırdığını, ancak 30 ve 60 t ha⁻¹ uygulamaları arasında hiçbir fark olmadığını vurgulayan Vaccari ve ark. (2011), 30 ve 60 t ha⁻¹ dozlarının buğday verimini kontrole kıyasla %32.1 ve %23.6 arttırdığını rapor etmişlerdir.



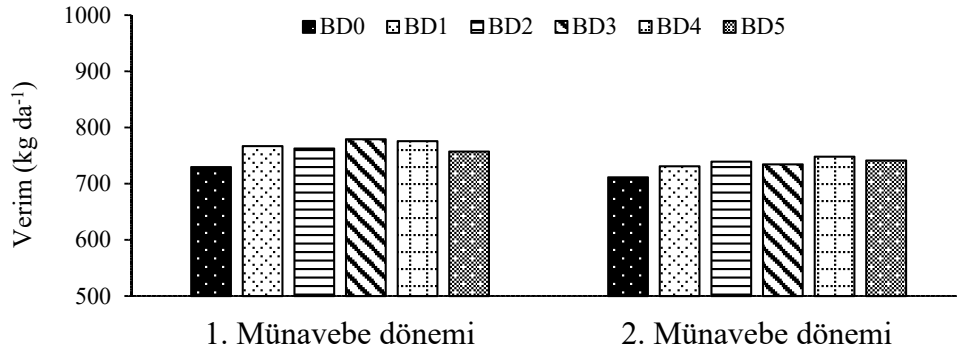
Şekil 4.151. Biyokömür dozu uygulamalarının buğday tane verimine (kg da^{-1}) etkisi
((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Buğday tane verimi üzerine MD x BÇ interaksiyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.071$) (Çizelge 4.30). En yüksek buğday verimi MD1 x çeltik kavuzu interaksiyonundan elde edilirken (780 kg da^{-1}) en düşük ortalama verim ise MD2 x çeltik kavuzu interaksiyonundan (718 kg da^{-1}) elde edilmiştir (Şekil 4.152). Çeltik kavuzu ve pamuk kabuğundan 400°C 'de biyokömür elde eden Liang ve ark. (2014), 3 yıllık tarla denemesinin sonuçlarına göre, biyokömür uygulamasının, kumlu tınlı toprakta, buğday ve mısır verimini arttırdığını ve toprak özelliklerini (pH, KDK ve alınabilir P) önemli ölçüde etkilemediğini vurgulamıştır. Bununla birlikte, 90 t ha^{-1} 'a kadar olan biyokömür uygulaması, verimi ve toprak özellikleri üzerinde herhangi bir olumsuz etki de yaratmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca, biyokömürün toprak kalitesinin iyileştirmesinde toprakta C tutma için potansiyel bir yöntem olarak kabul edilebildiğini rapor etmişlerdir (Liang ve ark., 2014).



Şekil 4.152. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksiyonunun buğday tane verimine (kg da^{-1}) etkisi

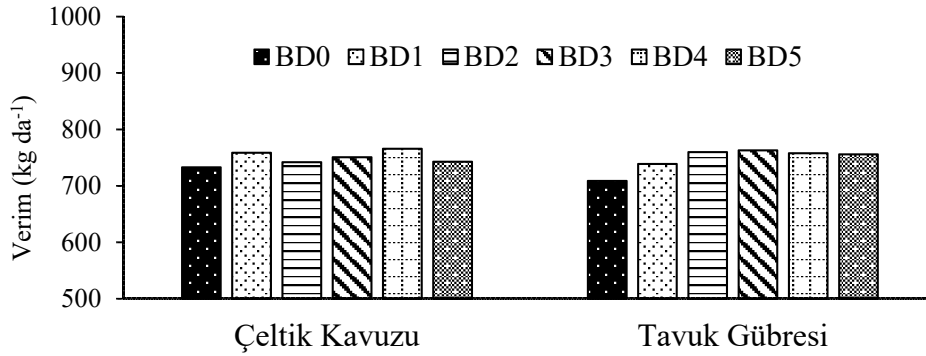
Buğdayın tane verimi üzerine MD x BD interaksiyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.973$) (Çizelge 4.30). En yüksek ortalama verim MD1 x BD3 (779 kg da⁻¹) uygulamasından elde edilirken, en düşük ortalama verim MD2 x BD0 (711 kg da⁻¹) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.153). Biyokömürün uygulandığı toprak özellikleri, elde edildiği ham madde, uygulama dozları ve piroliz sıcaklığı gibi etkenlere bağlı olarak uygulama sonrası toprağın verdiği tepkiler değişkenlik gösterebilmektedir. Mısır koçanından elde edilen biyokömürü tınlı bir toprağa 1.6 Mg ha⁻¹ dozunda uygulayan Lin ve ark. (2015), buğdayda gelişim olduğunu tespit ederken soya fasulyesinde herhangi bir değişimin olmadığını vurgulamışlardır. Adejumo ve ark. (2016) çeltik kavuzu ve Meksika ayçiçeği atığından 300, 350 ve 400 °C sıcaklıkta ürettikleri iki farklı biyokömürü 5, 10 ve 15 t ha⁻¹ dozlarında ve yine aynı dozlarda kompost uygulamışlardır. Büyüme ve verim parametreleri üzerinde, nispeten düşük sıcaklıkta ve 15 t ha⁻¹'da uygulanan biyokömür ve kompost, diğer uygulamalardan iyi verim vermiştir. Biyokömür bakiye etkisi araştırmalarında ise iki tip biyokömür, özellikle 300 ve 350 °C'de piroliz ile elde edilen ayçiçeği biyokömürünün 15 t ha⁻¹ dozu komposttan daha iyi performans gösterdiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 4.153. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun buğday tane verimine (kg da⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD: 5 t da⁻¹)

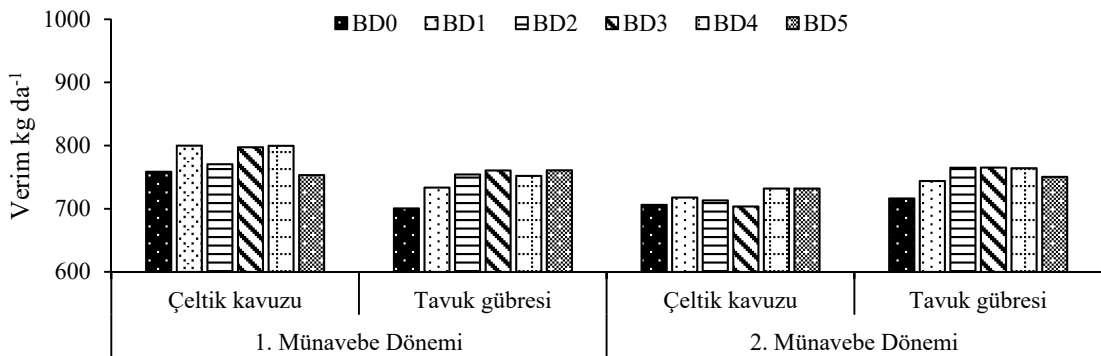
Buğday tane verimi üzerine BÇ x BD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($p=0.797$) (Çizelge 4.30). Buna göre en yüksek ortalama verim çeltik kavuzu x BD4 uygulamasından elde edilirken (766 kg da⁻¹) en düşük ortalama verim tavuk gübresi x BD0 (709 kg da⁻¹) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.154). Toprağa biyokömür uygulaması yapan Asai ve ark. (2009), N eksikliği olan bir toprakta N

sınırlaması nedeniyle çeltik veriminin iyileşmediği ileri sürülmüştür. Ancak, Zhang ve ark. (2012a), art arda iki çeltik yetiştirme döneminin her iki döngüsünde de verim artışının biyokömür uygulama oranı ile korele olmamasına rağmen, her iki döngüde de biyokömür uygulaması ile çeltik veriminde önemli bir artış olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.154. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun buğday tane verimine (kg da^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

Buğday verimi üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p=0.884$) (Çizelge 4.30). En yüksek ortalama buğday tane verimi (800 kg da^{-1}) MD1’de çeltik kavuzunun BD1 ve BD4 dozlarında elde edilmiştir. En düşük ortalama buğday verimi ise MD1’de tavuk gübresinin (701 kg da^{-1}) BD0 dozunda elde edilmiştir (Şekil 4.155). Mercimek artığı, buğday samanı, çam iğnesi biyokömürü ve mine ağacından elde edilen biyokömürün, buğday verimi ve toprak enzimatik aktivitelerine etkisini inceleyen Bhattacharjya ve ark. (2016), N ve P alımının artması nedeni ile buğday veriminin %6.2 ile 24.2 oranında arttığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.155. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun buğday tane verimine (kg da^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

4.2.2. Uygulamaların kırmızı lahana verimine etkisi

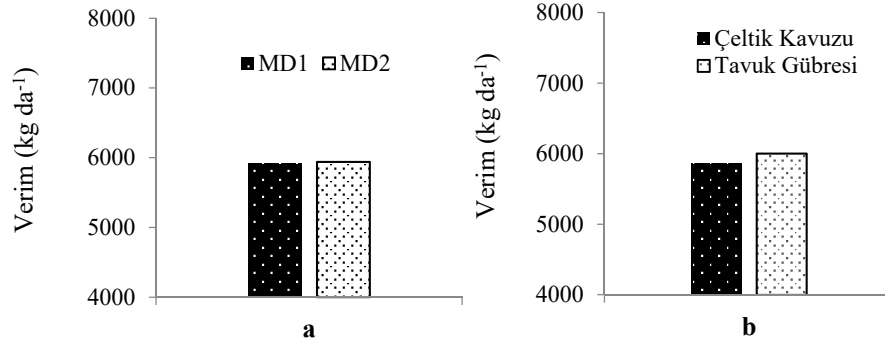
Toprağa ilave edilen biyokömür miktarına bağlı olarak, bitki verimliliğinde önemli artış sağladığını bildiren Atkinson ve ark. (2010), verim artışının çoğunlukla ılıman iklim alandaki çalışmalarda elde edildiğini rapor etmişlerdir. Bu araştırmacılar tarla çalışmalarında 10 ila 30 ton arasında biyokömür uygulama dozunun iyi bir sonuç verebileceğini bildirmişlerdir. Bu denemede ise bireysel faktörlerin ve tüm interaksiyonlarının kırmızı lahana verimi üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.31). Münavebe dönemleri karşılaştırmasında münavebenin ikinci bitkisi olan kırmızı lahana baş verimine uygulamaların istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmüştür ($p=0.871$) (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31. Uygulamaların kırmızı lahana verimine (kg da^{-1}) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	4.014	4.014	0.034	0.871 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	10.125	10.125	0.175	0.697 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	131.394	26.279	0.807	0.552 ^{öd}
MD*BÇ	1	26.161	26.161	0.453	0.538 ^{öd}
MD*BD	5	28.722	5.744	0.176	0.970 ^{öd}
BÇ*BD	5	104.865	20.973	0.644	0.668 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	40.101	8.020	0.246	0.939 ^{öd}

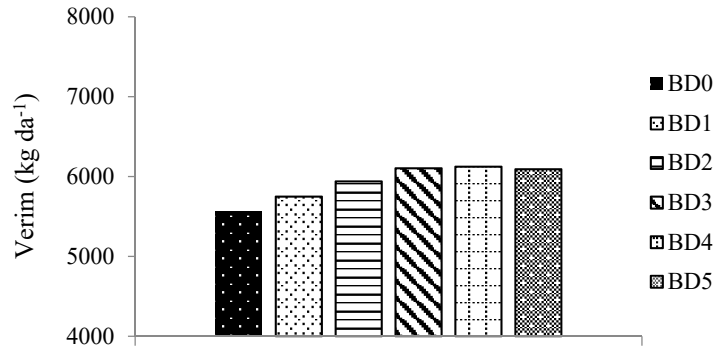
*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

Birinci münavebede kırmızı lahana verimi 5915 kg da^{-1} iken MD2’de verim 5942 kg da^{-1} olmuştur (Şekil 4.156a). Denemede BÇ faktörü kırmızı lahana verimi üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır ($p=0.697$) (Çizelge 4.31). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında kırmızı lahana verimi (6001 kg da^{-1}), çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasındaki verime (5856 kg da^{-1}) kıyasla istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte daha yüksektir (Şekil 4.156b). Biyokömürün ürün verimi üzerindeki etkileri, elde edildiği organik atık bileşimine, biyokömürün üretildiği koşullara, piroliz sıcaklığına, toprağın özelliklerine, yetiştirilen bitki türlerine ve deneme koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çoğu çalışmada, biyokömürün farklı bitkilerin agronomik özellikleri üzerinde faydalı etkilere sahip olduğunu bildirmiş olmasına rağmen, diğer bir kısım çalışmalarda ise verim üzerinde olumlu ya da olumsuz etkisi olmadığını bildirmişlerdir (Spokas ve ark., 2012).



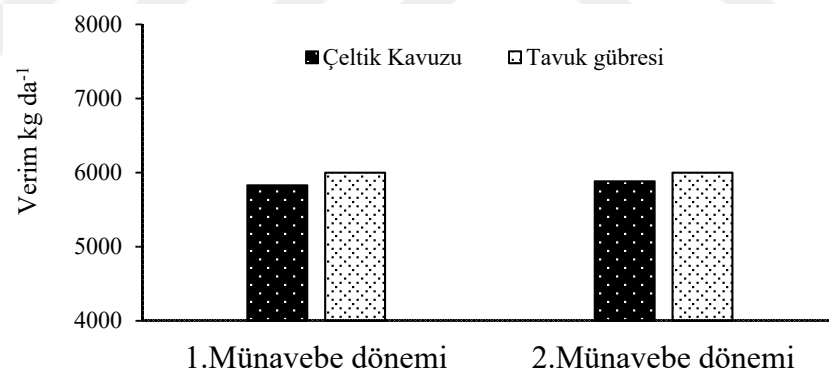
Şekil 4.156. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) kırmızı lahana verimine (kg da⁻¹) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozlarının kırmızı lahana verimi üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı anlaşılmaktadır ($p=0.552$) (Çizelge 4.31). En yüksek ortalama verim BD4 (6123 kg da⁻¹) uygulamasında iken en düşük ortalama verim BD0 (5565 kg da⁻¹) uygulamasında elde edilmiştir (Şekil 4.157). Biyokömür ilavesi ile kırmızı lahana veriminde kontrole kıyasla BD4 uygulamasında %10 artış olduğu belirlenmiştir. Mısır silajının 600 °C'de pirolizi ile elde edilen biyokömür 3 yıl içinde, azotlu gübre ile hiçbir etkileşim göstermemiş ve kış buğdayı, kış çavdarı ve mısır verimini etkilememiştir (Sänger ve ark., 2017). Biyokömür uygulaması dozlarının (0, 2.5, 5, 10, 20, 30 ve 40 t ha⁻¹) kolza tohumu ve tatlı patates verimi üzerindeki etkisini incelemek için bir tarla denemesi yapan Liu ve ark. (2014a), kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında, 40 t ha⁻¹ biyokömür uygulama dozunun, kolza tohumu ve tatlı patates verimini sırasıyla %36.02 ve %53.77 oranında arttırdığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.157. Biyokömür dozu uygulamalarının kırmızı lahana verimine (kg da⁻¹) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da⁻¹, BD1: 1 t da⁻¹, BD2: 2 t da⁻¹, BD3: 3 t da⁻¹, BD4: 4 t da⁻¹, BD5: 5 t da⁻¹)

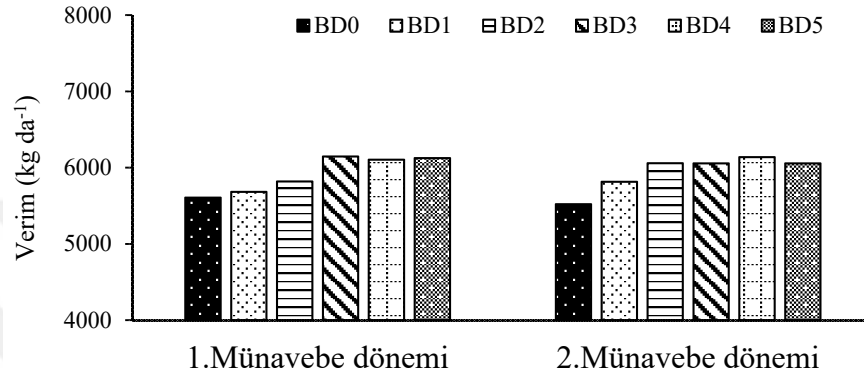
Kırmızı lahana verimi üzerine MD x BÇ interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.538$) (Çizelge 4.31). En yüksek kırmızı lahana verimi MD2 x tavuk gübresi interaksyonundan elde edilirken (6101 kg da^{-1}) en düşük ortalama kırmızı lahana verimi MD1 x çeltik kavuzu interaksyonundan (5829 kg da^{-1}) elde edilmiştir (Şekil 4.158). Albuquerque ve ark. (2014), İspanya'nın tarım ve orman alanlarında yaygın olarak bulunan beş biyokömür kaynağını (zeytin taşı, badem kabuğu, buğday samanı, çam talaşı ve zeytin ağacı budama atığı) pirolizi ($368-507 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ile elde edilen biyokömürleri farklı dozda ($15, 30, 75, 150$ ve 225 t ha^{-1}) ayçiçeği tarımı yapılan toprağa uygulamışlardır. Ayçiçeği gelişimini kontrole kıyasla en fazla arttıran buğday samanı biyokömürü ve zeytin ağacı biyokömürü olmuştur. Bunun sebebinin, bu biyokömürlerin daha fazla kül yüzdesine ve muhtemelen daha fazla besin elementine sahip olduğunu bildiren araştırmacılar, aslında, bu iki biyokömürün en yüksek P konsantrasyonuna sahip olduğunu ve bunun da P'nin bu çalışmada büyümeyi sınırlayıcı faktör olabileceğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.158. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun kırmızı lahana verimine (kg da^{-1}) etkisi

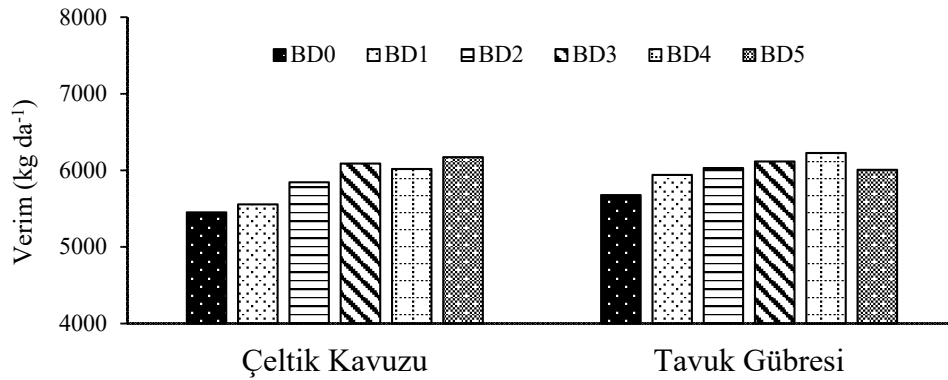
Kırmızı lahana verimi üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.970$) (Çizelge 4.31). En yüksek ortalama kırmızı lahana verimi MD1 x BD3 (6147 kg da^{-1}) interaksyonundan elde edilirken, en düşük verim ise MD2 x BD0 (5522 kg da^{-1}) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 1.159). Carter ve ark. (2013), çeltik kavuzundan üretilen ($900 \text{ }^{\circ}\text{C}$) biyokömür $0, 25, 50$ ve 150 g kg^{-1} dozlarında marul ve lahana mönavebesinde uygulanmıştır. Biyokömür işlemlerinin, tüm biyokütle işlemlerine kıyasla, tüm mönavebe sonrası hasatta biyokütle, kök biyokütle, bitki boyu ve yaprak

sayısını arttırdığı bulunmuştur. Araştırmacılar, biyokömür ilavelerine bağlı olarak en büyük biyokütle artışı (%903), kimyasal gübre atılmış parselde değil de kimyasal gübre atılmamış parsellerde bulunduğunu bildirmişlerdir. Bununla beraber üçüncü münavebe döneminde biyokütle artışında (%363) bir azalma olduğunu ve önceki dönemlere kıyasla biyokömürün etkisinin azaldığını rapor etmişlerdir.



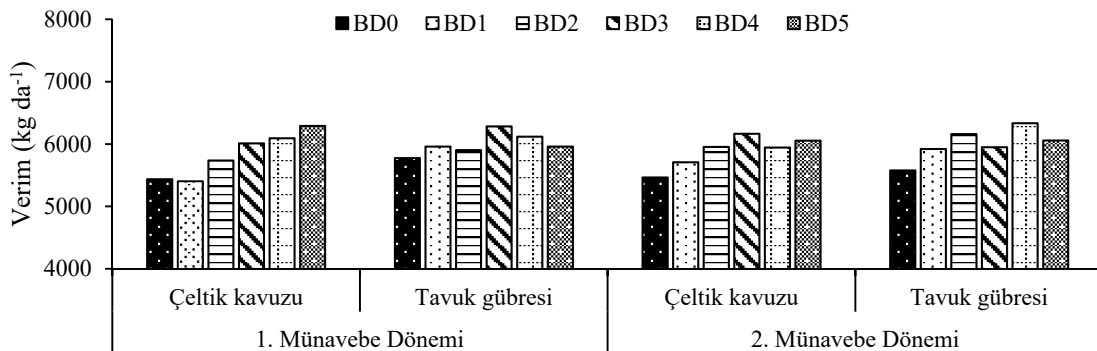
Şekil 4.159. Münavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun kırmızı lahana verimine (kg da^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

Kırmızı lahana verimi üzerine BÇ x BD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır ($p=0.668$) (Çizelge 4.31). Buna göre en yüksek verim tavuk gübresi x BD4 uygulamasından elde edilirken (6227 kg da^{-1}) en düşük verim çeltik kavuzu x BD0 (5452 kg da^{-1}) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.160). Tavuk altlığından 300°C 'de üretilen biyokömürün farklı dozlarda ($2, 5, 10$ ve 20 g kg^{-1}) killi tınlı tekstüre sahip kireçli toprağa uygulanması sonrasında mısır ve fasulye bitkilerinin büyümesini arttırdığı bildirilmiştir (İnal ve ark., 2015). Bir başka çalışmada ise çeltik kavuzundan $350-500^\circ\text{C}$ 'de üretilen biyokömür 15 t ha^{-1} ve 30 t ha^{-1} dozlarında killi kumlu, killi ve kumlu tın tekstürüne sahip topraklara uygulanmış ancak mısır verimi üzerinde hiçbir pozitif etki göstermediği rapor edilmiştir (Nguyen ve ark., 2016).



Şekil 4.160. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun kırmızı lahana verimine (kg da^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

Kırmızı lahana verimi üzerine MD x BÇ x BÇ interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde değildir ($p=0.939$) (Çizelge 4.31). En yüksek kırmızı lahana verimi MD2 x tavuk gübresi x BD4 (6336 kg da^{-1}) iken en düşük kırmızı lahana verimi MD1 x çeltik kavuzu x BD1 (5405 kg da^{-1}) interaksiyonlarından elde edilmiştir (Şekil 4.16). Biyokömür ilavesinin ürün verimini arttırdığı rapor edilmiştir. Örneğin yeşil atıklardan elde edilen biyokömürün uygulandığı bir saksı denemesinde uygulamanın ürün verimini arttırdığı ve toprak kalitesini iyileştirdiği gözlenmiştir (Chan ve ark., 2008b). Biyokömür uygulamasının bitkinin verim tepkisi, bitkiden bitkiye göre değişmektedir. Genel olarak baklagiller, sebzeler ve otlara yapılan uygulamalarda daha olumlu tepkiler alınmaktadır. Verimdeki ortalama artış, baklagiller, sebzeler ve otlar için sırasıyla %30.3, 28.6 ve 13.9 ve mısır, buğday ve pirinç için sırasıyla %8.4, 11.3 ve 6.6 olmaktadır (Liu ve ark., 2013).



Şekil 4.161. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun kırmızı lahana verimine (kg da^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

4.2.3. Uygulamaların kırmızı biber verimi üzerine etkisi

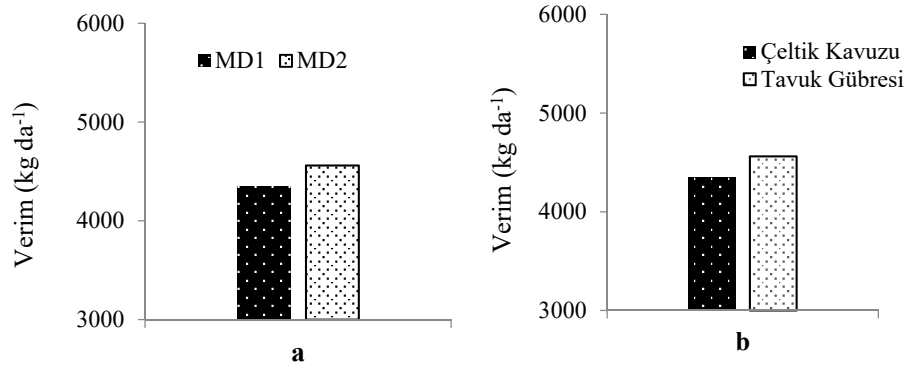
Günümüzde, hayvansal bazlı atıkların biyokömüre dönüştürülerek bitkisel verime olan tepkisi üzerinde çalışmalar olsa da özellikle çeltik kavuzundan üretilen biyokömürün agronomik etkileri hakkında araştırmalar yenidir. Kamboçya'daki çeltik verimliliği üzerindeki etkilerle ilgili yayınlanmış iki çalışma, %30 ile %40 arasında verim artışlarının 30 ila 41.5 Mg ha⁻¹ dozları arasında ile mümkün olduğunu göstermektedir (Shackley ve ark., 2012a; Sokchea ve ark., 2013). Çeltik kavuzu biyokömür sebze verimi üzerindeki etkileri henüz ya da sebze yetiştirmede uygulanan dozların yüksek uygulama oranlarının etkileri iyi bilinmemektedir. Önceki bazı araştırmalar, biyokömürün en büyük pozitif etkisinin 100 Mg ha⁻¹ 'lık bir uygulama oranında görüldüğünü (Sokchea ve ark., 2013) ve tropik ortamdaki topraklar üzerinde 140 Mg ha⁻¹'a kadar biyokömür uygulanmasının, kontrole göre daha iyi verim sağladığını göstermektedir (Lehmann ve ark., 2006). Öte yandan, bazı çalışmalar toprağa çok fazla biyokömür eklenirse kontrole göre verimin azaldığını göstermektedir (Asai ve ark., 2009; Hammond ve ark., 2013). Bu tez çalışmasının amaçlarından biri, toprak özelliklerindeki değişikliklerinin yanı sıra biyokömür ilavesinin kırmızı biber verimi üzerine olan etkisini test etmektir. Denemede bireysel faktörlerin kırmızı biber verimi üzerine etkisi istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Bireysel faktörlerin karşılıklı interaksiyonların kırmızı biber verimi üzerine etkisi de istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.32). Biyokömür öncesi ve sonrası işlemlerin yeşil biberin veriminde ve bazı kalite parametrelerinde iyileşmeye neden olabileceğini belirlemek için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulayan Chunxue ve ark. (2015), toprak ve çevresel kısıtlamaları karşılamak ve bitkilere yeterli besinleri sağlamak için spesifik formülasyonlar geliştirilebileceğinin altını çizmişlerdir.

Çizelge 4.32. Uygulamaların kırmızı biber verime (kg da⁻¹) etkisini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Münavebe Dönemi (MD)	1	831405.125	831405.125	18.170	0.051 ^{öd}
Biyokömür Çeşidi (BÇ)	1	850860.125	850860.125	1.652	0.268 ^{öd}
Biyokömür Dozu (BD)	5	1859580.569	371916.114	2.402	0.054 ^{öd}
MD*BÇ	1	416328.125	416328.125	0.808	0.419 ^{öd}
MD*BD	5	566768.792	113353.758	0.732	0.604 ^{öd}
BÇ*BD	5	581102.458	116220.492	0.751	0.591 ^{öd}
MD*BÇ*BD	5	566958.458	113391.692	0.732	0.604 ^{öd}

*: %5 hata düzeyinde önemlidir, **: %1 hata düzeyinde önemlidir, öd: Önemli değil; SD: Serbestlik derecesi

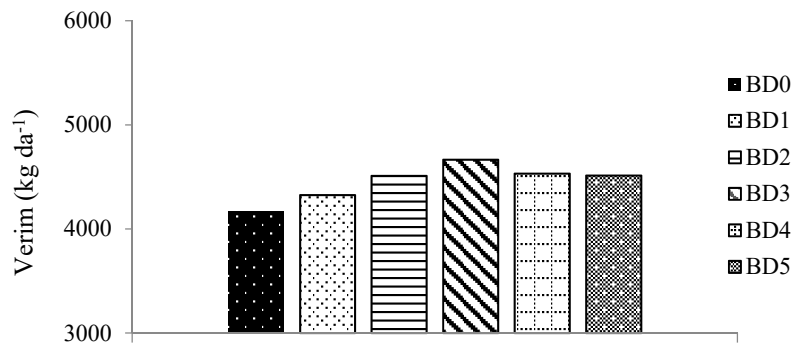
Münavebe dönemleri karşılaştırmasında uygulamaların münavebenin üçüncü bitkisi olan kırmızı biber verimine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmüştür ($p=0.051$) (Çizelge 4.32). Birinci münavebede kırmızı biber verimi 4345 kg da^{-1} iken ikinci münavebe döneminde verim 4560 kg da^{-1} olarak kayıt edilmiştir (Şekil 4.162). Akasya ağacından elde edilen biyokömür uygulamasına bağlı olarak verim artışı, mevsimlere göre gübrelemeden bağımsız olarak mısır için ortalama 1.2 Mg ha^{-1} ve soya fasulyesi için 0.4 Mg civarında olduğu bildirilmiştir (Kätterer ve ark., 2019). Biyokömür uygulamasına ilaveten mısıra mineral gübre uygulanması verimi 1.6 Mg ha^{-1} ve soya verimini 0.6 Mg ha^{-1} arttırmıştır. Toprağa biyokömür ilavesinin mısır ve soya fasulyesi verimi üzerindeki etkisi 10 yıllık bir süre boyunca devam ettiği bildirilmiştir (Kätterer ve ark., 2019). Çalışmamızda biyokömür çeşidi faktörü kırmızı biber verimi üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmadığı görülmüştür ($p=0.268$) (Çizelge 4.32). Tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında elde edilen kırmızı biber verimi (4561 kg da^{-1}) çeltik kavuzu biyokömürü uygulamasına (4344 kg da^{-1}) kıyasla bir miktar daha yüksektir (Şekil 4.162).



Şekil 4.162. Münavebe döneminin (a), Biyokömür çeşidinin (b) kırmızı biber verimine (kg da^{-1}) etkisi (MD1: Birinci münavebe dönemi, MD2: İkinci münavebe dönemi)

Biyokömür dozları kırmızı biber verimi üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır ($p=0.054$) (Çizelge 4.32). En yüksek ortalama verim BD3 uygulamasında iken (4665 kg da^{-1}) en düşük ortalama verim BD0 (4169 kg da^{-1}) uygulamasında elde edilmiştir (Şekil 4.163). Biyokömür ilavesi ile kırmızı biber veriminde kontrole kıyasla BD3 uygulamasında %11.9 artış olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar yüksek uygulama oranlarında biyokömürün kullanılmasının, toprakta C ve biber verimini arttırabileceğini ifade etmektedir. Chunxue ve ark. (2015), buğday samanının pirolizi (450°C) ile

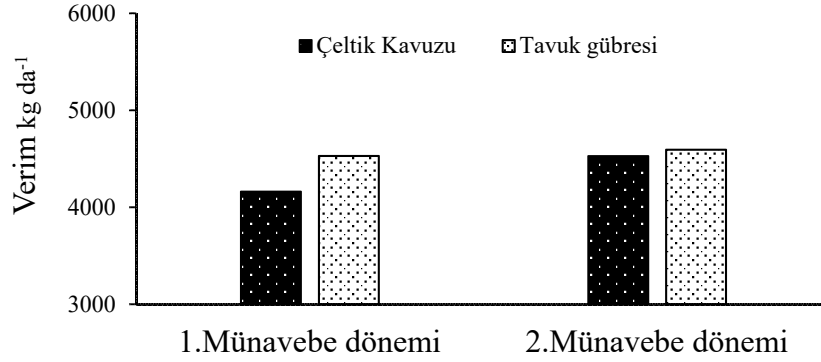
biyokütlenin ön işlemden geçirilmesi ve fosforik asit ve farklı kimyasal gübreler ile son işlemden geçirilerek, iki yeni geliştirilmiş biyokömür gübresinin yeşil biberin verimi ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek için modifiye etmişlerdir. İki yeni biyokömür geleneksel kimyasal gübreye (9.72 t ha^{-1}) kıyasla yeşil biber verimini ($11.33\text{-}11.47 \text{ t ha}^{-1}$) önemli ölçüde ($p<0.05$) arttırdığını rapor etmişlerdir. Bu çalışma, geleneksel kimyasal gübre kullanımına kıyasla, tüm biyokömür gübresi işlemlerinin yeşil biber verimini ve kalitesini önemli ölçüde arttırabildiğini göstermektedir.



Şekil 4.163. Biyokömür dozu uygulamalarının kırmızı biber verimine (kg da^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD5: 5 t da^{-1})

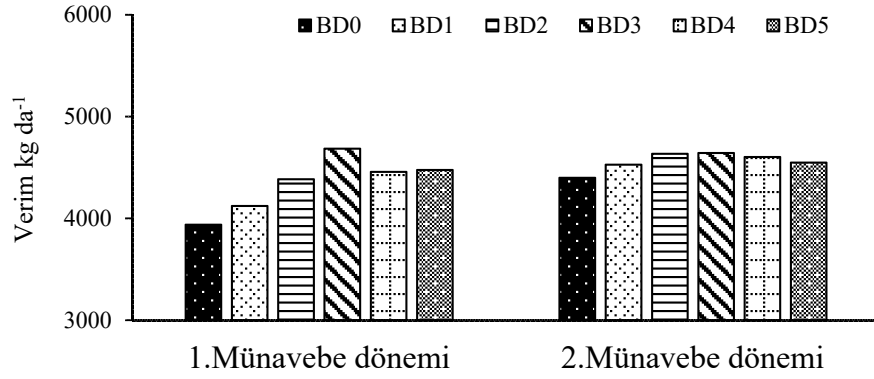
Kırmızı biber verimi üzerine MD x BÇ interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.419$) (Çizelge 4.32). En yüksek kırmızı biber verimi MD2 x tavuk gübresi interaksyonundan elde edilirken (4593 kg da^{-1}) en düşük ortalama kırmızı biber verimi MD1 x çeltik kavuzu interaksyonundan (4160 kg da^{-1}) elde edilmiştir (Şekil 4.164). Kumar ve ark. (2018b), kompostun yanı sıra, biber artığı ($350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ve okaliptüs budama atığını ($450 \text{ }^{\circ}\text{C}$) karıştırarak elde etkileri biyokömürü 1.3 kg m^{-2} uygulamışlardır. Biyokömür uygulamasının üç yıl boyunca biber meyvelerinin sayısında ve ağırlığında önemli bir artışla sonuçlandığını vurgulayan Kumar ve ark. (2018b), artan verim ile birlikte biyokömür, külleme (*Leveillula taurica*) hastalığı ve geniş akar (*Polyphagotarsonemus latus*) istilasının şiddetini önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir. Biyokömür ilaveleri, toprak organik maddesinin artmasına neden olduğunu, ancak pH, elektriksel iletkenliği veya toprak veya bitki mineral besinlerini etkilemediğini rapor etmişlerdir. Yapılan araştırmalar gösteriyor ki atık yönetimine bağlı olarak farklı materyallerden elde edilen biyokömür bazlı toprak yönetimi, test edilen

koşullar altında biber bitki gelişimini değiştirebilir, bu da ürün veriminin artmasına ve birkaç yıl boyunca hastalığa karşı bitki direncine neden olabilir.



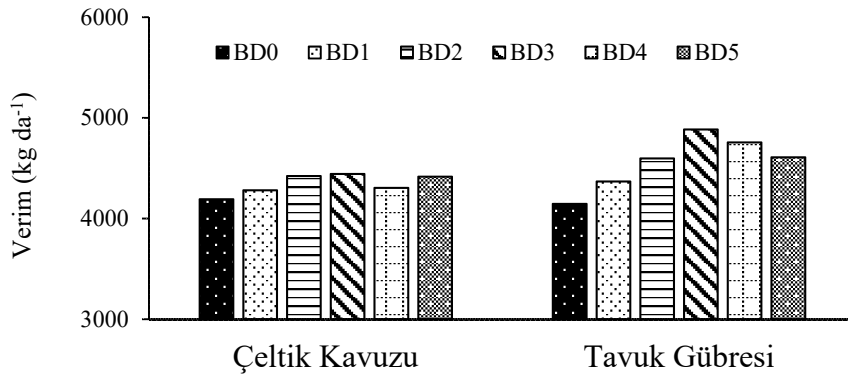
Şekil 4.164. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) interaksyonunun kırmızı biber verimine (kg da⁻¹) etkisi

Bu çalışmada kırmızı biber verimi üzerine MD x BD interaksyonunun etkisi istatistik olarak önemli bulunmamıştır ($p=0.604$) (Çizelge 4.32). En yüksek verim MD1 x BD3 (4687 kg da⁻¹) interaksyonundan elde edilirken, en düşük ortalama kırmızı biber verimi MD1 x BD0 (3939 kg da⁻¹) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.165). (Graber ve ark. (2010), narenciye budama atığından elde ettikleri biyokömürü %0, 1 ve 3 (w/w) dozlarında ilave etmişler ve biyokömür ilave edilmiş saksılarda biber bitkisi gelişimi, ilave edilmemiş kontrollere kıyasla önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, bitki başına toplam biber meyve verimi ve tek meyve ağırlığı incelediğinde %3 biyokömür doz uygulamasının kontrole ve %1 uygulamasına kıyasla önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir. Bitki büyümesi ve verimliliğinde gözlenen artışa ek olarak, biyokömür ilave edilmiş biber bitkilerinin rizosfer bölgesinde mikroorganizmaların popülasyonu daha fazla olduğunun altını çizmişlerdir. Biyokömürün kimyasal veya fiziksel özelliklerinden dolayı rizobakteri veya mantarları teşvik eden yararlı bitki büyümesini teşvik edici mikrobiyal popülasyonda artış olduğunu rapor etmişlerdir.



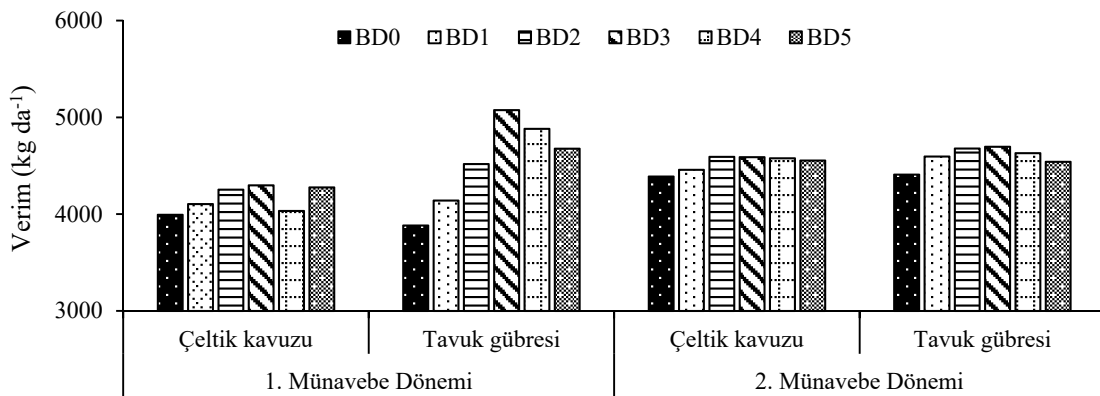
Şekil 4.165. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür dozu (BD) interaksyonunun kırmızı biber verimine (kg da^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

Biyokömürün ürün gelişimi ve verimi üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmaların çoğu toplam biyokütle analizine odaklanmıştır. Bununla birlikte, bitkinin büyümesi ve veriminin biyokömür ilavesinden nasıl etkilenebileceğini anlamak için, toprakaltı bitki özellikleri ile hidrokarbonlar gibi temel morfolojik ve fizyolojik bitki özelliklerinin de değerlendirilmesi gerektiği bildirilmiştir (Olmo ve ark., 2014). Biyokömürün bitki tepkisine katkısının altında yatan spesifik mekanizmalar iyi anlaşılmamıştır. İklim, toprak kimyası ve toprak durumu gibi bölgesel koşullar biyokömür agronomik faydalarını etkiler. Ek olarak, farklı biyokütle hammaddeleri yani hangi organik atıktan elde edildiği ve piroliz koşulları, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip biyokömürler oluşturur (Keiluweit ve ark., 2010) ve bitki tepkisini etkiler (Chan ve ark., 2008a; 2008b). Bu çalışmada kırmızı biber verimi üzerine BÇ x BD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır ($p=0.591$) (Çizelge 4.32). Buna göre en yüksek verim tavuk gübresi x BD3 uygulamasından elde edilirken (4887 kg da^{-1}) en düşük verim tavuk gübresi x BD0 (4147 kg da^{-1}) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.166).



Şekil 4.166. Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun kırmızı biber verimine (kg da^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

Kırmızı biber verimi üzerine MD x BÇ x BD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır ($p=0.604$) (Çizelge 4.32) Uygulamalar arasında en yüksek ortalama kırmızı biber verimi MD1 x tavuk gübresi x BD3 (5075 kg da^{-1}) interaksiyonundan elde edilirken, en küçük ortalama kırmızı biber verimi MD1 x tavuk gübre x BD0 (3884 kg da^{-1}) uygulamasında elde edilmiştir. Birçok çalışma biyokömürün ürün verimi üzerindeki uzun vadeli etkilerine odaklanmıştır (Major ve ark., 2010a; Vaccari ve ark., 2011; Jones ve ark., 2012). Oxisol bir toprakta yürütülen 4 yıllık bir tarla çalışmasında, 0, 8 ve 20 t ha^{-1} dozlarında biyokömür uygulanmıştır. İlk yıl içinde mısır tane veriminin önemli ölçüde artmadığı ancak, 20 t ha^{-1} uygulamasındaki verimin, sonraki 3 yıl boyunca sırasıyla kontrole göre %28, %30 ve %140 arttığını rapor etmişlerdir (Major ve ark., 2010a). Akdeniz bölgesinde buğday verimi üzerine yapılan bir başka çalışmada ise ardışık iki mevsimde 60 t ha^{-1} biyokömür uygulamasının ürün verimi üzerinde olumlu bir etki gösterdiği bildirilmiştir (Vaccari ve ark., 2011).



Şekil 4.167. Mönavebe dönemi (MD) x Biyokömür çeşidi (BÇ) x Biyokömür dozu (BD) interaksiyonunun kırmızı biber verimine (kg da^{-1}) etkisi ((Kontrol) BD0: 0 t da^{-1} , BD1: 1 t da^{-1} , BD2: 2 t da^{-1} , BD3: 3 t da^{-1} , BD4: 4 t da^{-1} , BD: 5 t da^{-1})

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bitkisel ve hayvansal üretim ile tarım ürünlerinin işlenmesi sonrası ortaya çıkan atıkların çevre kirliliğine neden olmadan katma değerli ürünlere dönüştürülmesi son derece önemlidir. Toprak sağlığının en önemli göstergelerinden bir olan organik madde miktarının artması için potansiyel bir girdi olan bu atıkların geri kazanımı, toprak üretkenliğinin sürdürülebilirliğinin sağlanması adına son derece önemlidir. Bitkisel ve hayvansal kökenli biyokütlenin pirolizi ile ayrışması çok daha uzun zaman alan karbon bakımından zengin materyallere dönüştürülmesi ile elde edilen biyokömür, son yıllarda tarımsal atıkların değerlendirilmesi, toprak kalitesinin iyileştirilmesi ve karbonun toprakta uzun süreli depolanması bakımından araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Gözenekli yapısı ve son derece yüksek yüzey alanı ile toprak için önemli bir düzenleyici olduğuna inanılan biyokömür ile ilgili çalışmalar alkali karakteri nedeni ile çoğunlukla asit karakterli topraklarda yoğunlaşmıştır. Buna ilaveten su tutma kapasitesi ve katyon değişim kapasitesinin yüksek olması nedeni ile etkisi daha hızlı görüldüğünden araştırmalarda çoğunlukla kum içeriği yüksek toprakların tercih edildiği görülmektedir. Çoğunlukla hafif ve orta alkali toprakların yer aldığı ülkemizde ise biyokömür ile ilgili çalışmalar öncelikle kısa süreli sera çalışmaları şeklinde başlamış, dünyanın birçok yerinde olduğu gibi tarla uygulamaları sınırlı kalmıştır.

Orta Karadeniz Bölgesi, iklimi, su kaynakları ve verimli toprakları ile tarımsal üretim açısından oldukça büyük bir potansiyele sahiptir. Yoğun tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği Bafra ve Çarşamba ovalarının yer aldığı bölgede, yaygın bir şekilde yumurta tavukçuluğu ve çeltik tarımı yapılmakta ve her yıl önemli miktarda tavuk gübresi ve çeltik kavuzu atığı ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar çoğunlukla yakılarak veya uygun olmayan koşullarda depolanarak ortadan kaldırıldığından önemli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Tez kapsamında, bölgedeki iki önemli tarımsal atığın pirolizi ile elde edilen biyokömürün, Bafra ovasında üreticilerin tercih ettiği kışlık buğday, kırmızı lahana ve kırmızı biber münavebe sisteminde; bitkilerin verimi ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Dört yıl devam eden çalışmada iki münavebe döneminde, çeltik kavuzu ve tavuk gübresi biyokömürlerinin 6 farklı dozu deneme başlangıcında tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre

uygulanmıştır. Deneme süresince bitkilerin besin alım etkinlikleri ve verimleri ile deneme başlangıcında ve bitiminde toprak örnekleri alınarak çeşitli toprak kalitesi göstergesi olan özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Deneme kil içeriği yüksek olan bir arazide kurulmuştur. Kil içeriği yüksek topraklarda sıkışma bitki kök gelişimini sınırlandıran önemli bir sorundur. Biyokömür yüksek gözenekli bir yapıya sahip olmasından ötürü sıkışmanın önemli bir göstergesi olan hacim ağırlığında azalmaya ve bununla beraber toplam gözeneklilikte artışa neden olmuştur. En düşük hacim ağırlığı (1.27 g cm^{-3}) ve en yüksek toplam gözeneklilik (%52.13) değerleri ilk münavebe döneminde çeltik kavuzunun 5 ton da^{-1} uygulamasında elde edilmiştir.

2. Biyokömür uygulamaları toprağın tarla kapasitesi ve solma noktası nem içerikleri üzerine olumlu etkisinden dolayı toprağın yarayışlı su içeriğinde de artışa neden olmuştur. Yarayışlı su içeriğinin artışı özellikle yağışa bağlı üretimin yapıldığı sulu tarım alanlarda önemli bir etkinlik sağlama potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Toprağın tutabileceği yarayışlı su miktarında artışa neden olması, sulamanın yapıldığı sulu tarım üretim sistemlerinde, sulama aralığının artmasına neden olacaktır. Bu bağlamda, biyokömür uygulamasının toprağın bir kısım fiziksel özelliklerini iyileştirdiği ve bitki gelişimi için uygun koşullar yarattığı düşünülmektedir.

3. Bitkisel ve hayvansal kökenli biyokömürlerin her ikisi de, toprağın karbon içeriğinde önemli bir artışa neden olmuştur. Biyokömür dozu artış miktarına göre en yüksek karbon (%2.85) konsantrasyonu ilk münavebe döneminde çeltik kavuzunun 5 ton da^{-1} uygulamasında elde edilmiştir. Toprakta karbonun uzun süreli depolanması bakımından biyokömür uygulamasının yaygınlaştırılması, atmosferdeki önemli bir sera gazı olan CO_2 'nin toprak kaynaklı salınımının azaltılmasına olumlu etki yapacaktır. Bu çalışmada test edilmemiş olsa da, biyokömür uygulamalarının topraktan salınacak metan ve çeşitli azot gazlarının da salınımını azaltabileceği düşünüldüğünde, küresel ısınmasının azaltılmasında önemli bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır.

4. Biyokömür dozu artışı toprağın potasyum konsantrasyonun önemli düzeyde artışına neden olmuştur. En düşük ortalama potasyum konsantrasyonu (283 mg kg^{-1}) ilk münavebe döneminde çeltik kavuzu kontrol ve 1 ton da^{-1} uygulamasında elde edilirken, en yüksek ortalama potasyum konsantrasyonu (628 mg kg^{-1}) ilk münavebe döneminde tavuk gübresi biyokömürünün 5 ton da^{-1} uygulamasında elde edilmiştir. Bir gübre olarak düşünülmemesine rağmen özellikle tavuk gübresi biyokömürünün yüksek potasyum konsantrasyonu nedeniyle, potasyum noksanlığı görülen özellikle kum içeriği yüksek topraklarda önemli bir potasyum kaynağı olacaktır.

5. Biyokömür uygulama dozu artışı ile toprakta Fe konsantrasyonu azalmıştır. En yüksek ortalama Fe konsantrasyonu (17.75 mg kg^{-1}) ikinci münavebe döneminde tavuk gübresi biyokömürünün kontrol uygulamasında elde edilirken, en düşük ortalama Fe konsantrasyonu (9.06 mg kg^{-1}) ise ilk münavebe döneminde çeltik kavuzu biyokömürünün 5 ton da^{-1} uygulamasında elde edilmiştir. Demir konsantrasyonun azalması, demirin biyokömür yüzeyinde adsorpsiyonu ile yakından ilişkilidir.

6. Her iki biyokömür çeşidi uygulaması da toprak solunumu, mikrobiyal biyokütle ve betaglikosidaz enzim aktivitesi üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır. Biyokütle miktarının artmasına ve betaglikosidaz enzim aktivitesinin ise azalmasına neden olan biyokömür uygulamaları, toprakta organik maddenin ayrışma hızının yavaşlamasına katkı sağlamıştır.

7. Hayvansal ve bitkisel kökenli her iki biyokömür çeşidinin de rotasyondaki bitkilerin besin elementleri alımına ve verimi üzerinde olumlu bir etkisi olmamıştır. Biyokömür uygulamalarının toprakların fiziksel özellikleri üzerine olumlu etkisinin yanında kimyasal özelliklere etkisinin sınırlı olması ve besin elementi alımı ile verim üzerine etkisinin önemsiz olması biyokömürün gübre benzeri bir ürün olmadığını ancak etkisi uzun sürecek önemli bir katkı maddesi olduğunu ortaya koymaktadır. Tarımsal üretim ve ürünlerin işlenmesi sonrası ortaya çıkan atıkların güvenli bir şekilde geri kazanımını sağlayan biyokömür, toprakların kalitesinin iyileşmesine olan olumlu etkisi, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması adına son derece önemlidir. Toprak kalitesinin iyileşmesinin tarımsal üretim üzerine olumlu etkisi zamanla artarak devam edecektir.

8. Rotasyonda bulunan 3 üründe de çeltik kavuzu biyokömür uygulamalarında verimler kontrole kıyasla istatistiksel olarak önemsiz de olsa yüksektir. İkinci münavebe döneminde de verimin yüksek olması, uygulamaların artık etkisinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu durum, toprağın su tutma kapasitesinin ve göznekliliğinin artışının yanında, hacim ağırlığının azalması ile de ilişkili olabilir. Aynı zamanda toprağa uygulanan biyokömür besin elementlerinin yarayışlılığını ve uygulanan gübrelerin etkinliklerini arttırması da verim artışlarında etkili olduğu düşünülmektedir. Doz artışına bağlı olarak rotasyondaki ürünlerin verimleri istatistiksel olarak önemli düzeyde değişmiş olmasa da çeltik kavuzu biyokömüründe her iki dönemde de en yüksek buğday verimi 4 ton da^{-1} uygulamasında ortalama 800 ve 732 kg/da olarak elde edilmiştir. Bu uygulamadaki buğday verimi kontrole kıyasla sırası ile %5.4 ve 3.7 daha yüksektir. Çeltik kavuzu biyokömürü dozları kırmızı lahanaya veriminin de artışına neden olmuş ve en yüksek verim ilk dönem 5 ton da^{-1} ikinci dönem ise 3 ton da^{-1} uygulamasında elde edilmiştir. Bu artışlar kontrole kıyasla sırası ile %15.7 ve %12.8 daha yüksektir. Çeltik kavuzu biyokömürü her iki dönemde de kırmızı biber verimini kontrole kıyasla arttırmış, en yüksek verimler her iki dönemde de 3 ton da^{-1} uygulamasında ortalama 4298 ve 4590 kg/da (ikinci münavebe döneminde 2 ton da^{-1} uygulamada verim ortalama 4592 kg/da) olarak elde edilmiştir. Bu verim artışları da kontrole kıyasla %7.6 ve 4.6 daha yüksektir.

9. Çeltik kavuzuna benzer şekilde, hayvansal kaynaklı bir biyokömür olan tavuk gübresi biyokömürü uygulamalarında da rotasyondaki ürünlerin verimleri kontrole kıyasla istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte yükselmiştir. Daha düşük C/N oranı ve daha yüksek besin elementi içeriği nedeniyle özellikle tavuk gübresi biyokömürü uygulamasında buğday ve kırmızı biber verimleri çeltik biyokömüründen daha yüksek olmuştur. Tavuk gübresi biyokömürünün 3 ton da^{-1} uygulamasında ortalama kırmızı biber verimi kontrole kıyasla %30.7 daha yüksek olmuştur, aynı uygulamada ikinci yıl kontrole kıyasla %6.6 daha yüksek biber verimi elde edilmiştir. Buğday veriminde de kırmızı bibere benzer şekilde her iki münavebe döneminde de 3 ton da^{-1} uygulaması yaklaşık en yüksek buğday veriminin aldığı doz olarak öne çıkmıştır. Kırmızı lahanada da ilk dönem en yüksek verim 3 ton da^{-1} uygulamasında elde edilirken, ikinci dönem 4 ton da^{-1} uygulaması öne çıkmıştır. Çeltik kavuzunda olduğu gibi tavuk gübresi biyokömürü

uygulamalarında da verimin kontrole kıyasla daha yüksek olması, atık etkinin önemli olduğunu göstermektedir.

10. Biyokömürün parçalanmaya karşı dirençli olması nedeni ile toprak özellikleri üzerine olumlu katkısının uzun yıllar devam etmesi beklenmektedir. Bu araştırmaya dayanarak tarımsal üretim sonrası açığa çıkan atıkların değerlendirilerek çevreye olumlu katkı yapacak materyallere dönüştürülmesinin mümkün olduğu söylenebilir.

11. Biyokömürün toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkisinin uygulanan toprağın özellikleri, uygulama yapılan alanın iklim koşulları ve uygulanan biyokömürün üretildiği hammadde, üretim esnasındaki piroliz koşulları ve uygulama tekniği (parçacık büyüklüğü, uygulama derinliği ve dozu) gibi diğer belirleyici faktörlere bağlı olduğu unutulmamalıdır.

12. Bu çalışmada denemenin kurulduğu alanın toprak tekstürünün kil içeriğinin yüksek olması, biyokömürün etkisinin beklenenden daha zayıf olmasına yol açtığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, özellikle kaba tekstürlü toprakların zayıf olan su tutma kapasitesi, agregat stabilitesi ve yüksek infiltrasyon ve hidrolik iletkenlik gibi fiziksel koşullarına olumlu etkisi ile öne çıkan biyokömürün, killi topraklarda da fiziksel özellikler üzerine olumlu etki yapabileceği anlaşılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Abdullah, H., Mediaswanti, K. A., Wu, H., 2010. Biochar as a fuel: 2. Significant differences in fuel quality and ash properties of biochars from various biomass components of Mallee trees. *Energy & Fuels*, 24(3), 1972-1979.
- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., Wessolek, G., 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, (202), 183-191.
- Abiven S., Hund A., Martinsen V., Cornelissen G., 2015 Biochar amendment increases maize root surface areas and branching: a shovelomics study in Zambia. *Plant Soil* 395(1), 11
- Abu Zied Amin, A. E. E., 2016. Impact of corn cob biochar on potassium status and wheat growth in a calcareous sandy soil. *Communications In Soil Science And Plant Analysis*, 47(17), 2026-2033.
- Abujabhah, 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.
- Acosta-Martinez, V. & Tabatabai, M. A., 2000. Enzyme activities in a limed agricultural soil. *Biology and Fertility of Soils*, 31(1), 85-91.
- Adejumo, S. A., Owolabi, M. O., Odesola, I. F., 2016. Agro-physiologic effects of compost and biochar produced at different temperatures on growth, photosynthetic pigment and micronutrients uptake of maize crop. *African Journal Of Agricultural Research*, 11(8), 661-673.
- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Rehman, M.Z., Irshad, K.M., Bharwana, S. A., 2015. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(11), 8148-8162.
- Agblevor, F. A. & Besler, S., 1996. Inorganic compounds in biomass feedstocks. 1. Effect on the quality of fast pyrolysis oils. *Energy & Fuels*, 10(2), 293-298.
- Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., Muirhead, B., Wright, G., Bird, M. I., 2015. Biochar and biochar-compost as soil amendments: effects on peanut yield, soil

- properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213, 72-85.
- Agegnehu, G., Srivastava, A. K., Bird, M. I., 2017. The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, 119, 156-170.
- Agyarko-Mintah, E., Cowie, A., Van Zwieten, L., Singh, B. P., Smillie, R., Harden, S., Fornasier, F., 2017. Biochar lowers ammonia emission and improves nitrogen retention in poultry litter composting. *Waste Management*, 61, 129-137.
- Ahmad, M., Lee, S. S., Yang, J. E., Ro, H. M., Lee, Y. H., Ok, Y. S., 2012b. Effects of soil dilution and amendments (Mussel shell, cow bone, and biochar) On Pb availability and phytotoxicity in military shooting range soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 79, 225-231.
- Ahmad, M., Lee, S.S., Dou, X., Mohan, D., Sung, J., Yang, J.E., Ok, Y.S., 2012a. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover- and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. *Bioresour. Technol.* 118, 536–544.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., ... & Ok, Y. S., 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, 99, 19-33.
- Ahmad, N., Imran, M., Marral, M. R., Mubashir, M., Butt, B., 2016. Influence of biochar on soil quality and yield related attributes of wheat (*Triticum Aestivum* L.). *J. Environ. Agric. Sci*, 7, 68-72.
- Ahmed, H. P., & Schoenau, J. J., 2015. Effects of biochar on yield, nutrient recovery, and soil properties in a canola (*Brassica napus* L.)-wheat (*Triticum aestivum* L.) rotation grown under controlled environmental conditions. *BioEnergy Research*, 8(3), 1183-1196.
- Akça, M.O. & Namlı, A., 2015. Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper, and lettuce plants growth. *Eurasian J. of Soil Sci.* 4 (3):161-168.
- Akhtar, S. S., Li, G., Andersen, M. N., & Liu, F., 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*, 138, 37-44.

- Al Marzooqi, F. & Yousef, L. F., 2017. Biological response of a sandy soil treated with biochar derived from a halophyte (*Salicornia Bigelovii*). *Applied Soil Ecology*, 114, 9-15.
- Albuquerque, J. A., Calero, J. M., Barrón, V., Torrent, J., Del Campillo, M. C., Gallardo, A., Villar, R., 2014. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower. Growth. *Journal of Plant Nutrition And Soil Science*, 177(1), 16-25.
- Alef, K. & Nannipieri, P., 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press. 576 s, Eastbourne., UK.
- Alghamdi, A. G., 2018. Biochar as a potential soil additive for improving soil physical properties—A review. *Arabian journal of Geosciences*, 11(24), 766.
- Alhashimi, H. A. & Aktas, C. B., 2017. Life cycle environmental and economic performance of biochar compared with activated carbon: A meta-analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 118, 13-26.
- Allen, D. E., Singh, B. P., Dalal, R. C., 2011. Soil health indicators under climate change: A review of current knowledge. In *soil health and climate change*, Allen, D. E., Singh, B. P., Dalal, R. C., Springer, Berlin, Heidelberg, 25-45.
- Ameloot, N., Sleutel, S., Case, S. D., Alberti, G., Mcnamara, N. P., Zavalloni, C., Vervisch, B., Vedove, G.D., De Neve, S., 2014. C mineralization and microbial activity in four biochar field experiments several years after incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 78, 195-203.
- Anderson, J. P. E. & Domsch, K. H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10(3), 215-221.
- Anderson, J.P.E., 1982. Soil respiration., In Page, R.H., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* american society of agronomy, Madison, Pp. 837-871.
- Anonim, 1970. Bafra Projesi. Bafra ovası detaylı arazi tasnif ve drenaj raporu. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (14.09.2014)
- Anonim, 2012a. International Biochar Initiative (IBI). <http://www.biochar-international.org/> (01.05.2020)

- Anonim, 2012b. European Biochar Certificate (EBC) Guidelines for A Sustainable Production of Biochar. European Biochar Foundation, Arbaz, Switzerland. (04.05.2019)
- Anonim, 2019. Devlet Meteoroloji istasyon verileri. 04.12.2019
- Arjumend, T., 2019. Synergistic effects of biochar and halotolerant on wheat growth and their potential to reclaim saline-sodic. Soil. (Doktora Tezi), Yeditepe Üniversitesi, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
- Arthur, E., Tuller, M., Moldrup, P., De Jonge, L. W., 2015. Effects of biochar and manure amendments on water vapor sorption in a sandy loam soil. *Geoderma*, 243, 175-182.
- Artiola, J. F., Rasmussen, C., & Freitas, R., 2012. Effects of a biochar-amended alkaline soil on the growth of romaine lettuce and bermudagrass. *Soil Science*, 177(9), 561-570.
- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., ... Horie, T., 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1-2), 81-84.
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., Hipps, N. A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant and Soil*, 337(1-2), 1-18.
- Awad, Y. M., Blagodatskaya, E., Ok, Y. S. and Kuzyakov, Y., 2012. Effects of polyacrylamide, biopolymer, and biochar on decomposition of soil organic matter and plant residues as determined by ¹⁴C and enzyme activities. *European Journal of Soil Biology*, 48, 1-10.
- Ayodele, A., Oguntunde, P., Joseph, A., Dias Junior, M. D. S., 2009. Numerical analysis of the impact of charcoal production on soil hydrological behavior, runoff response and erosion susceptibility. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(1), 137-146.
- Azargohar, R. & Dalai, A. K., 2008. Steam and KOH activation of biochar: Experimental and modeling studies. *Microporous and Mesoporous Materials*, 110(2-3), 413-421.

- Badri, D. V., Weir, T. L., Van der Lelie, D., Vivanco, J. M., 2009. Rhizosphere chemical dialogues: Plant–microbe interactions. *Current Opinion in Biotechnology*, 20(6), 642-650.
- Bailey, V. L., Fansler, S. J., Smith, J. L., Bolton Jr, H., 2011. Reconciling apparent variability in effects of biochar amendment on soil enzyme activities by assay optimization. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(2), 296-301.
- Bakshi, S., He, Z. L. and Harris, W. G., 2014. Biochar amendment affects leaching potential of copper and nutrient release behavior in contaminated sandy soils. *Journal of Environmental Quality*, 43(6), 1894-1902.
- Baldock, J. A., & Smernik, R. J., 2002. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry*, 33(9), 1093-1109.
- Balota, E. L., & Auler, P. A. M., 2011. Soil microbial biomass under different management and tillage systems of permanent intercropped cover species in an orange orchard. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(6), 1873-1883.
- Bandick, A. K. & Dick, R. P., 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(11), 1471-1479.
- Banerjee, A., Sanyal, S., Sen, S., 2012. Soil phosphatase activity of agricultural land: A possible index of soil fertility. *Agricultural Science Research Journals*, 2(7), 412-419.
- Banks, S. W., Nowakowski, D. J., Bridgwater, A. V., 2016. Impact of potassium and phosphorus in biomass on the properties of fast pyrolysis bio-oil. *Energy & Fuels*, 30(10), 8009-8018.
- Basso, A. S., Miguez, F. E., Laird, D. A., Horton, R., Westgate, M., 2013. Assessing potential of biochar for increasing water holding capacity of sandy soils. *Gcb Bioenergy*, 5(2), 132-143.
- Beesley, L. & Marmiroli, M., 2011. The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. *Environmental Pollution*, 159(2), 474-480.
- Bei yuan, J., Awad, Y.M., Beckers, F., Tsang, D.C.W., Ok, Y.S. & Rinklebe, J., 2017. Mobility and phytoavailability of as and Pb in a contaminated soil using pine sawdust biochar under systematic change of redox conditions. *Chemosphere* 178, 110–118.

- Benavente, I., Gascó, G., Plaza, C., Paz-Ferreiro, J. and Méndez, A., 2018. Choice of pyrolysis parameters for urban wastes affects soil enzymes and plant germination in a mediterranean soil. *Science of the Total Environment*, 634, 1308-1314.
- Bera, T., Collins, H. P., Alva, A. K., Purakayastha, T. J., Patra, A. K., 2016. Biochar and manure effluent effects on soil biochemical properties under corn production. *Applied Soil Ecology*, 107, 360-367.
- Berglund, L. M., Deluca, T. H., Zackrisson, O., 2004. Activated carbon amendments to soil alters nitrification rates in scots pine forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(12), 2067-2073.
- Bhaduri, D., Saha, A., Desai, D., Meena, H. N., 2016. Restoration of carbon and microbial activity in salt-induced soil by application of peanut shell biochar during short-term incubation study. *Chemosphere*, 148, 86-98.
- Bhattacharjya, S., Chandra, R., Pareek, N., Raverkar, K. P., 2016. Biochar and crop residue application to soil: Effect on soil biochemical properties, nutrient availability and yield of rice (*Oryza sativa* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(8), 1095-1108.
- Bhogal, A., Nicholson, F.A., Chambers, B.J., 2009. Organic carbon additions: effects on soil bio-physical and physico-chemical properties. *European Journal of Soil Science* 60 (2), 276–286.
- Biederman, L. A. & Harpole, W. S., 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta analysis. *GCB Bioenergy*, 5(2), 202-214.
- Bilgili, A.,V., Aydemir S., Altun, O., Saygan, E.,P., Yalçın, H., 2019. Impacts of pre - and post- application on soil quality in field conditions. 10. International Soil Congress. 17-19 June, 2019, Ankara, Turkey P:165-170
- Blackwell, P., Joseph, S., Munroe, P., Anawar, H. M., Storer, P., Gilkes, R. J., Solaiman, Z. M., 2015. Influences of biochar and biochar-mineral complex on mycorrhizal colonisation and nutrition of wheat and sorghum. *Pedosphere*, 25(5), 686-695.
- Blackwell, P., Krull, E., Butler, G., Herbert, A., Solaiman, Z., 2010. Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertiliser use in South-Western Australia: An agronomic and economic perspective. *Soil Research*, 48(7), 531-545.

- Blake G.R. Hartge, K.H., 1986. Bulk Density. In: Klute A Ed. *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd Ed. Agronomy monograph, No. 9. ASA and SSSA, Madison, Wi. Pp. 363-375.
- Blakeley, R. L., Webb, E. C., Zerner, B., 1969. Jack bean urease (EC 3.5. 1.5). A new purification and reliable rate assay. *Biochemistry*, 8(5), 1984-1990.
- Błońska, E. and Lasota, J., 2014. Biological and biochemical properties in evaluation of forest soil quality. *Folia Forestalia Polonica*, 56(1), 23-29.
- Bossuyt, H., Denef, K., Six, J., Frey, S. D., Merckx, R., Paustian, K., 2001. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Applied Soil Ecology*, 16(3), 195-208.
- Bravin, M. N., Garnier, C., Lenoble, V., Gérard, F., Dudal, Y., Hinsinger, P., 2012. Root-induced changes in pH and dissolved organic matter binding capacity affect copper dynamic speciation in the rhizosphere. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 84, 256-268.
- Bremner, J. M., 1965. Total nitrogen. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 1149-1178.
- Brewer, C. E., Unger, R., Schmidt-Rohr, K., Brown, R. C., 2011. Criteria to select biochars for field studies based on biochar chemical properties. *Bioenergy Research*, 4(4), 312-323.
- Bridgwater, A. V., 1994. Catalysis in thermal biomass conversion. *Applied Catalysis A: General*, 116(1-2), 5-47.
- Brockhoff, S. R., Christians, N. E., Killorn, R. J., Horton, R., Davis, D. D., 2010. Physical and mineral-nutrition properties of sand-based turfgrass root zones amended with biochar. *Agronomy Journal*, 102(6), 1627-1631.
- Bruun, E. W., Petersen, C., Nielsen, H., Strobel, B. W., 2011. Biochar mobility and effects on nitrogen leaching in repacked sandy soil. *Am. J. Soil Sci*, 93-108.
- Burns R.G., 1978. Enzyme Activity In Soil: some theoretical and practical considerations. In: Burns Rg (Ed) *Soil enzymes*. Academic, London, s. 295–340
- Burns, R. G., 1982. Enzyme activity in soil: Location and a possible role in microbial ecology. *Soil biology and biochemistry*, 14(5), 423-427.
- Burns, R. G., Deforest, J. L., Marxsen, J., Sinsabaugh, R. L., Stromberger, M. E., Wallenstein, M. D., Weintraub M., N., Zoppini, A., 2013. Soil enzymes in a

- changing environment: Current knowledge and future directions. *Soil Biology and Biochemistry*, 58, 216-234.
- Burrell D.L., Zehetner F., Rampazzo N., Wimmer B., Soja G., 2016. Longterm effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma* 282: 96–102
- Butnan, S., Deenik, J. L., Toomsan, B., Antal, M. J., Vityakon, P., 2015. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. *Geoderma*, 237, 105-116.
- Cantrell, K.B., Hunt, P.G., Uchimiya, M., Novak, J.M., Ro, K.S., 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresour. Technol.* 107, 419–428.
- Cao, X., Ro, K. S., Chappell, M., Li, Y., Mao, J., 2011. Chemical structures of swine-manure chars produced under different carbonization conditions investigated by advanced solid-state ¹³C nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. *Energy & Fuels*, 25(1), 388-397.
- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. B., Haefele, S., 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3(2), 404-418.
- Case, S. D., Mcnamara, N. P., Reay, D. S., Whitaker, J., 2012. The effect of biochar addition on N₂O and CO₂ emissions from a sandy loam soil the role of soil aeration. *Soil Biology and Biochemistry*, 51, 125-134.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S., 2008a. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), 437-444.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S., 2008b. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, 45(8), 629-634.
- Chen, H. X., Du, Z. L., Guo, W., Zhang, Q. Z., 2011. Effects of amendment on cropland soil bulk density, cation exchange capacity, and particulate organic matter content in the north china plain. *The Journal of Applied Ecology*, 22(11), 2930-2934.
- Chen, J., Li, S., Liang, C., Xu, Q., Li, Y., Qin, H., Fuhrmann, J. J., 2017. Response of microbial community structure and function to short-term biochar amendment in an intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) plantation soil: Effect of particle size and addition rate. *Science of the Total Environment*, 574, 24-33.

- Chen, J., Liu, X., Zheng, J., Zhang, B., Lu, H., Chi, Z., Pan, G., Li, L., Zhneg, J., Zhang, X Wang, J. Yu X., 2013. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. *Applied Soil Ecology*, 71, 33-44.
- Chen, Y., Shionogi, Y., Taira, M., 2010. Influence of use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality. *Soil Research*, 48(7): 526-530.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., 2009. Ageing of black carbon along a temperature gradient. *Chemosphere*, 75(8), 1021-1027.
- Cheng, C. H., Lin, T. P., Lehmann, J., Fang, L. J., Yang, Y. W., Menyailo, O. V., Chang K.H., Lai, J. S., 2014. Sorption properties for black carbon (Wood char) after long term exposure in soils. *Organic Geochemistry*, 70, 53-61.
- Chintala R, Mollinedo J, Schumacher T.,E., Papiernik Sk, Malo D., D, Clay D., E, Kumar S, Gulbrandson D.,W., 2013. Nitrate sorption and desorption in biochars from fast pyrolysis. *Micropor Mesopor Mat.* 179:250–257.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., Julson, J. L., 2014b. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(3), 393-404.
- Chintala, R., Schumacher, T. E., Kumar, S., Malo, D. D., Rice, J. A., Bleakley, B., Chilom, G., Clay. D., Julson, J., Papiernik, Sk., Gu, Z. R., 2014c. Molecular characterization of biochars and their influence on microbiological properties of soil. *Journal of Hazardous Materials*, 279, 244-256.
- Chintala, R., Schumacher, T. E., McDonald, L. M., Clay, D. E., Malo, D. D., Papiernik, S. K., ... Julson, J. L., 2014a. Phosphorus Sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 42(5), 626-634.
- Chirenje, T. & Ma, L. Q., 2002. Impact of high-volume wood-fired boiler ash amendment on soil properties and nutrients. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(1-2), 1-17.
- Choudhary, M., Bailey, L. D., Grant, C. A., 1996. Review of the use of swine manure in crop production: Effects on yield and composition and on soil and water quality. *Waste Management & Research*, 14(6), 581-595.
- Chunxue, Y. A. O., Joseph, S., Lianqing, L. I., Genxing, P. A. N., Yun, L. I. N., Munroe, P., Pace, B., Tahermymoosavi, S., Van Zwieten, L., Thomas, T., Nielsen, S., Ye,

- J., Donne S., 2015. Developing more effective enhanced biochar fertilisers for improvement of pepper yield and quality. *Pedosphere*, 25(5), 703-712.
- Clough, T. J., Condon, L. M., Kammann, C., Müller, C., 2013. A review of biochar and soil nitrogen dynamics. *Agronomy*, 3(2), 275-293.
- Condon, L. M., Turner, B. L., & Cade-Menun, B. J., 2005. Chemistry and dynamics of soil organic phosphorus. *Phosphorus: Agriculture and The Environment*, 46, 87-121.
- Coomes, O. T. & Miltner, B. C., 2017. Indigenous charcoal and biochar production: potential for soil improvement under shifting cultivation systems. *Land Degradation & Development*, 28(3), 811-821.
- Corstanje, R., Schulin, R., Lark, R. M., 2007. Scale dependent relationships between soil organic carbon and urease activity. *European Journal of Soil Science*, 58(5), 1087-1095.
- Crane-Droesch, A., Abiven, S., Jeffery, S., Torn, M. S., 2013. Heterogeneous global crop yield response to biochar: a meta-regression analysis. *Environmental Research Letters*, 8(4), 044049.
- Crecchio, C., Curci, M., Pizzigallo, M. D., Ricciuti, P., Ruggiero, P., 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(10), 1595-1605.
- Cross, A., & Sohi, S. P., 2011. The priming potential of biochar products in relation to labile carbon contents and soil organic matter status. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(10), 2127-2134.
- Cui, H. J., Wang, M. K., Fu, M. L., Ci, E., 2011a. Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-derived biochar. *Journal of Soils and Sediments*, 11(7), 1135.
- Cui, L., Li, L., Zhang, A., Pan, G., Bao, D., Chang, A., 2011b. Biochar amendment greatly reduces rice Cd uptake in a contaminated paddy soil: A two-year field experiment. *Bioresources*, 6(3), 2605-2618.
- Dai, X., Boutton, T. W., Glaser, B., Ansley, R. J., Zech, W., 2005. Black carbon in a temperate mixed-grass savanna. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(10), 1879-1881.

- Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P. C., Xu, J., 2017. Potential role of biochars in decreasing soil acidification-A critical review. *Science of the Total Environment*, 581, 601-611.
- Danielson, R.E. and Sutherland, P.L., 1986. Porosity. *Methods of soil analysis. Part i. Physical and mineralogical methods*, Ed Klute, A., Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 443-461
- Das, S. K. and Varma, A., 2010. Role of enzymes in maintaining soil health. In *Soil enzymology* (P. 25-42). Springer, Berlin, Heidelberg.
- De Figueiredo, C. C., Chagas, J. K. M., Da Silva, J., Paz-Ferreiro, J., 2019. Short-term effects of a sewage sludge biochar amendment on total and available heavy metal content of a tropical soil. *Geoderma*, 344, 31-39.
- Deenik, J. L., McClellan, T., Uehara, G., Antal, M. J., & Campbell, S., 2010. Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations. *Soil Science Society of America Journal*, 74(4), 1259-1270.
- DeGroot, W. F., Osterheld, T. H., & Richards, G. N., 1991. Chemisorption of oxygen and of nitric oxide on cellulosic chars. *Carbon*, 29(2), 185-195.
- Delgado, M., Rodríguez, C., Martín, J. V., de Imperial, R. M., & Alonso, F., 2012. Environmental assay on the effect of poultry manure application on soil organisms in agroecosystems. *Science of The Total Environment*, 416, 532-535.
- DeLuca, T. H., MacKenzie, M. D., Gundale, M. J., & Holben, W. E., 2006. Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 448-453.
- Demisie, W., Liu, Z., Zhang, M., 2014. Effect of biochar on carbon fractions and enzyme activity of red soil. *Catena*, 121, 214-221.
- Ding, Y., Liu, Y. X., Wu, W. X., Shi, D. Z., Yang, M., Zhong, Z. K., 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water, Air, & Soil Pollution*, 213(1-4), 47-55.
- Doan, T. T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J. L., & Jouquet, P., 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: a three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*, 514, 147-154.

- Doelman, P., & Haanstra, L., 1979. Effect of lead on soil respiration and dehydrogenase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 11(5), 475-479.
- Dokoohaki, H., Miguez, F. E., Laird, D., Horton, R., & Basso, A. S., 2017. Assessing the biochar effects on selected physical properties of a sandy soil: An analytical approach. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(12), 1387-1398.
- Dou, L., Komatsuzaki, M., & Nakagawa, M., 2012. Effects of Biochar, Mokusakueki and Bokashi application on soil nutrients, yields and qualities of sweet potato. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 2(8), 318-327.
- Downie, A., Crosky, A., And Munroe, P., 2009. Physical properties of biochar. In: *Biochar for environmental management: Science and technology* (Eds. Lehmann J., And Joseph S), Earthscan.
- Ducey, T. F., Bauer, P. J., Sigua, G. C., Hunt, P. G., Miller, J. O., & Cantrell, K. B., 2017. Manure-derived biochars for use as a phosphorus fertilizer in cotton production. *Journal of Cotton Science*, 21, 259-64.
- Ducey, T. F., Ippolito, J. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., & Lentz, R. D., 2013. Addition of activated switchgrass biochar to an aridic subsoil increases microbial nitrogen cycling gene abundances. *Applied Soil Ecology*, 65, 65-72.
- Ellert, B. H., Bettany, J. R., 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 75(4), 529-538.
- El-Naggar, A., Awad, Y. M., Tang, X. Y., Liu, C., Niazi, N. K., Jien, S. H., ... Lee, S. S., 2018b. Biochar influences soil carbon pools and facilitates interactions with soil: A field investigation. *Land Degradation & Development*, 29(7), 2162-2171.
- El-Naggar, A., Lee, S. S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., ... Ok, Y. S., 2019. Biochar application to low fertility soils: a review of current status, and future prospects. *Geoderma*, 337, 536-554.
- El-Naggar, A., Rajapaksha, A., Shaheen, S.M., Rinklebe, J., Ok, Y.S., 2018c. Potential of biochar to immobilize nickel in contaminated soils. In: Tsadilas, C., Rinklebe, J., Selim, M. (Eds.), *Nickel in Soils and Plants*. pp. 293-318.

- El-Naggar, A., Shaheen, S. M., Ok, Y. S., Rinklebe, J., 2018. Biochar affects the dissolved and colloidal concentrations of Cd, Cu, Ni, and Zn and their phytoavailability and potential mobility in a mining soil under dynamic redox-conditions. *Science of the Total Environment*, 624, 1059-1071.
- Ergün, Y. A., 2017. Biyokömür ve ahır gübresi uygulamalarının topraktaki bazı enzim aktivitelerine, CO₂ üretimine, besin elementi içeriğine ve domates bitkisinin gelişimine etkisi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksel Lisans Tezi Ordu.
- Eyüpoğlu, F., 1999. Türkiye topraklarının verimlilik durumu. KHGM. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayını Teknik Yayın No: T-67, Genel Yayın No: 220 Ankara.
- Fang, Y., Singh, B. P., Nazaries, L., Keith, A., Tavakkoli, E., Wilson, N. L., Singh, B., 2019. Interactive carbon priming, microbial response and persistence in a vertisol with varied inputs of and labile organic matter. *European Journal of Soil Science*, 70(5), 960-974.
- Farrell, M., Macdonald, L. M., Butler, G., Chirino-Valle, I., Condon, L. M., 2014. Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. *Biology and Fertility of Soils*, 50(1), 169-178.
- Follmer, C., 2008. Insights into the role and structure of plant ureases. *Phytochemistry*, 69(1), 18-28.
- Foster, E. J., Hansen, N., Wallenstein, M., Cotrufo, M. F., 2016. Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid irrigated maize cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 233, 404-414.
- Fuertes, A. B., Arbestain, M. C., Sevilla, M., Maciá-Agulló, J. A., Fiol, S., López, R., Smernik, R. J., Aitkenhead, W. P., Arce, F., Macias, F., 2010. Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by pyrolysis and hydrothermal carbonisation of corn stover. *Soil Research*, 48(7), 618-626.
- 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 on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*, 102(2), 623-633.
- Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K. C., & Bibens, B., 2008. Effect of low-

- temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE*, 51(6), 2061-2069.
- Gee G.W., Boudier J.W., 1986. Particle Size Analysis. In: A. Clute (Eds.) *Methods Of Soil Analysis. Part I. Agronomy No. 9. Am. Soc. Of Agron. Madison, Wisconsin, USA.*
- Geisseler, D., Horwath, W. R., Joergensen, R. G., Ludwig, B., 2010. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms—a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(12), 2058-2067.
- German, L. A., 2003. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. *Geoderma*, 111(3-4), 307-331.
- Githinji, L., 2014. Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60(4):457-470.
- Glaser, B., Balashov, E., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W., 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*, 31(7-8), 669-678.
- Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35(4), 219-230.
- Glinski J, Stepniewski W., 1985 Measuring Soil Aeration. In *soil aeration and its role For plants*. Pp. 181-187. Crc, Boca Raton, USA.
- 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., Kopeć, M., Sikora, J., Głab, T., Szczurowska, K., 2019. Influence of biochar application on reduced acidification of sandy soil, increased cation exchange capacity, and the content of available forms of K, Mg, and P. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(1), 103-111.
- Gonzaga, M. I. S., Matias, M. I. D. A. S., Andrade, K. R., de Jesus, A. N., da Costa Cunha, G., de Andrade, R. S., & de Jesus Santos, J. C., 2020. Aged biochar changed

- copper availability and distribution among soil fractions and influenced corn seed germination in a copper-contaminated soil. *Chemosphere*, 240, 124828.
- Graber, E. R., Harel, Y. M., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., David, D. R., Tscechansky L., Borenshtein, M., Elad, Y., 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil*, 337(1-2), 481-496.
- Grotz, N., & Guerinot, M. L., 2006. Molecular aspects of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1763(7), 595-608.
- Guiotoku, M., Hansel, F. A., Novotny, E. H., Maia, C. M. B. D. F., 2012. Molecular and morphological characterization of hydrochar produced by microwave-assisted hydrothermal carbonization of cellulose. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(5), 687-692.
- Gul, S., & Whalen, J. K., 2016. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 1-15.
- 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. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 46-59.
- Gulser, C., Demir, Z., & Ic, S., 2010. Changes in some soil properties at different incubation periods after tobacco waste application. *Journal of Environmental Biology*, 31(5), 671-674.
- Gundale, M. J., Deluca, T. H., 2007. Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of koeleria macrantha in the Ponderosa Pine/Douglas-Fir Ecosystem. *Biology and Fertility Of Soils*, 43(3), 303-311.
- Guo, Y., Yang, S., Yu, K., Zhao, J., Wang, Z., Xu, H., 2002. The preparation and mechanism studies of rice husk based porous carbon. *Materials Chemistry and Physics*, 74(3), 320-323.
- Gülser, C., Kızılkaya, R., Askın, T., Ekberli, I., 2015. Changes in soil quality by compost and hazelnut husk applications in a hazelnut orchard. *Compost Science & Utilization*, 23(3), 135-141.
- Günel, E., & Erdem, H., 2018. Biyokömür; tanımı, kullanımı ve tarım topraklarındaki etkileri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 87-93.

- Günel, E., 2018. Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçarların Ekmeklik Buğdayın Gelişimi, Besin Elementi Alımı ve Toprak Kalitesine Etkileri (Doktora Tezi) Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.
- Günel, E., Erdem, H., Çelik, İ., 2018a. Effects of three different s amendment on water retention of silty loam and loamy soils. *Agricultural Water Management*, 208, 232-244.
- Günel, E., Erdem, H., Demirbaş, A., 2018b. Effects of three biochar types on activity of β -glucosidase enzyme in two agricultural soils of different textures. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(14), 1963-1974.
- Güzel, N., Gülüt, Y. K., ve Büyük, G., 2008. Toprak Verimliliği ve Gübreler Ders Kitabı. Çukurova Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Genel Yayın No: 246, Ders Kitapları Yayın No: A-80, 353 s., Adana
- Haefele, S. M., Konboon, Y., Wongboon, W., Amarante, S., Maarifat, A. A., Pfeiffer, E. M., Knoblauch, C., 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Research*, 121(3), 430-440.
- Hamer, U., Marschner, B., Brodowski, S., Amelung, W., 2004. Interactive priming of black carbon and glucose mineralisation. *Organic Geochemistry*, 35(7), 823-830.
- Hammond, J., Shackley, S., Prendergast-Miller, M., Cook, J., Buckingham, S., Pappa, V. A., 2013. Biochar field testing in the UK: Outcomes and implications for use. *Carbon Management*, 4(2), 159-170.
- Hansen, V., Müller-Stöver, D., Imparato, V., Krogh, P.H., Jensen, L.S., Dolmer, A., Hauggaard-Nielsen, H., 2017. The effects of straw or straw-derived gasification applications on soil quality and crop productivity: A farm case study. *Journal of Environmental Management*, 186, 88-95.
- Hariyono, B., Utomo, W. H., Utami, S. R., Islami, T., 2020. Utilization of the trash biochar and waste of sugarcane to improve the quality of sandy soil and growth of sugarcane. In *IOP conference series: Earth and Environmental Science* (vol. 418, no. 1, P. 012067). IOP Publishing.
- Hartley, W., Riby, P., Waterson, J., 2016. Effects of three different biochars on aggregate stability, organic carbon mobility and micronutrient bioavailability. *Journal of Environmental Management*, 181, 770-778.

- Hati, K.M., Swarup, A., Dwivedi, A.K., Misra, A.K., Bandyopadhyay, K.K., 2007. Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central india after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119 (1–2), 127–134.
- He, Y., Zhou, X., Jiang, L., Li, M., Du, Z., Zhou, G., ... Wallace, H., 2017. Effects of biochar application on soil greenhouse gas fluxes: A meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 9(4), 743-755.
- Herath H., Camps-Arbestain M., Hedley M., 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An alfisol and an andisol. *Geoderma* 209:188–197
- Hina, K., Bishop, P., Arbestain, M. C., Calvelo-Pereira, R., Maciá-Agulló, J. A., Hindmarsh, J., Hanly, J., A., Marcias, F., Hedley, M. J., 2010. Producing biochars with enhanced surface activity through alkaline pretreatment of feedstocks. *Soil Research*, 48(7), 606-617.
- Hmid, A., Al Chami, Z., Sillen, W., De Vocht, A., Vangronsveld, J., 2015. Olive mill waste biochar: a promising soil amendment for metal immobilization in contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(2), 1444-1456.
- Hoffmann, G. G. Teicher, K., 1961. Ein kolorimetrisches verfahren zur bestimmung der urease aktivitat in böden. *Z. Pflanzenernahr. Düng. Bodenkunde*. 91 (140), 55-63.
- Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., Ziolkowski, A., Nelson, P. F., 2011. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management*, 92(1), 223-228.
- Igalavithana, A.D., Lee, S.-E., Lee, Y.H., Tsang, D.C.W., Rinklebe, J., Kwon, E.E., Ok, Y.S., 2017. Heavy metal immobilization and microbial community abundance by vegetable waste and pine cone biochar of agricultural soils. *Chemosphere* 174, 593–603.
- Iliffe, R., 2009. Is the biochar produced by an anila stove likely to be a beneficial soil additive. Msc Diss. Uk Biochar Research Centre Working Paper, 4.
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O. Z. G. E., Taskin, M. B., Kaya, E. C., 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*, 31(1), 106-113.

- Ippolito, J. A., Stromberger, M. E., Lentz, R. D., Dungan, R. S., 2014. Hardwood biochar influences calcareous soil physicochemical and microbiological status. *Journal of Environmental Quality*, 43(2), 681-689.
- Jatav, H. S., Singh, S. K., Singh, Y., Kumar, O., 2018. Biochar And sewage sludge application increases yield and micronutrient uptake in rice (*Oryza sativa* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(13), 1617-1628.
- 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 meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 175-187.
- Jing, F., Chen, C., Chen, X., Liu, W., Wen, X., Hu, S., Yang, Z., Guo, B., Xu, Y., Yu, Q., 2020. Effects of wheat straw derived biochar on cadmium availability in a paddy soil and its accumulation in rice. *Environmental Pollution*, 257, 113592.
- 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.
- Jones, B.E.H., Haynes, R.J., Phillips, I.R., 2010. Effect of amendment of bauxite processing sand with organic materials on its chemical, physical and microbial properties. *Journal of Environmental Management* 91 (11), 2281–2288.
- Jones, D. L., Murphy, D. V., Khalid, M., Ahmad, W., Edwards-Jones, G., Deluca, T. H., 2011. Short-term -induced increase in soil co₂ release is both biotically and abiotically mediated. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(8), 1723-1731.
- 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.
- Joseph, S. D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C. H., Hook, J., ... & Lehmann, J., 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. *Soil Research*, 48(7), 501-515.
- Kacar, B & İnal, A., 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayın No:1241, 892 s, Ankara.
- Kacar, B., 1994. Toprak Analizleri Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim ve Geliştirme Vakfı Yayınları No:3, 81 s, Ankara.

- Kambo, H. S., & Dutta, A., 2015. A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359-378.
- Kammann, C., Ippolito, J., Hagemann, N., Borchard, N., Cayuela, M. L., Estavillo, J. M., ...& Rasse, D., 2017. Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden—knowns, unknowns and future research needs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(2), 114-139.
- Kammann, C., Linsel, S., Gößling, J., Koyro, H.-W., 2011. Influence of on drought tolerance of *Chenopodium Quinoa*: Willd and on soil–plant relations. *Plant and Soil* 345 (1), 195–210.
- Kandeler E., 1996. Nitrate. In: Schinner, F.O., Hlinder, R., Kandeler, E., Margesin, R., (Eds) *Methods in soil Biology*. Springer, Berlin, pp 408–410
- Kappler, A., Wuestner, M. L., Ruecker, A., Harter, J., Halama, M., Behrens, S., 2014. Biochar as an electron shuttle between bacteria and Fe (II) minerals. *Environmental Science & Technology Letters*, 1(8), 339-344.
- Kars, N. & Ekberli, İ., 2019. Buğday bitkisinin verim parametreleri ile bazı toprak özellikleri arasındaki pedotransfer modellerin uygulanabilirliği. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 153-164.
- Kätterer, T., Roobroeck, D., Andrén, O., Kimutai, G., Karlton, E., Kirchmann, H., ... & de Nowina, K. R., 2019. Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize-soybean rotations over 10 years in sub-humid regions of Kenya. *Field Crops Research*, 235, 18-26.
- Keiluweit, M., Nico, P. S., Johnson, M. G., Kleber, M., 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (Biochar). *Environmental Science & Technology*, 44(4), 1247-1253.
- Kemper Wd, Rosenau Rc., 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A, Editor. *Methods Of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Madison, WI. P 425-42.
- Khadem, A. & Raiesi, F., 2019. Response Of soil alkaline phosphatase to biochar amendmets: Changes in kinetic and thermodynamic characteristics. *Geoderma*, 337, 44-54.

- Khan, M. B., Cui, X., Jilani, G., Tang, L., Lu, M., Cao, X., ... He, Z., 2020. New insight into the impact of biochar during vermi-stabilization of divergent biowastes: Literature synthesis and research pursuits. *Chemosphere*, 238, 124679.
- Khanmohammadi, Z., Afyuni, M., Mosaddeghi, M. R., 2017. Effect of sewage sludge and its biochar on chemical properties of two calcareous soils and maize shoot yield. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(2), 198-212.
- Kızılkaya, R. & Bayraklı, B., 2005. Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities. *Applied Soil Ecology*, 30(3), 192-202.
- Kim, J. S., Sparovek, G., Longo, R. M., De Melo, W. J., & Crowley, D., 2007. Bacterial diversity of terra preta and pristine forest soil from the Western Amazon. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(2), 684-690.
- Kim, S. S., Agblevor, F. A., Lim, J., 2009. Fast pyrolysis of chicken litter and turkey litter in a fluidized bed reactor. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15(2), 247-252.
- Kinney, T. J., Masiello, C. A., Dugan, B., Hockaday, W. C., Dean, M. R., Zygourakis, K., Barnes, R. T., 2012. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. *Biomass and Bioenergy*, 41, 34-43.
- Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory Methods. *Methods of Soil Analysis. Part 1*. 2nd Ed. Agronomy 9. Am. Soc. Agron., 635-660, Madison.
- Knicker, H., 2010. "Black nitrogen"—an important fraction in determining the recalcitrance of charcoal. *Organic Geochemistry*, 41(9), 947-950.
- Kolb, S. E., Fermanich, K. J., Dornbush, M. E., 2009. Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Science Society of America Journal*, 73(4), 1173-1181.
- Kramb, J., Gómez-Barea, A., Demartini, N., Romar, H., Doddapaneni, T. R. K. & Konttinen, J., 2017. The effects of calcium and potassium on CO₂ gasification of birch wood in a fluidized Bed. *Fuel*, 196, 398-407.
- Krull, E. S., Skjemstad, J. O., Graetz, D., Grice, K., Dunning, W., Cook, G., & Parr, J. F., 2003. ¹³C-depleted charcoal from C₄ grasses and the role of occluded carbon in phytoliths. *Organic Geochemistry*, 34(9), 1337-1352.
- Kuhlbusch, T. A. J., Andreae, M. O., Cachier, H., Goldammer, J. G., Lacaux, J. P., Shea, R. & Crutzen, P. J., 1996. Black carbon formation by savanna fires: Measurements

- and implications for the global carbon cycle. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 101(D19), 23651-23665.
- Kumar, A., Elad, Y., Tsechansky, L., Abrol, V., Lew, B., Offenbach, R. & Graber, E. R., 2018b. Biochar potential in intensive cultivation of sweet pepper (*Capsicum annuum* L): Crop Yield and Plant Protection. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 98(2), 495-503.
- Kumar, A., Joseph, S., Tsechansky, L., Privat, K., Schreiter, I. J., Schüth, C. & Graber, E. R., 2018a. Biochar aging in contaminated soil promotes zn immobilization due to changes in biochar surface structural and chemical properties. *Science of the Total Environment*, 626, 953-961.
- Kumar, S., Mastro, R. E., Ram, L. C., Sarkar, P., George, J. & Selvi V. A., 2013. Biochar preparation from *Parthenium hysterophorus* and its potential use in soil application. *Ecological Engineering*, 55, 67-72.
- 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. *Environment international*, 87, 1-12.
- Kuzyakov, Y., Subbotina, I., Chen, H., Bogomolova, I. & Xu, X., 2009. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(2), 210-219.
- Kütük, C., 2013. Bolu'daki tavuk dışkılarından kompost gübre olarak yararlanılması. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 10(1), 40-46.
- Kwapinski, W., Byrne, C. M., Kryachko, E., Wolfram, P., Adley, C., Leahy, J. J., ... & Hayes, M. H., 2010. Biochar from biomass and waste. *Waste and Biomass Valorization*, 1(2), 177-189.
- Laird, D. A., 2008. The charcoal vision: A win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal*, 100(1), 178-181.
- Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B. & Karlen, D. L., 2010a. Impact of biochar amendments on the quality of a typical midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4), 443-449.

- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. & Karlen, D., 2010b. Biochar impact on nutrient leaching from a midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4), 436-442.
- Lal, R., 2004. Soil Carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Lal, R., Pimentel, D., 2007. Biofuels From Crop Residues. *Soil Tillage Research* 93, 237–238.
- Lehmann, J. & Joseph, S. (Eds.), 2015b. Biochar for environmental management: An introduction. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for environmental management: Science, Technology and Implementation*. Routledge. London, pp:1-12
- Lehmann, J. and Gaunt, J., Rondon, M., 2006. Bio-Char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2), 403-427.
- Lehmann, J. and Joseph, S. (Eds.), 2015c. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge. London, pp: 595-624
- Lehmann, J. and Joseph, S., 2015a. Biochar for environmental management: an introduction. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for environmental management: Science, Technology and Implementation*, 2nd Ed. Earthscan from Routledge, London, pp: 1–1214.
- Lehmann, J., 2007. A handful of carbon. *Nature*, 447(7141), 143-144.
- Lehmann, J., da Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. & Glaser, B., 2003a. 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., Kern, D., German, L., Mccann, J., Martins, G. C. & Moreira, A., 2003b. Soil fertility and production potential. In *Amazonian dark earths* (pp. 105-124). Springer, Dordrecht.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D., 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.

- Lehmann, J. and Rondon, M. 2006. Bio-Char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. *Biological approaches to sustainable soil systems*, 113(517), E530.
- Lehmann, J. and Joseph S., 2009. Biochar for environmental management, an introduction. In: Lehmann, J, Joseph, S, Editors. *Biochar for Environmental Management, Science and Technology*. London: Earthscan; p. 1–12.
- Lei, H. and Ren, S., Julson, J., 2009. The effects of reaction temperature and time and particle size of corn stover on microwave pyrolysis. *Energy & Fuels*, 23(6), 3254-3261.
- 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.
- Lentz, R. D. and Ippolito, J. A., 2012. Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1033-1043.
- Lewandowski, A. M. and Zumwinkle, M., 1999. Assessing the soil system: a review of soil quality literature. Minnesota Department of Agriculture. Pp.1-63, St. Paul. Minnesota. USA
- Li, H., Li, Y., Xu, Y. & Lu, X., 2020. Biochar phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus availability. *Chemosphere*, (244), 125471.
- Li, H., Ye, X., Geng, Z., Zhou, H., Guo, X., Zhang, Y., Zhao, H. & Wang, G., 2016. The influence of biochar type on long-term stabilization for Cd and Cu in contaminated paddy soils. *Journal of Hazardous Materials*, 304, 40-48.
- Li, Y., Hu, S., Chen, J., Müller, K., Li, Y., Fu, W. & Wang, H., 2018b. Effects of biochar application in forest ecosystems on soil properties and greenhouse gas emissions: A review. *Journal of Soils and Sediments*, 18(2), 546-563.
- Li, Y., Li, Y., Chang, S. X., Yang, Y., Fu, S., Jiang, P., Luo, Y., Yang, M., Chen, Z., Hu, S., Zhao, M., Liang, X., Xu, Q., Zhou G. & Zhou, J., 2018a. Biochar reduces soil heterotrophic respiration in a subtropical plantation through increasing soil organic carbon recalcitrancy and decreasing carbon-degrading microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 122, 173-185.
- Liang, F., Li, G. T., Lin, Q. M. & Zhao, X. R., 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.
- Lin, X. W., Xie, Z. B., Zheng, J. Y., Liu, Q., Bei, Q. C., & Zhu, J. G., 2015. Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. *European Journal of Soil Science*, 66(2), 329-338.
- Lin, Y., Munroe, P., Joseph, S., Kimber, S. & Van Zwieten, L., 2012. Nanoscale organo-mineral reactions of biochars in ferrosol: An Investigation using microscopy. *Plant and Soil*, 357(1-2), 369-380.
- Lindsay, W. L. and Norwell, W. A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, (42), 421-428.
- Liu, C., Lu, M., Cui, J., Li, B. & Fang, C., 2014b. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 20(5), 1366-1381.
- Liu, L., Wang, Y., Yan, X., Li, J., Jiao, N. & Hu, S., 2017a. Biochar amendments increase the yield advantage of legume-based intercropping systems over monoculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237, 16-23.
- Liu, Q., Liu, B., Zhang, Y., Lin, Z., Zhu, T., Sun, R., Wang, X., Ma, J., Bei, Q., Liu, G., Lin, X. Xie, Z., 2017b. Can alleviate soil compaction stress on wheat growth and mitigate soil N₂O emissions? *Soil Biology and Biochemistry*, 104, 8-17.
- Liu, Q., Zhang, Y., Liu, B., Amonette, J. E., Lin, Z., Liu, G., Ambus, P. & Xie, Z., 2018. How does biochar influence soil N Cycle? A meta-analysis. *Plant and Soil*, 426(1-2), 211-225.
- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G. & Paz-Ferreiro, J., 2013. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions. A meta analysis of literature data. *Plant and Soil*, 373(1-2), 583-594.
- Liu, Z., Chen, X., Jing, Y., Li, Q., Zhang, J. & Huang, Q., 2014a. Effects of amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. *Catena*, 123, 45-51.
- Lopes, M. M., Salviano, A. A. C., Araujo, A. S. F., Nunes, L. A. P. L., & Oliveira, M. E., 2010. Changes in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (4), 1253-1259.

- Lu, N., Liu, X. R., Du, Z. L., Wang, Y. D. & Zhang, Q. Z. 2014b. Effect of biochar on soil respiration in the maize growing season after 5 years of consecutive application. *Soil Research*, 52(5), 505-512.
- Lu, S.G., Sun, F.F. & Zong, Y.T., 2014a. Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena* 114, 37–44.
- Luo, C., Yang, J., Chen, W. & Han, F., 2020. Effect of biochar on soil properties on the loess plateau: Results from field experiments. *Geoderma*, 369, 114323.
- Luo, Y., Durenkamp, M., De Nobili, M., Lin, Q. & Brookes, P. C., 2011. Short term soil priming effects and the mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(11), 2304-2314.
- Luo, Z., Wang, E. & Sun, O. J., 2010. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139(1-2), 224-231.
- Ma, N., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., Yu, C., Yin, G., Doane, T.,A.,Wu, Z., Zhu, P., & Ma, X., 2016. Biochar improves soil aggregate stability and water availability in a mollisol after three years of field application. *PloS One*, 11(5), E0154091.
- Machuca, A., Cuba-Díaz, M., & Córdova, C., 2015. Enzymes in the rhizosphere of plants growing in the vicinity of the Polish Arctowski Antarctic Station. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(4), 833-838.
- Madejón, E., Burgos, P., López, R., & Cabrera, F., 2001. Soil enzymatic response to addition of heavy metals with organic residues. *Biology and Fertility of Soils*, 34(3), 144-150.
- Major, J., Lehmann, J., Rondon, M. & Goodale, C., 2010b. Fate of soil applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Global Change Biology*, 16(4), 1366-1379.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J. & Lehmann, J., 2012. Nutrient leaching in a colombian savanna oxisol amended with biochar. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1076-1086.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., Lehmann, J., 2010a. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333(1-2), 117-128.

- Makoi, J. H., & Ndakidemi, P. A., 2008. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. *African Journal of Biotechnology*, 7(3).
- Manırazıka, N., 2019. Biyokömür ve kompost uygulamalarının kumlu bir toprağın özellikleri ile mısır bitkisinin gelişimine etkileri. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Masto, R. E., Kumar, S., Rout, T. K., Sarkar, P., George, J. & Ram, L. C., 2013. Biochar from water hyacinth (*Eichornia Crassipes*) and its impact on soil biological activity. *Catena*, 111, 64-71.
- Mcbeath, T. M., Armstrong, R. D., Lombi, E., McLaughlin, M. J. & Holloway, R. E., 2005. Responsiveness of wheat (*Triticum Aestivum*) to liquid and granular phosphorus fertilisers in southern australian soils. *Soil Research*, 43(2), 203-212.
- Meyer, A. H., Wooldridge, J., & Dames, J. F., 2015. Variation in urease and β -glucosidase activities with soil depth and root density in a 'Cripp's Pink'/M7 apple orchard under conventional and organic management. *South African Journal of Plant and Soil*, 32(4), 227-234.
- Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K. & Baran, A., 2016. Effect of poultry litter biochar on soil enzymatic activity, ecotoxicity and plant growth. *Applied Soil Ecology* 105, 144-150.
- Mitchell, P.J., Simpson, A.J., Soong, R. & Simpson, M.J., 2015. Shifts in microbial community and water-extractable organic matter composition with amendment in a temperate forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 81, 244e254
- Mobley, H. L., Island, M. D., & Hausinger, R. P., 1995. Molecular biology of microbial ureases. *Microbiological Reviews*, 59(3), 451-480.
- Mohamed, I., El-Meihy, R., Ali, M., Chen, F., Raleve, D., 2017. Interactive effects of biochar and micronutrients on faba bean growth, symbiotic performance, and soil properties. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180(6), 729-738.
- Mokolobate, M. & Haynes, R., 2002. Comparative liming effect of four organic residues applied to an acid soil. *Biology and Fertility of Soils*, 35(2), 79-85.
- Mukherjee, A., & Lal, R., 2014. The biochar dilemma. *Soil Research*, 52(3), 217-230.
- Mukherjee, A., Zimmerman, A.R., Hamdan, R. & Cooper, W.T., 2014. Physicochemical changes in pyrogenic organic matter (Biochar) after 15 months of field aging. *Solid Earth* 5 (2), 693.

- Mukome, F. N., Kilcoyne, A. L. & Parikh, S. J., 2014. Alteration of biochar carbon chemistry during soil incubations: SR-FTIR and NEXAFS investigation. *Soil Science Society of America Journal*, 78(5), 1632-1640.
- Mulcahy, D. N., Mulcahy, D. L. & Dietz, D., 2013. Biochar soil amendment increases tomato seedling resistance to drought in sandy soils. *Journal of Arid Environments*, 88, 222-225.
- Munera-Echeverri, J. L., Martinsen, V., Strand, L. T., Cornelissen, G. & Mulder, J., 2020. Effect of conservation farming and biochar addition on soil organic carbon quality, nitrogen mineralization, and crop productivity in a light textured acrisol in the sub-humid tropics. *PloS One*, 15(2), E0228717.
- Namgay, T., Singh, B., & Singh, B. P., 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research*, 48(7), 638-647.
- Namlı, A., Akça, M. O. & Akça, H., 2017. Tarımsal atıklardan elde edilen biyokömürün buğday bitkisinin gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(1), 39-47.
- Narayanan, A., Kartik, R., Sangeetha, E. & Dhamodharan, R., 2018. Super water absorbing polymeric gel from chitosan, citric acid and urea: Synthesis and mechanism of water absorption. *Carbohydrate Polymers*, 191, 152-160.
- Ndakidemi, P. A., 2006. Manipulating legume/cereal mixtures to optimize the above and below ground interactions in the traditional African cropping systems. *African Journal of Biotechnology*, 5, (25). 2526-2533
- Ndiaye, E. L., Sandeno, J. M., McGrath, D. & Dick, R. P., 2000. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 15 (1), 26-36.
- Nelson, D.W., Sommer, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P. 539-579. In A.L. Page (Ed.) *Methods of Soil Analysis*. 2nd Ed. Asa Monogr. 9(2). Amer. Soc. Agron. Madison, Wip
- Nelson, N. O., Agudelo, S. C., Yuan, W. & Gan, J., 2011. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. *Soil Science*, 176(5), 218-226.
- Nguyen, D. H., Scheer, C., Rowlings, D. W. & Grace, P. R., 2016. Rice husk biochar and crop residue amendment in subtropical cropping soils: Effect on biomass

- production, nitrogen use efficiency and greenhouse gas emissions. *Biology and Fertility of Soils*, 52(2), 261-270.
- Nguyen, T. T. N., Xu, C. Y., Tahmasbian, I., Che, R., Xu, Z., Zhou, X., Wallace, H., M. & Bai, S. H., 2017. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: A review and meta-analysis. *Geoderma*, 288, 79-96.
- Ni, J. J., Bordoloi, S., Shao, W., Garg, A., Xu, G. & Sarmah, A. K., 2020. Two-year evaluation of hydraulic properties of biochar-amended vegetated soil for application in landfill cover system. *Science of the Total Environment*, 712, 136486.
- Ni, J., Pignatello, J. J., & Xing, B., 2011. Adsorption of aromatic carboxylate ions to black carbon (biochar) is accompanied by proton exchange with water. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9240-9248.
- Ni, M., Leung, D. Y., Leung, M. K. & Sumathy, K., 2006. An overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Processing Technology*, 87(5), 461-472.
- Noble, A. D., Zenneck, I. & Randall, P. J., 1996. Leaf litter ash alkalinity and neutralisation of soil acidity. *Plant and Soil*, 179(2), 293-302.
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., & Niandou, M. A., 2009b. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 174(2), 105-112.
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Watts, D. W., Laird, D. A., Ahmedna, M. A. & Niandou, M. A., 2010. Short-term CO₂ mineralization after additions of biochar and switchgrass to a typic kandiudult. *Geoderma*, 154(3-4), 281-288.
- Novak, J. M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K. C., ... & Schomberg, H., 2009a. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*.
- 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. *Canadian Journal of Soil Science*, 97(4), 678-691.
- Nyambo, P., Taeni, T., Chiduza, C. & Araya, T., 2018. Effects of maize residue amendments on soil properties and soil loss on acidic hutton soil. *Agronomy*, 8(11), 249–256.

- Ogawa, M., Okimori, Y. & Takahashi, F., 2006. Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: Three case studies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(2), 429-444.
- Oguntunde, P. G., Abiodun, B. J., Ajayi, A. E., & van de Giesen, N., 2008. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(4), 591-596.
- Oguntunde, P. G., Fosu, M., Ajayi, A. E. & Van de Giesen, N., 2004. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 39(4), 295-299.
- Ok, Y.S., Chang, S.X., Gao, B., Chung, H.J., 2015. Smart biochar technology—a shifting paradigm towards advanced materials and healthcare research. *Environmental Technology & Innovation*. 4, 206–209.
- Oktay, E., 2006. Orta karadeniz geçit bölümünde yetiştirilebilecek ekmeklik buğday (*Triticum Aestivum* L.) çeşitlerinde verim, verim unsurları ve kalite kriterlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. (Yüksek lisans tezi), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Oleszczuk, P., Joško, I., Futa, B., Pasieczna-Patkowska, S., Pałys, E. & Kraska, P., 2014. Effect of pesticides on microorganisms, enzymatic activity and plant in biochar-amended soil. *Geoderma*, 214, 10-18.
- Olmo, M., Albuquerque, J.A., Barrón, V., Del Campillo, M.C., Gallardo, A., Fuentes, M. & Villar, R., 2014. Wheat growth and yield responses to biochar addition under mediterranean climate conditions. *Biology and Fertility of Soils* 50(8):1177-1187.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. & Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate US Dept. Agric. Cric. 939.
- 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.
- Ortiz-Monasterio, J. I., Palacios-Rojas, N., Meng, E., Pixley, K., Trethowan, R. & Pena, R. J., 2007. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 293-307.

- Ouyang, L., Tang, Q., Yu, L. & Zhang, R., 2014. Effects of amendment of different biochars on soil enzyme activities related to carbon mineralisation. *Soil Research*, 52(7), 706-716.
- Özdemir, S. & Sezer, B., 2013. Kümes atıklarının organik gübre ve biyoyakıt olarak değerlendirilmesi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, (10), 20-24.
- Özenç, D. B., Yılmaz, F. I., Tarakçıoğlu, C., & Aygün, S., 2019. Fındıktan üretilen atıkların toprağın fiziko-kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkileri. *Mediterranean Agricultural Sciences*, (32), 7-13.
- Pandit, N. R., Mulder, J., Hale, S. E., Martinsen, V. & Schmidt, H. P., Cornelissen, G., 2018. Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil. *Science of the Total Environment*, 625, 1380-1389.
- 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.
- Park, J. H., Ok, Y. S., Kim, S. H., Kang, S. W., Cho, J. S., Heo, J. S., ... & Seo, D. C., 2015. Characteristics of biochars derived from fruit tree pruning wastes and their effects on lead adsorption. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 58(5), 751-760.
- Paz-Ferreiro, J. & Fu, S., 2016. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. *Land Degradation & Development*, 27(1), 14-25.
- Paz-Ferreiro, J., Gascó, G., Gutiérrez, B. & Méndez, A., 2012. Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(5), 511-517.
- Pei, J., Dijkstra, F. A., Li, J., Fang, C., Su, J., Zhao, J., Nie, M. & Wu, J., 2020. Biochar-induced reductions in the rhizosphere priming effect are weaker under elevated CO₂. *Soil Biology and Biochemistry*, 142, 107700.

- Petter, F. A., Leite, L. F. C., Machado, D. M. D., Júnior, M., Lima, L. B. D., Freddi, O. D. S. & Araújo, A. S. F., 2019. Microbial biomass and organic matter in an oxisol under application of biochar. *Bragantia*, 78(1), 109-118.
- Petter, F. A., Madari, B. E., Silva, M. A. S. D., Carneiro, M. A. C., Kandeler, M. T. D. M., Marimon Júnior, B. H. & Pacheco, L. P., 2012. Soil Fertility and upland rice yield after biochar application in the cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(5), 699-706.
- 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.
- Poormansour, S., Razzaghi, F. & Sepaskhah, A. R., 2019. Wheat straw biochar increases potassium concentration, root density, and yield of faba bean in a sandy loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(15), 1799-1810.
- Prabha, S.V., Renuka, R., Sreekanth N.P., Padmakumar B. & Thomas A.P., 2013. A study of the fertility and carbon sequestration potential of rice soil with respect to the application of biochar and selected amendments. *Annals of Environmental Science*, Sci. 7:17–30.
- Prendergast-Miller, M. T., Duvall, M., & Sohi, S. P., 2011. Localisation of nitrate in the rhizosphere of biochar-amended soils. *Soil biology and Biochemistry*, 43(11), 2243-2246.
- Pukalchik, M., Mercl, F., Terekhova, V. & Tlustoš, P., 2018. Biochar, wood ash and humic substances mitigating trace elements stress in contaminated sandy loam soil: evidence from an integrative approach. *Chemosphere*, 203, 228-238.
- Qiao, Y., Miao, S., Zhong, X., Zhao, H. & Pan, S., 2020. The greatest potential benefit of biochar return on bacterial community structure among three maize-straw products after eight-year field experiment in mollisols. *Applied Soil Ecology*, 147, 103432.
- Raboin, L.-M., Razafimahafaly, A.H.D., Rabenjarisoa, M.B., Rabary, B., Dusserre, J., & 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 Research*. 199, 99–108.

- Radwan, N. M., Marzouk, E. R., El-Melegy, A. M., & Hassan, M. A., 2020. Improving soil properties by using biochar under drainage conditions in North Sinai. *Sinai Journal of Applied Sciences*.
- Raiesi, F. & Khadem, A., 2019. Short-term effects of maize residue biochar on kinetic and thermodynamic parameters of soil β -glucosidase. *Biochar*, 1(2), 213-227.
- Rajapaksha, A. U., Ahmad, M., Vithanage, M., Kim, K. R., Chang, J. Y., Lee, S. S., & Ok, Y. S., 2015. The role of biochar, natural iron oxides, and nanomaterials as soil amendments for immobilizing metals in shooting range soil. *Environmental Geochemistry and Health*, 37(6), 931-942.
- Rajapaksha, A. U., Vithanage, M., Zhang, M., Ahmad, M., Mohan, D., Chang, S. X., & Ok, Y. S., 2014. Pyrolysis condition affected sulfamethazine sorption by tea waste biochars. *Bioresource Technology*, 166, 303-308.
- 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. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3), 271-284.
- Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M. & Bloodworth, H., 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116(1-2), 61-76.
- Revell, K. T., Maguire, R. O., & Agblevor, F. A., 2012. Influence of poultry litter biochar on soil properties and plant growth. *Soil Science*, 177(6), 402-408.
- Rhoades, J. D., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5, 417-435.
- Rogovska, N., Laird, D. A., Rathke, S. J. & Karlen, D. L., 2014. Biochar impact on midwestern mollisols and maize nutrient availability. *Geoderma*, 230, 340-347.
- Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P. C., Lauber, C. L., Lozupone, C., Caporaso, J. G., Knight, R. & Fierer, N., 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME Journal*, 4(10), 1340-1351.
- Safar, M., Lin, B. J., Chen, W. H., Langauer, D., Chang, J. S., Raclavská, H., Petrissans A., Roussel P. & Pétrissans, M., 2019. Catalytic effects of potassium on biomass pyrolysis, combustion and torrefaction. *Applied Energy*, 235, 346-355.
- Saito, M. & Marumoto, T., 2002. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi: The status quo in Japan and the future prospects. *Plant And Soil* 244, 273–279.

- Saleem, A., Muhammad, D., Khan, M., Khan, Q. U., Rizwan, M., Shaheen, S., Noor H., Gul S., Khan M.D. & Ali, S., 2020. Dynamics of Ab-DTPA-Extractable Zn in high and low limed calcareous soils amended with biochar and farmyard and poultry manures. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(3), 145.
- Sanchez-Monedero, M. A., Mondini, C., De Nobili, M., Leita, L., & Roig, A., 2004. Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter. *Waste Management*, 24(4), 325-332.
- Sänger, A., Reibe, K., Mumme, J., Kaupenjohann, M., Ellmer, F., Rob, C. L. & Meyer-Aurich, A., 2017. Biochar application to sandy soil: effects of different biochar and n fertilization on crop yields in a 3-year field experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(2), 213-229.
- Saygan E.P., 2017. Biyokömürün (Biochar) toprak düzenleyicisi olarak kullanım potansiyellerinin belirlenmesi, (Doktora Tezi), Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Saygan, E.P. & 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.
- Schimmelpfennig, S., & Glaser, B., 2012. One step forward toward characterization: some important material properties to distinguish biochars. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1001-1013.
- Schmidt, M. W., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., .. & Nannipieri, P., 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478(7367), 49-56.
- Schulz, H. & Glaser, B., 2012. Effects Of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(3), 410-422.
- Schulz, H., Dunst, G. & Glaser, B., 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4), 817-827.
- Shackley, S., Carter, S., Knowles, T., Middelink, E., Haefele, S. & Haszeldine, S., 2012a. Sustainable gasification–biochar systems? A case-study of rice-husk gasification in cambodia, Part II: Field trial results, carbon abatement, economic assessment and conclusions. *Energy Policy*, 41, 618-623.

- Shackley, S., Carter, S., Knowles, T., Middelink, E., Haefele, S., Sohi, S., Cross A. & Haszeldine, S., 2012b. Sustainable gasification–biochar systems? A case-study of rice-husk gasification in Cambodia, Part I: Context, chemical properties, environmental and health and safety issues. *Energy Policy*, 42, 49-58.
- Shackley, S., Sohi, S., Ibarrola, R., Hammond, J., Mašek, O., Brownsort, P., Cross A., Prendergast-Miller, M. & Haszeldine, S., 2013. Biochar, tool for climate change mitigation and soil management. In *geoengineering responses to climate change* (pp. 73-140). Springer, New York, USA.
- Shaheen, S. M., Niazi, N. K., Hassan, N. E., Bibi, I., Wang, H., Tsang, D. C., ... & Rinklebe, J., 2019. Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements in water and wastewater: a critical review. *International Materials Reviews*, 64(4), 216-247.
- Shaheen, S. M., Rinklebe, J., & Selim, M. H., 2015. Impact of various amendments on immobilization and phytoavailability of nickel and zinc in a contaminated floodplain soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(9), 2765-2776.
- Shan, S., & Coleman, M. D., 2020. Biochar influences nitrogen availability in Andisols of north Idaho forests. *SN Applied Sciences*, 2(3), 362.
- Shenbagavalli, S., & Mahimairaja, S., 2012. Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. *International Journal of Advanced Biological Research*, 2(2), 249-255.
- Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowie, A.L. & Kathuria, A., 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environmental Quality*, 39(4), 1224-1235.
- Singh, K., 2016. Microbial and enzyme activities of saline and sodic soils. *Land Degradation & Development*, 27(3), 706-718.
- Sinsabaugh, R. L. & Moorhead, D. L., 1994. Resource allocation to extracellular enzyme production: a model for nitrogen and phosphorus control of litter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(10), 1305-1311.
- Sinsabaugh, R. L., 2010. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(3), 391-404.

- Soane, B.D., 1990. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research* 16 (1–2), 179–201.
- Sohi, S.P., 2010. Appendix 1. Analysis of scientific studies published on the function of char, its quantification, and its stability in soil. In an assessment of the benefits and issues associated with the application of biochar to soil; Shackley, S., Sohi, S.P., Eds.; A report to the department for environment, Food and rural affairs and the Department of Energy and Climate Change: London, UK, 2010; pp. 1–4.
- Soinne, H., Hovi, J., Tammeorg, P. & Turtola, E., 2014. Effect of on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability. *Geoderma*, 219, 162-167.
- 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. *Livest. Res. Rural Dev*, 25(4).
- Solaiman, Z. M., Blackwell, P., Abbott, L. K. & Storer, P., 2010. Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonisation, growth and nutrition of wheat. *Soil Research*, 48(7), 546-554.
- Solaiman, Z.M. & Anawar, H.M., 2015. Application of biochars for soil constraints: challenges and solutions. *Pedosphere* 25(5), 631–638.
- Sombroek, W. I. M., Ruivo, M. D. L., Fearnside, P. M., Glaser, B., & Lehmann, J., 2003. Amazonian dark earths as carbon stores and sinks. In *Amazonian dark earths* (pp. 125-139). Springer, Dordrecht.
- Song, D., Tang, J., Xi, X., Zhang, S., Liang, G., Zhou, W. & Wang, X., 2018. Responses of soil nutrients and microbial activities to additions of maize straw biochar and chemical fertilization in a calcareous soil. *European Journal of Soil Biology*, 84, 1-10.
- Song, D., Xi, X., Huang, S., Liang, G., Sun, J., Zhou, W. & Wang, X., 2016. Short-term responses of soil respiration and c-cycle enzyme activities to additions of biochar and urea in a calcareous soil. *PloS One*, 11(9), e0161694.
- Song, Y., Zhang, X., Ma, B., Chang, S. X. & Gong, J., 2014. Biochar addition affected the dynamics of ammonia oxidizers and nitrification in microcosms of a coastal alkaline soil. *Biology and Fertility of Soils*, 50(2), 321-332.
- Sparkes, J. & Stoutjesdijk, P., 2011. Biochar: Implications for agricultural productivity. *abares.Tecnical Reports* 11.6. Aurtralia, pp:1-63

- Speir, T.W., 1984. Urease, phosphatase and sulphatase activities in Cook Island and Tongan soils. *New Zealand Journal Science*, 27: 73-79.
- Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., Archer, D. W., Ippolito, J. A., Collins, H. P., ... & Lentz, R. D., 2012. Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 973-989.
- Steiner, C., Melear, N., Harris, K. & Das, K. C., 2011. Biochar as bulking agent for poultry litter composting. *Carbon Management*, 2(3), 227-230.
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J. L. V., Blum, W. E., & 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.
- Suliman, W., Harsh, J. B., Abu-Lail, N. I., Fortuna, A. M., Dallmeyer, I., Garcia-Pérez, M., 2017. The role of biochar porosity and surface functionality in augmenting hydrologic properties of a sandy soil. *Science of The Total Environment*, 574, 139-147.
- Sun, F. & Lu, S., 2014. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177(1): 26-33.
- Sümer, S. K., Kavdır, Y. & Çiçek, G., 2016. Türkiye’de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. *KSÜ, Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(4), 379-387.
- Taban, S., Şahin, Ö., Turan, M. A., & Akça, H., 2020. Tarımsal üretimde çevre ve atık yönetimi. *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1*, 141. Ankara.
- Tabatabai, M. A., 1977. Effects of trace elements on urease activity in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 9(1), 9-13.
- Tabatabai, M. A., 1994. Soil Enzymes. Pages 775-833 In R.W. Weaver, S. Angle, P. Bottomley, D. Bezdicek, S. Smith, A. Tabatabai, and A. Wollum, Editors. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties.* Soil Science Society of America, Segoe, Wisconsin, USA.
- Tabatabai, M.A., 1982. Soil enzymes. In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2.* American Society of Agronomy, pp. 903–948.

- Tarakçıoğlu, C., Özenç, D. B., Yılmaz, F. I., Kulaç, S. & Aygün, S., 2019. Fındık kabuğundan üretilen biyokömürün toprağın besin maddesi kapsamı üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(1), 107-117.
- Tarf J.O., 2020. Farklı yöntemlerle elde edilen biyokömürlerin toprak özellikleri ve buğday verimine etkilerinin karşılaştırılması. (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Teutscherova, N., Lojka, B., Houška, J., Masaguer, A., Benito, M. & Vazquez, E., 2018. application of holm oak biochar alters dynamics of enzymatic and microbial activity in two contrasting mediterranean soils. *European Journal of Soil Biology*, 88, 15-26.
- Thalmann, A., 1967. Über die mikrobielle aktivitaet und ihre beziehung zur fruchtbarkeitsmerkmalen einiger ackerböden unter besonderer brücksichtigung der dehydrogenase aktivitaet (TTC-Reduktion) (Ph.D.Diss.), Justus Liebing University, Giessen, Germany.
- Thies, J. E. & M. C. Rillig., 2009. Characteristics of biochar: Biological properties. In: biochar for environmental management: Science and Technology. J. Lehmann, and S. Joseph (Eds.). Earthscan, United Kingdom, p. 85-105.
- Thomas, G.W., 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, Page, A.L., Miller, R.H. Keeney, D.R.(Ed) 2nd Edition. S.S.S. Of America Inc. Publisher, Madison, Wisconsin pp159-164.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3 – Chemical Methods. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 475–490.
- Tryon, E.H., 1948. Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecological Monographs* 18 (1), 81–115.
- Turan, V., 2019. Effects of biochar and sulfur amendment on soil phosphorus and soil enzyme activity in alkaline clay-loam soil. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3), 527-535.
- Turgay, O. C., Tarf, O. J. & Akça, M. O., 2018. Farklı yöntemlerle elde edilen biyokömürlerin toprak özellikleri ve buğday verimine etkilerinin karşılaştırılması. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Ankara.

- Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A. & Nishihara, E., 2011. Effect of cow manure on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management*, 27(2): 205-212.
- 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. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 231-238.
- Van Wambeke, A., 1992. *Soils of the tropics: properties and appraisal*. Pp: 353, McGraw-Hill, New York, USA.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., ... & Cowie, A., 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, 327(1-2), 235-246.
- Van Zwieten, L., Singh, B., Joseph, S., Kimber, S., Cowie, A. & Chan, K. Y., 2009. Biochar and emissions of non-CO₂ greenhouse gases from soil. *Biochar for environmental management: Science and Technology*, 1, 227-250.
- Vartapetyan, R. S. & Voloshchuk, A. B. M., 1995. The mechanism of the adsorption of water molecules on carbon adsorbents. *russian chemical reviews*, 64(11), 985.
- Verheijen, V., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van Der Velde, M. And Diafas, I., 2010. *Biochar Application to soils. a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions*. European Commission, Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, Italy.
- Wang C., Huang, Y., Wang, Y., Ye, J. & Lin, Y., 2011, A pilot study of application in orchard: effect on soil properties and labile organic carbon. *International Symposium On Biochar Research, Development and Application* October, 11, 2011, Nanjing, China.
- Wang, N., Li, J. Y. & Xu, R. K., 2009. Use of agricultural by products to study the pH effects in an acid tea garden soil. *Soil Use and Management*, 25(2), 128-132.
- Wang, R., Zhang, Y., Cerdà, A., Cao, M., Zhang, Y., Yin, J., ... & Chen, L., 2017. Changes in soil chemical properties as affected by pyrogenic organic matter amendment with different intensity and frequency. *Geoderma*, 289, 161-168.
- Wang, X., Song, D., Liang, G., Zhang, Q., Ai, C. & Zhou, W., 2015. Maize biochar addition rate influences soil enzyme activity and microbial community composition in a fluvo-aquic soil. *Applied Soil Ecology*, 96, 265-272.

- Wang, Z., Wang, Z., Luo, Y., Zhan, Y. N., Meng, Y. L. & Zhou, Z. G., 2020. Biochar increases 15N fertilizer retention and indigenous soil n uptake in a cotton-barley rotation system. *Geoderma*, 357, 113944.
- Waqas, M., Nizami, A. S., Aburiazaiza, A. S., Barakat, M. A., Ismail, I. M. I. & Rashid, M. I., 2018. Optimization of food waste compost with the use of biochar. *Journal of Environmental Management*, 216, 70-81.
- Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W., & Rillig, M. C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and Soil*, 300(1-2), 9-20.
- Wilhelm, W. W., Johnson, J. M., Hatfield, J. L., Voorhees, W. B. & Linden, D. R., 2004. Crop and soil productivity response to corn residue removal. *Agronomy Journal*, 96(1), 1-17.
- Wong, M. T. F. & Swift, R. S., 1995. Amelioration of aluminium phytotoxicity with organic matter. In *plant-soil interactions at low pH. Principles and Management* (Pp. 41-45). Springer, Dordrecht.
- Wu, C., Hou, Y., Bie, Y., Chen, X., Dong, Y. & Lin, L., 2020. Effects of biochar on soil water-soluble sodium, calcium, magnesium and soil enzyme activity of peach seedlings. *E&Es*, 446(3), 032007.
- Wu, D., Senbayram, M., Zang, H., Ugurlar, F., Aydemir, S., Brüggemann, N., Kuzyakov, Y., Bol, R. & Blagodatskaya, E., 2018. Effect of biochar origin and soil ph on greenhouse gas emissions from sandy and clay soils. *Applied Soil Ecology*, 129, 121-127.
- Wu, F., Jia, Z., Wang, S., Chang, S. X. & Startsev, A., 2013. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on greenhouse gas emissions and enzyme activities in a chernozemic soil. *Biology and Fertility of Soils*, 49(5), 555-565.
- Xiao, L., Yuan, G., Feng, L., Bi, D., Wei, J., Shen, G. & Liu, Z., 2020. Coupled effects of biochar use and farming practice on physical properties of a salt-affected soil with wheat–maize rotation. *Journal of Soils and Sediments*, 1-9.
- Xiao, Q., Zhu, L. X., Shen, Y. F. & Li, S. Q., 2016. Sensitivity of soil water retention and availability to biochar addition in rainfed semi-arid farmland during a three-year field experiment. *Field Crops Research*, 196, 284-293.

- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S. & Ogawa, M., 2006. Effect 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 Sci. Plant Nut.* 52, 489-495.
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M. & Zimmerman, A. R., 2012. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, 89(11), 1467-1471.
- Yılmaz, F. I. & Kurt, S., 2018. Biyokömür ve vermikompost uygulamalarının toprağın bazı biyolojik özellikleri üzerine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 143-150.
- Yip, K., Tian, F., Hayashi, J. I., & Wu, H., 2010. Effect of alkali and alkaline earth metallic species on biochar reactivity and syngas compositions during steam gasification. *Energy & Fuels*, 24(1), 173-181.
- Yip, K., Wu, H., & Zhang, D. K., 2007. Effect of inherent moisture in collie coal during pyrolysis due to in-situ steam gasification. *Energy & Fuels*, 21(5), 2883-2891.
- Yoo, G. & Kang, H., 2012. Effects of biochar addition on greenhouse gas emissions and microbial responses in a short-term laboratory experiment. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1193-1202.
- Yousaf, B., Liu, G., Wang, R., Abbas, Q., Imtiaz, M., & Liu, R., 2017. Investigating the biochar effects on C mineralization and sequestration of carbon in soil compared with conventional amendments using the stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$) approach. *GCB Bioenergy*, 9(6), 1085-1099.
- 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.
- Zantua, M. I., Dumenil, L. C., & Bremner, J. M., 1977. Relationships between soil urease activity and other soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 41(2), 350-352.
- Zavalloni, C., Alberti, G., Biasiol, S., Delle Vedove, G., Fornasier, F., Liu, J., Peressotti, A., 2011. Microbial Mineralization Of And Wheat Straw Mixture In Soil: A Short-Term Study. *Applied Soil Ecology*, 50, 45-51.

- Zhai, L., Caiji, Z., Liu, J., Wang, H., Ren, T., Gai, X., Xi, B. & Liu, H., 2014. Short-term effects of maize residue on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities. *Biology and Fertility of Soils*, 51(1), 113-122.
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng J., & Crowley, D., 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139(4), 469-475.
- Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J. & Zhang, X., 2012b. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from central china plain. *Plant and Soil*, 351(1-2), 263-275
- Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., Zheng, J., Zhang, X., Han, X. & Yu, X., 2012a. Effects of amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles. *Field Crops Research*, 127: 153-160.
- Zhang, J. B., Zhu, T. B., Cai, Z. C., Qin, S. W. & Müller, C., 2012c. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil nitrogen transformations. *European Journal of Soil Science*, 63(1), 75-85.
- Zhang, M., Cheng, G., Feng, H., Sun, B., Zhao, Y., Chen, H., Chen, J., Dyck, M., Wang, X., Zhang J. & Zhang, A., 2017. Effects of straw and biochar amendments on aggregate stability, soil organic carbon, and enzyme activities in the loess plateau, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(11), 10108-10120.
- Zhang, Q. Z., Dijkstra, F. A., Liu, X. R., Wang, Y. D., Huang, J., Lu, N., 2014. Effects of biochar on soil microbial biomass after four years of consecutive application in the north China plain. *PloS one*, 9(7), e102062.
- Zhang, Q., Du, Z., Lou, Y. & He, X., 2015a. A one-year short-term biochar application improved carbon accumulation in large macroaggregate fractions. *Catena*, 127, 26-31.
- Zhang, Y., Tan, Q., Hu, C., Zheng, C., Gui, H., Zeng, W., Sun, Xi. & Zhao, X., 2015b. Differences in responses of soil microbial properties and trifoliate orange seedling to biochar derived from three feedstocks. *Journal of Soils and Sediments*, 15(3), 541-551.

- Zhao, R., Coles, N., Kong, Z. & Wu, J., 2015. Effects of aged and fresh biochars on soil acidity under different incubation conditions. *Soil and Tillage Research*, 146, 133-138.
- Zhao, X., Wang, J., Wang, S., & Xing, G., 2014. Successive straw biochar application as a strategy to sequester carbon and improve fertility: A pot experiment with two rice/wheat rotations in paddy soil. *Plant and Soil*, 378(1-2), 279-294.
- 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.
- Zheng, W., Sharma, B.K. & Rajagopalan, N., 2010. Using As A Soil Amendment For Sustainable Agriculture, Submitted to Sustainable Agriculture Grant Program, Campaigning Country, Illinois, USA
- Zhou, D., Liu, D., Gao, F., Li, M. & Luo, X., 2017. Effects of biochar derived sewage sludge on heavy metal adsorption and immobilization in soils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7), 681.
- Zimmerman, A. R., 2010. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar). *Environmental Science & Technology*, 44(4), 1295-1301.
- Zimmerman, A. R., Gao, B., & Ahn, M. Y., 2011. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(6), 1169-1179.

7. ÖZGEÇMİŞ

Doğum Yeri	Antalya
Doğum Yılı	1983
Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü
Yüksek Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Doktora	Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Yabancı Dil/Seviye	İngilizce/Orta