

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TOHUM BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI



BİOCHAR VE VERMİKOMPOST UYGULAMALARININ FİNİDİĞİN
MİNİRAL ELEMENT KOMPOZİSYONUNA ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATMA SARIKAYA

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. FERİT SÖNMEZ

BOLU, TEMMUZ - 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Fatma SARIKAYA tarafından hazırlanan “**Biochar ve Vermikompost Uygulamalarının Fındığın Mineral Element Kompozisyonuna Etkisinin Belirlenmesi**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Tohum Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliğiyle kabul edilmiştir.
05.07.2024

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Doç. Dr. Ferit SÖNMEZ

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye

Prof. Dr. Füsun GÜLSER

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

.....

Üye

Doç. Dr. Mustafa Kenan GEÇER

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir,
- aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

Fatma SARIKAYA

ÖZET

BİOCHAR VE VERMİKOMPOST UYGULAMALARININ FINDIĞIN MİNERAL ELEMENT KOMPOZİSYONUNA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FATMA SARIKAYA

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TOHUM BİLİMİ VE TEKNOJİSİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. FERİT SÖNMEZ)

BOLU, TEMMUZ - 2024

Xiii-54

Bu çalışma tavuk gübresinden piroliz yolu ile üretilen biochar ve solucan gübresinden oluşan vermikompost uygulamasının findığın mineral kompozisyonuna etkisini belirlemek amacıyla Düzce ili Kaynaşlı ilçesi Darıyerihasanbey köyünde fındık bahçesinde tarla denemesi olarak yapılmıştır. Farklı dozlarda uygulanan vermikompost (0, 2.5kg, 5kg/ocak) ve biochar (0, 10kg, 20kg /ocak) uygulamalarının toprağın pH'sına etkisi önemsiz belirlenmiş iken Biochar uygulaması ile toprağın tuz içeriğinde önemli düzeyde artış görülmüştür. VxB interaksyonu Ca, Fe, Mn, Cu, Pb, Ni ve Cd içerikleri üzerine önemli etki etmiştir. Biochar ortalamaları incelendiğinde K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Cd, Ni, Pb ve toprağın tuz içeriklerini artırdığı belirlenmiştir. Vermikompost uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde K, Ca, Mg, Cu, Fe,ve Cd içeriklerini artırdığı, Pb ve Mn içeriklerinin ise azalttığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda biochar ve vermiompostun ayrı ayrı ya da beraber kullanımının bitkinin mineral element içeriğinde artış sağladığı belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Biochar, Vermikompost, Mineral element, Fındık, Düzce

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE EFFECT OF BIOCHAR AND VERMICOMPOST APPLICATIONS ON THE MINERAL ELEMENT COMPOSITION OF HAZELNUT

MSC THESIS

FATMA SARIKAYA

**BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY INSTITUTE OF
GRADUATE STUDIES**

DEPARTMENT OF SED SCIENCE AND TECHNOLOGIES

(SUPERVISOR: DOÇ. DR. FERİT SÖNMEZ)

BOLU, JULY, 2024

Xiii-54

This study was carried out as a field trial in the hazelnut garden in Darıyerihasanbey village of Kaynaşlı district of Düzce province in order to determine the effect of vermicompost application consisting of biochar and worm manure produced by pyrolysis from chicken manure on the mineral composition of hazelnuts. While the effect of vermicompost (0, 2.5kg, 5kg/pit) and biochar (0, 10kg, 20kg/pit) applications applied at different doses on the pH of the soil was determined to be insignificant a significant increase in the salt content of the soil was observed with the biochar application. VxB interaction had a significant effect on Ca, Fe, Mn, Cu, Pb, Ni and Cd contents. When biochar averages were examined, it was determined that it increased the salt content of K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Cd, Ni Pb and soil. When the averages of vermicompost applications were examined, it was determined that K, Ca, Mg, Cu, Fe and Cd contents increased, while Pb and Mn contents decreased. As a result of the study, it was determined that the use of biochar and vermicompost separately or together increased the mineral element content of the plant.

KEYWORDS: Biochar, Vermicompost, Mineral element, hazelnut, Düzce

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ.....	xii
TEŞEKKÜR.....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	6
2.1.Biyokömür (Biochar).....	6
2.2.Vermikompost (Solucan Gübresi).....	12
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Materyal.....	16
3.1.1. Deneme Öncesi Alınan Örneği, Vermikompost ve Biochara Ait Analiz Sonuçları.....	16
3.1.2. Deneme Alanına Ait İklim.....	17
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. Deneme Deseni ve Alanı.....	17
3.2.2. Toprak Örneklerinde Yapılan Kimyasal Analizler.....	18
3.2.2.1. Bünye.....	18
3.2.2.2. Eriyebilir Toplam Tuz.....	18
3.2.2.3. pH.....	18
3.2.2.4. Kireç.....	18
3.2.2.5. Organik Madde.....	18
3.2.2.6. Azot.....	19
3.2.2.7. Fosfor.....	19
3.2.2.8. Ekstrakte Edilebilir K, Ca ve Mg.....	19
3.2.2.9. Yarayırlı Fe, Mn, ve Cu.....	19
3.2.3. Bitki Örneklerinde Yapılan Kimyasal Analizler.....	19
3.3. İstatistiksel Analizler.....	20

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Uygulamaların Toprağın pH ve Tuz İçerikleri Üzerine Etkileri..	21
4.2. Uygulamaların Fındık Yapraklarının Makro ve Mikro Besin Elementleri İçerikleri Üzerine Etkisi.....	24
4.3. Uygulamaların Fındığın Yaprak Ağır Metal İçeriğine Etkisi.....	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	44
6. KAYNAKLAR.....	47



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Biochar yapısının sıcaklıkla değişimi.....	2
Şekil 4.2.1. İnteraksiyonun bitki kalsiyum içeriğine etkisi.....	28
Şekil 4.2.2. İnteraksiyonun bitki demir içeriğine etkisi.....	30
Şekil 4.2.3. İnteraksiyonun bitki mangan içeriğine etkisi.....	32
Şekil 4.2.4. İnteraksiyonun bitki bakır içeriğine etkisi.....	35
Şekil 4.3.1. İnteraksiyonun bitki kadmiyum içeriğine etkisi.....	38
Şekil 4.3.2. İnteraksiyonun bitki nikel içeriğine etkisi.....	41
Şekil 4.3.3. İnteraksiyonun bitki kurşun içeriğine etkisi.....	43

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1. Piroliz çeşitleri.....	3
Tablo 3.1.1.1. Deneme kullanılan toprak, biochar ve vermikomposta ait bazı analiz sonuçları.....	16
Tablo 3.1.2.1. Kaynaşlı İlçesine ait 2022 Nisan-Ekim aylık ortalama iklim değerleri.....	17
Tablo 4.1.1. Uygulamaların toprak pH'sına etkilerine ait varyans analiz tablosu.....	21
Tablo 4.1.2. Uygulamaların toprak pH'sı üzerine etkilerine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	21
Tablo 4.1.3. Uygulamaların toprağın tuz içeriğine etkilerine ait varyans analiz tablosu.....	22
Tablo 4.1.4. Uygulamaların toprağın tuz içeriği üzerine etkilerine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	23
Tablo 4.2.1. Uygulamaların fındık yaprağının fosfor içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	24
Tablo 4.2.2. Uygulamaların fındık yaprağının fosfor içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	24
Tablo 4.2.3. Uygulamaların fındık yaprağının potasyum içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	25
Tablo 4.2.4. Uygulamaların fındık yaprağının potasyum içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	25
Tablo 4.2.5. Uygulamaların fındık yaprağının kalsiyum içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	26
Tablo 4.2.6. Uygulamaların fındık yaprağının kalsiyum içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	27
Tablo 4.2.7. Uygulamaların fındık yaprağının magnezyum içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	28
Tablo 4.2.8. Uygulamaların fındık yaprağının magnezyum içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	28
Tablo 4.2.9. Uygulamaların fındık yaprağının demir içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	29
Tablo 4.2.10. Uygulamaların fındık yaprağının demir içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	29
Tablo 4.2.11. Uygulamaların fındık yaprağının mangan içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	31

Tablo 4.2.12.	Uygulamaların fındık yaprağının mangan içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	31
Tablo 4.2.13.	Uygulamaların fındık yaprağının çinko içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	33
Tablo 4.2.14.	Uygulamaların fındık yaprağının çinko içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	33
Tablo 4.2.15.	Uygulamaların fındık yaprağının bakır içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	34
Tablo 4.2.16.	Uygulamaların fındık yaprağının bakır içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	34
Tablo 4.3.1.	Uygulamaların fındık yaprağının kadmiyum içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	37
Tablo 4.3.2.	Uygulamaların fındık yaprağının kadmiyum içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	37
Tablo 4.3.3.	Uygulamaların fındık yaprağının nikel içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	39
Tablo 4.3.4.	Uygulamaların fındık yaprağının nikel içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	40
Tablo 4.3.5.	Uygulamaların fındık yaprağının kurşun içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu.....	41
Tablo 4.3.6.	Uygulamaların fındık yaprağının kurşun içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan testi.....	42

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

%	: Yüzde
*	: İstatistiki olarak önemlidir.
B	: Biochar
Ca	: Kalsiyum
cc	: Santimetre küp
Cd	: Kadmiyum
CH₄	: Metan
Cu	: Bakır
da	: Dekar
EC	: Elektriksel Kondüktivite
Fe	: Demir
g	: Gram
K	: Potasyum
KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
kg	: Kilogram
LSD	: Least Significance Difference
mg	: Miligram
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Nacl	: Sodyum Klorür
NH₃	: Amonyak
NH₄	: Amonyum
Ni	: Nikel
O.M.	: Organik Madde
öd	: İstatistiki olarak önemli değil.ECE
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
Sd	: Serbestlik Derecesi
V	: Vermikompost
vd.	: Ve diğerleri
VK	: Varyasyon Katsayısı

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca tez çalışma konusunun belirlenmesinde, yürütülmesinde, değerlendirilmesinde yardımlarını esirgemeyen ve her konuda tecrübeleriyle bana yol gösteren, değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ferit SÖNMEZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazım sürecimde desteğini benden esirgemeyen Ziraat Yüksek Mühendisi Ebru KURTARICI'ya teşekkür ederim.

BAP'a 2023-TYL-6.12.57-0010 nolu projeme verdiği destekten dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca tez saha çalışmalarımda her zaman destekçim olan eşim Mesut SARIKAYA'ya teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan ve beni büyük fedakalıklarla bugünlere getiren kıymetli anneme ve babama minettarım, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artışı, beraberinde bitkisel üretime olan gereksinimi artırmıştır. Artan nüfusun gıda ihtiyaçlarının karşılanabilmesi, tarımsal üretimin nitelik ve niceliğinin iyileştirilmesini gerekli kılmıştır.

Ülkemizde 2022 yılı toplam tarım alanı 23 milyon 865 bin hektar olarak belirtilmiştir (Anonim, 2024a). Tarımsal faaliyet yapılan alanların toprak özelliklerini iyileştirilebilmek ve bitkisel üretimde sürdürülebilir hale gelmesi için toprakların besin element içeriklerinin yeterli düzeyde tutulması yada artırılması gerekmektedir.

Ülkemizin önemli ürünlerinden olan fındık en çok Karadeniz Bölgesinde yetiştirilmektedir. Fındık ılımlı iklim koşullarını seven, yapısında insan için faydalı bileşikler içeren, Fe, K, Ca, Mg ve Zn içeriği açısından zengin olan sert kabuklu meyve türlerindendir. Ayrıca E vitamin içeriği, protein kapsamı ve Omega-3 değeri iyi seviyelerdedir (Anonim, 2024b).

Toprak, ekosistemin en önemli öğelerinden biridir ve yaşam kaynağıdır. Toprakların sürdürülebilir bir biçimde kullanılması, ekolojik denge ve insan beslenmesi için elzemdir. Artan nüfus beraberinde, birim alandan verim eldesini artırma çabasına yönlendirmiştir. Bu durum da toprağın yoğun kullanılmasına sebep olmuştur. Yoğun kullanılan toprağın sağlığı bozulmuş ve sürdürülebilirliği risk altına girmiştir. Genellikle yoğun olarak işlenen toprakların organik madde içeriği azalmasından dolayı toprakta yapısal bozulmalar meydana gelmektedir.

Organik madde, toprağın mikrorganizma aktivitesini, strüktürünü, besin elementi içeriği ve su tutulumu gibi özelliklerini etkilemektedir. Toprak verimliliği topraktaki organik madde miktarınca olup tarımsal alan verimliliği ile doğrudan ilişkilidir. Toprak organik madde miktarı sadece gübreleme ile artırılmaz ve sürdürülebilir değildir (Soyergin, 2003).

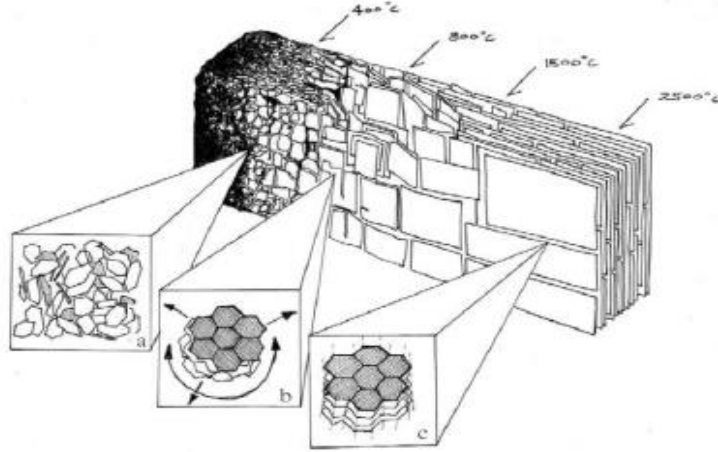
Toprak sağlığının anahtarlarından biri de organik madde içeriğidir. Bu nedenle toprak organik madde miktarını toprak düzeneyiciler, kompost, ahır gübresi ve hümitik-fulvik asit içeren leonardit uygulamalarıyla artırma çalışmaları yapılmalıdır (İmamoğlu, 2019).

Günümüzün artan enerji giderleri ve küresel iklim değişikliğinin etkisi, organik atıkların gübre ve enerjiye dönüşmesini güncel öncelikli çalışmalarda yer almasını sağlamıştır (Erarslan ve ark., 2010).

Hayvan gübrelerinin işlenerek tarım alanlarında daha etkin kullanımını sağlayan yeni teknolojilerin geliştirilmesi zorunlu olmuştur. Bu teknolojik gelişim, hayvan gübrelerinin kokusunun ve atmosfere salınan sera gazlarının azaltılmasına, hastalık ve zararlı etmenlerinin arındırılmasına, bileşimindeki besin maddelerinden en üst düzeyde faydalanmasına olanak sağlamayı gerekli kılmıştır (Gunes, 2012).

Amazon bölgesinde çernezyum (Terra preta) olarak tanınan verimli siyah toprakların biyokömür içeriği zengin ve içeriğindeki karbonun binlerce yıl toprakta kaldığı tespit edilmiştir (Lehman ve Joseph, 2009).

Biyokömür sentetik olarak, termokimyasal piroliz tekniği ile biyokütlenin organik yapısı karbonlaştırılarak üretilmektedir. Biyokütle çok az oksijen içeriğine sahip yada oksijensiz ortamlarda orta veya yavaş piroliz işlemine maruz kalır. Sıcaklığın 200 C°üzerine çıkması ile (<700 °C) büyük hidrokarbon molekülleri basit moleküllere parçalanmakla beraber kimyasal bağlar bozulmaktadır.



Şekil 1.1. Biochar yapısının sıcaklıkla değişimi (Lehmann ve Joseph, 2009)

Günümüzde piroliz işlemleri ile daha hızlı biochar üretimi gerçekleştirilmektedir. Genel olarak 500 °C sıcaklık ve basınç olarak da atmosfer basıncıdır. Piroliz ile sıvı, gaz ve katı ürünler elde edilmektedir. Ürünlerin miktarı ve cinsi son sıcaklık, ısıtma hızı ve biyokütlenin çeşidi gibi faktörlere bağlıdır.

Piroliz; proses işleminde uygulanan sıcaklık ve zaman parametrelerine göre ılımlı, yavaş, hızlı, orta ve flash olarak beş gruba ayrılır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Piroliz çeşitleri (Kambo ve Dutta, 2015)

Piroliz türü	Zaman	Isıtma hızı	Sıcaklık, °C	Sıvı ürün	Katı ürün %	Gaz ürün
Yavaş piroliz	20-60 dk	Çok düşük	200-600	30	35	35
Torrefaction	20-60 dk	Düşük	230-300	50	25	25
Orta piroliz	5-30 dk	Orta	500	40	30	30
Hızlı piroliz	<2 s	Yüksek	500-950	75	12	13
Flash piroliz	ms	Çok yüksek	1050-1300	85	5	10

Piroliz ile elde edilen sıvı, koyu renkli, petrol naftasına benzer ve kıvamlı yapıda bir kondensattır. Genellikle alkoller, asitler, ketonlar, aldehytler, furfurallar, fenolik bileşikler ve esterler gibi bileşenlerden meydana gelmektedir. Bu sıvı petrol naftası gibi bir işlemle tabi tutulmasıyla kimyasal hammadde kaynağı şeklinde kullanılabilir, yakılması ile enerjisinden yararlanabilir yahut ileri gazlaştırılması ile hidrojen üretimi yapılabilir (Duman ve ark., 2013).

Biyokömür, büyük yüzey alanına (~ 500 m²/g) sahip, katyon değişim ve su tutuma kapasitesi yüksek ve gözenekli bir yapıya sahiptir. Sahip olduğu bu özellikler toprağın katyonik faaliyetlerini artırarak toprakta Ca, Mg ve K gibi besin elementlerini tutabilmektedir. Biyokömür humik ve aromatik maddelerce zengindir (Lorenz ve Lal, 2014). Enerji yoğunlukları bakımından aynı miktar biyokütleyle oranla daha yüksek olmaktadır (Alhashimi ve Aktaş, 2017).

Genel olarak biochar bitki gübresi, toprağın iyileştirilmesi, iklim değişikliğinin azaltılması (CH₄ ve CO₂ salınımlarının azaltılması), materyal akış yönetim maliyetinin düşürülmesi, çevre kirliliğine sebep olan atıkların bertaraf edilmesi ve enerji üretimi gibi özelliklere sahiptir (Lorenz ve Lal, 2014).

Biyokömürlerin atık sularından ve topraktan inorganik ve organik kirlilikleri uzaklaştırmak için kullanımı yönünde yapılan araştırmaların son yıllarda önemi artmıştır (Tan ve ark., 2015). Bu faktörler modern biyokömür endüstrisi gelişimine katkı sağlamıştır.

Biyokömürün ekolojik düzenleyici ve toprak düzenleyici olarak kullanımı odak noktası olmaktadır (Lehman ve ark., 2006). Biyokömürler inorganik ve organik gübrelere beraber toprak düzenleyici olarak kullanıldığında toprak pH'sını düzenlemekte, toprağın fiziksel özelliklerini geliştirmekte, ürünün

verimliliğini, toprağın havalanmasını, bitki besin yarayışlılığını, besinlerin toprağa tutunmasını, kation değişim kapasitesini ve toprağın mikrobiyal aktivitesini artırmaktadır.

Sera gazı salınımının azaltılmasının beraberinde biyokömürün topraktaki varlığı toprak verimliliğinin artması ile beraber tarımsal üretimde yükselmeye, suyun kalitesinde iyileşmeye ve tarım arazilerindeki baskıların azalmasına sebep olabilmektedir (Laird, 2008).

Yapılan çalışmalarda, inorganik ve organik gübreler ile biyokömürün karıştırılarak yapılan uygulamanın ürün performansında artışa neden olduğu rapor edilmiştir. Bu durum fazla yıkanan topraklara karıştırılan biyokömürün besin element tutunmasındaki artış ile ilişkilendirilmiştir (Lehmann ve ark., 2011).

Çeşitli hayvansal ve bitkisel orjinli organik atıkların solucanlar tarafından sindirilmesi ile oluşan (Açıkbaş ve Bellitürk, 2016) içeriğinde asimbiyotik mikroorganizmalar ve simbiyotik bakteri (*Rhizobium*) ile mikoriza mantarını da içeriğinde barındıran sıvı ve katı olarak yaygın kullanılan kompost çeşidine solucan gübresi veya vermikompost adı verilmektedir (Demir ve ark., 2010).

Hayvansal ve bitkisel organik atıkların solucanlar ve faydalı mikroorganizmalar tarafından işlenmesi ile yapıtaşlarına ayrılma sürecine vermikompost, vermikompostlama yada biyohumus denilmektedir. Vermikompost, *Eisenia fetida* ve *Lumbricus rubellus* toprak solucanı türleri organik olarak yetiştirilerek elde edilmektedir. Organik bitkisel materyaller ve büyükbaş hayvan dışkılarının kimyasal, fiziksel yapılarını değiştirilmesi ile üretilmektedir. Üretimi değerli olan vermikompostun ambalajlanma işlemi maliyetlidir (Abacıoğlu ve ark., 2020). Atıkların geri dönüşümüne sebep olan solucan gübresi çevreyi yüksek oranda olumlu etkilediği belirtilmiştir (Demir ve ark., 2010). Solucan gübresinin granül yapısı toprağın su tutma kapasitesini artırır ve strüktürünü düzenler. Solucan gübresi doğal bir gübre olup bitkilere toksik etki yapmamakta, bünyesinde bulunan bakterilerin topraktaki zararlı bakteriler ile rekabeti, bitkinin direncini artırmaktadır.

Toprağın fiziksel yapısını düzelter toprak solucanları beraberinde mikrobiyal aktivitenin artmasını da sağlayarak, humus oluşumuna katkı sağlayıp organik maddelerin ayrışmasını hızlandırmaktadır. İlkbahar aylarında yağışın çok olmasıyla solucan faaliyetlerinin arttığı gözlemlenirken yaz aylarında toprağın

kuruması ile faaliyetleri azalır ve toprağın derinlerine inerler (Yildiz ve ark., 2005).

Bu çalışmanın amacı; biochar ve vermikompostun birlikte ve ayrı ayrı olarak fındık ocaklarına uygulanması ile bitkinin mineral element kompozisyonuna etkisini incelemektir.



2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Biochar ve vermikompost ile ilgili genel bilgiler, vermikompost ve biyokömür konuları ile ilgili yürütülmüş farklı çalışmalar özet olarak sunulmuştur.

2.1 Biyokömür (Biochar)

Biochar, piroliz yoluyla üretilen karbon açısından zengin bir malzemedir. Son yıllarda toprak kalitesini iyileştiren bir toprak iyileştirme maddesi olarak tanımlanmaktadır.

Guan ve ark., (2006); Makoviny ve Makavinyiova, (2011); Naeem ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada biocharın düşük ısı iletkenliği özelliği, binalarda yalıtım amaçlı yapı malzemesi veya elektromanyetik radyasyonun emilimi malzemesi olarak da kullanımının sağlandığını bildirmişlerdir. Yüksek su tutma özelliği ve pH değeri ile çimento harcında kireç yerine de kullanılabilen biochar hem yalıtım sağlayabilir hem de oda içerisinde nemi sürdürülebildiğini belirtmişlerdir. Gaz tutulumu iyi olduğu için duman ve kötü koku olabilecek yerlerde kullanımının avantajlı olacağını bildirmişlerdir.

Lehmann ve ark., (2009) biyokömürün çok az oksijenli koşullarda karbon (C) bazlı ham materyalin pirolizi sonrası üretilen kömürleşmiş organik bir materyal olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca biochar toprak özelliklerini geliştirmek, karbon tutulmasını sağlamak ve toprağın iyileştirilmesi için uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Özmen, (2009) Atmosfer tabakasında sera gazlarının artması sonucunda dünyamızın ısınmaya başladığını bildirmiştir. Küresel ısınmayı önlemek için gelişmiş ülkelerde uluslararası pekçok konferans ve toplantı yapılmış ve sonuç olarak sera gazları miktarının azaltılması için gerek duyulan önlemlerin alınması kararını birçok ülkenin imzaladığını bildirmişlerdir.

Atkinson ve ark., (2010) toprak özellikleri, bitki ve mikrobiyal ekosistem üzerindeki olumlu etkinin ana nedeni, toprağın fiziksel-kimyasal özellikleri, mevcut besin içerikleri ve besin maddelerini adsorbe etme ve bunları yavaş yavaş toprak çözeltisine bırakma yeteneği üzerindeki doğrudan biochar etkisinin olduğunu bildirmişlerdir.

Kalyani ve Anitha, (2013) biocharın elektrokimyasal enerji depolama araçlarında da kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Shang ve ark., (2013) yaptıkları çalışmada biocharın özellikle hidrojen sülfür (H_2S) gibi gazları tutma yeteneğinin olduğunu belirtmişlerdir.

Glaser ve ark., (2014) Biocharın toprakta kendi ağırlığının altı katı kadar su tutabildiğini, topraktan azot ve fosfor gibi elementlerin bitkiler tarafından daha kolay alınabilmesini sağlayarak toprak için iyi birer besin maddesi olabileceğini bildirmişlerdir.

Lorenz ve Lal, (2014) biocharın, gözenekli yapıda olduğunu, yüzey alanının büyük ($\sim 500 \text{ m}^2/\text{g}$), katyon değişim ve su tutma kapasitelerinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu özellikleri toprağın katyonik faaliyetleri artırıp toprakta Ca, Mg, ve K gibi besinlerin tutulumunu sağladığını bildirmişlerdir.

Lorenz ve Lal, (2014) Genel olarak biocharın bitki gübresi, Toprak iyileştirici, agrokimyasalların bağlanarak toprakta verimi artırması, toprakta C depolaması, iklimde meydana gelen değişimlerin azaltılması, (CH_4 ve CO_2 salınımlarının azaltılması), çevre kirliliğine sebep olan atıklar bertaraf edilip atık yönetimi sağlanarak materyal akım maliyetinin düşürülmesi ve enerji üretimi için kullanılması gibi motivasyonlara sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Mukherjee ve ark., (2014) Biocharın besin bileşimi, hammadde malzemesine ve piroliz koşullarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Tan ve ark., (2015) biocharların atık sulardan ve topraktan inorganik ve organik kirlilikleri uzaklaştırmak için kullanılması yönünde yapılan araştırmaların son yıllarda önem kazandığı ve bu faktörlerin biochar endüstrisinin gelişiminde belirleyici olduğunu bildirmişlerdir.

Han ve ark., (2016); Jung ve ark., (2015); Ding ve ark., (2016a); Ding ve ark., (2016b) Biocharın adsorbe etme özelliği sulardaki ağır metal ve organik kirleticilerin giderilmesinde kullanımını sağladığını bildirmişlerdir.

Ippolito ve ark., (2016) biocharın sahip olduğu özellikleri ile özellikle çöl topraklarının tarımsal faaliyetler konusunda avantaj sağlayabileceğini bildirmişlerdir. Bunun biocharın yüzeyindeki fonksiyonel gruplar ile topraktaki katyonik faaliyetleri artırdığını ve böylece toprakların Ca, Mg ve K gibi besinleri tutabileceğini tarımsal üretimde verimi artırabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca biochar genel olarak bazik karakter özelliği göstermesi nedeniyle özellikle asit reaksiyonlu toprakların pH değerlerini artırarak toprak pH'sını düzenleyebileceğini belirtmişlerdir.

Novak ve ark., (2016) biochar konusunda yapılan pekçok çalışmanın, bu uygulamanın toprağa olumlu bir etkisini açıklarken, mahsul verimine verilen tepkilerin tutarlı olmadığını bildirmişlerdir.

Sümer ve ark., (2016) Türkiye’de hayvansal ve tarımsal atıkların biyokömüre dönüşüm potansiyelinin teorik olarak belirtilmesi ve biyokömür üretim olanaklarının değerlendirilmesi amacıyla yaptıkları araştırmada 2015 yılında üretilen hayvansal ve tarımsal üretim atıklarının biyokömüre dönüşüm potansiyelinin 3.942.654 ton olduğunu tespit etmişlerdir. Toplam biyokömür potansiyelinin %77’sini hayvansal atıklardan, %22.5’ini bağ budama ve bahçe atıklarından, %0.6’sını ise tarla tarımı atıklarında oluştuğunu bildirmişlerdir.

Yang ve ark., (2016) yaptıkları çalışma sonunda biocharın H₂S dışında zehirli NH₃, CO₂ ve Hg gibi sera gazlarının uzaklaştırılmasında da etkili ve yeni bir gaz uzaklaştırıcı materyal olduğunu bildirmişlerdir.

Akgül, (2017)’ün bildirdiğine göre modern biochar endüstrisi yeni olmasına rağmen doğadaki varoluşu yüzyıllarca kendiliğinden devam ettiğini belirtmiştir. Bitkisel atıkların toprağın altında beklediğinde kendiliğinden meydana gelen ot yangınları ile uzun süreçlerde karbonize olarak biyokömürün oluştuğunu belirtmiştir. Biyokömürün (İngilizcesi “biochar”), saf karbon olmadığını, oksijen ve hidrojen gibi fonksiyonel yan grupları içeriğinde bulunduran organik kaynaşmış moleküllerin karışımından ibaret olduğunu ifade etmiştir.

Alhashimi ve ark., (2017) biocharın enerji yoğunluğunun aynı miktardaki biyokütleden daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Günel ve ark., (2017) yapmış oldukları çalışmada topraktaki nitrat ve amonyum yıkanmasına biyokömürün etkisini araştırmışlardır. Çalışmada toprağa artan dozlarda (%1, %3 ve %6) biyochar ilavesi yapılmış. deneme sonunda kolonlarda en yüksek nitrat konsantrasyonu 9532 mg kg⁻¹ ile %6 biyochar dozunda olduğunu tespit etmişlerdir.

Çelik ve ark., (2019) biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynağına dönüşümünde kullanılması ve atık yönetimi gibi konulara dikkat çekmek için yaptıkları çalışmada badem ve tütün atıklarından elde edilen biocharın elementel özelliklerini ve topraklar üzerine mikro morfolojik açıdan etkilerini araştırmışlardır. Tarla koşullarında 3 tekerrürlü olarak, her blokta 5 parsel oluşturulan çalışmada parsellerden ikisine badem biyokömürü, ikisine tütün ve bir

parselede kimyasal gübre uygulamaları yapılarak anason bitkisi yetiştirmişlerdir. Badem biyokömüründe %H, %C, %S ve %N değerleri tütün biyokömüründen daha yüksek değerde tespit etmişlerdir Tütün biyokömüründe EC, pH ve CaCO₃ değerleri bademden elde edilen biyokömüre göre daha yüksek düzeyde tespit etmişlerdir. Badem ve tütün biyokömüründe morfolojik bakımdan deformasyon düzeyi diğer gübre ve biyokömür ilave edilen parsellere göre daha fazla olduğu, buna bağlı olarak daha fazla yüzey alanını oluşturma potansiyeline sahip olduğunu belirlemişlerdir. Toprak verimliliği ve bitki yetiştiriciliği açısından badem biyokömürü tütün biyokömüründen daha iyi özelliklere sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Di ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada vermikompost uygulamalarından kaynaklı N₂O gazı salınımını biochar uygulaması ile %14.1-%18.6 oranında azalttığını bildirmişlerdir.

Kaya ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada tavuk gübresinden elde edilen biochar ile zeytin pirinası biocharının P kullanım etkinliğini ve mısır ile çeltiğin gelişimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaları sonunda mısır bitkisinin kuru ağırlığı kontrole göre biochar uygulamaları ile artış göstermiş, çeltikte ise yalnızca 50 ve 100 mg P kg⁻¹ uygulama dozlarının kuru ağırlığı artırdığını bildirmişlerdir. Toprakların toplam P içeriği tavuk gübresi biochar uygulamasıyla her iki bitkide de önemli düzeyde arttığı ve bitkilerin verim parametrelerinin iyileştiğini bildirmişlerdir.

Sönmez ve ark., (2019a) yapmış oldukları çalışmada artan dozlarda solucan gübresi ve biochar (%0, %5, %10 ve %20) uygulamalarının bitki gelişimine etkisini ve toprak örneklerinde makro ve mikro element içeriklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda kök üstü organ, toprak ve kök örneklerinin besin element içeriği üzerine solucan gübresi ve biochar uygulamalarının kontrole göre belirgin artış sağladığını bildirmişlerdir. Kontrol grubu bitkilerine göre toprak ve bitki besin element içeriklerinde en belirgin değişim daha çok solucan gübresinin %5 (Ca ve K elementlerinde) ve %20 (Zn, Na, Cu, Mn, Mg ve Fe elementlerinde) uygulama dozlarında belirlendiğini bildirmişlerdir. Biyokömürün %20 uygulama dozunda solucan gübresi kadar artış sağladığını ifade etmişlerdir.

Sonuç olarak biocharın iyi bir organik gübre kaynağı ve toprak düzenleyici olarak kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

TURAN, (2019) zeytin posasından elde edilen biochar ve kükürtün birlikte ve ayrı ayrı uygulanmasının pH sı yüksek olan ve killi-tınlı topraklarda toprak sağlığı ile fosfor elverişliliği açısından önemli olan enzim aktiviteleri (fosfataz, asit fosfataz, dehidrogenaz, β -Glukozidaz ve alkalın) üzerine etkilerini araştırdığı çalışmada topraklara farklı dozlarda biochar (0, %0.75, %1.5) ve kükürt (0,800 mg kg^{-1}) uygulanarak kontrollü şartlarda faktöriyel deneme planına göre 45 gün süre ile inkübasyona bırakmıştır. Toplam fosfor, elektiriksel iletkenlik (EC) ve β -Glukozidaz enzim aktivitesi üzerine biochar ve kükürt interaksiyonunun önemli olduğunu bildirmiştir. Biocharın kükürtle birlikte kullanımının toplam fosfor miktarını artırdığını hem biochar hem kükürt uygulamalarının elverişli fosfor miktarını da artırdığını tespit etmiştir. Bununla birlikte, biochar ve kükürtün birlikte uygulanmasının toprak EC değerinde artışa neden olduğunu, kükürt uygulamasının toprak pH değerini de düşürdüğünü tespit etmiştir. Toprağın organik madde miktarının artan biochar dozuyla yükseldiğini tespit etmiştir. Biochar ve kükürt uygulaması, alkalın fosfataz dehidrogenaz ve asit fosfataz enzim aktivitesine etki yapmazken biochar uygulaması yapılmayan ama kükürt uygulanan toprakların β -Glukozidaz enzim aktivitesinin azaldığını belirtmiştir. Biochar ve kükürt uygulamalarının arazi koşullarında uygun dozlarda çalışılmasının gerekli olduğunu ifade etmiştir.

Mounirou ve ark., (2020) yapmış oldukları çalışmada %100 inorganik gübre, biochar ve biochar+ keçi gübresi uygulamalarıyla bitkinin azot içeriği, inorganik gübre uygulamayan ama organik gübre uygulamaları yapılan ortamlarda yetiştirilen bitkilerin P içeriği ve biochar ve biochar + keçi gübresi uygulamalarında ise K, Ca ve Mg içeriklerinin arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca biochar uygulamasının tek başına yapılan bitkilerde Fe ve Cu içeriğini önemli düzeyde azalttığını tespit etmişlerdir. Buna karşılık inorganik gübre uygulaması Zn içeriğini artırdığı, biochar ve biochar+keçi gübresi uygulamalarının bitkinin Mn içeriğini önemli düzeyde artırdığını belirtmişlerdir. Biochar ve keçi gübresi'nin birlikte uygulanmasının verim ve verim öğeleri açısından daha uygun olduğunu bildirmişlerdir.

Yasemin ve Erdem, (2020) yapmış oldukları çalışmada biochar uygulamasının ekmeklik buğdayın kadmiyum (Cd) alımına olan etkisini

araştırdıkları çalışmada mahlep çekirdeğine yavaş piroliz işlemi uygulanarak elde edilen biocharı kullandıkları denemede 5 farklı Cd dozu (0, 2.5, 5, 10 ve 20 mg kg⁻¹) ve 6 farklı biochar dozu (% 0, 0.5, 1, 2, 3 ve 4) uygulamışlardır. Hasat edilen bitkilerin yeşil aksam kuru madde verimi ile N, Fe, P, Zn, K ve Cd konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Çalışmada toprağa artan dozda Cd ve biochar uygulaması ile kurumadde verimi kontrol uygulamalarına göre istatistiksel olarak azaldığını tespit etmişlerdir. Cd' un 10 mg kg⁻¹ ve 20 mg kg⁻¹ dozunda %4 oranında uygulanan biochar materyalinin Cd' un bitkideki konsantrasyonunu kontrol uygulamasına göre sırasıyla % 40,49 ve % 35,76 oranında azalttığını tespit edilmişlerdir. Cd ile kirlenmiş topraklara biochar uygulaması ile bitkilerin Cd alımının azaltılabileceğini bildirmişlerdir.

Arin ve Coşkan, (2021) Yapmış oldukları çalışmada biyokömürün Karadeniz bölgesi topraklarının biyolojik aktivitelerine ve pH'larına etkisini araştırmışlardır. Çay budama atıklarından elde edilen biyokömürden %0, %0.5, ve %1 dozlarında deneme topraklarına uygulanmışlardır. Çalışmada çay budama atıklarından elde edilen biochar uygulamalarının β glukozidaz ve proteaz enzim aktivitelerini, toprak pH'sını ve mineral azot formlarının (NO₃⁻ ve NH₄⁺) konsantrasyonlarını artırdığını tespit etmişlerdir.

Güneç ve ark., (2023) piroliz yöntemi kullanılarak elde edilen biocharın özellikleri, anaerobik parçalanma prosesi üzerindeki etki mekanizmaları ve kullanım alanları incelenerek yapılan araştırmada biocharların immobilizasyon ve adsorpsiyon özelliklerinin anaerobik parçalanma prosesinin verimini iyileştirdiği, sistem kararlılığını artırdığı, inhibisyonu engellediği, biyogaz üretimini artırdığı sistemin C/N oranının sağlanmasına katkı sağladığı uygulamalar olduğunu tespit etmişlerdir. Biocharın elde edildiği piroliz koşullarının optimizasyonunun önemli olduğu, kullanılacak biocharın spesifik özelliklerinin proses verimi üzerindeki etkisinin önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Keskinaslan ve ark., (2023) turuncgil budama atığından üretilen biocharın (%0 - %1 biochar), Fortuna ve Sabrina çilek çeşitlerinin yapraklarındaki bazı bitki besin element içerikleri üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada yapraklardan alınan örneklerde biochar uygulamasının yapraklarda Zn, Fe, K düzeylerine olumlu etki yaptığını ve kontrol ile uygulama arasındaki farkın istatistiksel olarak

önemli olduğunu tespit etmişlerdir. Biochar uygulanan bitkilerin yapraklarında özellikle Zn ve Fe düzeylerinde çok belirgin bir artış görüldüğünü bildirilmişlerdir.

2.2 Vermikompost (Solucan Gübresi)

Buchanan ve ark., (1988) vermikompostun içeriğindeki solucan mucusu ile kaplı olup yavaş bir şekilde salınan besin elementlerinin bitkiler tarafından hemen kullanılabilecek formda olduğunu bildirmişlerdir. Besin elementlerinin yavaş çözünmesinden dolayı sızıntı sonrası besin element kaybı olmadığını belirtmişlerdir. Vermikompostun su tutma kapasitesinin yüksek olması, fazla havalanması ve gözenekli bir yapıya sahip olması bu materyalin aynı zamanda mükemmel bir toprak düzenleyici olduğunu bildirmişlerdir. Vermikompost bitki köklerini aşırı sıcaklıklara karşı korurken erezyon riskini ve yabancı ot gelişimini azalttığını bildirmişlerdir. Aerobik parçalanma sonrası solucanın sıvı formda aldığı besinlerin sindirim sisteminde daha fazla parçalanması, vermikompostu bitki için faydalı olan besin elementleri bakımından zengin olduğunu bildirmişlerdir.

Bansal ve Kapoor, (2000); Dickerson, (2004) vermikompost üretiminin ticari amaçlı yapılması hedeflenen alanlarda en fazla *Lmbricusrubellus* spp. ve *Eisenia* spp. taksonların tercih edildiğini bildirmişlerdir.

Sharma, (2003) yapmış olduğu çalışmada *Eisenia fetida* türü kullanılarak elde edilen verikompostun toplam organik madde, toplam azot (N), C: N oranı, potasyum (K) ve fosfor (P) miktarları bakımından daha üstün özellikler taşıdığını belirtmiştir. Ayrıca *Eisenia fetida* türü ile elde edilen vermikompostlarda tuzluluk oranlarının daha düşük olduğunu bildirmiştir.

Erşahin, (2007) ılıman iklim kuşağında üretimi yapılacak vermikompost için ılıman iklim kuşağının daha fazla görülen *Eisenia andrei*, *Eisenia fetida* ve *Dendrobaena veneta* türlerin seçilmesinin daha faydalı olacağı bildirilmiştir. Sıcak tropik iklime sahip bölgelerde üretilen vermikompost için *Lmbricusrubellus* ve *Perionyx excavatus* türlerinin daha iyi adapte olduğunu bildirmiştir.

Demir ve ark., (2010) solucan gübresinin, organik atıkların geri dönüşümünü sağlaması nedeniyle çevreye büyük oranda olumlu etkilerinin olduğunu bildirmiştir.

Dominguez ve Edwards, (2011) vermikompost üretiminde *Eisenia fetida* (tiger worm), *Dendrobaena veneta* *Eisenia andrei* (red tiger worm), *Imbricusrubellus* (red worm), *Eudrilus eugeniae* (African nightcrawler) *Perionyx excavatus* (Indian blue worm), türleri kullanılan başlıca solucan türleri olduğunu bildirmişlerdir.

Dinç, (2014) günümüzde vermikompostun bitkisel üretimin sürdürülebilirliğini desteklemesinden dolayı en ekonomik fayda sağlayan yöntemlerden olduğunu belirtmişlerdir. Endüstriyel gelişmelerin hızlanması ve popülasyon artışı bakımından bir çevre sorununa dönüşen katı organik atıkların işlenmesinde ve parçalanmasında vermikompost elde etme yöntemlerinin yoğun bir şekilde uygulandığını bildirmişlerdir. Hem ticari hemde ekolojik bakımdan yüksek değere sahip ürünler sağlayan vermikompost tekniğinin dünyada yoğun olarak kullanıldığını bildirmişlerdir.

Küçükyumuk ve ark., (2014) yapmış oldukları çalışmada vermikompost ve mikorizanın ayrı ayrı ve birlikte kullanılmasının bitki gelişimi ve mineral beslenmesi bakımından bitkinin kuru ağırlık, yaş ağırlık ve besin element içeriği üzerine olumlu etkilerini bildirmişlerdir.

Doğan ve ark., (2018) Solucan gübresinin ısıtma işlemi tabi tutulup tutulmaması üreticiler açısından tartışma konusu olduğunu araştırmacıların ise ısıtma işlemin, mikrobiyal faaliyetleri azaltacağından sakıncalı bulunduğunu bildirmişlerdir. Isıtma işlemin solucanın dışkılarından elde edilen solucan gübresine mi yoksa solucan maması olarak kullanılacak çiftlik gübresine mi uygulanması gerektiği konusunda araştırmaların yetersiz olmakla beraber devam etmekte olduğunu bildirmişlerdir

Sönmez ve ark., (2019b) yaptıkları çalışmada farklı inkübasyon süreleri ile artan dozda uygulanan vermikompostun toprağın bitki besin maddesi içeriğine etkisini araştırmışlardır. Vermikompostun 4 farklı dozunu (0, 50, 100 ve 200 kg/da) uygulamışlar ve 0, 30, 60 gün inkübasyona bırakmışlar. Inkübasyon süresinin farklılığı toprağın alınabilir P, toplam N, değişebilir Ca, Mg, K ve alınabilir Zn, Fe, Cu ve Mn içeriklerine etkileri %0.1 düzeyde önemli bulmuşlarken; toprağın değişebilir Mg içeriği üzerine etkisinin önemsiz olduğunu bildirmişlerdir. Inkübasyon süresinin uzaması beraberinde besin element içeriğinde genel bir azalışa sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Artan dozlarda uygulanan vermikompostun toprağın Mn, toplam N, alınabilir P, K ve değişebilir

Zn içeriklerinin genel olarak arttığı; değişebilir Ca içeriğinin ise azaldığını tespit edilmişlerdir. Toprağın alınabilir Cu, Fe ve değişebilir Mg içerikleri üzerine etkisini önemsiz bulmuşlardır.

Sönmez ve ark., (2019c) vermikompostun sümbülün Co, Mo, Ni ve Cd içeriklerine etkisini araştırdıkları çalışmada vermikompostun 4 dozu (0, 25 ,50 ve 100 g/soğan) ve kimyasal gübrenin (20-20-0) 4 doz (0, 2, 4, 8 kg da⁻¹)’nu uygulamışlar. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre vermikompostun ve kimyasal gübre uygulamalarının sümbülün Cd, Mo ve Ni içerikleri üzerine önemli etki yaptığı buna karşın Co içeriği üzerine etkisinin önemli olmadığını bildirmişlerdir.

Vurgun ve ark., (2019) vermikompostun fosfor elementinin alınabilir forma geçmesi üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada vermikompostu organik gübre olarak (1000 kg/da), perliti ise yetiştirme ortamı olarak kullanmışlardır. Farklı dozlarda fosfat uygulanarak yapılan çalışmada 1 da için 10 kg fosfor uygulaması olumlu sonuç vermesine karşın 10 kg üzeri uygulamalarda fosfor miktarında azalma olduğu bildirilmiştir.

Durukan ve ark., (2020) vermikompostun farklı dozlarda uygulanmasının bitkinin verimi ile besin element içeriğine olan etkisi üzerine yapmış oldukları çalışmada bitkinin kurumadde miktarının ve makro element konsantrasyonunun artan vermikompost dozlarıyla birlikte arttığını, mikro element konsantrasyonlarını azalttığını bildirmişlerdir.

Yaviç ve ark., (2020) Vermikompostun domates yetiştiriciliğinde önemli sorunlardan olan ve verim kayıplarına neden olan Sclerotnia sclertiorum patojeninin sebep olduğu kök çürüklüğü hastalığı ve domatesin bazı gelişim parametreleri üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada morfolojik gelişim parametrelerine etki etmediği ve kök çürüklüğü hastalığına sebep olan patojenin istenilen düzeyde kontrol altına almadığı, ancak sklerot oluşumunun engellendiğini tespit etmişlerdir.

Dizikisa ve ark., (2022) yaptıkları çalışmada farklı dozlarda uygulanan vermikompostun mısırın gelişimine ve makro element içeriğine etkisini incelemişlerdir. Vermikompost uygulamasının V2 dozunda (%0.2) bitki azot alımı (%1.515 N) en yüksek; V1 dozunda(0) sodyum (%4.204 Na) ve potasyum (%2.186) en yüksek, bitki Mg alımı ise V3 dozunda (%0.6) en yüksek (%4.204 Mg) bulmuşlardır. Vermikompost uygulamasının makro besin alımında önemli

etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir. Bu araştırmada kullanılan vermikompostun yüksek tuz içeriğine dikkat çekmişlerdir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Deneme Düzce ili Kaynaşlı ilçesine bağlı Darıyerihasanbey köyünde 2022 yetiştirme sezonunda bir fındık bahçesinde yürütülmüştür. Denemede 4-5 yaşlarında yetişkin fındık ağaçları kullanılmıştır.

Deneme üç tekerrürlü olarak tesadüf bloklarında faktöryel deneme desenine göre kurulmuştur. Denemede her fındık ocağına vermikompostun 0, 2 ve 4 kg ocak⁻¹ dozları ile tavuk gübresinden piroliz yöntemi ile elde edilen biochar'ın 0, 1 ve 2 kg ocak⁻¹ dozları uygulanmıştır.

Düzce il Kaynaşlı ilçesinde Delisava (Çakıldak) ve ağırlıklı olarak Karafındık çeşitlerinin yetiştiriciliği yapılmaktadır.

3.1.1 Deneme Öncesi Alınan Toprak Örneği, Vermikompost ve Biochara Ait Analiz Sonuçları

Deneme alanın toprak özellikleri, biochar ve vermikomposta ait özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 3.1.1.1. Denemede kullanılan toprak, biochar ve vermikomposta ait bazı analiz sonuçları

Materyal	Tekstür	pH	Tuz	Kireç	O.M.	N	P	K	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu
			%				mg kg ⁻¹						
Toprak	Tın	7.84	0.183	1.1	2.58	0.206	2.5	185	1694	5.2	3.5	0.7	2.7
Biochar	-	9.43	10.82	-	36.7	-	13450*	450	15920	511	151	653	53
Vermikompost	-	7.39	3.51	-	64.1	0.512	16540*	5021	10311	2413	441	438	39

*; toplam fosfor

Tablo 3.1.1.1.'de görüleceği üzere denemede kullanılan toprak tınlı bünyeli, organik madde içeriğinin orta, tuzsuz ve hafif alkali olduğu tespit edilmiştir. Toplam azot içeriği bakımından yetersiz, yarayışlı fosfor kapsamı noksan, ekstrakte edilebilir kalsiyum, magnezyum, potasyum ile yarayışlı bakır, mangan

ve demir içeriklerinin yeterli olduğu, çinko bakımından ise noksan sınıfında olduğu belirlenmiştir (Tüzüner, 1990).

3.1.2 Deneme Alanına Ait İklim Özellikleri

Denemenin yürütüldüğü Kaynaşlı İlçesine ait 2022 yılı Nisan-Ekim ayları arasına ait aylık ortalama iklim değerleri Tablo 3.1.2.1.'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1.2.1. Kaynaşlı İlçesine ait 2022 Nisan-Ekim aylık ortalama iklim değerleri

Aylar	Ortalama Nisbi Nem (%)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Toplam Yağış (mm)
Nisan	66.7	13.2	44.3
Mayıs	68.6	16.4	26.1
Haziran	78.5	20.0	223.2
Temmuz	73.8	21.3	45.1
Ağustos	76.6	23.4	51.7
Eylül	73.8	19.1	37.5
Ekim	81.6	14.0	69.8

3.2 Yöntem

3.2.1 Deneme Deseni ve Alanı

Deneme üç tekerrürlü olacak şekilde ve tesadüf bloklarında faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Deneme için fındık bahçesinden 675 m² alan kullanılmıştır. Denemelerin yürütüleceği fındık bahçesinde Karafındık çeşidi kullanılmıştır. Kullanılan fındık bahçesinde %9 eğimli (hafif eğimli) ve fındık dikim aralığı 5 m olarak uygulanmıştır. Fındık bahçesi, ilkbaharda çapalama işlemi yapıldıktan sonra gübre uygulaması için uygun hale getirilmiştir.

Denemede fındık dikimi 5x5 m olacak şekilde dizayn edilmiştir. Deneme kuru tarım koşullarında yürütülmüştür. 2022'nin Nisan ayının ilk haftası, gözler uyanmadan önce hesaplanan vermikompost ve biochar dozları tartılarak tesadüf blokları deneme desenine göre belirlenmiş ocaklara uygulanmıştır. Fındık ocaklarına uygulanan vermikompost ve biocharlar, çapa aleti ile toprağa karıştırılmıştır.

3.2.2 Toprak Örneklerinde Yapılan Kimyasal Analizler

Deneme öncesi toprak örneklerinde rutin analizler için toprak örnekleme yapılmıştır. Deneme sonrası pH ve tuz analizleri için fındık hasat işleminden sonra uygulamalara ait fındık ocaklarından taş izdüşümü içinde kalan alandan ve 0-30 cm derinlikten bel küreği ile toprak örnekleri alınmıştır. Herbir deneme konusuna ait alınan toprak örnekleri temiz bir yerde karıştırılmış, karışımdan yaklaşık 2 kg toprak numuneleri uygun torbalara konulmuş ve etiketlenerek Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Tohum Bilimi ve Tekolojisi Bölümü laboratuvarına getirilmiştir.

Deneme alanından Jackson (1958)'ın belirttiği şekilde alınan toprak numuneleri oda şartlarında kurutulduktan sonra ağaç tokmak ile dövülmüş ve 2 mm'lik elekten geçirilerek analiz süresince kapaklı plastik kutularda muhafaza edilmiştir.

3.2.2.1 Bünye

Bouyoucous hidrometre yöntemine göre belirlenmiştir (Bouyoucous, 1951)

3.2.2.2 Eriyebilir Toplam Tuz

Richards (1954)'ın bildirdiği şekilde 1:2.5 oranında toprak:su süspansiyonunda elektriksel iletkenlik, masa üstü tipi elektriksel kondaktivimetre aleti ile belirlenmiştir.

3.2.2.3 pH

Jakson (1958)'ın belirttiği toprak örnekleri değerleri saf su ile 1:2.5 oranında sulandırılarak belirlenmiştir.

3.2.2.4 Kireç

Kalsimetrik olarak belirlenmiştir (Allison ve Moodie, 1965).

3.2.2.5 Organik Madde

Modifiye edilmiş Walkey Black yöntemine göre belirlenmiştir (Walkley, 1947).

3.2.2.6 Azot

Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar, 1994).

3.2.2.7 Fosfor

Vanadamolibdo fosforik mavi renk yöntemine göre, sodyum bikarbonat ile çalkalanıp süzöldükten sonra elde edilen çözeltideki fosfor miktarı spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Kacar, 1994).

3.2.2.8 Ekstrakte Edilebilir K, Ca ve Mg

Alınan toprak örnekleri 1 N amonyum asetat ile çalkalandıktan sonra elde edilen süzükler Kacar, (1994)'a göre Atomik Absorpsiyon Spektrofotometrede belirlenmiştir.

3.2.2.9 Yarayışlı Fe, Mn, Zn ve Cu

Alınan toprak örnekleri pH'sı 7.3 ± 0.2 olan 0.05 M DTPA ile ekstrakte edildikten sonra elde edilen süzükler Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi kullanılarak belirlenmiştir (Kacar, 1994).

3.2.3 Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler

Deneme sonunda her bitkiden yöntemde belirtilen tarihler arasında (15-30 Temmuz 2022) uygulamalara ait tekerrürlerin herbirinden ayrı ayrı olacak şekilde, ağacın dört yöneyinden o yılın yeni sürgünlerinin 4, 5 ve 6. yaprakları sapları ile birlikte yaklaşık 25-30 adet alınmıştır. Alınan yaprak örnekleri laboratuara getirilerek önce normal su sonra iki defada saf sudan geçirilerek önce oda sıcaklığında daha sonra kese kağıtları içerisinde etüvde 65°C 'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Kurutulan örnekler bitki öğütme değirmeni ile öğütülmüştür.

Yapraklarda Kacar ve İnal (2008) tarafından belirtilen kuru yakma yöntemine göre yakılarak ekstrakt elde edilmiş ve elde edilen süzöklere toluen damlatılarak Van YYÜ Merkezi Araştırma Laboratuvarında Atomik Absorpsiyon Spektrofometre'de K, Cu, Mn, Fe, Mg, Zn, Ca, Ni, Pb ve Cd element okumaları yapılmıştır.

3.3 İstatistiksel Analiz

Denemede elde edilen veriler ‘Costat’ istatistik paket programından yararlanılarak analiz edilmiş, etkileri önemli bulunan uygulamalara ait tüm ortamlar ‘Duncan çoklu karşılaştırma’ testine göre guruplandırılmıştır (Düzgüneş ve ark., 1987).



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Vermikopost ve biochar uygulamalarının toprak örneklerinin pH ve tuz içeriklerine etkisi ile bitki örneklerinin makro, mikro ve ağır metal içeriklerine etkilerine ait istatistiksel analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.1 Uygulamaların Toprağın pH ve Tuz İçerikleri Üzerine Etkileri

Uygulamaların toprağın pH ve tuz içerikleri üzerine etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.1.1 ve Tablo 4.1.3'te, ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri ise Tablo 4.1.2 ve Tablo 4.1.4'te verilmiştir.

Tablo 4.1.1. Uygulamaların toprak pH'sına etkilerine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	pH	
		K.O.	F
Blok	2	0.0524	4.32*
Vermikompost (V)	2	0.0271	2.19 öd
Biochar (B)	2	0.0005	0.04 öd
VxB	4	0.0197	1.59 öd
Hata	16	0.0124	

*; %5 düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Tablo 4.1.1'de görüleceği üzere vermikompost ve biochar uygulamalarının Toprak pH'sı üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisi belirlenmemiştir.

Tablo 4.1.2. Uygulamaların toprak pH'sı üzerine etkilerine ait ortalamalar ve Duncan harflendirmesi

Uygulamalar	pH			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	Ort.
0	7.82	7.76	7.78	7.79
10	7.88	7.79	7.68	7.79
20	7.86	7.67	7.87	7.80
Ort.	7.85	7.74	7.78	

Tablo 4.1.2'de görüleceği üzere biochar uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde pH'da bir miktar artış olmakla beraber bu artış istatistiksel olarak

önemli bulunmamıştır. Vermikompostun uygulanmadığı ortamlardaki pH değişimi daha belirgin iken istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bu durum biocharın yapısında ki karboksilik ve fenolik fonksiyonel gruplar yanı sıra yüksek orandaki bazik katyonlar nedeniyle pH’da değişime neden olduğu bildirilmektedir (Mosharrof ve ark., 2021). Benzer olarak Uzoma ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada biochar uygulamalarının artışı ile Toprak pH’sında önemli düzeyde artış olduğunu bildirmişlerdir.

Bizim bulgularımızın aksine Özenç ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada biyochar uygulamalarının toprak pH’sında önemsiz de olsa azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir.

Benzer olarak vermikompost uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde pH’da düşüş olmakla beraber bu değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Vermikompost için kullanılan hammaddenin içeriğine göre pH’da değişim görülebilmektedir. Başka bir çalışmada ise vermikompost uygulamasının toprak pH’sında kontrole göre bir miktar artış sağladığı ancak bu artışın da önemli olmadığını bildirmişlerdir (Tamer ve ark., 2016).

Vermikompost, bitki ve hayvanların organik atıklarının parçalanmasıyla elde edildikleri için bileşenlerinde çok sayıda besin maddesi (N, P, K, Mg, Ca vb.), vitaminler, büyüme hormonları, hümik maddeler, enzimler ve antioksidanlar içermekte (Arancon ve ark., 2004) dolayısıyla toprağa uygulanma sonrası mikrobiyal faaliyetin artmasına (Ngo ve ark., 2012) böylece toprak pH’sında koşullara bağlı olarak değişimlere neden olabilmektedir (Shen ve ark., 2022; Al-Maamori ve ark., 2023).

Tablo 4.1.3. Uygulamaların toprağın tuz içeriğine etkilerine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Tuz	
		K.O.	F
Blok	2	6523	1.75 öd
Vermikompost (V)	2	832	0.22 öd
Biochar (B)	2	11851	3.19 *
VxB	4	4604	1.24 öd
Hata	16	3713	

*; %5 düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Tablo 4.1.3.'te görüleceği üzere vermikompost ve biochar x vermikompost interaksiyonunun toprak tuz içeriği üzerine etkisi önemli değilken, biochar uygulaması %5 düzeyinde etkide bulunmuştur.

Tablo 4.1.4. Uygulamaların toprağın tuz içeriği üzerine etkilerine ait ortalamalar ve Duncan harflendirmesi

Uygulamalar	Tuz, $\mu\text{S cm}^{-1}$			
	Vermikompost, kg ocak^{-1}			
Biochar, kg ocak^{-1}	0	2.5	5	Ort.
0	331	378	317	342 B
10	368	437	428	411 A
20	428	367	394	396 AB
Ort.	376	394	380	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. ($p < 0.05$);

Tablo 4.1.4'de görüleceği üzere biochar uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde kontrol parseline göre tuz içeriğinde artış belirlenmiş ve Duncan harflendirmeye göre bu artış önemli bulunmuştur. Biochar uygulanmayan parselerde $342 \mu\text{S cm}^{-1}$ olarak belirlenen değer, 10 kg da^{-1} biochar uygulamasında $411 \mu\text{S cm}^{-1}$ 'a yükselmiştir. Bu durum muhtemelen biocharın içermiş olduğu yüksek tuz içeriğinden kaynaklanmıştır. Kloss ve ark., (2012) ve Dahlawi ve ark. (2018) biocharın üretilen biyokütleyle bağımlı olarak yüksek oranda tuzluluk ve sodiklik içerdiklerini bildirmişlerdir. Yang ve ark. (2015) biocharın tuzluluk ve sodyum içeriklerinin nemli bölgelere göre 2-25 kat daha fazla olabileceğini bildirmişlerdir.

Vermikompost uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde tuz içeriğinde artış olmakla beraber bu değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Bizim bulgularımıza karşılık Gezgin ve ark., (1999) yaptıkları çalışmada toprağa farklı şekillerde ve miktarlarda uyguladıkları vermikompostun toprak tuzluluğunu artırdığını bildirmişlerdir.

4.2 Uygulamaların Fındık Yapraklarının Makro ve Mikro Besin Elementleri İçerikleri Üzerine Etkisi

Uygulamaların fındık yaprağının potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir, mangan, çinko ve bakır içeriklerine etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.2.1., Tablo 4.2.3., Tablo 4.2.5, Tablo 4.2.7, Tablo 4.2.9, Tablo 4.2.11 ve Tablo 4.2.13, ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri ise Tablo 4.2.2, Tablo 4.2.4, Tablo 4.2.6, Tablo 4.2.8, Tablo 4.2.10, Tablo 4.2.12 ve Tablo 4.2.14’te, interaksiyona ait sonuçlar Şekil 4.2.1, Şekil 4.2.2, Şekil 4.2.3 ve Şekil 4.2.4’de verilmiştir

Tablo 4.2.1. Uygulamaların fındık yaprağının fosfor içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Fosfor	
		K.O.	F
Blok	2	51921	0.78 öd
Vermikompost (V)	2	59700	0.90öd
Biochar (B)	2	131611	1.98 öd
VxB	4	74367	1.12 öd
Hata	16	66404	

öd; önemli değil

Tablo 4.2.1’de görüleceği üzere uygulamaların fındık yaprağının fosfor içeriği üzerine etkisi belirlenmemiştir.

Tablo 4.2.2. Uygulamaların fındık yaprağının fosfor içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

Uygulamalar	Fosfor, mg kg ⁻¹			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5.0	Ort.
0	2034	2502	2376	2259
10	2291	2464	2105	2481
20	2453	2477	2378	2287
Ort.	2304	2287	2436	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. (p<0.05);

Tablo 4.2.2’de görüleceği üzere uygulamaların etkisi fındık yaprağının fosfor kapsamına önemli düzeyde belirlenmemişken, vermikompost uygulanmayan ancak biocharın artan dozlarının olduğu ocaklardaki bitkilerin fosfor içeriği 2034 mg kg⁻¹’dan 2453 mg kg⁻¹’a yükselmiştir. Benzer biçimde

biochar uygulanmayan ancak vermicompostun artan dozlarının uygulandığı bitkilerin fosfor içeriği 2034 mg kg⁻¹'dan 2376 mg kg⁻¹ 'a yükselmiştir. Singh ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada biochar ve vermicompost uygulamalarının bitkinin tane ve sap fosfor içeriğinin kontrole göre arttığını bildirmişlerdir.

Tablo 4.2.3. Uygulamaların fındık yaprağının potasyum içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynağı	S.D.	Potasyum	
		K.O.	F
Blok	2	188797	0.13 öd
Vermikompost (V)	2	319491	0.22 öd
Biochar (B)	2	5283053	3.64 *
VxB	4	2237238	1.54 öd
Hata	16	1449764	

*, %5 düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Uygulamaların fındık yaprağının potasyum içeriğine etkisi incelendiğinde biochar uygulamasında %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Blok, Vermikompost ve VxB interaksiyonunun etkisi önemsiz olarak belirlenmiştir (Tablo 4.2.3.)

Tablo 4.2.4. Uygulamaların fındık yaprağının potasyum içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

Uygulamalar	Potasyum, mg kg ⁻¹			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	Ort.
0	8313	9510	9927	9250 B
10	9464	9705	10369	9846 AB
20	11439	11021	9852	10771 A
Ort.	9739	10079	10049	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. (p<0.05);

Tablo 4.2.4'de görüleceği üzere biochar uygulamalarının artışı ile potasyum içeriği artış göstermiştir. Kontrolde 9250 mg kg⁻¹ olan potasyum değeri 20 kg Biochar ocak⁻¹ uygulamasında en yüksek değere (10771 mg kg⁻¹) ulaşmıştır. Oransal olarak %16.4 oranında artış sağlamıştır. Benzer olarak Uzoma ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada biochar uygulama dozlarına bağlı olarak bitkinin potasyum içeriğinin yaklaşık üç kat arttığını bildirmişlerdir.

Pandit ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada biyochar uygulamasının toprağın potasyum ve fosfor içeriğinde artış sağladığını bildirmişlerdir. Wang ve ark.

(2018), biyokömür uygulamalarının hem bitkinin hemde toprağın potasyum içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Benzer olarak Abo-Elyousr ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada biochar uygulamalarının hem bitkinin hem de toprağın potasyum içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Bu durum biocharın sahip olduğu yüksek orandaki potasyum nedeniyle toprağın alınabilir potasyum içeriğinde artış sağlamasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Vermikompost uygulamaları ortalamalarını incelediğimizde bitkinin potasyum içeriğinde artış olmakla beraber istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4.6).

Khan ve Ishaq (2011), vermikompost uygulamalarının toprağın makro ve mikro element içeriğini artırdığını, ayrıca bu elementlerden bitkilerin daha kolay yararlanabildiğini bildirmişlerdir.

Interaksiyonun etkisi incelendiğinde yüksek doz vermikompost (4 kg ocak⁻¹) ve biochar (2 kg ocak⁻¹) uygulamalarının birlikte olduğu bitkilerin potasyum içeriklerinde düşüşler gözlenmiştir. Buna karşılık kontrol (0 kg ocak⁻¹) ve 2 kg ocak⁻¹ vermikompost ile kontrol (0 kg ocak⁻¹) ve 1 kg ocak⁻¹ biochar uygulamaları birlikte yapıldığında bitkinin potasyum içeriği artmıştır (Tablo 4.6). Zhang ve ark. (2023) yapmış oldukları çalışmada vermikompost ve biochar uygulamalarının ayrı ayrı ve birlikte uygulamaları hem bitkinin hem de toprağın potasyum içeriğinde kontrole göre önemli düzeyde artışlar sağladığını bildirmişlerdir.

Tablo 4.2.5. Uygulamaların fındık yaprağının kalsiyum içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Kalsiyum	
		K.O.	F
Blok	2	968823	1.741 öd
Vermikompost (V)	2	4269261	7.49**
Biochar (B)	2	13316618	23.38***
VxB	4	1734049	3.04*
Hata	16	569598	

*, %5, **, %1, ***, %0.1 düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Tablo 4.2.5’de görüleceği üzere fındık yaprağının kalsiyum içeriği üzerine, vermikompost uygulamasının %1 düzeyinde, biochar uygulamasının %5 düzeyde ve interaksiyonun %5 düzeyinde artış olduğu tespit edilmiştir.

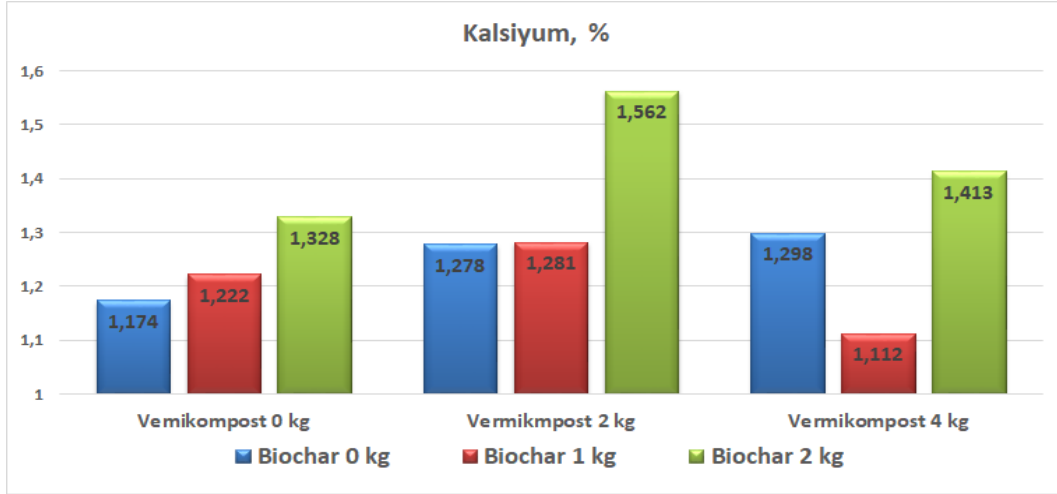
Tablo 4.2.6. Uygulamaların findık yaprağının kalsiyum içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

Uygulamalar	Kalsiyum, %			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	Ort.
0	1.174 de	1.278 bcd	1.298 bcd	1.250 B
10	1.222 cde	1.281 bcd	1.112 e	1.205 B
20	1.328 bc	1.562 a	1.413 b	1.434 A
Ort.	1.241 B	1.374 A	1.274 B	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. ($p < 0.05$);

Tablo 4.2.6’da görüleceği üzere hem biochar hem de vermikompost uygulamaları ile bitkinin kalsiyum içeriği artmıştır. Biochar uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde kontrolde %1.250 olan kalsiyum içeriği 20 kg ocak⁻¹ biochar uygulamasında %1.434 ile en yüksek değeri vermiştir. Bu artış %14.7 oranında gerçekleşmiştir. Vermikompost uygulaması ile kontrole göre artış elde edilmiş olup en yüksek değer 2.5 kg ocak⁻¹ vermikompost uygulamasında %1.374 olarak belirlenmiştir. Biochar x vermikompost interaksyonu incelendiğinde en yüksek kalsiyum içeriğine %1.562 ile 20 kg ocak⁻¹ biochar x 2.5 kg ocak⁻¹ vermikompost uygulamasında ulaşılmıştır (Şekil 4.2.1). Abo-Elyousr ve ark., (2022) yaptıkları çalışmada artan biochar uygulaması ile bitkinin kalsiyum içeriğinde artış olduğunu bildirmişlerdir.

Biocharın sahip olduğu yüksek yüzey alanı, besin element içeriği, porozite, kation değişim kapasitesi, karbon içeriği ve pH nedeniyle toprakların besin elementi içeriğinde artış sağlamaktadır (Pühringer, 2016).



Şekil 4.2.1. Yaprakların kalsiyum içeriğine interaksyonların etkisi

Tablo 4.2.7. Uygulamaların fındık yaprağının magnezyum içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Magnezyum	
		K.O.	F
Blok	2	389562	0.18 öd
Vermikompost (V)	2	4396532	5.61 *
Biochar (B)	2	6486358	8.27 **
VxB	4	2255293	2.87 öd
Hata	16	881249	

*, %5, **, %1, düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Tablo 4.2.9’da görüleceği üzere fındık yaprağının magnezyum içeriği üzerine vermikompost uygulamalarının etkisi %5 düzeyinde iken biochar uygulamaları %1 düzeyinde etkisi önemli bulunmuştur.

Tablo 4.2.8. Uygulamaların fındık yaprağının magnezyum içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

Uygulamalar	Magnezyum, mg kg ⁻¹			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			Ort.
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	
0	3952	5596	5778	5108 A
10	3999	3816	3615	3810 B
20	4197	6919	5104	5407 A
Ort.	4049 B	5443 A	4832 AB	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. (p<0.05);

Biochar uygulamaları ortalaması incelendiğinde bitkinin magnezyum içeriği kontrole göre önce düşüş, sonra artış göstermiştir. Kontrolde 5108 mg kg⁻¹ olan

magnezyum içeriği 1 kg ocak⁻¹ biochar uygulamasında 3810 mg kg⁻¹'e düşmüşken 2 kg ocak⁻¹ biochar uygulamasında 5407 mg kg⁻¹ düzeyine yükselmiştir. Bu azalış ve artış oransal olarak kontrole göre sırasıyla %34 oranında azalış, %5.9 oranında artış olarak gerçekleşmiştir. Vermikompost uygulamaları ortalamaları incelendiğinde kontrole göre en yüksek magnezyum içeriği 2 kg ocak⁻¹ vermikompost uygulamasında 5443 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Kontrole göre %34.4 oranında artış gerçekleşmiştir (Tablo 4.2.8.).

Benzer olarak Ramnarain ve ark., (2018) solucan gübresi uygulamalarının, Carter ve ark., (2013) ise biochar uygulamalarının hem toprağın hem de bitkinin Mg, Ca, ve K içeriklerinde önemli artışlar sağladığını bildirmişlerdir.

Tablo 4.2.9. Uygulamaların fındık yaprağının demir içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Demir	
		K.O.	F
Blok	2	263.25	1.93 öd
Vermikompost (V)	2	2212.0	16.21***
Biochar (B)	2	1179.7	8.64**
VxB	4	546.93	4.01*
Hata	16	136.47	

*, %5, **, %1, ***, %0.1 düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Fındık yaprağının demir içeriği üzerine vermikompost uygulaması %0.1 düzeyinde, biochar uygulaması %1 düzeyinde ve interaksiyon ise %5 düzeyinde etki etmiştir (Tablo 4.2.9).

Tablo 4.2.10. Uygulamaların fındık yaprağının demir içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

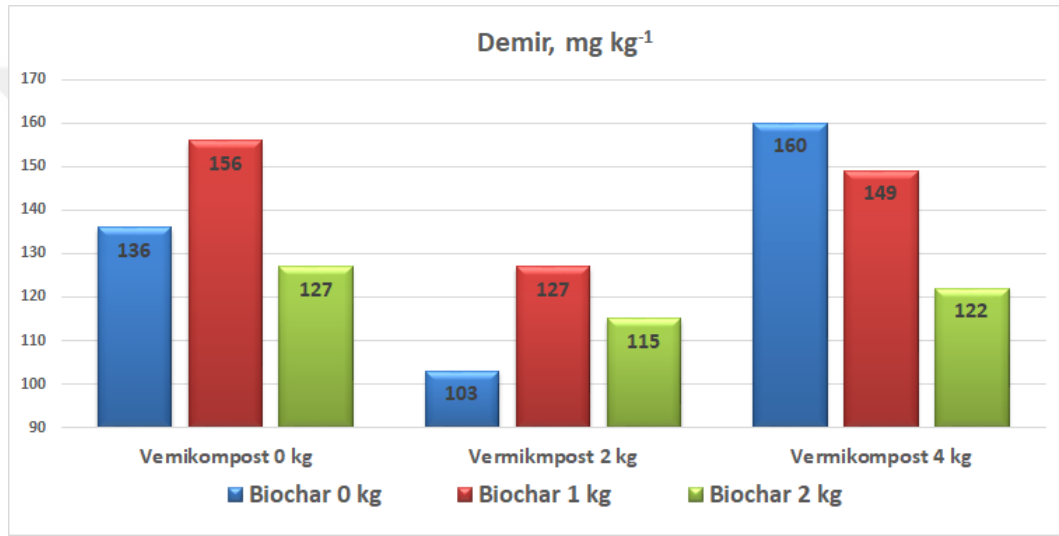
Uygulamalar	Demir, mg kg ⁻¹			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	Ort.
0	136 bc	103 d	160 a	133 A
10	156 ab	127 c	149 ab	144 A
20	127 c	115 cd	122 cd	122 B
Ort.	140 A	115 B	144 A	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. (p<0.05);

Biochar uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde 10 kg ocak⁻¹ biochar uygulamasında en yüksek değer olan 144 mg kg⁻¹ değeri belirlenirken, en düşük

değer 122 mg kg⁻¹ ile 20 kg ocak⁻¹ biochar uygulamasında belirlenmiştir. Vermikompost uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde en düşük demir değeri 115 mg kg⁻¹ ile 2.5 kg ocak⁻¹ verмикompost uygulamasında, en yüksek değer ise 144 mg kg⁻¹ ile 5 kg ocak⁻¹ verмикompost uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 4.2.10).

İnteraksiyonun etkisi incelendiğinde en yüksek demir içeriğine 160 mg kg⁻¹ ile 0 kg biochar ocak⁻¹ x 5 kg verikompost ocak⁻¹ uygulamasında, en düşük değere ise 103 mg kg⁻¹ ile 0 kg biochar ocak⁻¹ x 2.5 kg verмикompost ocak⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 4.2.2)



Şekil 4.2.2. Yaprakların demir içeriğine interaksiyonların etkisi

Biochar uygulamaları toprağın demir içeriğinde artışa ve dolayısıyla bitkilerinde demir alımının artışını desteklediği birçok çalışma ile bildirilmiştir (Gaskin ve ark., 2008; Ashrafi ve ark., 2024; Şenay ve Tepecik, 2024). Bu durum biocharın içermiş olduğu yüksek demir kapsamından kaynaklanmış olabilir. Ayrıca biochar uygulamaları ile toprağın organik karbon içeriğinde artış (Preston ve Schmidt, 2006) ve bunun getirmiş olduğu mikrobiyal aktivitedeki iyileşme (Huang ve ark., 2023) sonucunda besin elementlerinin bitkiler tarafından alınımının kolaylaşması ile açıklanabilir.

Vermikompost uygulaması ile demir içeriğinde görülen artış verмикompostun sahip olduğu yüksek katyon değişim kapasitesinin (Ceritoğlu ve ark., 2018) bir sonucu olarak demirin yarıyışlılığını artırmakta, ancak biochar uygulanmasında görülen düşüş yetiştirme ortamındaki tuz miktarının artışından

(Tablo 4.1.4) kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Nitekim toprak tuzluluğunun artışı ile bitkinin demir içeriğinde azalış olduğu Grattan ve Grieve, (1998); Demir ve Kıran, (2020) ve Zhao ve ark., (2021) tarafından da bildirilmektedir.

Tablo 4.2.11. Uygulamaların fındık yaprağının mangan içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Mangan	
		K.O.	F
Blok	2	0.8051	0.02 öd
Vermikompost (V)	2	760.90	14.75 ***
Biochar (B)	2	958.99	18.58 ***
VxB	4	366.55	7.11 **
Hata	16	51.590	

, %1, *; %0.1 düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Fındık yaprağının mangan içeriği üzerine vermikompost ve biochar uygulamaları %0.1 düzeyinde etki etmişken interaksiyonun etkisi %1 düzeyinde olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.2.11).

Tablo 4.2.12. Uygulamaların fındık yaprağının mangan içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

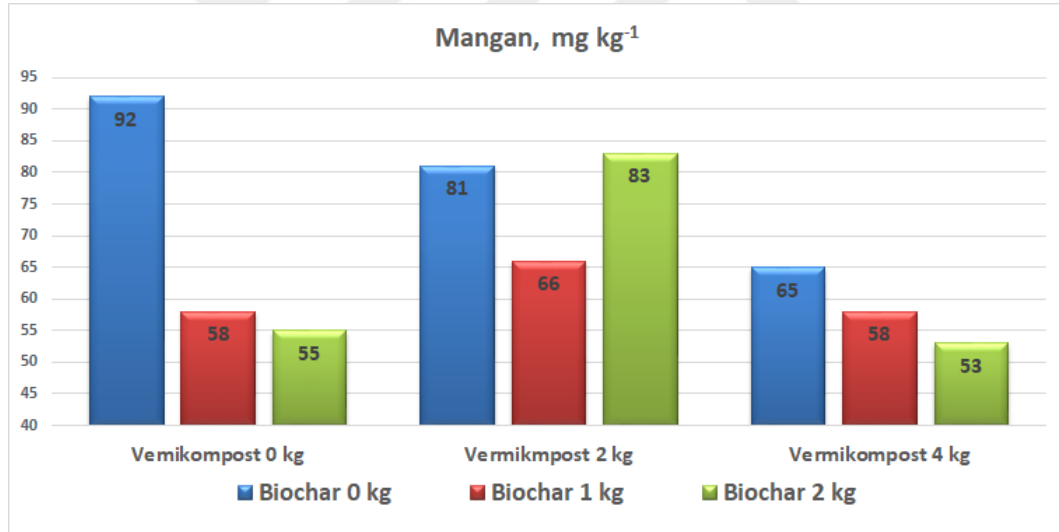
Uygulamalar	Mangan, mg kg ⁻¹			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	Ort.
0	92.63 a	81.49 a	65.11 b	79.78 A
10	57.89 b	66.38 b	57.59 b	60.67 B
20	54.71 b	82.78 a	52.84 b	63.44 B
Ort.	68.44 B	76.77 A	58.33 C	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. (p<0.05);

Fındık yaprağının mangan içeriği üzerine biochar uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde kontrol grubunda 79.78 mg kg⁻¹ ile en yüksek değer ve 10 ve 20 kg ocak⁻¹ biochar uygulamalarında sırasıyla 60.67 mg kg⁻¹ ile 63.44 mg kg⁻¹ ile en düşük değerler elde edilmiştir. Vermikompost uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde en yüksek değer 76.77 mg kg⁻¹ ile 2 kg ocak⁻¹ vermikompost uygulamasında, en düşük değer ise 58.33 mg kg⁻¹ ile 4 kg ocak⁻¹ vermikompost uygulamasında elde edilmiştir (Tablo 4.2.12).

İnteraksiyonun etkisi incelendiğinde en yüksek mangan içeriği 92.63 mg kg^{-1} ile $0 \text{ kg biochar ocak}^{-1} \times 0 \text{ kg verikompost ocak}^{-1}$ uygulamasında, en düşük değer ise 52.84 mg kg^{-1} ile $20 \text{ kg biochar ocak}^{-1} \times 5 \text{ kg verikompost ocak}^{-1}$ uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 4.2.3).

Gerek biochar gerekse vermikompost uygulamalarının artışı ile bitkinin mangan içeriğinde gözlenen azalış yetiştirme ortamının tuzluluğunun artışı (Tablo 4.1.4) sonucunda mangan alımının azalmasına neden olmuş olabilir. Nitekim Demir ve Kıran (2020) tuzlu ortamlarda mikroelementlerin alımının azaldığı, bu tarz ortamlarda vermikompost uygulamasının mangan alımını iyileştirmediğini, gerilettiğini bildirmişlerdir. Toprakların tuzluluk içeriğinin getirmiş olduğu toprak çözeltisindeki yüksek NaCl konsantrasyonu bitkilerin besin-iyon aktivitelerini bozabilir, bitkilerin ozmotik ve spesifik iyon hasarına duyarlı olmasına ve ayrıca verim ve kalitenin düşmesine neden olarak beslenme bozukluklarına sebebiyet verebilir (Grattan ve Grieve, 1998).



Şekil 4.2.3. Yaprakların mangan içeriğine interaksiyonların etkisi

Tablo 4.2.13. Uygulamaların fındık yaprağının çinko içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Çinko	
		K.O.	F
Blok	2	2.116	0.12 öd
Vermikompost (V)	2	3.461	0.19 öd
Biochar (B)	2	6.474	0.36 öd
VxB	4	13.701	0.77 öd
Hata	16	17.837	

öd; önemli değil

Fındık yaprağının çinko içeriği üzerine vermikompost, biochar ve interaksiyonun önemsiz olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.2.13).

Tablo 4.2.14. Uygulamaların fındık yaprağının çinko içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

Uygulamalar	Çinko, mg kg ⁻¹			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	Ort.
0	39.99	41.37	41.12	40.83
10	45.58	39.94	41.99	42.51
20	40.23	41.31	42.78	41.44
Ort.	41.94	40.88	41.96	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. (p<0.05);

Tablo 4.2.14’de görüleceği üzere biochar ve vermikompost uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde artan biochar ve vermikompost uygulamaları ile bitkinin çinko içeriğinde önemli değişimler elde edilmemiştir. İnteraksiyonun etkisi incelendiğinde en yüksek çinko içeriği 45.58 mg kg⁻¹ ile 10 kg biochar ocak⁻¹ x 0 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında, en düşük değer ise 39.94 mg kg⁻¹ ile 10 kg biochar ocak⁻¹ x 2.5 kg verikompost ocak⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir

Vermikompost ve biochar uygulamaları ile bitkinin çinko içeriğinde önemli değişimler elde edilmemiştir. Bizim bu bulgularımızın aksine Motaghian ve Hosseinpur, (2017) ve Safarzadeh ve ark., (2019) çinkonun toprakta yayılsılığının vermikompost uygulamaları ile arttığını dolayısıyla bitkininde çinko içeriğinin arttığı (Sönmez ve Çığ, 2019a; Petwal ve ark., 2023) bildirilmiştir. Bu durum toprak organik maddesinin ayrışmasından kaynaklanan düşük molekül ağırlıklı organik asitlerin metal katyonları ile çözünebilir kompleksler oluşturması (Stevenson ve Fitch, 1982) ve besin elementlerinin

topraktaki organik madde, oksitler ve kil tarafından fiksasyona uğrayan formlarının salınımını değiştirmesinden (Chen ve ark., 2004) kaynaklanmaktadır. Biochar uygulamaları sonucunda toprakta çinko gibi ağır metallerin yararlılığının azaldığı (Pellera ve ark., 2014; Medyńska-Juraszek, ve Ćwieląg-Piasecka, 2020; Aher ve ark., 2022; El-Naggar ve ark., 2024) ve dolayısıyla bitkilerin çinko gibi besin elementlerin alınımı ve içeriğinin azaldığı (Rodríguez-Vila ve ark., 2022) bildirilmektedir.

Tablo 4.2.15. Uygulamaların fındık yaprağının bakır içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Bakır	
		K.O.	F
Blok	2	2.357	0.09 öd
Vermikompost (V)	2	125.77	5.09*
Biochar (B)	2	1335.0	54.04***
VxB	4	817.59	33.08***
Hata	16	24.711	

*, %5, ***, %0.1 düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Fındık yaprağının bakır içeriği üzerine vermikompost %5 düzeyinde, biochar ve interaksiyon ise %0.1 düzeyinde önemli etkide bulunmuştur (Tablo 4.2.15).

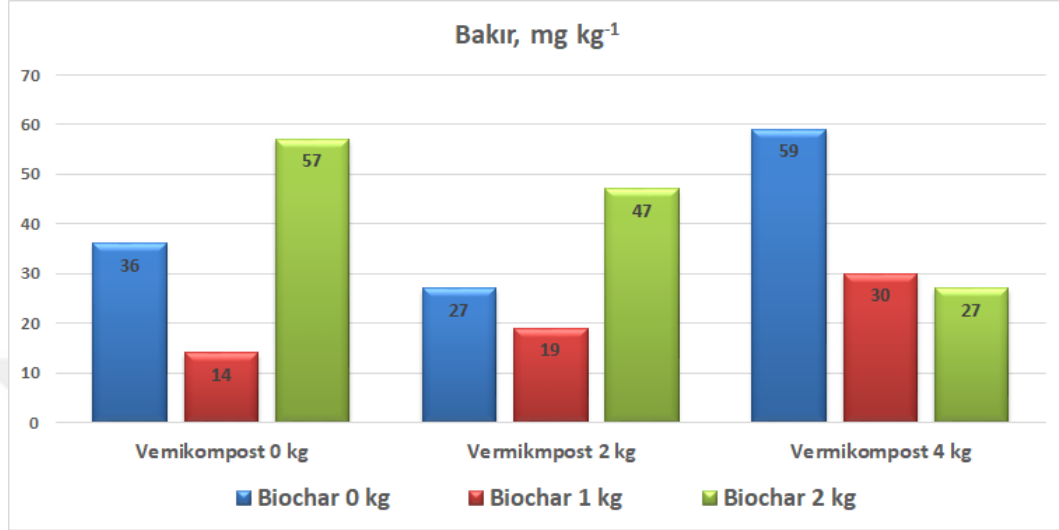
Tablo 4.2.16. Uygulamaların fındık yaprağının bakır içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

Uygulamalar	Bakır, mg kg ⁻¹			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	Ort.
0	36.37 cd	27.22 de	59.83 a	41.16 A
10	14.48 f	19.52 ef	30.14 cd	21.38 B
20	56.79 a	47.48 b	26.53 de	43.60 A
Ort.	35.88 AB	31.41 B	38.83 A	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. (p<0.05);

Tablo 4.2.16’da görüleceği üzere bitkinin bakır içeriği biochar uygulaması ile önce azalmış sonra artış göstermiştir. 0 kg biochar ocak⁻¹ ortalamasında 41.16 mg kg⁻¹ olan bakır içeriği 10 kg biochar ocak⁻¹ uygulamasında 21.38 mg kg⁻¹’a, 20 kg biochar ocak⁻¹ uygulamasında 43.60 mg kg⁻¹ ‘a yükselmiştir. Vermikompost uygulaması ile de bakır içeriğinde önce azalış sonra artış elde edilmiştir. 0 kg

vermikompost ocak⁻¹ ortalamasında 35.88 mg kg⁻¹ olan bakır içeriği 2.5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 31.41 mg kg⁻¹'a düşmüş, 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında ise 38.83 mg kg⁻¹'a yükselmiştir.



Şekil 4.2.4. Yaprakların bakır içeriğine interaksiyonların etkisi

İnteraksiyonun etkisi incelendiğinde oldukça değişkenlik gösteren bir durum ile karşı karşıyayız. Biochar uygulanmayan fidıkların yaprak bakır içerikleri artan vermikompost uygulamaları ile artış göstermiştir. 10 kg biochar ocak⁻¹ uygulanmış fındık ağaçlarının yaprak bakır içeriği en düşük değerleri vermiş ama artan vermikompost uygulamaları ile artış göstermiştir. 20 kg biochar ocak⁻¹ uygulaması ise yüksek bakır içeriği ile başlamış ama artan vermikompost uygulamaları ile azalış göstermiştir. Bulgular içerisinde en yüksek bakır içeriği 59.83 mg kg⁻¹ ve 56.79 mg kg⁻¹ ile 0 kg biochar ocak⁻¹ x 5 kg vermikompost ocak⁻¹ ve 20 kg biochar ocak⁻¹ x 0 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük bakır içeriği 10 kg biochar ocak⁻¹ x 0 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 14.48 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.2.4).

Hem biochar hem de vermikompost uygulamaları bitkinin bakır içeriğinde artış sağlamıştır. Bu bulgularımıza karşılık Abdullah ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada biochar uygulaması ile bitkinin bakır alımını azalttığını bildirmişlerdir. Bunun nedeni olarak biocharın sahip olduğu heterojenik fonksiyonel gruplar (alkoller ve fenoller, karboksilik asitler ve türevleri, aminler, salin, alkinler) ve daha gözenekli yapıya sahip olması sayesinde besin elementlerini tutmasından

kaynaklandığını bildirmişlerdir. Zemanova ve ark., (2017) biochar uygulamalarının bitkinin P, Fe, Mg, Mn ve Cu konsantrasyonlarının kontrole göre değişmediğini bildirmişlerdir. Sönmez ve Çığ, (2019) yaptıkları çalışmada hem vermikompostun hem de biochar uygulamalarının bakır içeriğini artırdığını bildirmişlerdir.



4.3 Uygulamaların Fındık Yaprağındaki Ağır Metal İçeriğine Etkisi

Uygulamaların fındık yaprağının kadmiyum, nikel ve kurşun ağır metal içeriklerine etkilerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.3.1., Tablo 4.3.3 ve Tablo 4.3.5'te, ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri ise Tablo 4.3.2, Tablo 4.3.4 ve Tablo 4.3.6'da, interaksiyona ait sonuçlar Şekil 4.3.1, Şekil 4.3.2 ve Şekil 4.3.3'te verilmiştir

Tablo 4.3.1. Uygulamaların fındık yaprağının kadmiyum içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Kadmiyum	
		K.O.	F
Blok	2	0.00453	1.06 öd
Vermikompost (V)	2	0.01693	3.98 *
Biochar (B)	2	0.12576	29.62***
VxB	4	0.07816	18.41***
Hata	16	0.00424	

*, %5, ***, %0.1 düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Fındık yaprağının kadmiyum içeriği üzerine vermikompost %5 düzeyinde, biochar ve interaksiyon ise %0.1 düzeyinde önemli etkide bulunmuştur (Tablo 4.3.1).

Tablo 4.3.2. Uygulamaların fındık yaprağının kadmiyum içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

Uygulamalar	Kadmiyum, mg kg ⁻¹			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	Ort.
0	0.3643 bc	0.5679 a	0.5983 a	0.4116 A
10	0.1448 e	0.1952 de	0.3014 cd	0.2138 B
20	0.5679 a	0.4415 b	0.2653 cd	0.4249 A
Ort.	0.3590 AB	0.3029B	0.3883A	

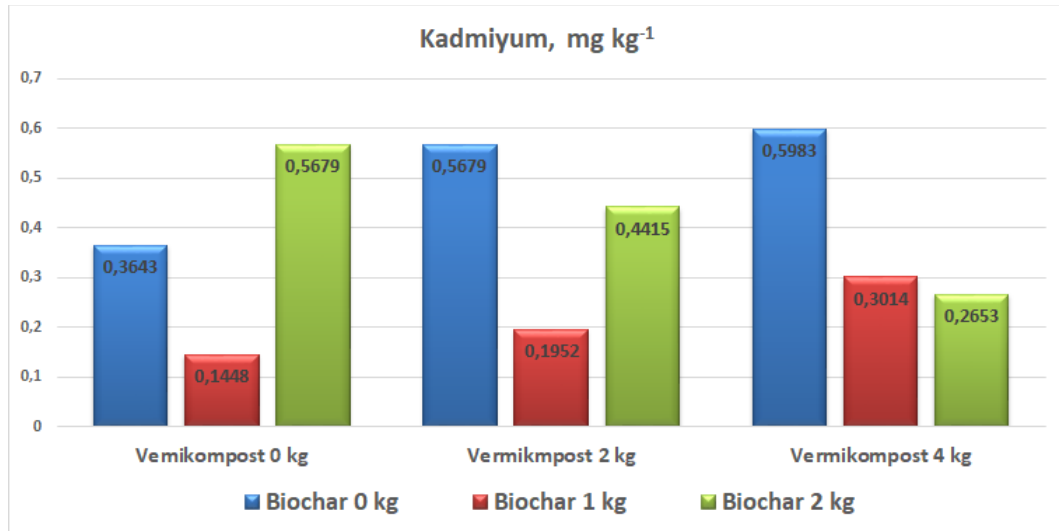
Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. (p<0.05);

Tablo 4.3.2'de görüleceği üzere bitkinin kadmiyum içeriği biochar uygulaması ile önce azalmış sonra artış göstermiştir. 0 kg biochar ocak⁻¹ ortalamasında 0.3590 mg kg⁻¹ olan kadmiyum içeriği, 10 kg biochar ocak⁻¹

uygulamasında 0.3029 mg kg⁻¹'a düşmüş, 20 kg biochar ocak⁻¹ uygulamasında 0.3883 mg kg⁻¹'a yükselmiştir.

Vermikompost uygulaması ile de kadmiyum içeriğinde önce azalış sonra artış elde edilmiştir. 0 kg vermikompost ocak⁻¹ ortalamasında 0.4116 mg kg⁻¹ olan kadmiyum içeriği, 2.5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 0.2138 mg kg⁻¹'a düşmüş, 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında ise 0.4249 mg kg⁻¹'a yükselmiştir.

İnteraksiyonun etkisi incelendiğinde oldukça değişkenlik gösteren bir durum ile karşı karşıyayız. 0 kg biochar ocak⁻¹ uygulanmış fındık ağaçlarının yaprak kadmiyum içerikleri artan vermikompost uygulamaları ile artış göstermiştir. 0.3643 mg kg⁻¹ olan kadmiyum içeriği, 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 0.5983 mg kg⁻¹'a yükselmiştir. 10 kg biochar ocak uygulanmış bitkilerin yaprak kadmiyum içerikleri en düşük değerleri vermekle beraber artan vermikompost ile artış göstermiştir. 0.1448 mg kg⁻¹ olan kadmiyum içeriği 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 0.3014 mg kg⁻¹'a yükselmiştir. 20 kg biochar ocak-1 uygulanmış bitkilerin yaprak kadmiyum içerikleri artan vermikompost ile azalış göstermiştir. 0.5679 mg kg⁻¹ olan kadmiyum içeriği 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 0.2653 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3.1).



Şekil 4.3.1. Yaprakların kadmiyum içeriğine interaksiyonların etkisi

Biocharın kadmiyum alımı üzerine etkisi özellikle ortamda vermikompostun varlığında daha belirgin şekilde kendini göstermektedir (Şekil 4.3.1). Bunun

nedeni topraklara biochar uygulamasıyla ağır metaller ile kompleksler oluşturmak suretiyle ağır metallerin alımını ve bitki kısımlarına translokasyonunu azaltır. Biochar ayrıca toprağın pH'sını, toprağın verimliliğini ve toprağın katyon değişim kapasitesini artırarak ağır metallerin adsorpsiyonunu artırır, böylece toprakta hareketliliklerini ve daha sonra bitkilere kullanılabilirliğini azaltır (Haiying ve ark., 2022). Vermikompost uygulamalarının artışı ile ağır metal alımında gözlenen artış vermikompostun mikroorganizmalarca ayrıştırılması ile açığa çıkan çeşitli organik asitlerin kadmiyumun biyoyararışlılığını artırmasından kaynaklanmış olabilir. Benzer olarak Shen ve ark., (2022) yaptıkları çalışmada tuz etkisi altındaki topraklarda vermikompost uygulamalarının artışı ile bitkinin Cd, Cr, Cu ve Zn alınımlarının arttığını bildirmişlerdir.

Toprağa organik gübre uygulamaları ile bitkinin Cd gibi ağır metal içeriğinde artış olduğu (Baldantoni ve ark., 2021) bildirilmiştir.

Buna karşılık Khedr ve ark., (2019) vermikompost ve kompost uygulamalarının toprakta bakır ve kadmiyumun ekstrakte edilebilir miktarlarında önemli düşüşler sağladığı ve bitkinin bu elementlerin alımını azalttığını bildirmişlerdir.

Tablo 4.3.3. Uygulamaların fındık yaprağının nikel içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Nikel	
		K.O.	F
Blok	2	6.651	3.92*
Vermikompost (V)	2	7.248	4.27*
Biochar (B)	2	1.725	1.02 öd
VxB	4	21.44	12.62 ***
Hata	16	1.696	

*, %5, ***, %0.1 düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Fındık yaprağının nikel içeriği üzerine vermikompost %5 düzeyinde ve interaksyon ise %0.1 düzeyinde önemli etkide bulunmuşken biochar uygulamalarının etkisi önemsiz olarak belirlenmiştir (Tablo 4.3.3).

Tablo 4.3.4. Uygulamaların fındık yaprağının nikel içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

Uygulamalar	Nikel, mg kg ⁻¹			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	Ort.
0	12.763 d	17.273 abc	18.786 a	16.274
10	15.712 c	19.218 a	16.331 bc	17.087
20	18.786 a	15.808 c	14.926 cd	16.399
Ort.	15.646 B	17.433 A	16.681 AB	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. (p<0.05);

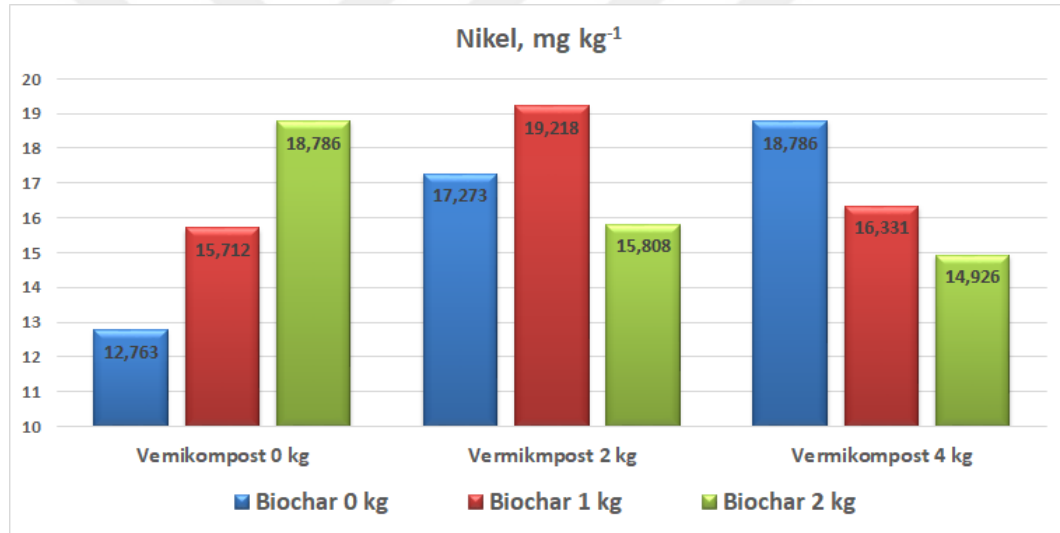
Tablo 4.3.4’de görüleceği üzere bitkinin nikel içeriği artan biochar uygulamaları ile artış göstermiştir. 0 kg biochar ocak⁻¹ ortalamasında 15.646 mg kg⁻¹ olan nikel içeriği, 10 kg biochar ocak⁻¹ uygulamasında 17.433 mg kg⁻¹’a ve 20 kg biochar ocak⁻¹ uygulamasında 16.681 mg kg⁻¹’a yükselmiştir. Vermikompost uygulaması ile nikel içeriğinde önemli değişimler belirlenmemiştir.

İnteraksiyonun etkisi incelendiğinde biochar uygulanmayan fındıkların yaprak kadmiyum içerikleri artan vermikompost uygulamaları ile artış göstermiştir. 0 kg biochar ocak⁻¹ uygulanmış fındık ağaçlarının yaprak kadmiyum içerikleri artan vermikompost uygulamaları ile artış göstermiştir. 0 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 12.763 mg kg⁻¹ olan kadmiyum içeriği, 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 18.786 mg kg⁻¹’a yükselmiştir. 10 kg biochar ocak uygulanmış bitkilerin yaprak kadmiyum içerikleri artan vermikompost ile önce artış sonra azalış göstermiştir. 0 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 15.712 mg kg⁻¹ olan nikel içeriği 2.5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 19.218 mg kg⁻¹’a yükselmiş ve 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 16.331 mg kg⁻¹’a düşmüştür. 20 kg biochar ocak⁻¹ uygulanmış bitkilerin yaprak kadmiyum içerikleri artan vermikompost ile azalış göstermiştir. 0 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 18.786 mg kg⁻¹ olan nikel içeriği 2.5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 15.808 mg kg⁻¹’a ve 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 14.926 mg kg⁻¹’a düşmüştür (Şekil 4.3.2).

Ortamda vermikompostun olmadığı ve biochar uygulamalarının artışı ile gerçekleşen nikel artışı uygulanan biocharın nikel içeriğinin yüksek oluşundan kaynaklanmış olabilir. Benzer çalışmalarda ortama biochar ilavesinin bitkinin

nikel ve kadmiyum alımını azalttığını (Sayyadian ve ark., 2019;), biochar uygulaması ile toprakta ekstrakte edilebilir nikel içeriğinde azalmadan kaynaklandığı bildirilmektedir (Rehman ve ark., 2016).

Çalışmamızda biochar ile nikel içeriğindeki artış ortamdaki organik karbonun artışının getirmiş olduğu mikrobiyal faaliyetin artışına ve böylece kimi ağır metallerin alımının artışına neden olmuş olabilir. Nitekim Helaoui ve ark., (2022), rizosferik bakterilerin köklerle etkileşime girdiğini ve bu etkileşimlerin bir sonucu olarak bitki biyokütlesinde ağır metallerin (Cu, Zn, Ni, Cd, Pb ve Hg gibi) birikimini artırdığını bunun nedeni olarak ağır metalleri bitkiler için biyolojik olarak daha kullanışlı hale getiren organik asitler ve diğer salgılar üretmelerinden kaynaklandığı bildirilmektedir (Ma ve ark., 2011; Massalha ve ark., 2017).



Şekil 4.3.2. Yaprakların nikel içeriğine interaksiyonların etkisi

Tablo 4.3.5. Uygulamaların fındık yaprağının kurşun içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	S.D.	Kurşun	
		K.O.	F
Blok	2	0.290	0.34 öd
Vermikompost (V)	2	10.33	12.37***
Biochar (B)	2	34.23	40.98***
VxB	4	5.571	6.69**
Hata	16	0.835	

, %1, *; %0.1 düzeyinde önemli, öd; önemli değil

Fındık yaprağının kurşun içeriği üzerine vermikompost ve biochar uygulamaları %0.1 düzeyinde önemli etkide bulunmuşken, interaksiyonun %1 düzeyinde etkide bulunduğu belirlenmiştir (Tablo 4.3.5).

Tablo 4.3.6. Uygulamaların fındık yaprağının kurşun içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme tablosu

Uygulamalar	Kurşun, mg kg ⁻¹			
	Vermikompost, kg ocak ⁻¹			
Biochar, kg ocak ⁻¹	0	2.5	5	Ort.
0	9.721 ab	10.089 a	9.564 ab	9.791 A
10	4.115 e	5.272 de	8.826 ab	6.072 B
20	6.627 cd	6.064 d	8.058 bc	7.250 AB
Ort.	6.821 B	7.142 B	8.816 A	

Aynı satır ve sütundaki farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir. (p<0.05);

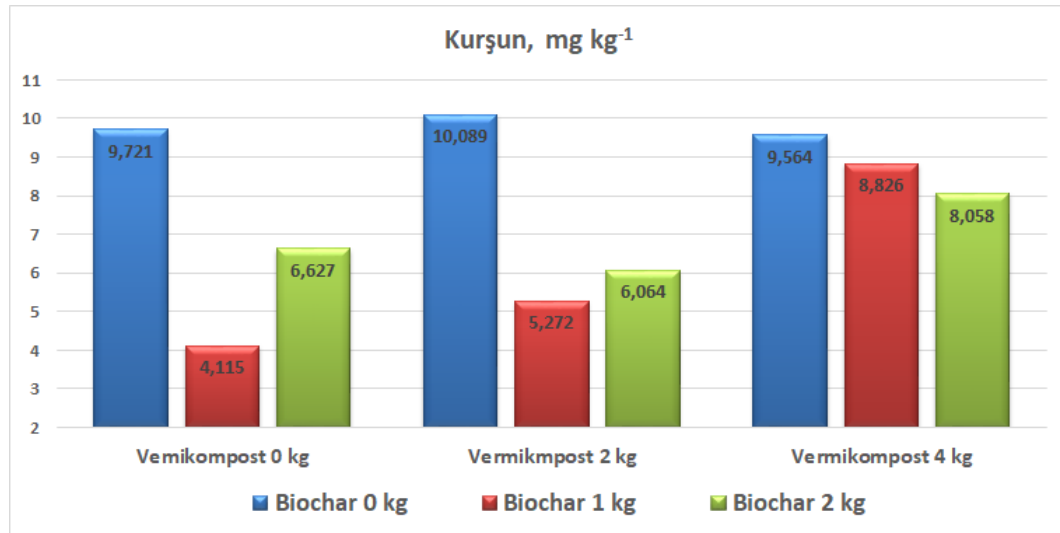
Tablo 4.3.6’da görüleceği üzere bitkinin kurşun içeriği artan biochar uygulamaları ile azalış göstermiştir. 0 kg biochar ocak⁻¹ ortalamasında 9.791 mg kg⁻¹ olan kurşun içeriği, 10 kg biochar ocak⁻¹ uygulamasında 6.072 mg kg⁻¹’a ve 20 kg biochar ocak⁻¹ uygulamasında 7.250 mg kg⁻¹’a düşmüştür. Vermikompost uygulaması ile kurşun içeriğinde artış belirlenmiştir. 0 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulaması ortalamasında 6.821 mg kg⁻¹ olan kurşun içeriği, 2.5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 7.142 mg kg⁻¹’a ve 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 8.816 mg kg⁻¹’a yükselmiştir.

Biochar x vermikompost interaksiyonun etkisi incelendiğinde biochar uygulanmayan fındıkların yaprak kadmiyum içerikleri artan vermikompost uygulamaları ile önce artış, sonra azalış göstermiştir. 0 kg biochar ocak⁻¹ uygulanmış fındık ağaçlarının yaprak kurşun içerikleri 0 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulaması ortalamasında 9.721 mg kg⁻¹ olarak belirlenmişken, 2.5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulaması ortalamasında 10.089 mg kg⁻¹’a yükselmiş, 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulaması ortalamasında 8.816 mg kg⁻¹’a düşmüştür. 10 kg biochar ocak⁻¹ uygulanmış bitkilerin yaprak kurşun içerikleri artan vermikompost ile önce artış göstermiştir. 0 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 4.115 mg kg⁻¹ olan kurşun içeriği 2.5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 5.272 mg kg⁻¹’a ve 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 8.826 mg kg⁻¹’a yükselmiştir. 20 kg biochar ocak⁻¹ uygulanmış bitkilerin yaprak kadmiyum içerikleri artan vermikompost ile önce azalış sonra artış göstermiştir. 0 kg vermikompost ocak⁻¹

uygulamasında 6.627 mg kg⁻¹ olan kurşun içeriği 2.5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 6.064 mg kg⁻¹'a düşmüş ve 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında 8.058 mg kg⁻¹'a yükselmiştir (Şekil 4.3.3).

Vermikompost uygulamaları bitkinin kadmiyum içeriğinde artışa neden olmuştur (Şekil 4.3.3). Benzer olarak yapılan çalışmada vermikompost ile bitkinin kurşun ve diğer ağır metal içeriklerinde artış olduğu Chand ve ark., (2012) tarafından bildirilmiştir. Bu durum vermikompost uygulamaları ile rizosferde düşük molekül ağırlıklı organik asit üretimi ile kurşunun alınabilirliğinin artmasından kaynaklandığı bildirilmektedir (Jones ve Darrah, 1994).

Vermikompostun 5 kg ocak⁻¹ uygulamasında biochar uygulama dozu artışına rağmen gözlenen kurşun içeriğindeki azalış kadmiyum ve kurşun arasındaki antagonistik ilişkiden kaynaklanmış olabilir. Nitekim Jadia ve Fulekar, (2008) yaptıkları çalışmada kadmiyumun bitki kökünden ziyade kök üstü kısmında daha fazla biriktiğini, kurşunun ise daha çok kökte biriktiği, kök üstü kısma taşınımın az olduğunu bildirmişleridir. Bu durum muhtemelen kurşun ve kadmiyum arasındaki antagonistik ilişkiden kaynaklanmış olabileğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.3.3. Yaprakların kurşun içeriğine interaksiyonların etkisi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Vermikompost ve biochar uygulamalarının fındık bitkisinin besin element kompozisyonuna etkisinin belirlenmesi amacıyla denememiz Düzce ili Kaynaşlı ilçesinde çitçi koşullarında tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlı olarak 10.03.2022 tarihinde kurulmuştur. 20.03.2022 hazırlanan fındık ocaklarına 0, 2.5 ve 5 kg ocak⁻¹ vermikompost ve 0, 10 ve 20 kg ocak⁻¹ biochar uygulanmış çapalanarak toprağa karıştırılmıştır. Fındık ağaçlarından 21.07.2022 tarihinde yaprak numunesi alınarak besin element analizleri yapılmıştır. Fındık ocaklarından 12.09.2022 tarihinde toprak numuneleri alınmış pH ve tuz içeriklerine bakılmıştır.

Vermikompost ve biochar uygulamalarının fındık bitkisinin besin element kompozisyonuna ve toprak pH ile tuz içeriğine etkisi araştırılmıştır.

Toprakta yapılan analiz sonuçlarına göre yalnızca biochar uygulaması toprağın tuz içeriğine önemli etkide bulunmuşken vermikompost ve interaksiyonun etkisi önemsiz olduğu görülmüştür. Toprak pH'sı üzerine hem biocharın hemde vermikompostun önemli etkisi belirlenmemiştir.

Fındık yaprağının element içeriği üzerine biochar uygulaması çinko hariç genel olarak makro, mikro ve ağır metallerin alınımında artışa neden olmuştur. Vermikompost uygulamalarının artışı ile bitkinin demir, mangan ve kurşun içeriklerinde belirgin düşümler elde edilmiştir. Potasyum, kalsiyum, magnezyum, bakır ve kadmiyum alınımında ise artışa neden olmuştur. Bu durum hem vermikompostun hemde biocharın içermiş olduğu yüksek tuz ve besin elementi konsantrasyonlarından kaynaklanmış olabilir.

Sonuç olarak vermikompost ve biocharın beraber kullanılması fındık bitkisinin besin element kompozisyonuna olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir. Biochar ve vermikopost uygulamalarında bu materyallerin tuz içeriklerinin yüksekliği göz önüne alınarak vermikompost ve biochar uygulamalarının kontrollü olarak ayrıca toprak analizine dayalı yapılması önerilmektedir. Genel olarak bakıldığında vermikompost ve biochar uygulamalarının toprağın fiziksel kimyasal özelliklerinde olumlu etkide bulunduğu ve böylece toprakların ve bitkilerin besin element içeriklerinde iyileşmeler sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan toprak analiz sonuçlarına göre vermikompost, biochar ve vermikompost x biochar interaksiyonunun toprağın tuz içeriğine etkisi önemli düzeyde bulunmaz iken yüksek doz biochar uygulamasının %5 düzeyinde etkili olduğu görülmüştür. Toprağın pH içeriğinde küçük artışlar görülmekle beraber uygulamaların önemli düzeyde etkisi görülmemiştir.

Yapılan besin element analizlerine göre uygulamaların fosfor içeriğine etkisi önemli düzeyde belirlenmemiştir. Buna karşın vermikompost uygulanmayan, biocharın artan dozlardaki uygulamalarında fosfor içeriğinin 2034 mg kg⁻¹'dan 2453 mg kg⁻¹'a yükseldiği tespit edilmiştir. Biochar uygulanmayan ancak vermikompostun artan dozlarının uygulandığı bitkilerin fosfor içeriğinin 2034 mg kg⁻¹'dan 2376 mg kg⁻¹'a yükseldiği tespit edilmiştir. Fındık yaprağının kalsiyum içeriği üzerine, vermikompost uygulamasının %1 düzeyinde, biochar uygulamasının %0.1 düzeyde ve interaksiyonun %5 düzeyinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Fındık yaprağının magnezyum içeriği üzerine vermikompost uygulamalarının etkisi %5 düzeyinde iken biochar uygulamaları %1 düzeyde önemli etkisi bulunmuştur. Fındık yaprağının demir içeriğine etkisi biochar ve vermikompost interaksiyonunda en yüksek demir içeriğine 160 mg kg⁻¹ ile 0 kg biochar ocak⁻¹ x 5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında düşük değere ise 103 mg kg⁻¹ ile 0 kg biochar ocak⁻¹ x 2.5 kg vermikompost ocak⁻¹ uygulamasında ulaşılmıştır. Uygulamaların fındık yaprağının potasyum içeriğine etkisi incelendiğinde biochar uygulamasında %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Blok, Vermikompost ve vermikompost x biochar interaksiyonunun etkisi önemsiz olarak belirlenmiştir. Biochar uygulamalarının artışı ile potasyum içeriği artış göstermiştir. Kontrolde 9250 mg kg⁻¹ olan potasyum değeri 20 kg Biochar ocak⁻¹ uygulamasında en yüksek değere (10771 mg kg⁻¹) ulaşmıştır. Oransal olarak %16.4 oranında artış sağlamıştır.

Sonuç olarak vermikompost ve biocharın beraber kullanılması fındık bitkisinin besin element kompozisyonuna olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir. Biochar ve vermikompost uygulamalarında bu materyallerin tuz içeriklerinin yüksekliği göz önüne alınarak vermikompost ve biochar uygulamalarının kontrollü toprak analizine dayalı yapılması önerilmektedir. Genel olarak bakıldığında vermikompost ve biochar uygulamalarının toprak sağlığını iyileştirmekte, toprakların faydalı mikroorganizma faaliyetini artırmakta ve

böylece toprakların besin element içeriğinde iyileşmeler sağladığı sonucuna varılmıştır.



6. KAYNAKLAR

Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.

- Abacıoğlu, E., Yatgın, S., Tokel, E., & Yücesoy, P. (2020). Vermikompostun (solucan gübresi) üretimi ve bitki beslemesindeki önemi. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 3(1), 1-10.
- Abdullah, R., Ishak, C. F., Osman, N., Halim, N. S. A. A., & Panhwar, Q. A. (2021). Determining the characteristics and potential of plantbased biochars to reduce copper uptake in maize. *Bragantia*, 80, e2221.
- Abo-Elyousr, K. A., Mousa, M. A., Ibrahim, O. H., Alshareef, N. O., & Eissa, M. A. (2022). Calcium-rich biochar stimulates salt resistance in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) plants by improving soil quality and enhancing the antioxidant defense. *Plants*, 11(10), 1301.
- AÇIKBAŞ, B., & BELLİTÜRK, K. (2016). Vermikompostun Trakya İlkeren/5BB Aşı Kombinasyonundaki Asma Fidanlarının Bitki Besin Elementi İçeriklerine Etkisi. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 13(4).
- Aher, S. B., Lakaria, B. L., Kaleshananda, S., & Singh, A. B. (2022). Concentration and uptake of micronutrients (Fe, Zn, Cu and Mn) in soybean and wheat under organic, biodynamic and inorganic nutrient management in semi-arid tropical conditions of central India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(17), 2229-2244.
- Akgül, G. (2017). BİYOKÖMÜR: ÜRETİMİ ve KULLANIM ALANLARI. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 485-499.
- 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.
- Al-Maamori, H. A., Salman, A. D., Al-Budeiri, M., Al-Shami, Y. A. O., & Al-shaabani, E. M. (2023, July). Effect of Vermicompost Production on some Soil Properties and Nutrients in Plants. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1214, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.
- Anonim, (2024a). <https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf> (Erişim tarihi: 08.05.2024)
- Anonim, (2024b). <https://abp.com.tr/findik-nedir/> (Erişim tarihi: 08.05.2024)
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., & Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource technology*, 93(2), 145-153.
- Arin, A., & Coşkan, A. (2021). Biyokömür Uygulamalarının Karadeniz Bölgesi Toprağının pH'sına ve Bazı Biyolojik Aktivite Parametrelerine Etkileri. *SDU Journal of the Faculty of Agriculture/SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2).
- Ashrafi, F., Heidari, A., Farzam, M., Karimi, A., & Amini, M. (2024). Effect of manure and biochar on the aluminum, copper, and iron bioaccumulation by *Salicornia* species in soil. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 16(1), 37-47.

- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hips, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and soil*, 337, 1-18.
- Baldantoni, D., Bellino, A., Cicatelli, A., & Castiglione, S. (2021). Influence of the Choice of Cultivar and Soil Fertilization on PTE Concentrations in *Lactuca sativa* L. in the Framework of the Regenerative Agriculture Revolution. *Land*, 10(10), 1053.
- Bansal, S., & Kapoor, K. K. (2000). Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource technology*, 73(2), 95-98.
- Buchanan, M. A., Russell, G., & Block, S. D. (1988). Chemical characterization and nitrogen mineralization potentials of vermicomposts derived from differing organic wastes. *Earthworms in waste and environmental management/edited by Clive A. Edwards and Edward F. Neuhauser*.
- 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.
- Çelik, A., Memet, İ. N. A. N., & Sakin, E. (2019). Toprağa uygulanan tütün ve badem atıklarından elde edilen biyokömürlerin elementel analizleri ve SEM özelliklerinin karşılaştırılması. *Harar Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(4), 500-510.
- Ceritoğlu, M., Şahin, S., & Erman, M. (2018). Effects of vermicompost on plant growth and soil structure. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(3), 607-615.
- Chand, S., Pandey, A., & Patra, D. D. (2012). Influence of nickel and lead applied in combination with vermicompost on growth and accumulation of heavy metals by *Mentha arvensis* Linn. cv. 'Kosi'.
- Chen, C. R., Condrón, L. M., Davis, M. R., & Sherlock, R. R. (2004). Effects of plant species on microbial biomass phosphorus and phosphatase activity in a range of grassland soils. *Biology and Fertility of Soils*, 40, 313-322.
- Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z., & Naidu, R. (2018). Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 625, 320-335.
- Demir, H., Polat, E., & Sönmez, İ. (2010). Ülkemiz için yeni bir organik gübre: solucan gübresi. *Tarım aktüel*, 14, 54-60.
- Demir, Z., & Kıran, S. (2020). Effect of vermicompost on macro and micro nutrients of lettuce (*Lactuca sativa* var. Crispa) under salt stress conditions. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(1), 33-43.
- Di, W. U., Yanfang, F. E. N. G., Lihong, X. U. E., Manqiang, L. I. U., Bei, Y. A. N. G., Feng, H. U., & Linzhang, Y. A. N. G. (2019). Biochar combined with vermicompost increases crop production while reducing ammonia and nitrous oxide emissions from a paddy soil. *Pedosphere*, 29(1), 82-94.
- Dickerson, G. W. (2004). Vermicomposting Cooperative extension service college of agriculture and home earthworms and waste management. *The Waste. Management*, 30(10), 1834-1840.
- Dinç, E. (2014). *Sater (Satoreja hortensis L.) bitkisinde inorganik ve organik gübre uygulamalarının verim ve bazı kalite unsurlarına etkileri* (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Ding, G., Wang, B., Chen, L., & Zhao, S. (2016). Simultaneous adsorption of methyl red and methylene blue onto biochar and an equilibrium modeling at high concentration. *Chemosphere*, 163, 283-289.

- Ding, Z., Wan, Y., Hu, X., Wang, S., Zimmerman, A. R., & Gao, B. (2016). Sorption of lead and methylene blue onto hickory biochars from different pyrolysis temperatures: importance of physicochemical properties. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 37, 261-267.
- Dizikisa, T., Yildiz, N., & Parlak, K. U. (2022). Ağrı-Eleşkirt Yöresi Tarım Topraklarına Vermikompost İlavesinin Mısır Bitkisinde Gelişme ve Makro Besin Elementi İçeriğine Etkisi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(2), 93-108.
- Doğan, K., Sarioğlu, A., Şakar, E., & Karanlık, S. (2018). Zeytin Karasuyu, Isıl İşlem Görmüş Solucan Gübresi Ve Çiftlik Gübresi Uygulamalarının Toprak Mikrobiyal Aktivite Değişimlerine Etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 151-159.
- Dominguez, J. E. C. A., & Edwards, C. A. (2011). Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. *Vermiculture technology: earthworms, organic waste and environmental management*. CRC Press, Boca Raton, 27-40.
- Duman, G., Pala, M., Ucar, S., & Yanik, J. (2013). Two-step pyrolysis of safflower oil cake. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 103, 352-361.
- Durukan, H., Saraç, H., & Demirbaş, A. (2020). Farklı dozlarda vermicompost uygulamasının mısır bitkisinin verimine ve besin elementleri alımına etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45-51.
- Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O., & Gürbüz, F. (1987). Araştırma ve deneme metotları. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 1021, 1-381.
- El-Naggar, A., Jiang, W., Tang, R., Cai, Y., & Chang, S. X. (2024). Biochar and soil properties affect remediation of Zn contamination by biochar: A global meta-analysis. *Chemosphere*, 349, 140983.
- Eraslan, F., İnal, A., Güneş, A., Erdal, İ., & Coşkan, A. (2010). Türkiye’de kimyasal gübre üretim ve tüketim durumu, sorunlar, çözüm önerileri ve yenilikler. *Tmmob ziraat mühendisleri odası, ziraat mühendisliği vii. Teknik kongresi*, 11-15.
- Erşahin, Y. Ş. (2007). Vermikompost ürünlerinin eldesi ve tarımsal üretimde kullanım alternatifleri. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 2007(2), 99-107.
- Gaskin, J. H., 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.
- Gezgin, S., Dursun, N., Hamurcu, M., & Ayaslı, Y. (1999). Konya ovasında şeker pancarı bitkisinde beslenme sorunlarının toprak ve bitki analizleri ile belirlenmesi. *Konya Pancar Ekicileri Kooperatifi Yayını, Konya*.
- Glaser, B., Wiedner, K., Seelig, S., Schmidt, H. P., & Gerber, H. (2015). Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 667-678.
- Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1998). Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia horticulturae*, 78(1-4), 127-157.
- Guan, H., Liu, S., Duan, Y., & Cheng, J. (2006). Cement based electromagnetic shielding and absorbing building materials. *Cement and Concrete Composites*, 28(5), 468-474.
- Günel, E., Erdem, H., & Kaplan, A. (2017). Biyokömür ilavesinin toprakta nitrat ve amonyum yıkanmasına etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(1), 77-83.

- Güneç, C., Teker, C., Kobak, Z., Yılmaz, F., & Perendeci, N. (2023). Anaerobik Parçalanma Prosesinin Zenginleştirilmesinde Katkı Maddesi Olarak Biyoçar. *JENAS Journal of Environmental and Natural Studies*, 5(1), 1-27.
- Gunes, A. (2012). Technical assistance for the implementation of nitrate directive.
- Haiying, T. A. N. G., Shubin, W. A. N. G., Ying, L. I. U., Hassan, M. U., Ying, S. O. N. G., Huang, G., & Mostafa, Y. S. (2022). Biochar: A promising soil amendment to mitigate heavy metals toxicity in plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 50(3), 12778-12778.
- Han, S., Zhou, X., Tang, Y., He, M., Zhang, X., Shi, H., & Xiang, Y. (2016). Practical, highly sensitive, and regenerable evanescent-wave biosensor for detection of Hg²⁺ and Pb²⁺ in water. *Biosensors and Bioelectronics*, 80, 265-272.
- Helaoui, S., Boughattas, I., El Kribi-Boukhris, S., Mkhinini, M., Alphonse, V., Livet, A., ... & Banni, M. (2022). Assessing the effects of nickel on, eg, Medicago sativa L. nodules using multidisciplinary approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(51), 77386-77400.
- Huang, K., Zhang, J., Tang, G., Bao, D., Wang, T., & Kong, D. (2023). Impacts and mechanisms of biochar on soil microorganisms. *Plant, Soil and Environment*, 69(2), 45-54.
- İmamoğlu, S. (2019). *Farklı leonardit uygulamalarının fasulyede verim ve kalite üzerine etkisi* (Master's thesis, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Ippolito, J. A., Ducey, T. F., Cantrell, K. B., Novak, J. M., & Lentz, R. D. (2016). Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. *Chemosphere*, 142, 184-191.
- Jadia, C. D., & Fulekar, M. H. (2008). Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 7(5).
- Jones, D. L., & Darrah, P. R. (1994). Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrients from the rhizosphere. *Plant and soil*, 166, 247-257.
- Jung, C., Oh, J., & Yoon, Y. (2015). Removal of acetaminophen and naproxen by combined coagulation and adsorption using biochar: influence of combined sewer overflow components. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 10058-10069.
- Kacar, B. (1994). *Bitki ve toprağın kimyasal analizleri*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı.
- Kacar, B., & Inal, A. (2008). Plant analysis. *Nobel Pres*, 1241, 891.
- Kalyani, P., & Anitha, A. (2013). Biomass carbon & its prospects in electrochemical energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(10), 4034-4045.
- 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.
- Kaya, E. C., Akça, H., Taşkın, M. B., Mounirou, M. M., & Kaya, T. (2019). Biyokömür ve fosfor uygulamalarının mısır ve çeltik bitkilerinin gelişimi ve mineral element konsantrasyonlarına etkileri. *Toprak Su Dergisi*, 8(1), 46-54.
- Keskinaslan, G. S., Saridas, M. A., & Paydaş, S. (2023). Biyokömürün Çilek Yapraklarında Besin Element İçerikleri Üzerine Etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(3), 520-528.

- Khan, A., & Ishaq, F. (2011). Chemical nutrient analysis of different composts (Vermicompost and Pitcompost) and their effect on the growth of a vegetative crop *Pisum sativum*. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 1(1), 116-130.
- Khedr, M. E., Nasseem, M. G., Ali, W. H., & Rashad, M. A. (2019). Compost and vermicompost as soil amendments to immobilize Cu and Cd under wheat growth conditions. *Alexandria Science Exchange Journal*, 40: 705-716.
- Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, R., Ottner, F., Liedtke, V., ... & Soja, G. (2012). Characterization of slow pyrolysis biochars: effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. *Journal of environmental quality*, 41(4), 990-1000.
- Küçükyumuk, Z., Gültekin, M., & Erdal, İ. (2014). Vermikompost ve mikorizanın biber bitkisinin gelişimi ile mineral beslenmesi üzerine etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 51-58.
- Laird, D. A. (2008). The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy journal*, 100(1), 178-181.
- Lehmann, J., & Stephen, J. (2009). Biochar for environmental management: science and technology.
- Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11, 403-427.
- 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.
- Lorenz, K., & Lal, R. (2014). Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *Journal of plant nutrition and soil science*, 177(5), 651-670.
- Ma, Y., Prasad, M. N. V., Rajkumar, M., & Freitas, H. J. B. A. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnology advances*, 29(2), 248-258.
- Makovíny, I., & Makovínyiová, K. (2011). Shielding of electromagnetic radiation by using wood-cement boards modified with carbon in microwave frequency band.
- Massalha, H., Korenblum, E., Tholl, D., & Aharoni, A. (2017). Small molecules below-ground: the role of specialized metabolites in the rhizosphere. *The Plant Journal*, 90(4), 788-807.
- Medyńska-Juraszek, A., & Ćwieląg-Piasecka, I. (2020). Effect of biochar application on heavy metal mobility in soils impacted by copper smelting processes. *Pol. J. Environ. Stud*, 29(2), 1749-1757.
- Mosharrof, M., Uddin, M. K., Sulaiman, M. F., Mia, S., Shamsuzzaman, S. M., & Haque, A. N. A. (2021). Combined application of biochar and lime increases maize yield and accelerates carbon loss from an acidic soil. *Agronomy*, 11(7), 1313.
- Motaghian, H. R., & Hosseinpour, A. R. (2017). The effects of cow manure and vermicompost on availability and desorption characteristics of zinc in a loamy calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(18), 2126-2136.
- Mounirou, M. M., Kaya, E. C., Ouedraogo, A. R., Demir, K., Güneş, A., & Ali, İ. N. A. L. (2020). Biyokömür ve organik gübre uygulamalarının soğan bitkisinin gelişimi ve kimyasal gübreden yararlanma oranına etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(1), 36-45.

- Mukherjee, A., Lal, R., & Zimmerman, A. R. (2014). Impacts of 1.5-year field aging on biochar, humic acid, and water treatment residual amended soil. *Soil science*, 179(7), 333-339.
- Naeem, S., Baheti, V., Tunakova, V., Militky, J., Karthik, D., & Tomkova, B. (2017). Development of porous and electrically conductive activated carbon web for effective EMI shielding applications. *Carbon*, 111, 439-447.
- Ngo, P. T., Rumpel, C., Doan, T. T., & Jouquet, P. (2012). The effect of earthworms on carbon storage and soil organic matter composition in tropical soil amended with compost and vermicompost. *Soil Biology and Biochemistry*, 50, 214-220.
- Novak, J. M., Ippolito, J. A., Lentz, R. D., Spokas, K. A., Bolster, C. H., Sistani, K., ... & Johnson, M. G. (2016). Soil health, crop productivity, microbial transport, and mine spoil response to biochars. *BioEnergy Research*, 9, 454-464.
- 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.
- Özmen, M. T. (2009). Sera Gazı-Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü. *İMO Dergisi*, 453(1), 42-46.
- 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.
- PELLERA, F., KOUTSOUMPI, M., & GIDARAKOS, E. 2014. EFFECT OF BIOCHAR AMENDMENT ON ZINC AVAILABILITY IN AN ARTIFICIALLY CONTAMINATED SOIL.
- Petwal, V., Badoni, A., Joshi, D., & Dangwal, A. 2023. Effect of Vermicompost Based on Zinc Application on Growth of Fodder Maize (Pratap Makka Chari-6).
- Preston, C. M., & Schmidt, M. W. (2006). Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions. *Biogeosciences*, 3(4), 397-420.
- Pühringer, H. (2016). Effects of different biochar application rates on soil fertility and soil water retention in on-farm experiments on smallholder farms in Kenya.
- Ramnarain, Y. I., Ori, L. Y. D. I. A., & Ansari, A. A. (2018). Effect of the use of vermicompost on the plant growth parameters of Pak Choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) and on the soil structure in Suriname. *Journal of Global Agriculture and Ecology*, 8(1), 8-15.
- Rehman, M. Z. U., Rizwan, M., Ali, S., Fatima, N., Yousaf, B., Naeem, A., ... & Ok, Y. S. (2016). Contrasting effects of biochar, compost and farm manure on alleviation of nickel toxicity in maize (*Zea mays* L.) in relation to plant growth, photosynthesis and metal uptake. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133, 218-225.
- Rodríguez-Vila, A., Atuah, L., Abubakari, A. H., Atorqui, D. W., Abdul-Karim, A., Coole, S., ... & Sizmur, T. (2022). Effect of biochar on micronutrient availability and uptake into leafy greens in two urban tropical soils with contrasting soil pH. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 821397.
- Safarzadeh, S., Ahmadabadi, Z., & Kasmaei, L. S. (2019). Effect of manures and vermicompost on zinc release kinetics in a calcareous soil grown *Ocimum basilicum* L. *Thai Journal of Agricultural Science*, 52(2), 68-80.

- Sayyadian, K., Moezzi, A., Gholami, A., Panahpour, E., & Mohsenifar, K. (2019). Effect of biochar on cadmium, nickel and lead uptake and translocation in maize irrigated with heavy metal contaminated water. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(1).
- Şenay, B., & Tepecik, M. (2024). Biyokömür Uygulamalarının Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Buğdayın (*Triticum aestivum* L.) Çimlenme ve Biyomas Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2), 297-308.
- Shang, G., Shen, G., Liu, L., Chen, Q., & Xu, Z. (2013). Kinetics and mechanisms of hydrogen sulfide adsorption by biochars. *Bioresource technology*, 133, 495-499.
- Sharma, S. (2003). Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms. *Bioresource technology*, 90(2), 169-173.
- Shen, Z., Yu, Z., Xu, L., Zhao, Y., Yi, S., Shen, C., ... & Bai, Y. (2022). Effects of vermicompost application on growth and heavy metal uptake of barley grown in mudflat salt-affected soils. *Agronomy*, 12(5), 1007.
- Shen, Z., Yu, Z., Xu, L., Zhao, Y., Yi, S., Shen, C., ... & Bai, Y. (2022). Effects of vermicompost application on growth and heavy metal uptake of barley grown in mudflat salt-affected soils. *Agronomy*, 12(5), 1007.
- Singh, S., Chaturvedi, S., & Dhyani, V. C. (2023). Response of Enriched Biochar and Vermicompost on Nutrient and Seed Quality by Sweet Corn. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(19), 587-591.
- Sönmez, F., & Arzu, Ç. I. Ğ. (2019c). Artan vermikompost ve azot-Fosfor (NP) uygulamalarının sümbülün (*hyacinthus orientalis* L. "purple star") Co, Ni, Cd ve Mo içeriklerine etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 5(2), 362-371.
- Sönmez, F., & Çığ, F. (2019a). Artan dozdaki biyokömür ve solucan gübresi uygulamalarının buğdayda ve toprakta besin elementi içeriği üzerine etkilerinin belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*.
- Sönmez, S., & Özen, N. (2019b). Farklı inkübasyon dönemlerine ve vermikompost uygulamalarına bağlı olarak toprakların bitki besin maddesi içeriklerindeki değişim. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32, 121-125.
- Soyergin, S. (2003). Organik Tarımda Toprak Verimliliğinin Korunması, Gübreler Ve Organik Toprak İyileştiricileri.
- Stevenson, F. J. (1994). *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. John Wiley & Sons.
- Sümer, S. K., Kavdir, Y., & Çiçek, G. (2016). Türkiye’de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. *KSÜ doğa bilimleri dergisi*, 19(4), 379-387.
- Tamer, N., Başalma, D., Türkmen, C., & Namlı, A. (2016). Organik toprak düzenleyicilerin toprak parametreleri ve ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinin verim ve verim öğeleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 4(1), 11-20.
- Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y., & Yang, Z. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, 125, 70-85.
- Tarakçıoğlu, C., Özenç, D. B., Yilmaz, 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.

- TURAN, V. (2019). Biyokömür ve kükürt uygulamasının alkali killi-tınlı topraklarda fosfor alınabilirliği ve toprak enzim aktivitesi üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3), 527-535.
- Tüzüner, A., (1990). Toprak ve Su Analizleri Laboratuvarları El Kitabı. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Ankara
- Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., & Nishihara, E. (2011). Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil use and management*, 27(2), 205-212.
- Vurgun, E., & Müftüoğlu, N. M. (2019). Bitkinin fosfor alımına vermikompost ve farklı fosfor dozlarının birlikte etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(3), 437-441.
- Wang, Y., Xu, Y., Li, D., Tang, B., Man, S., Jia, Y., & Xu, H. (2018). Vermicompost and biochar as bio-conditioners to immobilize heavy metal and improve soil fertility on cadmium contaminated soil under acid rain stress. *Science of the Total Environment*, 621, 1057-1065.
- Yang, F., Lee, X. Q., & Wang, B. (2015). Characterization of biochars produced from seven biomasses grown in three different climate zones. *Chinese Journal of Geochemistry*, 34, 592-600.
- Yang, J., Zhao, Y., Ma, S., Zhu, B., Zhang, J., & Zheng, C. (2016). Mercury removal by magnetic biochar derived from simultaneous activation and magnetization of sawdust. *Environmental Science & Technology*, 50(21), 12040-12047.
- Yasemin, A. C. İ. R., & Erdem, H. (2020). Biochar uygulamalarının ekmeklik buğdayın kadmiyum (Cd) alımına etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9(2), 327-336.
- Yaviç, Ş., DEMİR, S., & BOYNO, G. (2020). Solucan Gübresi (Vermikompost)'nin Domates (*Solanum lycopersicum*)'te *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary'un Neden Olduğu Kök Çürüklüğü Hastalığına Etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 13-20.
- Yildiz, M., Gürkan, M. O., Turgut, C., Kaya, Ü., & Ünal, G. (2005). Tarımsal Savaşımında Kullanılan Pestisitlerin Yol Açtığı Çevre Sorunları. *VI. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi*, 3-7 Ocak 2005.
- Zemanova, V., Břendová, K., Pavlikova, D., Kubatova, P., & Tlustoš, P. (2017). Effect of biochar application on the content of nutrients (Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard.
- Zhang, M., Liu, Y., Wei, Q., Liu, L., Gu, X., Gou, J., & Wang, M. (2023). Effects of biochar and vermicompost on growth and economic benefits of continuous cropping pepper at karst yellow soil region in Southwest China. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1238663.
- Zhao, D., Gao, S., Zhang, X., Zhang, Z., Zheng, H., Rong, K., ... & Khan, S. A. (2021). Impact of saline stress on the uptake of various macro and micronutrients and their associations with plant biomass and root traits in wheat. *Plant, Soil & Environment*, 67(2).