



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI

**MALÇ VE BİYOKÖMÜR UYGULAMALARININ MARUL
VERİMİ VE TOPRAK FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

Salim TAŞDELEN

Danışman
Prof. Dr. Aysun PEKŞEN

İkinci Danışman
Doç. Dr. Mustafa SAĞLAM

SAMSUN
2022

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI**



**MALÇ VE BİYOKÖMÜR UYGULAMALARININ MARUL
VERİMİ VE TOPRAK FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

Salim TAŞDELEN

Danışman

Prof. Dr. Aysun PEKŞEN

İkinci Danışman

Doç. Dr. Mustafa SAĞLAM

SAMSUN
2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Salim TAŞDELEN tarafından, Prof. Dr. Aysun PEKŞEN ve Doç. Dr. Mustafa SAĞLAM danışmanlığında hazırlanan “MALÇ VE BİYOKÖMÜR UYGULAMALARININ MARUL VERİMİ VE TOPRAK FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 15.08.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan (I. Danışman)	Prof. Dr. Aysun PEKŞEN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
II. Danışman	Doç. Dr. Mustafa SAĞLAM Ondokuz Mayıs Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Damla Bender ÖZENÇ Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Beyhan KİBAR Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Harun ÖZER Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
... / ... / ...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynaklarda gösterilenlerden oluştuğunu, enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

21.06.2022

Salim TAŞDELEN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: MALÇ VE BİYOKÖMÜR UYGULAMALARININ MARUL VERİMİ VE TOPRAK FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 21.06.2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : %11

Tek kaynak oranı : %2 çıkmıştır.

21/06/2022

Prof. Dr. Aysun PEKŞEN

ÖZET

MALÇ VE BİYOKÖMÜR UYGULAMALARININ MARUL VERİMİ VE TOPRAK FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Salim TAŞDELEN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Ağustos/2022

Danışman: Prof. Dr. Aysun PEKŞEN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Mustafa SAĞLAM

Bu çalışma sera koşullarında ardışık 2 sezonda farklı malç ve biyokömür dozlarının marul bitkisinin (*Lactuca sativa* L.) verim ve kalitesi ile toprak fiziksel özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, 3 farklı malç [geleneksel polietilen plastik malç (GPM), biyobozunur plastik malç (BPM), kâğıt malç (KM)] ile malç yapılmayan kontrol uygulaması ve 3 farklı biyokömür (%0, 0.8 ve 1.6 ton da⁻¹) dozları kullanılmıştır. Deneme Tesadüf Bloklarında Bölünen Bölünmüş Parseller deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Araştırmada Kanaryole marul çeşidinin bitki boyu, baş ağırlığı, baş çapı, yaprak uzunluğu ve eni, toplam yaprak sayısı, yaprakların klorofil içeriği, yaprak rengi, yaprak yaş ve kuru ağırlığı, kök uzunluğu, kök boğazı çapı, kök yaş ve kuru ağırlığı, suda çözünebilir kuru madde miktarı ve kuru madde miktarları tespit edilmiştir. Bitki hasadından sonra 0-10 ve 10-20 cm olmak üzere 2 farklı derinlikten alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde tekstür, pH, elektriksel iletkenlik (EC), organik madde, hacim ağırlığı, porozite, makropor, havalanma kapasitesi, suya dayanıklı agregat, hidrolik iletkenlik, tarla kapasitesi, nispi tarla kapasitesi, solma noktası, bitkiye yarayışlı su içeriği, strüktür stabilite indeksi analizleri yapılmıştır. İkinci sezonda baş ağırlığı ve dekara verim (sırasıyla 601.71 g bitki⁻¹ ve 6685.66 kg da⁻¹) ilk sezona göre (sırasıyla 252.07 g bitki⁻¹ ve 2800.81 kg da⁻¹) istatistiksel olarak daha önemli bulunmuştur. GPM ve BPM malç uygulamalarından elde edilen verim değerleri (sırasıyla 5063.28 ve 5240.94 kg da⁻¹), kontrol ve KM uygulamalarından (sırasıyla 4216.14 ve 4452.56 kg da⁻¹) daha yüksek çıkmıştır.

Anahtar Sözcükler: Biyobozunur malç, biyokömür, *Lactuca sativa*, verim

ABSTRACT

THE EFFECTS OF MULCH AND BIOCHAR APPLICATIONS ON LETTUCE YIELD AND SOIL PHYSICAL PROPERTIES

Salim TAŞDELEN

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Horticultural

Master, August/2022

Supervisor: Prof. Dr. Aysun PEKŞEN

Second Supervisor: Doç. Dr. Mustafa SAĞLAM

This study was carried out to determine the effects of different mulch and biochar doses on soil physical properties and the yield and quality of lettuce in 2 growing seasons under greenhouse conditions. In the study, 3 different mulch [conventional polyethylene plastic mulch (GPM), biodegradable plastic mulch (BPM), paper mulch (KM)] and no mulch (control) application and 3 different doses of biochar (0%, 0.8 and 1.6 tons da⁻¹) were used. The experiment was carried out according to the Divided Plots Trial Design in Random Blocks with 3 replications. In the study, plant height, head weight, head diameter, leaf length and width, total number of leaves, chlorophyll content of leaves, leaf color, leaf fresh and dry weight, root length, root collar diameter, root fresh and dry weight, total soluble solid content and dry matter amount were determined. Texture, pH, electrical conductivity (EC), organic matter, bulk weight, porosity, macropore, aeration capacity, water-resistant aggregate, hydraulic conductivity, field capacity, relative field capacity, wilting point, water content available to the plant, structural stability index analyzes were made. Head weight and yield per decare in the second season (601.71 g bitki⁻¹ and 6685.66 kg da⁻¹, respectively) were found to be statistically more important than in the first season (252.07 g bitki⁻¹ and 2800.81 kg da⁻¹, respectively). Yield values obtained from GPM and BPM mulch applications (5063.28 and 5240.94 kg da⁻¹, respectively), were higher than control and KM applications (4216.14 ve 4452.56 kg da⁻¹, respectively).

Keywords: Biodegradable mulch, biochar, *Lactuca sativa*, yield

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın planlanması, yürütülmesi ve yazılmasında olduğu kadar eğitimimin her aşamasında yardım ve desteğini gördüğüm, birlikte çalışmaktan ve öğrencisi olmaktan büyük gurur duyduğum, çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Aysun PEKŞEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Denemenin planlanması ve toprak analizlerinin yapılmasındaki katkılarından dolayı ikinci danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa SAĞLAM hocama teşekkür ederim. Çalışmada kullanılmak üzere biyokömürün hazırlanmasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Kamil EKİNCİ hocama ve sera ünitesindeki çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Harun ÖZER hocama da teşekkür ederim.

Tez çalışmamın toprak analizleri ile ilgili bölümündeki yardımlarından dolayı Araştırma Görevlisi Salih DEMİRKAYA ve Abdurrahman AY'a, ayrıca Yüksek Lisans Öğrencisi Edip Erhan KÜÇÜK'e teşekkür ederim. Arazi çalışmalarında yardımlarından dolayı Dr. Harbiye DURAN'a, Ziraat Mühendisi Burak TÜZEN'e, Ziraat Yüksek Mühendisi Ahmet Faruk KARASOY'a, Araştırma Görevlisi Aslıhan ÇİLİNGİR TÜTÜNCÜ'ye ve diğer emeği geçen arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleri için sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Salim TAŞDELEN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI.....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Sebze Yetiştiriciliğinde Malç Kullanımı Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	5
2.2. Biyokömür Kullanımı Konusunda Yapılan Çalışmalar	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Materyal.....	20
3.1.1. Deneme alanı, toprak ve iklim özellikleri.....	20
3.1.2. Denemede kullanılan marul çeşidi.....	22
3.1.3. Denemede kullanılan biyokömür materyalinin üretimi ve özellikleri.....	22
3.1.4. Malç materyali	23
3.2. Yöntem	24
3.2.1. Denemede yapılan ölçüm ve analizler	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	32
4.1. Farklı Malç ve Biyokömür Uygulamalarının Bitkisel Özellikler Üzerine Etkileri	32
4.2. Farklı Malç ve Biyokömür Uygulamalarının Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	89

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
C	: Karbon
cm	: Santimetre
da	: Dekar
dS m ⁻¹	: Desisiemens/metre
g	: Gram
kg	: Kilogram
m ²	: Metrekare
mm	: Milimetre

KISALTMALAR

B	: Biyokömür
BPM	: Biyobozunur Plastik Malç
BYS	: Bitkiye Yarayışlı Su
D	: Derinlik
DHİ	: Doymuş Hidrolik İletkenlik
DSN	: Daimi Solma Noktası
EC	: Elektriksel İletkenlik
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
GPM	: Geleneksel Polietilen Plastik Malç
HK	: Havalanma Kapasitesi
K	: Kontrol
KM	: Kağıt Malç
M	: Malç
OM	: Organik Madde
pH	: Toprak Reaksiyonu
S	: Ürün Sezonu
SDA	: Suyu Dayanıklı Agregat
STİ	: Strüktür Stabile İndeksi
TK	: Tarla Kapasitesi
TK _{nispi}	: Nispi Tarla Kapasitesi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Denemenin kurulduğu sera	20
Şekil 3.2. Denemenin birinci ürün sezonuna ait sera içi sıcaklık ve nem değerleri	21
Şekil 3.3. Denemenin ikinci ürün sezonuna ait sera içi sıcaklık ve nem değerleri	21
Şekil 3.4. Kesikli pirolizer (biyokömür reaktörü) ve üretilen biyokömür	23
Şekil 3.5. Denemede ele alınan uygulamalara ait plan	25
Şekil 3.6. Denemenin hazırlık aşamaları	26

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Denemenin yürütüldüğü sera toprağının analiz sonuçları	21
Tablo 3.2. Denemede ele alınan biyokömürün özellikleri	23
Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan malç materyallerinin özellikleri	24
Tablo 4.1. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin bitki boyuna ait varyans analizi	32
Tablo 4.2. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin bazı bitkisel özellikleri üzerine etkileri	33
Tablo 4.3. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin baş çapına ait varyans analizi	34
Tablo 4.4. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak uzunluğuna ait varyans analizi	35
Tablo 4.5. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak enine ait varyans analizi	36
Tablo 4.6. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak sayısına ait varyans analizi	37
Tablo 4.8. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin klorofil, renk (L, a ve b), SÇKM ve kuru madde değerleri üzerine etkileri	38
Tablo 4.7. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak klorofiline ait varyans analizi	39
Tablo 4.9. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak L değerine ait varyans analizi	40
Tablo 4.10. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak a değerine ait varyans analizi	40
Tablo 4.11. Marul bitkisinin yaprak a değerine ait malç x biyokömür interaksiyon sonuçları	41
Tablo 4.12. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak b değerine ait varyans analizi	41
Tablo 4.13. Marul bitkisinin yaprak b değerine ait malç x biyokömür interaksiyon sonuçları	42
Tablo 4.14. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin SÇKM değerine ait varyans analizi	42
Tablo 4.15. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kuru madde değerine ait varyans analizi	43
Tablo 4.16. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök boğazı çapına ait varyans analizi	44
Tablo 4.17. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin bazı kök özellikleri üzerine etkileri	45
Tablo 4.18. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök uzunluğuna ait varyans analizi	46
Tablo 4.19. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök yaş ağırlığına ait varyans analizi	47
Tablo 4.20. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analizi	49
Tablo 4.21. Kök kuru ağırlığına ait ürün sezonu x malç interaksiyon sonuçları	49
Tablo 4.22. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin baş ağırlığına ait varyans analizi	50

Tablo 4.23. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin dekara verimine ait varyans analizi.....	51
Tablo 4.24. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin bazı bitkisel özellikleri üzerine etkileri.....	53
Tablo 4.25. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak pH değerlerine olan etkilerine ait varyans analizi.....	54
Tablo 4.26. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak EC değerlerine ait varyans analizi.....	56
Tablo 4.27. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak organik madde değerlerine ait varyans analizi.....	57
Tablo 4.28. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak suya dayanıklı agregat değerlerine ait varyans analizi.....	59
Tablo 4.29. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak strüktür stabilite indeksine ait varyans analizi.....	60
Tablo 4.31. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak hacim ağırlığına ait varyans analizi.....	61
Tablo 4.30. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak pH, EC, OM, SDA ve SSİ özellikleri üzerine etkileri.....	62
Tablo 4.32. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak porozitesine ait varyans analizi.....	63
Tablo 4.33. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki makropor içeriğine ait varyans analizi.....	63
Tablo 4.34. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak havalanma kapasitesine ait varyans analizi	65
Tablo 4.35. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak doymuş hidrolik iletkenlik değerlerine ait varyans analizi	65
Tablo 4.37. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak tarla kapasitesine ait varyans analizi.....	67
Tablo 4.36. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak hacim ağırlığı, porozite, makropor, havalanma kapasitesi ve doymuş hidrolik iletkenlik özellikleri üzerine etkileri.....	65
Tablo 4.38. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak nispi tarla kapasitesine ait varyans analizi.....	68
Tablo 4.39. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak daimi solma noktasına ait varyans analizi.....	69
Tablo 4.40. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak bitkiye yarayışlı su değerlerine ait varyans analizi.....	69
Tablo 4.41. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak TK, TKnispi, DSN ve BYS özellikleri üzerine etkileri	69

1. GİRİŞ

Compositae familyasına dâhil olan marulun (*Lactuca sativa* L.) dünya üzerindeki yayılışı ve anavatanı konusunda değişik görüşler vardır. Aybak (2002) marulun ilk kültürünün MÖ 4500 yılında Mısır'da yapıldığını, yayılış alanlarının Kafkasya, Anadolu, Türkistan ve İran olduğunu bildirmiştir. Severe tüketilen marul, dünyada üretimi yaygın olarak yapılan ve üretimi giderek artan bir sebzedir. Tek yıllık bir serin iklim sebzesi olan marulun üretiminin giderek artmasının en önemli nedenleri arasında üretim periyodunun kısa, bakım ve kültürel faaliyetlerinin az ve besin içeriğinin zengin olması sayılabilir (Aybak, 2002; Al-Bayati et al., 2019).

Dünyada 2020 yılı verilerine göre yaklaşık olarak 27.7 milyon ton marul üretilmektedir. Marul üretiminde 14.3 milyon ton üretim ile Çin ilk sırada yer almaktadır. Çin'i sırasıyla Amerika, Hindistan, İspanya ve İtalya izlemektedir (FAO, 2022). 2020 yılı verilerine göre Türkiye yaklaşık 500 bin tonluk marul üretimiyle dünyada 10. sırada yer almaktadır. Türkiye'de 2021 yılı verilerine göre marul üretimi (kıvırcık, göbekli ve iceberg) bir önceki yıla göre 50 bin ton artarak 550 bin tona ulaşmıştır (TÜİK, 2022). On yıllık süreçte ülkemizdeki ortalama marul üretim miktarı ise 519.597 ton olarak gerçekleşmiştir.

Marul, ülkemizde yıl boyunca açıkta ve örtü altında yetiştiriciliği yapılan bir sebzedir. Ana ürün, ara ürün veya 2.-3. ürün olarak yetiştiriciliği yapıldığından ticari üretimi yoğun olarak yapılmaktadır. Ülkemizde marul yetiştiriciliği yoğun olarak Akdeniz (198 202 ton), İç Anadolu (99 973 ton) ve Marmara (80 096 ton) bölgelerinde yapılmaktadır. Ancak son yıllarda Karadeniz bölgesinde de (66 486 ton) üretimin arttığı görülmektedir (TÜİK, 2022). İl bazında bakıldığında ise Ankara (77 597 ton), Adana (70 882 ton), Antalya (55 814 ton), Mersin (47 292 ton), Tokat (33 291 ton) ve Sakarya (32 688 ton) marul üretiminin en çok yapıldığı illerimizdir. Samsun ilinin marul üretim miktarı ise 2021 yılında 8.256 ton olarak tespit edilmiştir (TÜİK, 2022). Samsun ilinde yüksek tünellerde üretim deseninde marul önemli bir yere sahiptir. Samsun ilinde en çok ekilişi yapılan ve ihracata uygun sebze türlerinden biri de maruldur (Hekimoğlu ve Altındağ, 2019).

Küresel olarak marula olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Marul verimi çeşit, üretim koşulları, gübreleme, dikim tarihleri ve hasata bağlı olarak değişmektedir (Conversa et al., 2004). Artan marul tüketimi üreticileri kimyasal kullanımını

yoğunlaştırmaya yöneltmektedir. Ancak çevrenin korunması ve gıda güvenliği düşünüldüğünde; kimyasalların kullanımı konusunda sınırlamalara ihtiyaç bulunmaktadır. Örtüaltında özellikle ısıtmasız koşullarda yetiştirilen marul bitkilerinin verim ve kalitelerinin artırılması için kullanılan yöntemlerden biri de malçlama uygulamalarıdır (Maged, 2006; Di Mola et al., 2020).

Tarımsal üretimde malç kullanımı; toprak yapısını korumak, su ve bitki besin maddesi kaybını azaltmak, bitki gelişimini hızlandırmak, kök bölgesini sıcak tutmak, yabancı ot kontrolünü sağlamak, hastalık ve zararlı kontrolü ile ürün maliyetini azaltmak ve meyve kalitesini artırmak amacıyla eski dönemlerden beri yapılan bir uygulamadır. Malçlama genel olarak toprak yüzeyinin organik (anız atıkları, odun talaşı, kâğıt, vb.), inorganik (çakıl taşı, pomza taşı, perlit, vb.) ve sentetik (dokuma kumaş, polietilen plastik, biyobozunur plastik, vb.) materyaller kullanılarak örtülmesi işlemidir (Ekinci ve Dursun, 2006). Seçilecek malç materyali yetiştirilecek ürüne, iklime ve sağlanacak fayda ve maliyet analizine göre değişmektedir (Wang et al., 2016). Bununla birlikte üretim sezonu boyunca sağlamış olduğu birçok fayda nedeniyle en yaygın kullanılan malç materyali polietilen plastik malçlardır.

Polietilen plastik malçlar; kolay bulunması, toprak yüzeyine uygulanmasının kolay olması, daha dayanıklı olması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedirler. Bitkisel üretim perspektifinden bakıldığında; plastik malçlar verimi artırabilir, büyüme mevsimini uzatabilir, yabancı ot baskısını azaltabilir, gübre kullanım etkinliğini artırabilir, toprak nemini koruyabilir ve toprak sıcaklığını artırabilir (Lamont, 2005; Steinmetz et al., 2016). Bu nedenlerden dolayı, polietilen malçlar yarım yüzyıldan fazla bir süredir tarımda kullanılmaktadır (Lamont, 2005). Polietilen plastikler yenilenemeyen petrol bazlı ürünlerdir ve yıllık üretimleri her yıl ortalama %9 düzeyinde artış göstermektedir (Hayes et al., 2012). Ancak plastik malçların geri dönüşüm oranları oldukça düşük ve tarım arazilerinde üretim sezonun sonunda uygun bir şekilde depolanmadığında parçalanarak toprak ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olabilmektedir. Ancak plastik malçların çevre kirliliğine yol açmaları dışında hasat sonrasında araziden uzaklaştırmaları da oldukça maliyetlidir. Plastik malçların oluşturduğu bu dezavantajların giderilmesi amacıyla yenilenebilir biyolojik kaynaklardan elde edilen biyobozunur plastik malçların geliştirilmesi ve kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

İlk endüstriyel biyobozunur plastikler, Almanya ve ABD gibi ülkelerde, 1900'lü yılların başlarından itibaren üretilmeye başlamıştır. Bununla birlikte modern biyobozunur plastiklerin üretimleri son yıllarda yaygınlaşmıştır (Saglam et al., 2017). Biyolojik olarak parçalanabilir malçlar, sürme işleminden sonra tarlada biyolojik olarak parçalanabilmekte ve bu şekilde malçların geri kazanılması ve imhası ortadan kaldırılmaktadır (Kyrikou and Briassoulis, 2007; Kijchavengkul et al., 2008). Ancak polietilen plastik malçlara alternatif olarak ortaya çıkartılan biyobozunur plastik malçların tarımsal performansları ile ilgili bilgiler yeterli değildir. Bu nedenle bu malçların hem ayrışma hem de tarımsal performanslarının belirlenmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Bitkisel üretimde optimum verim için toprağın besin içeriği yanında fiziksel özellikleri de önemli bir husustur. Toprak fiziksel koşullarındaki bozulmalar, verim ve verim öğelerini negatif yönde etkilemektedir. Değişik organik ya da mineral toprak düzenleyiciler kullanılarak toprağın fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi yaygın bir uygulamadır. Biyokömür çeşitli alanlarda (hayvan çiftliklerinde, gazların tutulmasında, enerji depolamada, katalizör olarak, yapılarda, adsorbent ve tarımda) kullanılmaktadır. Organik atıklardan üretilen biyokömür atık yönetimine de katkıda bulunmaktadır (Sümer vd., 2016). Biyokömür, sınırlı oksijen kaynağı altında kapalı bir sistemde biyokütlenin ısıtılmasıyla elde edilen karbon bakımından zengin üründür. Biyokömür, yüksek organik madde içerir ve gözenekliliği yüksektir (Verheijen et al., 2010). Değişik araştırmacılar tarafından biyokömürün toprağa ilavesi durumunda toprak pH'sını yükselterek, su tutma kapasitesini artırarak, daha faydalı mikroorganizmaların ve mikorizanın aktivitesini artırarak, katyon değişim kapasitesini geliştirerek ve toprakta bitki besin elementlerini tutarak toprak verimliliğini artırdığı ve toprak kalitesini iyileştirdiği bildirilmiştir (Lehmann et al., 2003; Lehmann et al., 2006; Warnock et al., 2007; Zheng et al., 2010; Tian et al., 2018). Son yıllarda biyokömür kullanımının karbon tutulumu, sera gazı emisyonlarının azaltılması, ürün verimi ve toprak kalitesinin geliştirilmesi üzerine olumlu etkileri nedeniyle çeşitli materyalden hazırlanan biyokömür kaynaklarının toprak düzenleyici olarak etkinliği üzerine yapılan çalışmaların yaygınlaştığı görülmektedir (Atkinson et al., 2010; Busscher et al., 2010; Deveraux, et al., 2012; Mukherjee and Zimmerman, 2013; Koide et al., 2014; Saygan ve Aydemir, 2016; Pandit et al., 2017; Alaboz ve Işıldar, 2018; Liu et al., 2019; Alaboz ve Öz, 2020; Lehmann et al., 2021). Shareef and Zhao (2017), biyokömür

uygulamaları ile toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirmenin mümkün olabileceğini bildirmişlerdir. Biyokömür uygulamasının tekstür, strüktür, porozite, por büyüklük dağılımı, yarayışlı su içeriği ve toprak drenaj özellikleri gibi toprak fiziksel özelliklerini etkilediği belirlenmiştir (Glaser et al., 2002; Devereux et al., 2012; Herath et al., 2013). Bu etkiler, su alımı ve kök solunum süreçlerine aracılık ederek bitki büyümesini ve gelişimini daha da etkileyebilmektedir.

Yapılan sera ve saha çalışmaları biyokömür ilavesinin mahsul verimini artırdığını göstermiştir (Glaser, 2001; Jeffery et al., 2011; Upadhyay et al., 2014; Gunes et al., 2015; Caroline et al., 2016; Adekiya et al., 2019; Liu et al., 2019). Ancak biyokömürün oluşturulma prosedürü, kalitesini etkileyen önemli bir kısımdır ve biyokömür kalitesi, eklenen biyokömür miktarları, toprak tipi ve test edilen mahsul gibi faktörlere bağlı olarak mahsul verimi üzerine etkisi değişmektedir. Biyokömür toprağa karıştırıldıktan sonra toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini düzenlemesi kimyasal gübrelere nazaran uzun sürmektedir. Kısa dönemde biyokömürün tek başına bir etkisi görülmemektedir (Adekiya et al., 2019). Bu nedenle de çeşitli biyokömürlerin toprak, iklim ve mahsuller arasındaki etkileşimlerini anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Biyokömür yeni bir üründür ve çiftçilerin veya köylülerin büyük miktarlarda ve uygun fiyata temini zordur. Tarım alanları için tavsiye edilmeden önce biyokömürün özellikleri, toprak ve mahsule göre sera ve saha çalışmalarının yapılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada; sera koşullarında iki farklı sezonda değişik malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkilerinin gelişimine ve verimine etkileri ile toprağın fizikokimyasal özelliklerinin geliştirilmesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada malç uygulamalarının biyokömürün topraktaki etkinliğini artırarak bitki gelişimi ve verimi üzerine etkisi de incelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Sebze Yetiştiriciliğinde Malç Kullanımı Konusunda Yapılan Çalışmalar

Koçar (2001) serada yürüttüğü çalışmada farklı renkteki (siyah, saydam, beyaz, sarı, mavi, altı siyah üstü beyaz ve gri polietilen) malç materyallerinin marul verim ve kalitesine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada siyah ve saydam polietilen malç uygulamalarında yetiştirilen marulların, dikimden 75 gün sonra sırasıyla %50 ve 56 oranında hasat edilebildiği tespit edilmiştir. Malç uygulamalarının toplam ve ortalama baş ağırlıklarını artırdığı belirlenmiştir. Altı siyah üstü beyaz polietilen malç uygulamasında yetiştirilen marullarda kontrole göre %21.4 oranında verim artışı tespit edilmiştir.

Moniruzzaman (2006) çalışmasında malçlı, malçsız masuralarda 40x20, 40x30 ve 40x40 cm olmak üzere 3 sıra arası ve sıra üzeri mesafenin marul verimi üzerine etkisini incelemiştir. Malç uygulamasında malç yapılmayan uygulamaya göre daha yüksek taze marul verimi elde edilmiştir. İki yıllık çalışmada en yüksek mahsul veriminin malç ile sıra arası x sıra üzeri 40x20 cm olan uygulamalarda sırasıyla 2.59 ve 2.83 ton da⁻¹ olduğu tespit edilmiştir.

Ünlü vd. (2006) domateste 4 farklı renkte malç (mavi, yeşil, şeffaf, siyah) materyali ile malçsız (kontrol) uygulamaların verim ve kalite üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Çalışmada malç uygulamalarının toprak sıcaklığını artırdığı ve verim ile toprak sıcaklığı arasında doğru orantı olduğu belirtilmiştir. En yüksek verim şeffaf malç uygulamasından (8469 kg da⁻¹), en düşük ise kontrol uygulamasından (5128 kg da⁻¹) elde edilmiştir. Araştırmacılar verim ve gelir artışının malç maliyetinden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Gruda (2008) çalışmasında malç materyali olarak ladin ağacı endüstri atıkları ve bu atıkların içine %10 oranında saman ilave edilip karıştırılmış malç materyalini kullanmıştır. Bitki analizlerinde marul ve fasulye bitkilerinin verimleri, malçsız toprağa kıyasla malç kullanılan alanlarda artış göstermiştir. Özellikle marulda baş büyüklüğü ve yaprak sayısında önemli ölçüde artış belirlenmiştir.

Özer vd. (2009) farklı malç uygulamalarının biberin büyüme ve verimine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada üç farklı malç uygulaması (dalgalanan örtü+siyah malç, siyah malç ve yaldızlı malç) ve kontrol (malçsız) ele alınmıştır. Araştırmacılar

yaldızlı malç ve siyah malç uygulamalarının kontrole göre ortalama meyve ağırlığını, bitki başına meyve sayısını ve bitki başına verim değerlerini artırdığını belirlemişlerdir. En yüksek ortalama meyve ağırlığı ve bitki başına verim yaldızlı malç uygulamasında, en düşük ise dalgalanan örtü+siyah malç uygulamasında tespit edilmiştir. Çalışmada yaldızlı malç uygulamasının bitki başına verimi %23 ve siyah malç uygulamasının ise %8 oranında artırdığı saptanmıştır.

Kurtar (2010) ısıtmasız cam serada sonbahar döneminde siyah, gri ve şeffaf malç uygulamalarının 3 yazlık kabak çeşidinin (Zümrüt F1, Falcon F1 ve Eskenderany F1) verim ve kalitesi üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada 5 ve 10 cm toprak derinliğinde yapılan sıcaklık ölçümlerinde malç kullanımının kontrol uygulamasına göre toprak sıcaklığını artırdığı, bunun da kabaklarda erkenciliği ve toplam verimi artırdığı tespit edilmiştir. Siyah malç uygulamasının erkenci ve toplam verim değerlerinin hem kontrol uygulamasına hem de diğer malçlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda siyah malç uygulaması ile kontrole göre toplam verimde %66 ve erkenci verimde %130 artış sağlandığı bildirilmiştir.

Korkmaz (2015) ilkbahar (Nisan-Temmuz) ve sonbahar (Ağustos-Kasım) yetiştirme dönemlerinde yürüttüğü denemede 4F-89 ve Naz Sırık taze fasulye çeşitlerinin kontrol ve farklı renklerdeki polietilen plastik malç uygulamalarındaki (siyah, sarı, şeffaf) erkencilik, kalite ve verim performanslarını incelemiştir. Çalışmada ilkbahar yetiştirme döneminde en erken hasat Naz Sırık fasulye çeşidinde siyah malçtan, 4F-89 fasulye çeşidinde ise sarı renk malçtan elde edilmiştir. İki yetiştirme döneminde her iki çeşit beraber ele alındığında en yüksek erkenci verim ve dekara verim siyah polietilen plastik malç uygulamasında, en düşük değerler ise kontrol uygulamasında tespit edilmiştir.

Franquera and Mabesa (2016) yapmış oldukları çalışmada farklı renklerdeki malçların (gümüş, kırmızı, turuncu, sarı ve yeşil) Looseleaf ve Romaine marul çeşitlerinin verimi üzerine etkisini değerlendirmişlerdir. En yüksek verim kırmızı plastik malç materyalinde tespit edilmiştir. Bunu turuncu malç izlemiştir. En yüksek verimin elde edildiği kırmızı plastik malç uygulamasında toprak sıcaklık değerlerinin diğer malç ve kontrol uygulamasına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En düşük verim ise sarı malç uygulamasında belirlenmiştir.

Tegen et al. (2016) Etiyopya’da 2012-2013 yıllarında yürütülen çalışmada, siyah plastik malç, beyaz plastik malç, çim malç ve malçsız uygulamaların Cochoro ve Miya domates çeşitlerinin verimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. En uzun bitki boyu, aralarında istatistiksel fark bulunmayan beyaz ve siyah plastik malç uygulamasında tespit edilmiştir. Tarımsal performansa ve ekonomik analiz sonuçlarına göre çim malçta yetiştirilen Miya domates çeşidinin diğer uygulamalara ve Cochoro domates çeşidine göre üstün bir performans gösterdiği saptanmıştır.

Ahmed et al. (2017) tarafından sera koşullarında iki büyüme sezonunda yürütülen çalışmada; mikoriza aşılması ve malç uygulamasının (siyah, beyaz ve malçsız) kabak bitkisinin büyüme, meyve ve tohum verimi ile tohum yağ içeriği üzerine etkileri incelenmiştir. Polietilen malçların kullanıldığı parsellerde malçsız kontrol uygulamasına kıyasla toprak neminin ve sıcaklığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda her iki sezonda da en yüksek bitki kuru ağırlığı, tohum verimi ve yağ içeriği mikoriza aşılanmış siyah malç uygulamasından elde edilmiştir.

Yordanova and Nikolov (2017) bitki sıklığı ve malç uygulamalarının marul bitkisinin büyüme ve verimi üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Çalışmada arpa samanı, ceviz ağacı talaşı, iyi yanmış at gübresi ve ot yığını malç ile kontrol olarak malçsız uygulama ele alınmıştır. Dikim sıklığı için 30 x 30 cm mesafe olacak şekilde 4 sıralı bir yatak oluşturmak için paralel ve 7 sıralı bir yatak oluşturmak için satranç dikim şekli kullanılmıştır. Çalışma sonucunda malçlanmış masuraların, malçlanmamış kontrol uygulamasına göre bitki gelişimlerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bitki sıklığı ve malçlamanın kombine etkisi (interaksiyon etkisi) incelendiğinde; bitki boyu, bitki çapı, bitki ağırlığı ve verim bakımından kombinasyonlar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek bitki gelişimi ve verim, 7 sıralı satranç dikim yapılan iyi yanmış at gübresinin malç olarak kullanıldığı uygulamadan elde edilmiştir.

Öz (2018) serada yürütülen çalışmada toprak solarizasyonunda yeni bir yaklaşım olarak yaz ve sonbahar aylarında farklı malç ve biyokömür uygulamasının toprak sıcaklık değişimleri, sıcaklık farkına göre hangi ayın etkili olduğu ve solarizasyon uygulamasının marul verim ve kalitesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada PE malç, balonlu PE malç, PE malç+biyokömür, balonlu PE malç+biyokömür ve solarizasyonun yapılmadığı 5 işlem ele alınmıştır. Biyokömür uygulaması yapılan

işlemlerde biyokömür, parsellerde 150 g m^{-2} olacak şekilde toprak yüzeyine uygulanmıştır. Biyokömür uygulanan balonlu PE malç uygulamasında sıcaklık artışı ve ısı korunumu biyokömür uygulanmayan geleneksel malça göre daha etkili bulunmuştur. Biyokömür uygulanan balonlu solarizasyon malçında marul veriminin kontrole göre %100 arttığı ve solarizasyon uygulamalarının etkinliğinde biyokömür kullanımının önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir.

Yarı-kurak iklim koşullarında bitkisel malçlamanın toprak özellikleri ve infiltrasyonuna etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada; malç materyali olarak toprak yüzeyine farklı dozlarda (0, 300, 600 ve 900 kg da^{-1}) buğday samanı uygulanmıştır. Çalışma sonucunda toprağa uygulanmış buğday samanı malç miktarı arttıkça organik madde miktarı, doğrusal uzama katsayısı, plastik limit, likit limit ve tarla kapasitesi değerlerinde önemli ölçüde artış, buna karşılık pH, EC, hacim ağırlığı ve infiltrasyon hızında azalma olduğu saptanmıştır (Köylü, 2019).

Sekara et al. (2019) biyolojik olarak parçalanabilir iki farklı malç (iki MaterBi siyah malç film, MB N2/12 ve MB N8) ve polietilen malç (düşük yoğunluklu siyah polietilen, LDPE) uygulamalarının iki farklı domates çeşidinin (Coronel F1 ve Kero F1) meyve kalitesi ve verimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. En yüksek meyve verimi ve büyüme indeksi, MB N8 ve LDPE malç uygulamalarından, en düşük ise kontrol (malçsız) uygulamasından elde edilmiştir. MB N8 uygulamasında yetişen domateslerin titre edilebilir asitlik değerleri diğer uygulamalardan daha yüksek bulunmuştur. En yüksek “L” ve “b” renk bileşenleri MB N8 ve LDPE malç uygulamalarında yetiştirilen, en sert meyveler ise MB N8 malç uygulamasında yetiştirilen domateslerden elde edilmiştir. Ayrıca biyobozunur malç uygulamalarının, sürdürülebilir sebze üretimi için uygun özellikler göstererek meyve kalitesini ve kök büyüme koşullarını iyileştirdiği belirtilmiştir.

Ardışık iki yıl yürütülen çalışmada ilk sezon örtü bitkisi olarak fiğ veya fiğ-çavdar kullanılmış, ardından kabak ve ardından da 2016 yılında marul, 2017 yılında ise kereviz yetiştirilmiştir. Örtü bitkilerinin bulunduğu parselde kış döneminde ilk sezon sonunda toprağı örtmek için iki malç (siyah ve şeffaf polietilen) kullanılmıştır. Kendi başına yetiştirilen fiğ ile fiğ-çavdar karışımı arasındaki biyokütle farkı önemli bulunmamış, ancak fiğ biyokütlesinde biriken toplam N miktarı fiğ-çavdar karışımından daha fazla olduğu saptanmıştır. Örtü bitkilerinin kullanımının, suya dayanıklı agregat indeksi ve toprak organik maddesi dahil olmak üzere ilk sezonda

(2016) toprak özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir. İkinci sezonda (2017), PE malçlama ile birlikte örtü bitkilerinin kullanılması, toprak pH'sını, suya dayanıklı agrega indeksi ve Ca, Mg, B ve Fe'nin mevcudiyeti üzerinde faydalı bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Kış aylarında toprağın siyah PE malçla kaplanması (hem fiğ hem de fiğ-çavdar uygulamalarında), şeffaf PE malç ve işlenmemiş toprağa kıyasla kereviz verimini artırmıştır. Fiğ muamelesinde siyah PE malç ve fiğ-çavdar muamelesinde şeffaf PE malç kullanılması toprak organik karbonunu azaltmıştır (Swiatkiewicz et al., 2019).

Yağanoğlu (2019) Erzurum'da sera koşullarında yürüttüğü çalışmada farklı malç materyalleri ve sulama seviyelerinin iki kornişon cinsi turşuluk hıyar bitkisinin (Sertel F1 ve Dinçel F1) bitki gelişimi ve verimine olan etkilerini araştırmıştır. Çalışmada 2 organik (kurumuş yaprak ve fındık kabuğu), 2 doğal inorganik (çakıl ve pomza) ve 2 yapay inorganik (şeffaf malç naylonu ve ultraviyole katkılı siyah malç) olmak üzere 6 malç materyali kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; kolay temin edilebilecek yaprak, çakıl ve fındık kabuğu malç materyallerinin kullanılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, bitki kök bölgesinde nemin korunması ve sulama suyunun daha etkin kullanılması için malç materyali ile birlikte sulama seviyelerinden kap buharlaşma değerinin %80'ini olacak şekilde uygulama yapılması tavsiye edilmiştir.

Cozzolino et al. (2020) küresel gıda güvenliği ve çevresel hasarı en aza indirebilmek amacıyla tarımda malç ve biyositimülantların kullanılmasının çözüm olabileceği düşüncesi ile serada yürüttükleri çalışmada; biyositimülant ve malç uygulamalarının marul verimi ve besleyici özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada tropik bitki özü biyositimülantı yapraktan uygulanmıştır. Malç olarak iki farklı biyobozunur malç (Mater-Bi 1, Mater-Bi 2), siyah polietilen ve kontrol uygulamaları ele alınmıştır. Malç uygulamaları kendi aralarında karşılaştırıldığında; pazarlanabilir verimin Mater-Bi 2 malçında diğer uygulamalardan daha yüksek olduğu, toplam verim bakımından ise malçlar arasında istatistiksel fark olmadığı ve malçların kontrole göre çok önemli düzeyde yüksek verim verdiği belirlenmiştir. Siyah polietilen ve biyobozunur malçlar (Mater-Bi 1 ve Mater-Bi 2) ile tropikal bitki özü biyositimülantı kombinasyonunun toplam ve pazarlanabilir verimi ve biyometrik özellikler üzerinde olumlu ve önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Biyobozunur malç uygulamalarında yetiştirilen (özellikle Mater-Bi 2) marulların K, Ca, toplam askorbik asit ve karotenoit içerikleri bakımından üstün kalite özellikleri sergilediği

belirlenmiştir. Çalışma sonucunda marul yetiştiriciliğinde sera üretiminin sürdürülebilirliği için biyolojik olarak parçalanabilen plastik malçlar ve bitkisel kaynaklı biyostimülant kullanımı tavsiye edilmiştir.

Di Mola et al. (2020) farklı malç materyallerinin (siyah polietilen ve kahverengi fotoselektif film) ve *Trichoderma*'nın bitki büyümesini teşvik edici mantarlar olarak uygulanmasının farklı azot uygulamaları (0, 30, 60 ve 90 kg ha⁻¹) altında yetiştirilen marulun verim ve kalitatif özellikleri üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Malç uygulamaları karşılaştırıldığında; kahverengi fotoselektif film malçının bitki gelişimi ve pazarlanabilir verimi artırdığı belirlenmiştir. Azot dozları karşılaştırıldığında en yüksek pazarlanabilir verim aralarında istatistiksel fark olmayan 60 ve 90 kg ha⁻¹ azot seviyelerinde belirlenmiştir. Ayrıca azot uygulamasının SPAD indeksini, renk parametrelerini (parlaklık ve yeşil yoğunluk), klorofil ve karotenoid içeriğini geliştirdiği ve artan azot dozlarının, Avrupa topluluğu tarafından dayatılan sınırı aşmadan, yapraklardaki nitrat içeriğini de artırdığı tespit edilmiştir. *Trichoderma* uygulamasının pazarlanabilir verim ve büyüme parametreleri üzerinde hiçbir olumlu etkisi olmadığı, ancak özellikle polietilen malç filmi ile kombine edildiğinde antioksidan aktivitesi üzerinde teşvik edici bir etkisi olduğu saptanmıştır. *Trichoderma* türlerinin uygulamasının kısa ürün döngüsü nedeniyle verim üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Bununla birlikte kalite özellikleri üzerindeki olumlu etkisi, daha fazla araştırma için ilginç bir başlangıç noktası olarak değerlendirilmiştir.

Karaer (2020) Bilecik ili ekolojik koşullarında yaptığı çalışmada malç uygulaması ve farklı sulama suyu seviyelerinin sofralık domates verimi ve kalitesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Araştırmacı yaptığı çalışmada pazarlanabilir meyve verimi ve bazı kalite parametreleri üzerine malç uygulamasının etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu ve malç uygulanmayan konulara göre daha yüksek değerler elde edildiğini bildirmiştir.

Öz vd. (2021) tarafından sera koşullarında 2018 ve 2019 yıllarında yürütülen çalışmada farklı malç uygulamaları [şeffaf renkli polietilen malç (Ş-PE), siyah renkli polietilen malç (S-PE) ve hava balonlu şeffaf renkli polietilen malç (B-PE) ve gözenekli kumaş (K) materyal] ile kontrol uygulamasının marul bitkisinin kuru ağırlığı ve besin elementi içeriği üzerine etkisini araştırmışlardır. Farklı malç uygulamalarının bitki kuru ağırlıklarına etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Besin elementi alımının, genellikle balonlu PE ve şeffaf PE malç uygulamalarında daha fazla

gerçekleştiği tespit edilmiştir. Çalışmada ele alınan malç uygulamalarında bitkilerin topraktan daha fazla bitki besin elementi aldığı, bu yüzden kontrol (malçsız) uygulamalarında gübrelemeye dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Serrano-Ruiz (2021) dünya çapında tarım alanlarında plastik filmlerin kullanımının giderek arttığını bildirmiştir. Çalışmada malç uygulamasının mahsul verimini artırdığı, pestisit girdilerini azalttığı, sulama suyundan tasarruf sağladığı ve artan dünya nüfusu için gıda talebinin karşılanmasına katkıda bulunduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte; plastik malçların toprakta ayrışmasının gerçekleşmediği, bunun da toprak kirliliğine neden olduğu, toprak ve çevre kirliliğini azaltmak için geleneksel plastik malçlar yerine biyolojik olarak ayrışabilen plastik malçların kullanılmasının umut verici bir alternatif olabileceği belirtilmiştir.

2.2. Biyokömür Kullanımı Konusunda Yapılan Çalışmalar

Glaser (2001) 1980-1990 yılları arasında farklı bitki türlerine uygulanan biyokömür çalışmalarını incelemiştir. Araştırmacı biyokömürün düşük dozlarda (0.5 t ha^{-1}) uygulandığında bitki gelişimi ve verim üzerine olumlu etkisi olduğunu, ancak kullanılan oran arttığında bitki gelişim ve verimlerinde olumsuz etkiye neden olduğunu bildirmiştir. Daha sonraki çalışmalarda, Avustralya'nın yarı-kurak ve tropikal bölge topraklarında biyokömür ile birlikte NPK gübre uygulamalarının verimi artırdığı belirtilmiştir.

Chan et al. (2007) biyokömürün verim artışında tek başına etkili olmadığı hallerde özellikle N gübresi ile kullanımı durumunda etkisinin arttığı, sadece biyokömür kullanılan uygulamalara oranla biyokömür + N uygulamasının verime daha fazla etki sağladığı tespit edilmiştir. Bu yönü ile biyokömür toprakta bitki besin elementleri tutumu ile birlikte gübre kullanım oranlarına da etki ettiği bildirilmiştir.

Sinclair et al. (2008) yarı-tropikal topraklara sahip olan Avustralya'da şehirlerde meydana gelen belediye atıkları ve hayvansal atık olan sığır atıkları belli bir sıcaklıkta (450°C) yavaş piroliz yöntemiyle üretilen biokömürler, yem bitkilerinde ve baklagil bitkilerinde her uygulama için ayrı ayrı 10 t ha^{-1} değerinde toprağa uygulanmıştır. Buğdaygillerde ve baklagillerde %7.6 civarında verimde bir yükselişin olduğunu gözlemlemişlerdir. Uygulanan bu yöntemle yeşil bitkilerin atıklarıyla oluşturulan biyokömürün araştırmada olumlu yönde bir artış göstermediği görülmüştür.

Dias et al. (2010) biyokömürün kompost ile kullanımında sinerjistik etkilerin görüldüğü, mikrobiyal aktivitenin arttığı, besin elementi kayıplarının ise azaldığını, bu nedenle biyokömürün toprakta kompost ve malt gibi diğer organik materyaller ile birlikte kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Jeffery et al. (2011) yaptıkları çalışmada, toprağa biyokömür uygulandıktan sonra gübre ihtiyacında yaklaşık %10'a varan oranda azalma, toprak aktivitesinde ve yararlı mantar hiflerinde artış olduğu, katyon değişim kapasitesinin %50'ye varan oranda yükseldiği ve toprak özelliklerinde iyileşme olduğunu belirlemişlerdir.

Luo et al. (2011) İngiltere'de yaptıkları araştırmalarında, biyokömür kullanımı ile toprak organik karbonunun mineralizasyonu arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Araştırmacılar; fil otundan 350 ve 700°C'de piroliz ile üretilen biyokömürü, pH'sı 3.7 ve 7.6 olan killi topraklarda kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre biyokömür uygulaması ile toprakta karbon oranının arttığı, biyokömürün karbon tutulumunda etkileri olduğu, ancak daha net sonuçlar için uzun süreli çalışmalar gerektiğini bildirmişlerdir.

Jones et al. (2012) toprağa biyokömür uygulaması sonucunda toprağın fiziksel özelliklerinde önemli değişimler meydana geldiğini, toprak havalanmasının arttığını, toprakta karbon tutulduğunu, kütle yoğunluğu ile nem içeriği ve gözeneklilikte önemli değişimlerin meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Mulcahy et al. (2013) bitkilere en hassas aşamaları olan fide aşamasında az miktarlarda uygulanan biyokömür ile fide dönemindeki domates bitkisinin dayanıklılığını artırmayı amaçlamışlardır. Sonuç olarak kumlu topraklarda konsantre edilmiş %30 oranında biyokömürün fide kök bölgesine uygulamasının fidelerin solmaya karşı direncini önemli ölçüde artırdığı saptanmıştır.

Schmidt et al. (2014) İsviçre'nin Valais kentinde bulunan 30 yıllık bir üzüm bağına 2011, 2012 ve 2013 yıllarında olmak üzere 3 yıl biyokömür uygulamışlar ve bu uygulamaların toprak kalitesi, bitki gelişimi ve üzüm kalitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda düşük üretkenliğe sahip, alkali ve ılıman olan topraklara yüksek miktarlarda uygulanan biyokömürün asma yetiştiriciliğine doğrudan ekonomik değer sağlamadığı bildirilmiştir.

Upadhyay et al. (2014) biyokömür uygulamalarının (0, 10, 30, 50 ve 100 t ha⁻¹) patates ve marul bitkilerinin gelişimi üzerine etkisini belirlemişlerdir. Sera

koşullarında yapılan çalışma sonucunda; patates bitkisinin gelişimi üzerine biyokömür uygulamasının etkili olmadığı, buna karşılık marul bitkisinin gelişimi üzerine önemli düzeyde etkili olduğu ve gelişimi artırdığı tespit edilmiştir. Marul bitkisi gelişimini en iyi artıran uygulamanın 30 t ha⁻¹ olduğu belirlenmiştir.

Atila (2015) tarafından yapılan çalışmada farklı sıcaklıklarda ve sürelerde karbonlaştırma yöntemi ile portakal küspesinden biyokömür üretilmiştir. Bu karbonlaştırma prosesi sonunda C içeriği yüksek katı (biyokömür/hidrokömür), sıvı ve az miktarda gaz ürün elde edilmiştir. Elde edilen hidrokömürlerde yapılan O/C, H/C ve C/N oranları, pH, besin elementi içerikleri ve ağır metal analizleri sonucunda bu materyallerin toprak iyileştirici olarak kullanımlarının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Ensarioğlu (2015) çam ormanları odun artıklarından geleneksel yöntemlerle biyokömür elde etmiş, elde edilen biyokömürleri çeşitli oranlarda buğday bitkisi yetiştirilecek saksılara karıştırarak bitki gelişimine etkilerini belirlemiştir. Araştırma sonuçları, %5 ila 10 biyokömür uygulanan saksılarda yetişen buğdayların gelişiminde belirgin farklar olduğunu göstermiştir. Ayrıca araştırmacı biyokömür uygulamalarının toprakların su tutma kapasitelerini de artırdığını bildirmiştir.

Gunes et al. (2015) tarafından yürütülen çalışmada tarımsal biyokömürün beslenme kalitesi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi, bu özelliklerin toprakta bitki besin elementi içeriği ve bitki büyümesine etkisi araştırılmıştır. Değişik piroliz sıcaklıklarında (250, 300, 350 ve 400°C) elde edilen tavuk gübresi biyokömürleri saksılarda 0 (kontrol) ve 10 g kg⁻¹ (25 t ha⁻¹) olacak şekilde 5 uygulamanın mısır ve marul bitkisinin kuru ağırlığı ve mineral içeriği üzerine etkileri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda piroliz sıcaklığı arttığında biyokömürlerin K ve B dışındaki elementlerin suda çözünür konsantrasyonlarının büyük ölçüde azalmasına rağmen, toplam P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn ve B konsantrasyonlarının arttığı belirlenmiştir. Kontrol ile karşılaştırıldığında 300 ve 350°C’de piroliz edilen biyokömür uygulamaları ile marul ve mısır bitkilerinin kuru ağırlıklarının arttığı, bununla birlikte 300°C’den yüksek sıcaklıklarda üretilen biyokömürlerin gübre etkilerinin azaldığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, düşük sıcaklıklarda (250 ve 300°C) üretilen biyokömürlerin tarımsal ürün açısından daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Bayram (2016) Tokat ilinde yürüttüğü çalışmada orman altı örtüsünden 500°C sıcaklıkta biyokömür üretmiştir. Araştırmacı biyokömürün yüksek katyon değişim kapasitesine sahip olduğunu, bu yönüyle katyon değişim kapasitesi düşük ve organik maddece fakir toprakların iyileştirilmesinde kullanılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca biyokömürün toprakta gerek su gerekse bitki besin maddelerinin tutulumunda etkili bir yardımcı olabileceğini bildirmiştir.

Caroline et al. (2016) biyokömür uygulamalarının toprak kimyası ve fiziğinde yaptığı iyileştirici etkilerin yanı sıra toprağın biyolojik aktivitesini artırdığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, 650°C sıcaklıkta meşe palamudunun pirolizi ile elde edilen biyokömürü belirli oranlarda deneme toprağına karıştırmışlar ve bu topraklarda çilek ile marul yetiştirmişlerdir. Deneme sonucunda marul bitkisinin rizosferinde belirgin bir değişiklik görülmemiş iken, çilek bitkisinin rizosferinde bulunan bakteri miktarında ve mikroorganizma yoğunluğunda artış olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmaya dâhil edilen her iki bitkinin yaş ve kuru ağırlıklarında artışlar belirlenmiş, meyve ve yapraklarda hastalık yapan farklı fungal patojenlere karşı dayanıklılık saptanmıştır.

Fazal et al. (2016) tek başına ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR, *Pseudomonas* sp.) ve kimyasal gübre ile kombinasyon halinde biyokömürün stressiz ve tuzlu koşullarda toprak nemi, besin elementi dengesi ve mısırın oksidatif ve ozmotik dengesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışma saksı denemesi olarak yetiştirme odasında gerçekleştirilmiştir. Biyokömür ve gübre toprağı 5:1 oranında karıştırılırken *Pseudomonas* sp.'da tohum ıslatma olarak uygulanmıştır. 3 yaprak aşamasında uygulanan tuz stresi, toprak nemini önemli ölçüde azaltmış (%27) ve elektrolit sızıntısını, Na ve potasyum (K) alımını, prolin ve antioksidan enzimleri artırmıştır. Biyokömür ve *Pseudomonas* sp. uygulamaları Na miktarını sırasıyla %24 ve %50 azaltmış ve prolin, toprak nem içeriğı ve peroksidaz (POD) aktivitesini arttırmıştır. Bu uygulamalar tuz stresi altındaki bitkilerde su ve besin elementi alımı üzerine olumlu etkiler ortaya çıkarmışlardır. Araştırmada biyokömür ve *Pseudomonas* sp. uygulamalarının membran stabilitesini iyileştirmek, bitkilerde ozmotik ve oksidatif streslerin üstesinden gelmek ve tuz stresi altında toprak nemi ve besin elementi durumunu iyileştirmek için gübre ile birlikte kullanılabileceğı bildirilmiştir. Çalışma sonucunda toprağın su tutma kapasitesi ve organik madde içeriğini iyileştirmek için biyokömürün PGPR için taşıyıcı olarak kullanılabileceğı sonucuna varılmıştır.

Nieto et al. (2016) Madrid ve çevresindeki torf tüketimini ve torfun yenilenebilir bir kaynak olmaması sebebiyle kullanımını azaltmak için torfa alternatif olarak biyokömürün etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, çevrede bulunan, belirli dönemlerde bahçe ve parklardan budama sonucu açığa çıkan odunsu atıklar, 300 ve 500°C’de piroliz edilerek biyokömür elde etmişlerdir. Bu biyokömür kullanılarak saksıda yetiştirilen marul bitkisinin gelişimi üzerine etkilerini saptamışlardır. Çalışmada 300 ve 500°C’de üretilen biyokömür ve budama sonucu ortaya çıkan atık karışımında yetiştirilen marul bitkilerinin biyokütlelerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda torf yerine biyokömürün topraksız tarımda kullanılabileceği bildirilmiştir.

Saygan ve Aydemir (2016) antepfıstığı dış kabuklarını 250°C’de karbonizasyon yöntemiyle piroliz ederek biyokömür elde etmişlerdir. Elde edilen bu biyokömür, 350 g Harran Ovası İkizce serisi toprakları ile %0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 1.2 ve 2.4 dozlarında karıştırılarak tarla kapasitesinin %65 oranında nemlendirilerek inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra farklı (15, 60, 120 ve 180) günlerde örnekleme yaparak toprakta pH, toplam C ve N miktarları, organik madde miktarları, yarıyıllı P, değişebilir ve çözünebilir katyon değerleri (K, Ca, Mg ve Na) ve katyon değişim kapasiteleri tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre biyokömür dozundaki artışa bağlı olarak incelenen parametrelerde artış olduğu, örnekleme zamanı açısından ise organik madde dışındaki diğer özelliklerde artan süre ile artış meydana geldiği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda antepfıstığı dış kabuğundan elde edilen biyokömürün denemede ele alınan topraklarda organik toprak düzenleyicisi olarak kullanılabileceği bildirilmiştir.

Ergün (2017) fındık biyokömürü (BK) ve ahır gübresi (AG) uygulamalarının domates gelişimi ile toprak enzimleri, mikrobiyal biyomas, CO₂ üretimi ve toprak özellikleri ile ilişkilerini incelemiştir. Çalışmada her saksı için 3 kg toprak ile hektara 0, 5, 10, 15 ve 20 ton olacak şekilde biyokömür ve hektara 5, 10 ve 20 ton olacak şekilde ahır gübresi uygulanmıştır. Sonuç olarak, biyokömür ve ahır gübresinin toprağın organik madde içeriğini ve başta N, P ve K olmak üzere alınabilir element içeriklerini artırdığı belirlenmiştir. Farklı dozlarda kullanılan biyokömür ve ahır gübresi, bitkilerin kök bölgesindeki enzim aktivitesini artırmıştır. Ayrıca domates bitkilerinin yaş ağırlığı, kuru madde miktarı üzerine en etkili ortam B5+AG5 ve bitki boyu için BK5+AG10 ortamı olduğu tespit edilmiştir.

Günel vd. (2017) Tokat Kazova’da yürütülen çalışmada 500°C yavaş piroliz yöntemiyle domates hasat atıklarından elde edilen biyokömürü %1, 3 ve 6 dozlarında toprağa karıştırarak biyokömürün nitrat ve amonyum yıkanması üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Denemede şekerpancarı için kullanılan 240 kg N ha⁻¹ ile 875 mm sulama suyu kullanılmıştır. Deneme boyunca sulama dönemlerinde sızan su örnekleri alınarak NO₃⁻ ve NH₄⁺ konsantrasyonu, pH ve EC değerleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda nitrat yıkanmasında kontrol uygulamasına göre en önemli etki (%34.5 daha az yıkanma görülen), %3 biyokömür uygulamasında saptanmıştır. Bu çalışma ile biyokömür uygulamasının azotun kök bölgesinde daha uzun süre tutulmasında etkili olabileceği değerlendirilmiştir.

Pandit et al. (2017) biyokömürün toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini düzenleyebileceğini ve bitki besin elementlerinin verimli kullanımını geliştirerek mahsul verimini artırabileceği sonucuna varmışlardır.

Pereira et al. (2017) yaptıkları çalışmada biyokömürün, artan N gübreleme oranlarına karşı bitki performans tepkilerini ne ölçüde iyileştirdiğini ve biyokömür uygulanan topraklarda N kayıplarının önlenmesi ve N₂O emisyonlarının azaltılmasındaki etkilerinin ne olduğunu araştırmışlardır. Bu amaçla iki yetiştirme sezonunda yürütülen çalışmada ceviz kabuğu ve çam ağacından elde edilen biyokömür (10 t ha⁻¹) ve kontrol (0 t ha⁻¹) uygulamaları ile %0, 25, 50, 75 ve 100 azot dozları (0, 56, 112, 168 ve 225 kg N ha⁻¹) kombinasyonları incelenmiştir. Sonuç olarak, biyokömürün potansiyel olarak organik marul tarafından N kullanımını iyileştirdiği ve N kayıplarını azalttığı, ancak bu etkilerin biyokömür ve gübreleme düzeyine göre değiştiği belirlenmiştir.

Zemanova et al. (2017) ilkbahar ve sonbaharda serada yürütülen çalışmada biyokömürün ıspanak ve hardal bitkilerinin gelişimi ve besin içeriklerine etkisini araştırmışlardır. Toprağa %5 oranında uygulanan biyokömürün kontrole göre ıspanak bitkisinin gelişimini ilkbahar döneminde %102, sonbahar döneminde %353 artırdığı saptanmıştır. Biyokömür uygulaması hem hardal hem de ıspanakta K içeriğini artırırken, Ca ve Mg içeriğini azaltmıştır. Ayrıca biyokömür uygulaması ıspanakta P içeriğinin de artmasını sağlamıştır.

Erdal et al. (2018) arazi koşullarında yaptıkları çalışmada biyokömürün toprakta kaldığı süreç içerisinde belirli aralıklarla toprak örnekleri alınmış ve toprakta bitkiler

için önemli değere sahip olan mineral içeriklerini incelemişlerdir. Uygulamada domates saplarının 500 ve 700°C’de 80 dk. yavaş piroliz edilmesi ile üretilen biyokömür kullanılmıştır. Bu uygulama ile farklı sıcaklıklar sonucu ortaya çıkan biyokömürü dekara 3 ton gelecek şekilde toprakla karıştırılmasından sonra 2 ay beklenmiş ve ilk örnek alınıp analiz edilmiştir. İlk analiz örneği alındıktan sonra toplamda 4 döneme denk gelecek şekilde geçen her ay için tekrar örnekler alınarak analiz edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçlara bakıldığında toprak Mn ve Fe değerleri, biyokömür sıcaklık farklılıkları ve toprakta kalma sürelerinden önemli düzeyde etkilenmiştir. Zn konsantrasyonlarına bakıldığında ise örnekleme sürelerinin ve biyokömür uygulamalarının önemli bir değişime neden olmadığını bildirmiştir.

Si et al. (2018) tarafından tarla koşullarında yürütülen çalışmada; 0 ve 2.25 t ha⁻¹ biyokömür, 120 ve 180 kg N ha⁻¹ azot, 37.5 ve 67.5 kg P₂O₅ ha⁻¹ fosfor ve çiftçilerin geleneksel olarak uyguladığı NPK dozları (180 kg N ha⁻¹ + 67.5 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 67.5 kg K₂O ha⁻¹) ayrı ayrı ve birlikte uygulanmıştır. Çalışma sonucunda çiftçilerin geleneksel olarak uyguladığı NPK dozları ile biyokömürün birlikte uygulanmasının çeltik verimini önemli düzeyde arttırdığı belirlenmiştir.

Adekiya et al. (2019) tarafından Nijerya’nın Savana bölgesinde yürütülen çalışmada; ayrı ve birlikte olacak şekilde 0, 25 ve 50 t ha⁻¹ dozlarında biyokömür ve 0, 2.5 ve 5.0 t ha⁻¹ dozlarında tavuk gübresi uygulamalarının toprak özellikleri ve turp verimine etkileri araştırılmıştır. Biyokömür ve tavuk gübresinin ayrı ve birlikte uygulandığında toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirdiği, buna bağlı olarak turp verimi ve yaprak bitki besin maddesi içeriklerini artırdığı tespit edilmiştir. İki yıllık yürütülen çalışmada; birinci yıl biyokömür uygulamasıyla sadece toprak organik madde içeriği ve pH değerlerinin arttığı, ikinci yıl ise bu özelliklerin yanında turp yapraklarının N, P, K, Mg ve Ca içeriklerinin de arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada en yüksek verim biyokömür ve tavuk gübresinin (sırasıyla 50 ve 5 t ha⁻¹) birlikte uygulanması ile elde edilmiştir. Çalışma sonucunda tek başına biyokömür uygulamasının kısa dönemde yetişen bitkiler için yetersiz kalabileceği belirtilmiştir.

Dorak ve Aşık (2019) sıvı biyokömürün marul bitkisi ve toprak özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada farklı dozlarda (0, 40, 80 ve 160 kg da⁻¹) sıvı biyokömürü toprağa uygulamışlar, sonuçları tam gübreleme (%100 NPK) ve azaltılmış gübreleme (%50 NPK) uygulamaları ile kıyaslamışlardır. Çalışmada toprağa uygulanan sıvı biyokömür miktarı arttıkça, toprağın EC ve bitki besin elementi

içeriklerinin arttığı saptanmıştır. Topraktaki EC değerlerinin artması, bitki gelişimini olumsuz etkilemiştir. Biyokömür uygulamalarında, tam ve azaltılmış gübre uygulamalarına göre topraktan kaldırılan Na, Ca, Fe, Mn, Cu ve Zn miktarları daha yüksek bulunmuştur.

Liu et al. (2019) verimsiz toprağa uygulanan komposttan ve yer fıstığı kabuğundan üretilen biyokömürlerin papatya ve marul bitkilerinin verimine olan etkilerini belirlemişlerdir. Çalışmada, yer fıstığı kabuğundan üretilen biyokömür ve komposttan üretilen biyokömürler toprağa %0, 1.5, 3 ve 5 düzeyinde uygulanmıştır. Çalışma sonucunda yer fıstığı kabuğundan üretilen biyokömür uygulamasının papatya ve marul bitkilerinin verimi üzerine etkisi önemsiz bulunurken, %3 düzeyinde komposttan üretilen biyokömür uygulamasının papatya ve marul bitkisinin verimini %15.8-107.0 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Verim artışının nedeninin biyokömür uygulaması ile toprak kalitesinin iyileşmesi ve bitki besin elementi içeriklerinin artması olarak ifade edilmiştir. Ancak kompost biyokömürünün %5 oranında uygulanması kontrole göre papatya verimini %26.9 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar, komposttan hazırlanan biyokömürün fakir topraklarda verimliliği artırdığını ve dolayısıyla bitki verimini artırma potansiyeli olduğunu bildirmişlerdir.

Uysal (2019) okaliptüs ve yeşil atıklardan 450-500°C’de yavaş piroliz işlemi ile üretilen biyokömür materyallerini inkübasyon koşullarında olgunlaştırmıştır. Olgunlaştırma sürecini hızlandırmak için torf ile 1:1 oranında karıştırılan biyokömür 30 gün inkübe edilmiştir. Daha sonra 0, 10, 20 ve 40 ton ha⁻¹ doz hesabıyla NaCl kaynaklı tuzlu toprağa uygulamıştır. Bu çalışmada biyokömür toprağa uygulanmadan önce laboratuvar koşullarında inkübasyon yöntemi ile olgunlaştırılmıştır. Saksı denemesi olarak yürütülen çalışmada buğday ardından da mısır bitkisi yetiştirilmiştir. Çalışma sonucunda en iyi sonuçların biyokömürün 20 ton ha⁻¹ dozunda kullanılmasından elde edildiği ve biyokömürün toprak ıslahı için uygun bir materyal olabileceği bildirilmiştir.

Galadima et al. (2020) saksı denemesi olarak sera koşullarında yürüttükleri çalışmada, iki farklı dönemde, farklı biyokömür uygulamalarının marul gelişimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Biyokömür uygulamalarının verim ve kalite üzerine etkisi ikinci dönemde, birinci dönemden daha etkili bulunmuştur. Çalışmada biyokömür uygulamalarının yetiştirilecek ürün üzerine daha fazla etki edebilmesi için daha uzun bir inkübasyon dönemine ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

Kayıkcioglu ve Tepecik (2022), 300, 500 ve 700°C piroliz sıcaklıklarında belediye budama atıklarından üretilen biyokömürü 0, 10, 20, 30 ve 60 t ha⁻¹ dozlarında olacak şekilde toprağa karıştırmışlardır. Saksıda yürütülen çalışmada uygulamaların toprağın kimyasal ve biyolojik özellikleri ile mısır verimi üzerine etkileri araştırılmıştır. 300°C’de üretilen biyokömürlerin yüksek sıcaklıkta üretilen biyokömürlerden daha kolay parçalanabildiği saptanmıştır. En yüksek verim %71.4 artış ile 700°C’de üretilen ve hektara 60 ton uygulanan biyokömür uygulamasından elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme alanı, toprak ve iklim özellikleri

Tez çalışması; Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümüne ait sera ünitesinde 2020-2021 yıllarını içeren tarihler arasında iki üretim sezonunda yürütülmüştür. Çalışmanın yürütüldüğü seranın genişliği 6 m, uzunluğu 20 m, taban alanı 120 m², yan yüksekliği 3 m olup, yay çatılıdır. Şeffaf polikarbon malzeme ile kaplı sera, çatıdan boydan boya havalandırmaya sahiptir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Denemenin kurulduğu sera

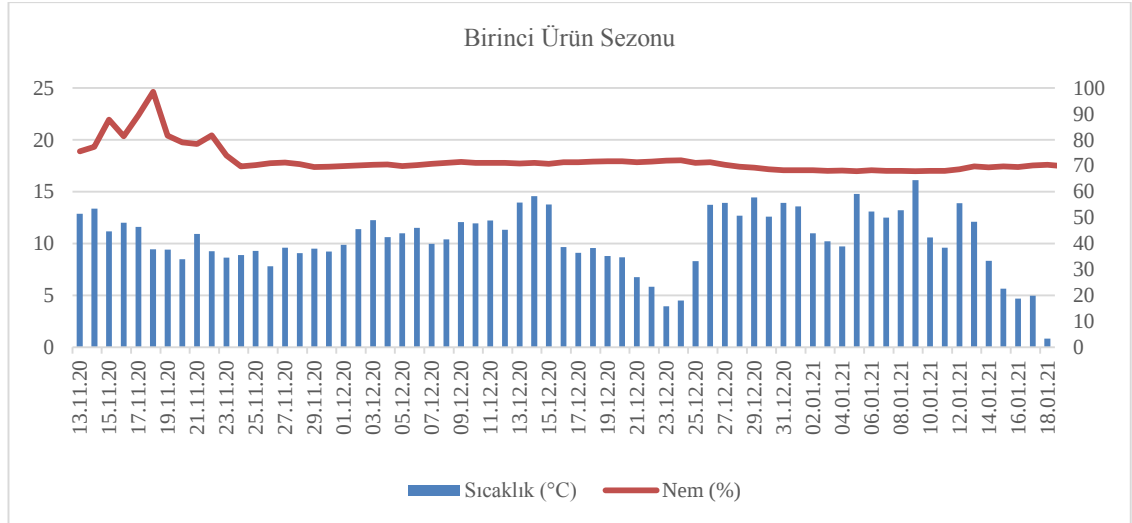
Sera denemesine başlanmadan önce deneme alanının toprak özelliklerinin tanımlanması amacıyla 0-10 ila 10-20 cm derinliklerinden bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır. Alınan toprak örnekleri laboratuvarda kurutulmuş, sonra 2 mm'lik eleklerle elenmiştir. Bu toprak örneklerinde tekstür, pH, elektriksel iletkenlik (EC), tarla kapasitesi (TK), daimi solma noktası (DSM) ve organik madde (OM) analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde toprak özelliklerine ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Denemenin yürütüldüğü sera toprağının analiz sonuçları

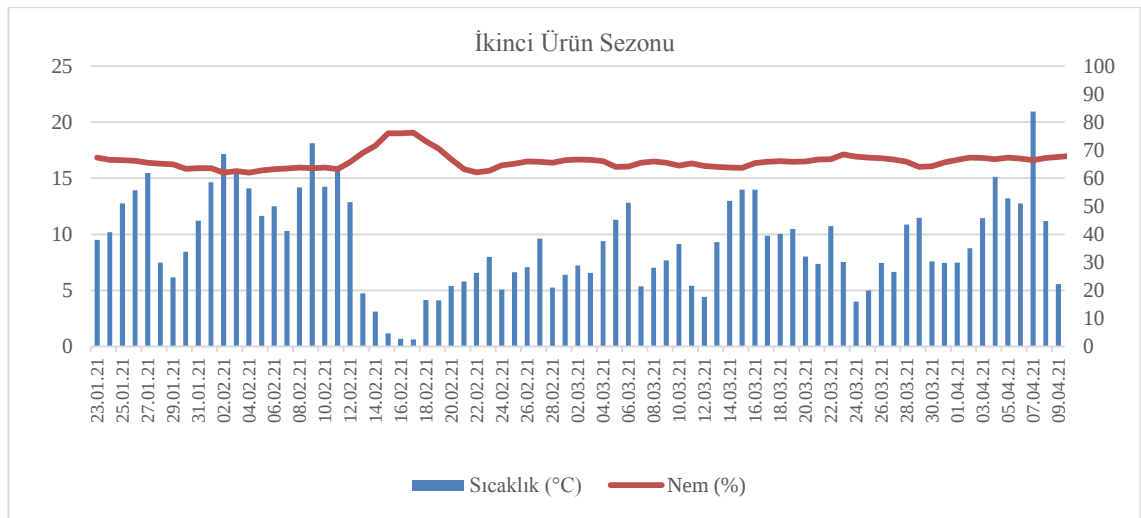
Toprak özellikleri	Derinlik (cm)	
	0-10	10-20
pH	7.39	7.45
EC (dS m ⁻¹)	0.76	0.83
OM (%)	6.50	5.97
Tekstür sınıfı	Kumlu killi tın	Kumlu killi tın
Kum (%)	56.56	54.56
Kil (%)	21.44	23.44
Silt (%)	22.00	22.00

EC: Elektriksel İletkenlik; OM: Organik Madde

Denemenin yürütüldüğü her iki ürün döneminde de sera içi sıcaklık ve nem değerleri, seraya yerleştirilen dataloggerlar kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.2 ve 3.3).



Şekil 3.2. Denemenin birinci ürün sezonuna ait sera içi sıcaklık ve nem değerleri



Şekil 3.3. Denemenin ikinci ürün sezonuna ait sera içi sıcaklık ve nem değerleri

3.1.2. Denemede kullanılan marul çeşidi

Denemede bitki olarak, Karadeniz Bölgesinde yoğun olarak yetiştiriciliği yapılan Kanaryole marul çeşidi kullanılmıştır. Kanaryole marul çeşidi; yeknesak gelişim gösteren, albenili renge ve görünümüne sahip, açık tarla ve sera üretimlerine uygun, uzun gün koşullarında geç sapa kalkma özelliğine sahip ticari bir çeşittir.

3.1.3. Denemede kullanılan biyokömür materyalinin üretimi ve özellikleri

Denemede kullanılan biyokömür, şeftali çekirdeğinden üretilmiştir. Biyokömür üretim sürecinde şeftali çekirdekleri çekiçli değirmende öğütüldükten sonra 400°C’de ısıtılma tabi tutulmuştur. Biyokömür üretiminde kullanılan kesikli pirolizer, yavaş piroliz esasına göre çalışan bir biyokömür reaktörüdür. Pirolizerin 50.24 litre (yükseklik= 40 cm, çap= 40 cm) efektif hacme sahip materyal haznesinin dışı 3 cm sıvı köpük ile kaplandıktan ve içi de 5 cm kalınlığında alçı karışımlı bir harç ile izole edildikten sonra kapaklı bir kabin ünitesinin içerisine yerleştirilmiştir. Pirolizer; pirolizer haznesi ve ısıtılma çift yerleşimi, kabin, damıtma ünitesi-gaz temizleme siklonu, yakma düzeni-kaçak alev kesici ünitesi, otomasyon ünitesi, pirolizer çatısı gibi parçalardan meydana gelmiştir (Şekil 3.4).

Sistem, kullanılacak hammaddeler için seçilen uygun sıcaklıkta kalabilmesi için özel tasarlanmış bir program algoritması ile otomasyonla kontrol edilmektedir. Pirolizer materyal haznesi yüklendikten sonra, ön ısıtma düzeneği olan elektrikli ısıtma devreye girerek, sistemi istenilen sıcaklığa getirmektedir. Elektrik sistemi pirolizer kabini tabanına özel olarak tasarlanmış bir alana yerleştirilmiştir. Elektriksel ısıtıcı düzeni 2 eşit ısıtıcı tel sistemine sahiptir. Her bir tel 3000 W olup, 3 faz elektrik şebekesinde bir faza yerleştirilerek toplamda 6 Kw’lık bir güç elde edilmektedir. Bu ısıtma düzeneği elektrik panosunda bir kontaktör vasıtası ile otomasyon ünitesinden yönlendirilmektedir. Sıcaklık ölçümleri 3 farklı K tipi sıcaklık probu ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.4. Kesikli pirolizer (biyokömür reaktörü) ve üretilen biyokömür

Şeftali çekirdeğinden hazırlanan biyokömürün pH, EC, OM, kül ve C miktarları tespit edilmiş ve Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Denemede ele alınan biyokömürün özellikleri

Özellikler	
pH	9.82
EC (dS m ⁻¹)	0.18
OM (%)	91.93
Kül (%)	8.07
Karbon miktarı (%)	53.32

3.1.4. Malç materyali

Çalışmada kullanılan malç materyallerinin özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan organik polimerlerden üretilmiş biyobozunur plastik malç (BPM), 40 mikron kalınlığında olup, Fransa’dan temin edilmiştir. Biyobozunur kağıt malç (KM), 185 g m⁻² yoğunlukta graft kağıt olup, Çorum ilinden, geleneksel polietilen plastik malç (GPM) ise 45 mikron kalınlığında olup piyasadan temin edilmiştir.

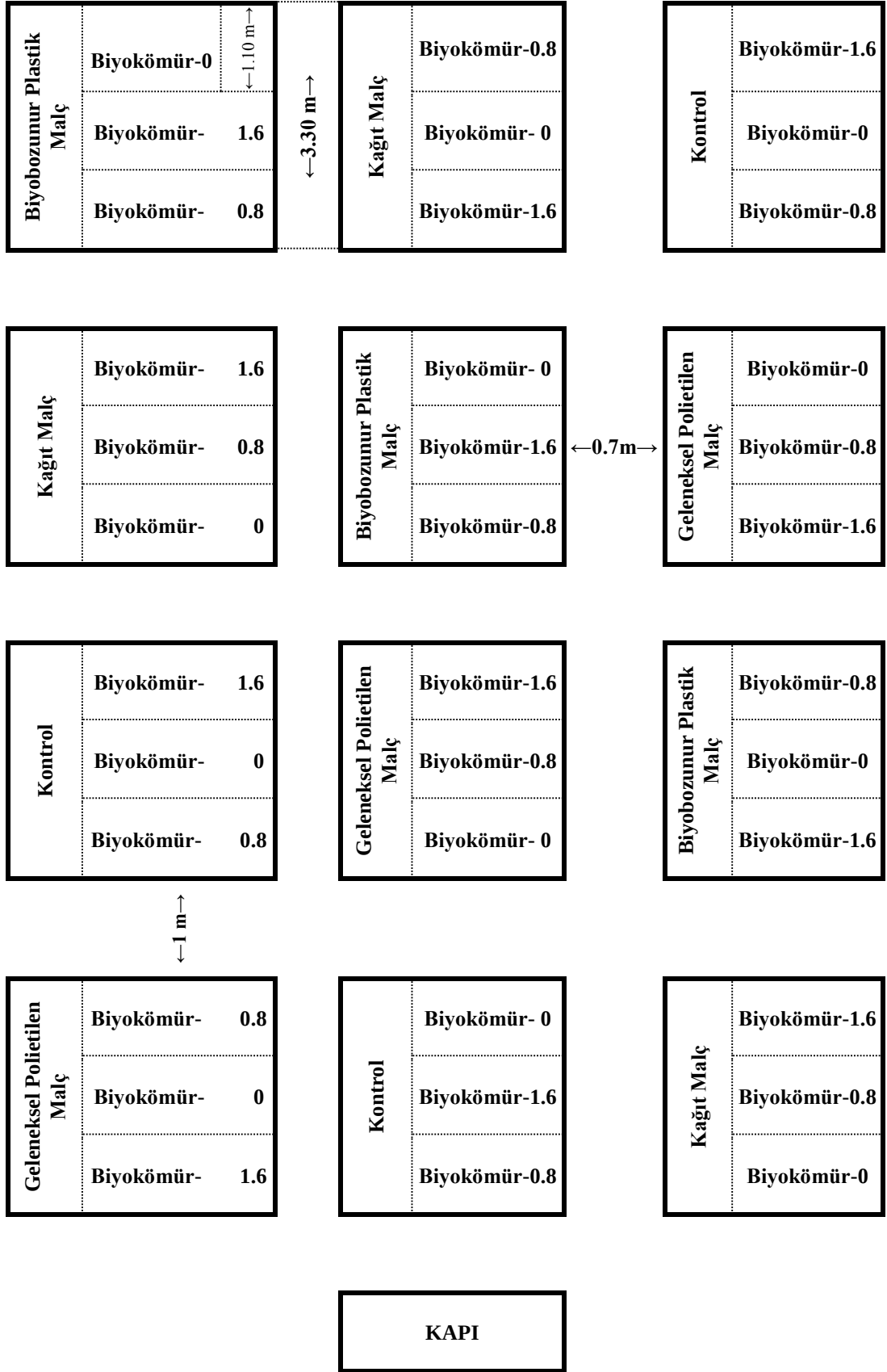
Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan malç materyallerinin özellikleri

Malç Film	Materyal	Renk	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g m ⁻²)
Geleneksel Plastik	Polietilen (PE)	Siyah	0.045	-
Biyobozunur Plastik	Polikarpolakton (PCL)	Siyah	0.040	-
Kağıt Malç	Selüloz	Gri	-	185

3.2. Yöntem

Çalışmada 4 farklı malç uygulaması [geleneksel polietilen plastik malç (GPM), biyobozunur plastik malç (BPM), kâğıt malç (KM) ve malçsız kontrol (K)] ve 3 farklı biyokömür dozu (0.0, 0.8 ve 1.6 ton da⁻¹) kullanılmıştır. Çalışma, iki ardışık yetiştiricilik döneminde sezon ana parsel, malç uygulamaları alt parsel ve biyokömür dozları alt-alt parsel olacak şekilde kurgulanmıştır. Deneme Tesadüf Bloklarında Bölünen Bölünmüş Parseller deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür.

Denemede marul yetiştiriciliği 16 Kasım 2020-19 Ocak 2021 ve 23 Ocak 2021-10 Nisan 2021 tarihleri arasında olmak üzere ardışık iki yetiştirme sezonunda yapılmıştır. Deneme çakılı deneme olarak kurgulanmıştır. Sera içerisinde marul bitkisinin yetiştirilmesi amacıyla malç için ana parsel masura uzunluğu 3.3 m, biyokömür için alt parsel masura uzunluğu 1.1 m ve masura genişliği 0.7 m olacak şekilde 12 adet parsel (masura) oluşturulmuştur. Ana parseller arasında 1 m ve bloklar arasında ise 0.7 m mesafe bırakılmıştır (Şekil 3.5). Ayrıca, ana parsellerin alt parsellere ayrıldığı sınır geçişlerinde parsel arası ve yan yüzeylerine de alt parseller arasındaki biyokömür taşınımını engellemek için 30 cm derinliğe kadar polikarbon plakalar yerleştirilmiştir (Şekil 3.6). Damlama sulama boruları yerleştirildikten sonra ana parsellere malçlar serilmiştir. Ticari firmadan temin edilen marul fidelerinin dikimi ise her bir alt parselde sıra üzerixsıra arası mesafe 30 x 30 cm olacak şekilde ve 8 adet bitki/alt parsel hesabıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca alt parsellerde bitki dikiminin yapılacağı yerler belirlenirken sağ ve sol kenarlarda 5'er cm kenar tesiri bırakılmıştır. Dikim yerlerine fide dikiminden sonra can suyu verilmiştir. Bitki gelişim sezonları boyunca gerekli bakım ve kültürel işlemler uygulanmıştır (Vural vd., 2000). İlk yetiştirme sezonunda marul bitkileri fide dikiminden 65 gün sonra, ikinci yetiştirme sezonunda 77 gün sonra hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkilerde detayları “**3.1.1. Bitki verim ve kalite parametrelerine ilişkin yapılan ölçüm ve analizler**” başlığı altında verilen ölçüm ve analizler yapılmıştır.



Şekil 3.5. Denemede ele alınan uygulamalara ait plan



Şekil 3.6. Denemenin hazırlık aşamaları

3.2.1. Denemede yapılan ölçüm ve analizler

3.2.1.1. Biyokömür materyalinde yapılan analizler

pH: 1:2 oranında hazırlanan toprak:su karışımında pH metre (Mettler Toledo, Seven Compact S210, Switzerland) kullanılarak ölçülmüştür (Hendershot et al., 1993).

EC: 1:2 oranında hazırlanan toprak:su karışımında EC metre (Mettler Toledo, FP-30, Switzerland) kullanılarak ölçülmüştür (Rhoades, 1986).

Kül (%): Örneklerin 550°C’de kül fırınında yakılması ile belirlenmiştir (Kacar, 1994).

Organik madde (%): Kül değerlerinin 100’den çıkarılması ile hesaplanmıştır.

Toplam karbon miktarı (%): Kül değerleri 100’den çıkarıldıktan sonra elde edilen organik madde miktarının %50’si toplam karbon olarak hesaplanmıştır (Cormican and Staunton, 1991).

3.2.1.2. Bitki verim ve kalite parametrelerine ilişkin yapılan ölçüm ve analizler

Bitki boyu (cm): Her uygulama ve tekerrür için seçilen 6 adet bitkide ölçüm yapılmıştır. Toprak seviyesinden bitkinin en uç noktasına kadar olan mesafenin cetvel kullanılarak ölçülmesi ile belirlenmiştir.

Baş çapı (cm): Baş çapı her uygulama ve tekerrür için seçilen 6 adet bitkide, bitki başlarının ters çevirilerek cetvel ile ölçülmesi suretiyle belirlenmiştir.

Toplam yaprak sayısı (adet bitki⁻¹): Baş çapının ölçüldüğü her uygulama ve tekerrür için seçilen 6 adet bitkinin tüm yaprakları sayılarak belirlenmiştir.

Yaprak uzunluğu (cm): Baş çapı için seçilen bitkilerde tesadüfi seçilen dıştan 2. ve 3. yapraklardan 3 yaprağın en uzun yerinden cetvel ile ölçülmesi suretiyle belirlenmiştir.

Yaprak eni (cm): Bitkilerde yaprak uzunluğunu belirlemek amacıyla seçilen 3 yaprağın en geniş yerinden cetvel ile ölçülerek belirlenmiştir.

Yaprakların klorofil içeriği (CCI): Yaprak klorofil içeriği klorofil metre (CCM-200, Opti-Sciences, ABD) ile sabah 9:00-11:00 saat aralığında seçilen tam gelişmiş yapraklarda 1 yaprakta 2 ölçüm olacak şekilde toplam 6 adet ölçüm yapılarak belirlenmiştir.

Yaprak rengi: Renk; L: Renk parlaklığı (0: siyah, 100: beyaz), a: Kırmızılık Yeşillik (-60: yeşil, +60: kırmızı) ve b: Sarılık Mavilik (-60: mavi, +60: sarı) olmak üzere üç boyut ile ifade edilmektedir. Yaprak renkleri tam gelişmiş yapraklarda dijital minolta renk ölçüm cihazı (CE Minolta CR300) ile belirlenmiştir.

Yaprak yaş ve kuru ağırlığı (g): Baş çapının ölçüldüğü her uygulama ve tekerrür için seçilen 6 adet bitkide hasattan hemen sonra 7'şer yaprak seçilerek yaş ağırlıkları hassas terazi yardımıyla tespit edilmiştir. Hasattan hemen sonra tartılan 7 marul yaprağı kese kâğıtlarına konulup etüvde 105°C'de sabit ağırlığa kadar kurutulmuş, sonra hassas terazi yardımıyla tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

Kök uzunluğu (cm): Baş çapının ölçüldüğü her uygulama ve tekerrür için seçilen 6 adet bitkide köklerin gövdeyle birleştiği noktadan en uca kadar olan kısmın cetvel ile ölçülmüştür.

Kök boğazı çapı (mm): Baş çapının ölçüldüğü her uygulama ve tekerrür için seçilen 6 adet bitkide kökün bitiş noktası ve marul yapraklarının başlangıç noktası baz alınarak kumpas ile ölçülmüştür.

Kök yaş ve kuru ağırlığı (g): Baş çapının ölçüldüğü her uygulama ve tekerrür için seçilen 6 adet bitkinin kökleri gövdeden ayrılıp suda toprakları yıkanıp kurulandıktan sonra yaş ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra kese kâğıtlarına koyulan kökler etüvde 105°C'de sabit ağırlığa kadar kurutulmuş, sonra hassas terazi ile tartılarak belirlenmiştir.

Suda çözünabilir kuru madde miktarı (SÇKM) (%): Baş çapının ölçüldüğü her uygulama ve tekerrür için seçilen 6 adet bitkiden alınan yapraklar elektrikli karıştırıcı ile parçalanmış, tülbent ile süzülerek suyu çıkarılmıştır. SÇKM, bu sebze suyu örneklerinin dijital refraktometrede (PAL⁻¹, Pocket Atago) ölçülmesi ile belirlenmiştir.

Kuru madde (%): AOAC (2000)'e göre yapılmıştır.

Baş ağırlığı (g bitki⁻¹): Her uygulama ve tekerrür için seçilen 6 adet pazarlanabilir nitelikte hasat edilen kıvırcık marulun terazide tartılması ile belirlenmiştir.

Dekara verim (kg da⁻¹): Denemede marul bitkilerinin sıra arası ve sıra üzeri mesafeleri dikkate alınarak hesaplanan dekara bitki sayısı ile bitki başına baş ağırlıklarının çarpılması ile belirlenmiştir.

3.2.1.3. Toprak özelliklerine ilişkin yapılan analizler

Deneme sonrası 0-10 ila 10-20 cm derinliklerden alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde aşağıda belirtilen fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Elde edilen fiziksel ve kimyasal toprak analiz sonuçları kullanılarak yapılan değerlendirmelerde ise Reynolds et al. (2008) tarafından önerilen yaklaşımlar temel alınmıştır.

Tekstür (bünye): kum, silt ve kil fraksiyonları Gee and Bauder (1986)'ın belirttiği esaslara göre hidrometre yöntemi ile yapılmıştır. Tekstür sınıfları ise Soil Survey Manual'e göre belirlenmiştir.

Hacim ağırlığı (g cm⁻³): Blake and Hartge (1986)'nın belirttiği esaslara göre bozulmamış toprak örneklerinde belirlenmiştir.

Porozite (%): Reynold et al. (2008)'nın belirttiği esaslara göre Eşitlik-1 kullanılarak belirlenmiştir.

$$P = \left[1 - \left(\frac{HA}{2.65} \right) \right] \dots\dots\dots [1]$$

Burada P: Porozite, HA: Hacim ağırlığıdır.

Makropor (%): Reynold et al. (2008)'nın belirttiği esaslara göre bozulmamış toprak örneklerinde Eşitlik-2 kullanılarak belirlenmiştir.

$$P_{MAC} = \theta_s (\Psi = 0) - \theta_m (\Psi = -0.1 \text{ m}); 0 \leq P_{MAC} \leq \theta_s \dots\dots\dots [2]$$

Burada P_{MAC}: Makropor; θ_s : Saturasyon koşullarında toprağın hacimsel nem içeriği (%); θ_m : 10 cm negatif su tansiyonunda toprağın hacimsel nem içeriği (%)'dir.

Hava(lanma) kapasitesi (HK) (%): White (2006)'ın belirttiği esaslara göre bozulmamış toprak örneklerinde Eşitlik-3 kullanılarak belirlenmiştir.

$$HK = \theta_s (\Psi = 0) - \theta_{TK-1.0 \text{ m}} (\Psi = -1.0 \text{ m}); 0 \leq HK \leq \theta_{TK-1.0 \text{ m}} \dots\dots\dots [3]$$

Burada HK: Havalanma kapasitesi; $\theta_{TK-1.0 \text{ m}}$: 100 cm negatif su tansiyonunda toprağın hacimsel nem içeriği (%)'dir.

Suya dayanıklı agregat (SDA) (%): 1-2 mm arasında çapa sahip toprak agregatları, 0.25 mm elek açıklığına sahip bir elek kullanılarak 40 devir/dk çalkalama hızında 3 dakika süreyle ıslak elenmiştir. Islak eleme sonrasında elek üzerinde kalan dayanıklı agregat ağırlığı kurutularak kaydedilmiştir. Dayanıklı agregatlar içerisindeki kum ağırlığının belirlenmesi amacıyla dayanıklı agregatlar ilk önce %0.2'lik kalgon çözeltisinde tamamen disperse edilmiş, sonrasında ıslak yıkanarak kum fraksiyonu ayırt edilerek ve kurutularak tartılmıştır. Suya dayanıklı agregat miktarı hesaplanması aşamasında ise belirlenen kum ağırlığı hem başlangıç toprak agregat ağırlığından hem de dayanıklı agregat ağırlığından çıkartılmıştır (Kemper and Rosenau, 1986).

Doymuş hidrolik iletkenlik (DHİ): Sabit su seviyeli permeametre cihazı kullanılarak bozulmamış toprak örneklerinde tespit edilmiştir. Hidrolik iletkenlik ölçümleri, alttan kapilarite ile doymun hale getirilen her bir örnekte 30 dk süre ile 3 tekrarlamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmede de her bir örnekte 3 tekrarlamalı olarak ölçülen değerlerden hesaplanan hidrolik iletkenlik değerlerinin ortalaması kullanılmıştır (Klute and Dirksen, 1986).

Tarla kapasitesi ($\theta_{TK-1.0m}$) (%): Seramik levhalar üzerine yerleştirilen suyla doymun bozulmamış toprak örnekleri üzerine 100 cm negatif su tansiyonu uygulanarak belirlenen gravimetrik nem içeriğinin, toprak hacim ağırlığı ile çarpılması sonucunda elde edilmiştir (Reynolds et al., 2008).

Nispi tarla kapasitesi (TK_{nispi}) (%): Reynold et al. (2008)'ın belirttiği esaslara göre bozulmamış toprak örneklerinde Eşitlik-4 kullanılarak hacimsel olarak belirlenmiştir.

$$\theta_{TK_{nispi}} \left(\frac{\theta_{TK-1.0m}}{\theta_s} \right) = \left[1 - \left(\frac{HK}{\theta_s} \right) \right]; 0 \leq TK_{nispi} \leq 1 \dots\dots\dots [4]$$

Burada HK: Havalanma kapasitesi; $\theta_{TK-1.0m}$: 100 cm negatif su tansiyonunda toprağın hacimsel nem içeriği (%)'dir. θ_s ise toprağın toplam gözenek hacmini belirtmektedir.

Daimi solma noktası (θ_{DSN}) (%): Seramik levhalar üzerindeki halkalara yerleştirilen 2 mm'den elenmiş bozulmuş toprak örnekleri suyla doymun hale getirilmiş, daha sonra basınçlı membran aleti ile 15 atm'lik basınç uygulanması ile belirlenen gravimetrik nem içeriğinin, toprak hacim ağırlığı ile çarpılması sonucunda elde edilmiştir (Klute, 1986).

Bitkiye yarayışlı su içeriği (BYS) (%): Tarla kapasitesinden ($\theta_{TK-1.0m}$) daimi solma noktası (θ_{DSN}) değerleri çıkartılarak hacimsel olarak hesaplanmıştır.

Strüktür stabilite indeksi (SSİ) (%): Pieri (1992)'in belirttiği esaslara göre Eşitlik-5 kullanılarak belirlenmiştir.

$$SSİ = \frac{1.724 \times OC}{(Silt + Clay)} \times 100 \dots\dots\dots [5]$$

Burada OC: Organik karbon içeriği (%)’dir. Silt+Kil ise toprağın birleşik silt ve kil (%) içeriğidir.

Organik madde (OM) (%): Walkley-Black yönteminin Jackson (1958) tarafından modifiye edilmiş şekliyle yapılmıştır.

pH: 1:2 oranında hazırlanan toprak:su karışımında pH metre kullanılarak ölçülmüştür (Hendershot et al., 1993).

EC (dS m⁻¹): 1:2 oranında hazırlanan toprak:su karışımında EC metre kullanılarak ölçülmüştür (Rhoades, 1986).

3.2.1.4. İstatistik analizleri

Elde edilen verilerde normallik testi için çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerlerine bakılmış, çarpıklık değeri 0.5-1.0 arasında olan veri setlerinde karekök, 1.0’dan büyük çıkan veri setlerinde ise logaritma dönüşümü uygulanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler SPSS ver. 17.0 istatistik programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Varyans analiz sonucunda istatistiki olarak önemlilik gösteren ortalamalar arasındaki farklılıklar “Duncan Multiple Range” karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Farklı Malç ve Biyokömür Uygulamalarının Bitkisel Özellikler Üzerine Etkileri

Farklı ürün sezonlarında (dönemlerinde) malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin bitki boyuna ait varyans analizi Tablo 4.1’de verilmiştir. Denemede marul bitki boyları bakımından ürün sezonlarının (S) ve malç uygulamalarının (M) etkileri $p<0.01$ düzeyinde, ürün sezonuxbiyokömür (SxB) interaksiyonunun etkisi ise $p<0.05$ düzeyinde fark bulunmuştur. Ana etkilerden biyokömür dozları ve SxB interaksiyonu dışındaki interaksiyonlar arasında [ürün sezonuxmalç (SxM), malçxbiyokömür (MxB), ürün sezonuxmalçxbiyokömür (SxMxB)] ise istatistiksel olarak fark önemli bulunmamıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin bitki boyuna ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	7.915	13.618	0.000
Ürün Sezonu (S)	1	170.078	292.622	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	4.017	6.912	0.003
Malç (M)	3	4.466	7.683	0.001
SxM	3	0.383	0.659	0.583
Hata-2 (BlokxSxM)	12	2.555	4.396	0.000
Biyokömür (B)	2	0.553	0.951	0.397
SxB	2	2.106	3.623	0.038
MxB	6	1.242	2.138	0.076
SxMxB	6	0.951	1.636	0.169
Toplam Hata	32	0.581		

Denemeni ikinci ürün sezonunda elde edilen marul bitkilerinin boyları (21.14 cm) birinci sezonda elde edilenlere (18.06 cm) göre istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmuştur. SxB interaksiyonunun önemli çıkmasının nedeni ikinci sezon (dönem) marul bitkilerinin boylarının birinci sezona göre daha yüksek olmasıdır. Malç uygulamalarının marul bitkisinin boyu üzerine etkileri incelendiğinde; en yüksek boy aralarında istatistiksel fark bulunmayan GPM ve BPM uygulamalarında (sırasıyla 20.03 ve 19.97 cm) belirlenmiştir. En düşük bitki boyu ise malçlama yapılmayan kontrol uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.2). Malç konusunda yapılan diğer çalışma sonuçlarına benzer olarak (Koçar, 2001; Moniruzzaman, 2006; Öz, 2018), çalışmada malç uygulamalarının kontrole göre marul bitkilerinin boyunu artırdığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.2. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin bazı bitkisel özellikleri üzerine etkileri

Ürün sezonu (S)	Malç (M)	Biyokömür (B)	Bitki boyu (cm)	Baş çapı (cm)	Yaprak uzunluğu (cm)	Yaprak eni (cm)	Yaprak sayısı (adet bitki ⁻¹)
S1	K	0	17.63	28.67	16.77	14.68	29.40
		0.8	17.03	28.17	17.49	15.99	27.40
		1.6	17.17	30.53	17.21	16.47	27.73
	GPM	0	17.67	28.63	17.55	16.44	28.13
		0.8	18.53	30.23	23.72	16.61	29.73
		1.6	19.46	29.10	16.97	16.85	29.87
	BPM	0	19.23	31.67	15.70	14.37	30.87
		0.8	17.80	31.53	16.80	15.69	31.73
		1.6	18.03	30.27	17.76	15.53	30.00
	KM	0	18.03	29.23	16.00	13.99	28.00
		0.8	17.93	29.40	16.05	14.85	29.93
		1.6	18.23	28.33	16.62	16.18	28.80
S2	K	0	20.07	32.27	19.28	19.50	29.80
		0.8	21.20	34.07	19.24	19.90	31.60
		1.6	20.73	34.27	18.44	19.63	32.40
	GPM	0	20.93	34.60	20.10	19.80	33.53
		0.8	22.53	36.00	23.21	20.22	32.87
		1.6	21.07	34.41	21.66	19.14	32.53
	BPM	0	21.53	33.65	21.08	18.78	34.07
		0.8	21.87	34.87	21.79	19.13	33.67
		1.6	21.33	34.70	20.73	19.33	33.13
	KM	0	20.30	34.03	17.42	19.08	31.67
		0.8	20.60	33.87	17.79	18.73	32.73
		1.6	21.48	36.53	17.12	20.44	33.00
Ana etkiler							
S	S1		18.06b	29.65b	17.39b	15.64b	29.30b
		S2	21.14a	34.44a	19.82a	19.47a	32.58a
M	K		18.97b	31.33	18.08b	17.70	29.72b
	GPM		20.03a	32.16	20.54a	18.18	31.11ab
	BPM		19.97a	32.78	18.98ab	17.14	32.24a
	KM		19.43ab	31.90	16.83b	17.21	30.69ab
B	0		19.43	31.59	17.99	17.08	30.68
	0.8		19.69	32.27	19.51	17.64	31.21
	1.6		19.69	32.27	18.32	17.95	30.93
S			**	**	**	**	**
M			**	öd	**	öd	**
B			öd	öd	öd	öd	öd
SxMxB			öd	öd	öd	öd	öd

K: Kontrol, GPM: Geleneksel Polietilen Malç, BPM: Biyobozunur Plastik Malç, KM: Kağıt Malç, öd: önemli değil, *: p<0.05, **: p<0.01

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarında yetiştirilen marul bitkilerinin bitki boylarının 17.03-22.53 cm aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 4.2). Marulda yapılan farklı çalışmalarda bitki boylarının 15.18-30.20 cm aralığında değiştiği bildirilmiştir (Kibar, 2018; Şahin vd., 2022; Kibar, 2022). Marulda bitki boyu

ekim zamanına, çeşide ve yetiştirme şekline bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Öztürk, 2011).

Denemede ürün sezonlarının baş çapı üzerine etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Ana etkilerden malç uygulamaları, biyokömür dozları ve interaksiyonların baş çapı üzerine etkisinin ise önemli olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin baş çapına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	3.817	1.433	0.254
Ürün Sezonu (S)	1	413.185	155.132	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	12.975	4.871	0.014
Malç (M)	3	6.538	2.455	0.081
SxM	3	6.570	2.467	0.080
Hata-2 (BlokxSxM)	12	2.680	1.006	0.466
Biyokömür (B)	2	3.636	1.365	0.270
SxB	2	2.692	1.011	0.375
MxB	6	2.803	1.052	0.411
SxMxB	6	2.881	1.082	0.394
Toplam Hata	32	2.663		

Ürün sezonları karşılaştırıldığında ilk sezon yetiştirilen marul bitkilerinin baş çaplarının (29.65 cm) ikinci döneme göre (34.44 cm) istatistiksel olarak %1 düzeyinde düşük olduğu tespit edilmiştir. Malç uygulamaları arasında istatistiksel fark bulunmamakla birlikte, kontrol ve KM’da yetiştirilen marul bitkilerinin baş çaplarının GPM ve BPM uygulamalarında yetiştirilenlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.2). Moniruzzaman (2006) malç kullanımının baş çapı değerlerini artırdığını ve malç uygulamalarında baş çapı değerlerinin 29.90-32.20 cm, malçsız uygulamalarda ise 25.20-31.60 cm aralığında değiştiğini bildirmiştir.

Farklı sezonlarda malç ve biyokömür uygulamalarında yetiştirilen marul bitkilerinin baş çapı değerleri 28.17-36.53 cm aralığında bulunmuştur (Tablo 4.2). Marulda yapılan çalışmalarda; baş çapı değerleri Kibar (2018) tarafından 20.50-36.50 cm, Çelik (2021) tarafından ise bahar yetiştiriciliğinde 29.5-37.31 cm, güz dönemi yetiştiriciliğinde 28.64-35.31 cm olarak bildirilmiştir. Elde edilen baş çapı değerlerimiz ile bu araştırmacıların değerleri benzer bulunmuştur. Buna karşılık, Can vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada marul baş çapları 15.44-18.86 cm olarak tespit edilmiştir. Çalışmalardaki marul bitkilerindeki baş çapı değerlerindeki farklılıklar çeşit özelliğine, vejetasyon süresine, uygulanan uygulamalara, saksıda ya da arazide

yetiştirilme durumuna ve yetiştirildiği çevrenin ekolojik koşullarına göre değişiklik gösterebilmektedir (Can vd., 2019; Gün, 2019; Mounirou, 2019; Çelik, 2021).

Denemede marul bitkisinin yaprak uzunluğuna ait varyans analiz sonuçları incelendiğinde ürün sezonlarının ve malç uygulamalarının etkileri istatistiksel olarak çok önemli düzeyde ($p<0.01$) bulunmuştur. Biyokömür dozlarının ve interaksiyonların etkileri ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak uzunluğuna ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	68.824	13.098	0.000
Ürün Sezonu (S)	1	106.921	20.348	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	13.766	2.620	0.088
Malç (M)	3	43.683	8.313	0.000
SxM	3	8.911	1.696	0.188
Hata-2 (BlokxSxM)	12	10.636	2.024	0.055
Biyokömür (B)	2	15.458	2.942	0.067
SxB	2	1.450	0.276	0.761
MxB	6	8.530	1.623	0.173
SxMxB	6	4.181	0.796	0.580
Toplam Hata	32	5.255		

Marul yaprak uzunlukları ilk sezon 17.39 cm, ikinci sezon ise 19.82 cm olarak tespit edilmiştir. Malç uygulamalarının yaprak uzunlukları üzerine etkileri incelendiğinde; en yüksek yaprak uzunluğu GPM uygulamasında (20.54 cm) tespit edilmiştir. Bunu 18.98 cm ile BPM uygulaması izlemiştir. En düşük yaprak uzunluğu (16.83 cm) ise KM uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.2). Çalışma sonuçlarımıza benzer olarak Moniruzzaman (2006) değişik sıra arası x sıra üzeri mesafelerin ve malç uygulamalarının marul verim ve kalitesine etkilerini inceledikleri çalışmasında malç uygulamalarının yaprak uzunluğuna etkisinin önemli olduğu ve yaprak uzunluklarının malç uygulamaları ile arttığı tespit edilmiştir.

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarında yetiştirilen marul bitkilerinin yaprak uzunluk değerleri 15.70-23.72 cm aralığında değişmiştir (Tablo 4.2). Denemede belirlenen yaprak uzunluğuna ait bulgular marulda yapılan çalışmalarda yaprak uzunluklarının 13.00-24.30 cm arasında değiştiğini bildiren araştırmacıların sonuçları (Gün, 2019; Kibar, 2018; Karademir, 2019) ile benzer bulunmuştur.

Denemede yaprak enine ait varyans analiz sonuçları incelendiğinde; ürün sezonları arasında istatistiksel olarak çok önemli fark ($p<0.01$) bulunurken, malç ve biyokömür uygulamaları ile ikili (MxB, SxM, SxB) ve üçlü (SxMxB) interaksiyonların etkilerinin önemli olmadığı saptanmıştır (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak enine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	68.963	35.046	0.000
Ürün Sezonu (S)	1	264.768	134.553	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	28.827	14.649	0.000
Malç (M)	3	4.199	2.134	0.115
SxM	3	1.360	0.691	0.564
Hata-2 (BlokxSxM)	12	5.644	2.868	0.009
Biyokömür (B)	2	4.632	2.354	0.111
SxB	2	1.704	0.866	0.430
MxB	6	1.410	0.717	0.639
SxMxB	6	0.336	0.171	0.983
Toplam Hata	32	1.968		

İki sezonda yürütülen denemede en yüksek yaprak eni 19.47 cm ile ikinci sezonda, en düşük ise 15.64 cm ile birinci sezonda bulunmuştur. Farklı ürün dönemlerinde malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak enine ait değerleri 13.99-20.44 cm aralığında bulunmuştur (Tablo 4.2). Kibar (2018) yaptığı çalışmada yaprak enlerini 14.50-21.80 cm ve Karademir (2019) ise 17.72-18.35 cm olarak bildirmişlerdir.

Marul bitkilerinin yaprak sayıları ikinci sezonda ($32.58 \text{ adet bitki}^{-1}$) denemenin birinci sezonuna ($29.30 \text{ adet bitki}^{-1}$) göre istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$) düzeyde yüksek olduğu saptanmıştır (Tablo 4.2 ve 4.6). Malç uygulamalarının marul bitkisinin yaprak sayısı üzerine etkileri incelendiğinde; yaprak sayısı bakımından malç uygulamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$) olduğu ve en yüksek yaprak sayısının BPM ($32.24 \text{ adet bitki}^{-1}$) uygulamasından elde edildiği tespit edilmiştir. En düşük yaprak sayısı ise kontrol ($29.72 \text{ adet bitki}^{-1}$) uygulamasında saptanmıştır (Tablo 4.2). Bu çalışmadan farklı olarak Moniruzzaman (2006) malç uygulamalarının yaprak sayısı üzerine etkisini istatistiksel olarak önemsiz bulmuştur. Gruda (2008) yaptığı çalışmada malç materyali olarak ladin ağacı atıkları içine %10 oranında saman karıştırmış ve bu karışımı malç olarak kullanmıştır. Çalışma sonucunda marulda baş çapında ve yaprak sayısında önemli ölçüde artış yaşandığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.6. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak sayısına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	9.072	2.947	0.067
Ürün Sezonu (S)	1	194.045	63.047	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	10.232	3.324	0.049
Malç (M)	3	19.661	6.388	0.002
SxM	3	0.889	0.289	0.833
Hata-2 (BlokxSxM)	12	3.362	1.092	0.399
Biyokömür (B)	2	1.655	0.538	0.589
SxB	2	0.695	0.226	0.799
MxB	6	1.660	0.539	0.774
SxMxB	6	4.079	1.325	0.275
Toplam Hata	32	3.078		

Yapılan çalışmada biyokömür dozları ve ikili (MxB, SxM, SxB) ve üçlü (SxMxB) interaksyonların etkileri bakımından istatistiksel olarak fark bulunmamıştır (Tablo 4.6). Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarında yetiştirilen marul bitkilerinin yaprak sayılarına ait değerler 27.40-34.07 adet bitki⁻¹ arasında bulunmuştur (Tablo 4.2). Kibar (2018) yaptığı çalışmada yaprak sayılarının 18.00-36.00 adet bitki⁻¹ olduğunu, Kılıç (2018) bazı organik gübrelerin marul bitkisinin gelişimine ve verimine etkilerini incelediği çalışmada; yaprak sayılarının 32.75-45.00 adet bitki⁻¹ arasında değiştiğini bildirmiştir. Yine, yapılan başka çalışmalarda marulda yaprak sayısının 36.51-43.38 adet bitki⁻¹ (Çelik, 2021), 15.18-30.2 adet bitki⁻¹ (Şahin vd., 2022) aralığında değiştiği bildirilmiştir. Yapılan çalışmalarda kıvırcık salatalarda pazarlanabilir ve ıskarta yaprak sayılarının çeşide ve yetiştirme dönemine göre önemli ölçüde değiştiği bildirilmiştir (Gül et al., 2005; Boroujerdnia and Ansari, 2007; Öztürk, 2011).

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak klorofiline ait varyans analiz sonuçları incelendiğinde; sadece ürün sezonları arasındaki fark %1 düzeyinde çok önemli bulunmuştur (Tablo 4.7). İkinci sezonda yürütülen denemede marul bitkilerinin yaprak klorofil içeriklerinin (10.03 CCI) denemenin kurulduğu birinci sezona (6.80 CCI) göre istatistiksel olarak çok önemli düzeyde ($p<0.01$) yüksek olduğu tespit edilmiştir. Malç uygulamalarının (8.11-8.76 CCI) ve biyokömür uygulamalarının (8.30-8.61 CCI) klorofil içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Farklı ürün dönemlerinde malç ve biyokömür uygulamalarının (SxMxB) marul bitkisinin klorofil içeriğine ait değerleri 6.30-11.44 CCI değer aralığında bulunmuştur (Tablo 4.8).

Tablo 4.7. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin klorofil, renk (L, a ve b), SÇKM ve kuru madde değerleri üzerine etkileri

Ürün sezonu (S)	Malç (M)	Biyokömür (B)	Klorofil	L	a	b	SÇKM (%)	Kuru madde (%)
S1	K	0	6.68	69.81	-17.60	20.33	1.46	4.23
		0.8	6.31	65.29	-16.44	19.10	1.57	4.22
		1.6	6.52	66.27	-18.19	21.23	1.53	4.13
	GPM	0	7.20	62.08	-14.11	14.30	1.53	3.52
		0.8	6.60	69.07	-17.96	21.62	1.56	3.87
		1.6	6.89	55.19	-12.69	13.75	1.49	3.66
	BPM	0	7.80	76.24	-21.02	25.99	1.64	3.78
		0.8	6.94	52.37	-10.88	10.29	1.71	3.86
		1.6	6.88	64.85	-16.96	19.28	1.72	3.61
	KM	0	6.30	60.68	-15.02	16.11	1.57	3.99
		0.8	6.83	70.27	-19.97	24.30	1.46	4.03
		1.6	6.64	61.28	-13.80	13.86	1.74	3.72
S2	K	0	9.79	87.69	-19.78	24.52	2.73	4.63
		0.8	10.93	87.18	-18.35	25.76	2.92	4.73
		1.6	9.05	94.99	-22.76	28.78	2.71	4.23
	GPM	0	10.68	92.99	-23.00	27.55	2.69	3.91
		0.8	10.64	111.30	-30.12	37.20	2.63	4.27
		1.6	9.49	103.72	-26.20	32.37	2.84	4.19
	BPM	0	10.11	98.21	-26.20	31.50	2.50	4.15
		0.8	9.37	78.19	-17.74	18.63	2.91	3.96
		1.6	11.44	95.89	-21.89	28.86	2.54	3.62
	KM	0	10.28	99.50	-24.69	30.64	3.20	5.01
		0.8	8.74	93.50	-23.32	27.46	3.15	4.48
		1.6	9.84	93.55	-23.76	28.24	3.21	4.26
Ana etkiler								
S	S1	6.80b	64.45b	-16.22b	18.35b	1.58b	3.89b	
	S2	10.03a	94.73a	-23.15a	28.46a	2.84a	4.29a	
M	K	8.21	78.54	-18.85	23.29	2.15b	4.36	
	GPM	8.59	82.39	-20.68	24.47	2.12b	3.91	
	BPM	8.76	77.63	-19.12	22.43	2.17b	3.83	
	KM	8.11	79.80	-20.09	23.43	2.39a	4.25	
B	0	8.61	80.90	-20.18	23.87	2.17	4.15	
	0.8	8.30	78.40	-19.35	23.04	2.24	4.18	
	1.6	8.35	79.47	-19.53	23.30	2.22	3.93	
S		**	**	**	**	**	*	
M		öd	öd	öd	öd	**	öd	
B		öd	öd	öd	öd	öd	öd	
SxMxB		öd	öd	öd	öd	öd	öd	

K: Kontrol, PM: Geleneksel Polietilen Malç, BPM: Biyobozunur Plastik Malç, KM: Kağıt Malç, öd: önemli değil, *: p<0.05, **: p<0.01

Tablo 4.8. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak klorofiline ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	17.248	12.612	0.000
Ürün Sezonu (S)	1	187.889	137.395	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	1.655	1.210	0.311
Malç (M)	3	1.697	1.241	0.311
SxM	3	0.174	0.127	0.943
Hata-2 (BlokxSxM)	12	2.742	2.005	0.058
Biyokömür (B)	2	0.677	0.495	0.614
SxB	2	0.002	0.001	0.999
MxB	6	1.129	0.825	0.559
SxMxB	6	2.201	1.609	0.177
Toplam Hata	32	1.368		

Biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin klorofil içeriği üzerine etkisinin bulunmadığı çalışma sonuçlarımız; biyokömür, anız ve kül uygulamalarının marul bitkisinin klorofil içeriğinde (21.2-28.35 SPAD) önemli bir değişikliğe yol açmadığını bildiren Taşdemir (2021)'in bulgusu ile uyumludur. Aynı şekilde Galadima et al. (2020) yaptıkları çalışmada da uygulamaların klorofil içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Karataş ve Büyükdinç (2016) klorofil içeriklerini 23.10-27.80 SPAD, Kibar (2018) 13.10-29.30 SPAD, Yıldız (2018) 28.00-33.66 SPAD, Kibar (2022) ise 74.23-72.35 SPAD değer aralıklarında tespit etmişlerdir.

Tablo 4.9 incelendiğinde görüleceği gibi yaprak L değeri bakımından ürün sezonları arasında çok önemli ($p<0.01$), MxB interaksiyonları arasında ise önemli ($p<0.05$) fark bulunmuştur. Malç ve biyokömür uygulamaları ile ikili (SxM, SxB) ve üçlü (SxMxB) interaksiyonların etkileri bakımından istatistiksel olarak fark olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.9).

İkinci sezonda marul bitkilerinin L değerleri (94.73) birinci sezona (64.45) göre istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmuştur. Farklı ürün sezonlarında uygulanan malç ve biyokömür uygulamalarına ait marul bitkilerinin yaprak L değerlerinin 52.37-111.30 aralığında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 4.8). Marulda yapılan bazı çalışmalarda L değerlerinin 48.16-51.46 (Karataş ve Büyükdinç, 2016), 39.22-60.83 (Kibar, 2018) ve 42.04-43.44 (Kibar, 2022) aralıklarında değiştiği bildirilmiştir.

Tablo 4.9. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak L değerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	936.716	7.943	0.002
Ürün Sezonu (S)	1	16497.150	139.884	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	93.945	0.797	0.460
Malç (M)	3	77.142	0.654	0.586
SxM	3	267.611	2.269	0.099
Hata-2 (BlokxSxM)	12	282.759	2.398	0.024
Biyokömür (B)	2	37.871	0.321	0.728
SxB	2	107.718	0.913	0.411
MxB	6	352.278	2.987	0.020
SxMxB	6	59.969	0.508	0.797
Toplam Hata	32	117.935		

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak a değerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.10’da verilmiştir. Tablo 4.10’u incelediğimizde; ürün sezonları ve MxB interaksiyonları arasında çok önemli ($p<0.01$), SxM interaksiyonları arasında ise önemli ($p<0.05$) fark olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak a değerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	125.209	6.567	0.004
Ürün Sezonu (S)	1	864.379	45.339	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	31.800	1.668	0.205
Malç (M)	3	13.053	0.685	0.568
SxM	3	59.405	3.116	0.040
Hata-2 (BlokxSxM)	12	44.860	2.353	0.027
Biyokömür (B)	2	4.566	0.240	0.788
SxB	2	7.970	0.418	0.662
MxB	6	68.203	3.577	0.008
SxMxB	6	8.738	0.458	0.834
Toplam Hata	32	19.065		

İkinci sezonda üretilen marul bitkilerinin yaprak a değerlerine ait ortalama -23.15 ve birinci sezona ait ortalama ise -16.22 olarak bulunmuştur. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul yaprak a değerleri ise (-10.88)-(-30.12) arasında değişmiştir (Tablo 4.8). Karataş ve Büyükdinç (2016) yaptıkları çalışmada a değerlerinin (-20.20)-(-18.55) olduğunu bildirmişlerdir. Kibar (2022) ise yaptığı çalışmada a değerlerinin (-7.49)-(-6.22) arasında değiştiğini belirtmiştir.

Marul bitkisinin yaprak a değerine ait MxB interaksiyon sonuçları incelendiğinde; en yüksek değer BPM 0.8 biyokömür uygulamasında (-14.31), en düşük değer ise GPM 0.8 biyokömür uygulamasında (-24.04) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Marul bitkisinin yaprak a değerine ait malç x biyokömür interaksiyon sonuçları

Malçlar	Biyokömür dozları			Ortalamalar
	0	0.8	1.6	
K	-18.69ab*	-17.39ab	-20.48ab	-18.85
GPM	-18.56ab	-24.04b	-19.45ab	-20.68
BPM	-23.61b	-14.31a	-19.43ab	-19.12
KM	-19.86ab	-21.65ab	-18.78ab	-20.09
Ortalamalar	-20.18	-19.35	-19.53	

K: Kontrol, GPM: Geleneksel Polietilen Malç, BPM: Biyobozunur Plastik Malç, KM: Kağıt Malç, *: p<0.05

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak b değerine ait varyans analiz sonuçlarına göre sezonlar arasında çok önemli (p<0.01), MxB interaksiyonunda ise önemli (p<0.05) fark bulunmuştur. Malç ve biyokömür uygulamaları ile ikili (SxM, SxB) ve üçlü (SxMxB) interaksiyonların etkileri arasında ise istatistiksel olarak farkın önemli olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.12).

İkinci sezon marul bitkilerinin yaprak b değeri 28.46 iken birinci sezon yaprak b değeri 18.35 olarak tespit edilmiştir. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının (SxMxB interaksiyon) marul yaprak b değerleri 10.29-37.20 aralığında saptanmıştır (Tablo 4.8). Karataş ve Büyükdinç (2016) yaptıkları çalışmada b değerlerini 34.33-35.34, Kibar (2022) ise 13.91-16.14 olarak belirlemişlerdir.

Tablo 4.12. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin yaprak b değerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	354.528	7.032	0.003
Ürün Sezonu (S)	1	1840.627	36.509	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	43.064	0.854	0.435
Malç (M)	3	12.587	0.250	0.861
SxM	3	80.956	1.606	0.207
Hata-2 (BlokxSxM)	12	118.500	2.350	0.027
Biyokömür (B)	2	4.273	0.085	0.919
SxB	2	27.672	0.549	0.583
MxB	6	159.750	3.169	0.015
SxMxB	6	19.399	0.385	0.883
Toplam Hata	32	50.416		

Tablo 4.13. Marul bitkisinin yaprak b değerine ait malç x biyokömür interaksiyon sonuçları

Malçlar	Biyokömür dozları			Ortalamalar
	0	0.8	1.6	
K	22.43ab*	22.43ab	25.01ab	23.29
GPM	20.93ab	29.41a	23.06ab	24.47
BPM	28.75a	14.46b	24.07ab	22.43
KM	23.37ab	25.88ab	21.05ab	23.43
Ortalamalar	23.87	23.04	23.30	

K: Kontrol, PM: Geleneksel Polietilen Malç, BPM: Biyobozunur Plastik Malç, KM: Kağıt Malç, *: p<0.05

Marul bitkisinin yaprak b değerine ait MxB interaksiyon sonuçları incelendiğinde; en yüksek değer GPM 0.8 biyokömür uygulamasında (29.41), en düşük değer ise BPM 0.8 biyokömür uygulamasında (14.46) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.13).

Çalışmada ürün sezonlarının, malç uygulamalarının ve SxM interaksiyonunun marul bitkilerinin SÇKM değerleri üzerine etkisi çok önemli (p<0.01) bulunmuştur (Tablo 4.14).

Tablo 4.14. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin SÇKM değerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.011	0.215	0.808
Ürün Sezonu (S)	1	28.401	550.949	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	0.119	2.306	0.116
Malç (M)	3	0.263	5.108	0.005
SxM	3	0.314	6.083	0.002
Hata-2 (BlokxSxM)	12	0.282	5.476	0.000
Biyokömür (B)	2	0.038	0.733	0.488
SxB	2	0.028	0.536	0.590
MxB	6	0.050	0.973	0.459
SxMxB	6	0.035	0.673	0.672
Toplam Hata	32	0.052		

İkinci sezonda marul bitkilerinin SÇKM değeri (%2.84), birinci sezona (%1.58) göre istatistiksel olarak çok önemli (p<0.01) derecede yüksek bulunmuştur (Tablo 4.14 ve Tablo 4.8). Kıvrıcık marul çeşidinde 4 farklı ekim zamanı ve yetiştirme şekillerinin (organik ve konvensiyonel) SÇKM üzerine etkisini inceleyen Öztürk (2011), çalışmasında sadece ekim zamanına bağlı olarak SÇKM içeriğinin değiştiğini tespit etmiştir. Çelik (2021) marulun SÇKM içeriklerinin bahar döneminde %3.34-3.54 ve güz dönemi yetiştiriciliğinde ise %3.25-3.51 olduğunu tespit etmiştir.

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin SÇKM değerleri %1.46-3.21 aralığında bulunmuştur (Tablo 4.8). Kibar (2018) yaptığı çalışmada SÇKM değerlerinin %2.0-4.10 aralığında, Kibar (2022) ise %3.50-3.77 aralığında olduğunu bildirmiştir.

İkinci sezonda yetiştirilen marul bitkilerinin kuru madde değeri (%4.29) denemenin kurulduğu birinci döneme (%3.89) göre istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) derecede yüksek bulunmuştur (Tablo 4.8). Ana etkilerden malç uygulamaları, biyokömür dozları ile ikili (MxB, SxM, SxB) ve üçlü (SxMxB) interaksiyonların etkilerinin ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.15). Bu çalışmada elde edilen bulguların aksine malç uygulamaları konusunda yapılan bazı çalışmalarda malç materyallerinin bitkinin kuru ağırlık artışında etkili olduğu bildirilmiştir (Cahill and ChalkerScott, 2005; Franquera, 2015; Li et al., 2018; Amare and Desta, 2021).

Tablo 4.15. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kuru madde değerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.506	0.919	0.409
Ürün Sezonu (S)	1	2.904	5.270	0.028
Hata-1 (BlokxS)	2	1.111	2.016	0.150
Malç (M)	3	1.208	2.192	0.108
SxM	3	0.209	0.380	0.768
Hata-2 (BlokxSxM)	12	0.250	0.454	0.927
Biyokömür (B)	2	0.454	0.824	0.448
SxB	2	0.101	0.184	0.833
MxB	6	0.163	0.296	0.934
SxMxB	6	0.057	0.103	0.996
Toplam Hata	32	0.551		

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kuru madde değerleri %3.52-5.01 aralığında bulunmuştur (Tablo 4.8). Kibar (2018) yaptığı çalışmada marul bitkilerinin kuru madde miktarını %5.47-10.79 ve Kibar (2022) %6.05-6.37 değer aralıklarında tespit etmiştir. Demir vd. (2003), organik ve konvensiyonel yöntemle yetiştirilen Lital (Yedikule tipi) marul çeşidinde toplam kuru madde miktarını %4.66-5.57 aralığında, Gloria (Iceberg tipi) çeşidinde ise %4.37-5.40 aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Hossain and Ryu (2017) yaptıkları çalışmada farklı dozlarda kullanılan organik gübrelerin marul bitkisinin verim ve kalite özelliklerini artırdığını, yaprak yaş ağırlıkları, yaprak kuru ağırlıkları ile mineral madde (N, P, K, Ca, Mg ve Na) miktarlarını artırdığını belirtmişlerdir.

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök boğazı çapına ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.16’da verilmiştir. Denemede kök boğazı çapı bakımından sezonlar arasında çok önemli ($p<0.01$) fark bulunmuştur. Ana etkilerden malç uygulamaları, biyokömür dozları ile ikili (MxB, SxM, SxB) ve üçlü (SxMxB) interaksyonların etkilerinin ise istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.16). İkinci sezonda marul bitkilerinin kök boğazı çapları 29.63 mm, birinci sezon ise 21.57 mm olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.17).

Tablo 4.16. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök boğazı çapına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	2.157	0.144	0.867
Ürün Sezonu (S)	1	1170.473	77.962	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	114.216	7.608	0.002
Malç (M)	3	12.914	0.860	0.472
SxM	3	9.483	0.632	0.600
Hata-2 (BlokxSxM)	12	10.121	0.674	0.763
Biyokömür (B)	2	44.758	2.981	0.065
SxB	2	4.303	0.287	0.753
MxB	6	26.271	1.750	0.141
SxMxB	6	30.957	2.062	0.086
Toplam Hata	32	15.013		

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök boğazı çaplarına ait değerler 19.63-36.19 mm aralığında bulunmuştur (Tablo 4.17). Kıvırcık marulda yürütülen çalışmalarda kök boğazı çaplarını Şen vd. (2016) 18.66-21.77 mm, Kibar (2018) 9.29-24.07 mm, Şahin vd. (2022) 13.45-17.78 mm, Kibar (2022) 7.45-9.05 mm aralığında belirlemişlerdir. Biyokömür uygulamalarının marulun bazı kalite ve verimi üzerine etkilerini inceleyen Galadima et al. (2020), kök boğazı çapı değerlerini 12.30-14.84 mm arasında bulmuşlardır.

Denemede kök uzunluğuna ait varyans analiz sonuçları incelendiğinde; ürün sezonları ve malç uygulamaları arasında istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$) fark bulunmuştur. Biyokömür dozları ve interaksyonlar arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Birinci sezonda marul bitkilerinin kök uzunlukları 10.50 cm, ikinci sezonda 14.25 cm olarak tespit edilmiştir. Malç uygulamalarının marul kök uzunluğu üzerine etkileri incelendiğinde; en yüksek değer 13.09 cm ile kontrol uygulamasında bulunmuş, bunu 12.78 cm ile GPM izlemiştir (Tablo 4.18).

Tablo 4.17. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin bazı kök özellikleri üzerine etkileri

Ürün sezonu (S)	Malç (M)	Biyokömür (B)	Kök boğazı çapı (mm)	Kök uzunluğu (cm)	Kök yaş ağırlığı (g)	Kök kuru ağırlığı (g)
S1	K	0	19.80	11.73	5.83	0.27
		0.8	22.32	10.65	5.87	0.24
		1.6	21.71	11.23	7.99	0.37
	GPM	0	20.34	10.99	7.09	0.20
		0.8	22.86	10.48	9.29	0.62
		1.6	23.76	10.58	6.98	0.27
	BPM	0	19.63	9.72	6.22	0.31
		0.8	23.30	9.43	7.81	0.32
		1.6	21.22	9.60	6.92	0.35
	KM	0	19.82	10.17	6.25	0.33
		0.8	22.42	10.90	6.50	0.43
		1.6	21.61	10.55	7.10	0.32
S2	K	0	31.11	14.98	21.16	2.04
		0.8	32.65	14.80	22.80	1.74
		1.6	29.91	15.17	21.10	1.84
	GPM	0	30.45	15.11	23.66	1.71
		0.8	32.28	14.33	20.94	1.57
		1.6	27.91	15.17	17.97	1.13
	BPM	0	27.69	13.69	22.07	1.56
		0.8	30.97	13.87	20.57	1.79
		1.6	29.49	13.02	17.83	0.87
	KM	0	23.35	13.95	20.98	1.01
		0.8	23.54	13.23	20.29	1.05
		1.6	36.19	13.71	19.08	0.97
Ana etkiler						
S	S1	21.57b	10.50b	6.99b	0.34b	
	S2	29.63a	14.25a	20.12a	1.44a	
M	K	26.25	13.09a	14.12a	1.08a	
	GPM	26.27	12.78ab	14.32a	0.92ab	
	BPM	25.38	11.56c	13.57ab	0.87ab	
	KM	24.49	12.09bc	12.19b	0.69b	
B	0	24.02	12.54	13.67	0.93a	
	0.8	26.29	12.21	13.83	0.97a	
	1.6	26.48	12.38	13.16	0.77b	
S		**	**	**	**	
M		öd	**	**	**	
B		öd	öd	öd	*	
SxMxB		öd	öd	öd	öd	

K: Kontrol, PM: Geleneksel Polietilen Malç, BPM: Biyobozunur Plastik Malç, KM: Kağıt Malç, öd: önemli değil, *: p<0.05, **: p<0.01

Tablo 4.18. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök uzunluğuna ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	8.564	10.213	0.000
Ürün Sezonu (S)	1	253.275	302.036	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	0.478	0.569	0.571
Malç (M)	3	8.595	10.250	0.000
SxM	3	0.988	1.178	0.333
Hata-2 (BlokxSxM)	12	1.743	2.079	0.049
Biyokömür (B)	2	0.650	0.775	0.469
SxB	2	0.016	0.019	0.981
MxB	6	0.310	0.370	0.893
SxMxB	6	0.565	0.674	0.672
Toplam Hata	32	0.839		

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök uzunluğuna ait değerler 9.43-15.17 cm aralığında bulunmuştur (Tablo 4.17). Çalışmadan elde ettiğimiz bulgular, marul konusunda yürütülen değişik çalışmalarda kök uzunluğunun 5.20-17.00 cm arasında değiştiğini bildiren araştırmacıların (Kibar, 2018; Ergün, 2020; Çelik, 2021; Kibar, 2022) bulguları ile benzerdir.

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök yaş ağırlığına ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.19’da verilmiştir. Denemede ürün sezonları ve malç uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$), SxM, SxB ve MxB interaksiyonlarının etkisi önemli ($p<0.05$) ve biyokömür dozları ile SxMxB interaksiyonunun etkisi ise önemsiz bulunmuştur. SxM, SxB ve MxB interaksiyonlarının önemli çıkması sezon ve malç uygulamalarının etkisinden kaynaklanmaktadır.

İkinci sezonda marul bitkilerinin kök yaş ağırlıkları 20.12 g ve birinci sezonda ise 6.99 g olarak belirlenmiştir. Kontrol ve GPM uygulamalarında yetiştirilen marulların kök yaş ağırlıkları KM uygulamasında yetiştirilen marulların kök yaş ağırlığından çok önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. En düşük kök yaş ağırlığı 12.19 g ile KM uygulamasında tespit edilmiştir.

Farklı ürün dönemlerinde malç ve biyokömür uygulamalarının marul kök yaş ağırlığına ait değerleri 5.83-23.66 g aralığında bulunmuştur (Tablo 4.17). Bu değerler, Kibar (2018)’ın ve Şahin vd. (2022)’in bildirdiği (sırasıyla 9.00-32.65 ve 17.06-21.38 g bitki⁻¹) değerlerle uyumlu bulunmuştur.

Tablo 4.19. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök yaş ağırlığına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	50.201	16.439	0.000
Ürün Sezonu (S)	1	3103.276	1016.212	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	31.551	10.332	0.000
Malç (M)	3	16.645	5.451	0.004
SxM	3	11.861	3.884	0.018
Hata-2 (BlokxSxM)	12	20.118	6.588	0.000
Biyokömür (B)	2	2.878	.942	0.400
SxB	2	11.966	3.918	0.030
MxB	6	8.663	2.837	0.025
SxMxB	6	6.150	2.014	0.093
Toplam Hata	32	3.054		

Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları incelendiğinde; sezonlar, malç uygulamaları ve SxM interaksyonunun etkileri çok önemli ($p<0.01$), biyokömür uygulaması ve SxB interaksyonunun etkileri ise önemli ($p<0.05$) bulunmuştur (Tablo 4.20). Yetiştiricilik yapılan sezonlar içerisinde en yüksek kök kuru ağırlığı 1.44 g ile ikinci sezonda, en düşük ise birinci sezonda elde edilmiştir. Malç uygulamaları arasında ise en yüksek kök kuru ağırlığı 1.08 g ile kontrol uygulamasında tespit edilmiş, bunu GPM ve BPM izlemiştir. En düşük ise 0.69 g ile KM uygulamasından elde edilmiştir. Ayrıca kontrol ile KM uygulamaları arasındaki farkta istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Biyokömür uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkisi incelendiğinde; en yüksek kök kuru ağırlıkları aralarında istatistiksel fark bulunmayan 0.0 ve 0.8 ton da^{-1} biyokömür dozu uygulamalarında tespit edilmiştir. En düşük kök kuru ağırlığı ise 1.6 ton da^{-1} biyokömür dozu uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 4.17).

Malç ve kontrol uygulamalarının kök uzunluğuna etkileri karşılaştırıldığında; kontrol uygulamasında bitki kök uzunluk değerlerinin malç uygulamalarından daha yüksek olduğu bulunmuştur (Tablo 4.17). Mevcut çalışmada malçların toprak yüzeyinde yaratmış oldukları fiziksel bariyer kontrol uygulamasına göre topraktan suyun buharlaşmasına engel teşkil ederek malç uygulamaları altındaki topraklarda su bütçesinin artmasına neden olmaktadır. Suyun yeterli olduğu topraklarda bitkiler sık kök sistemi oluşturken, suyun kısıtlılığının olduğu topraklarda ise bitkiler toprakta daha derinde var olan suyu kullanabilmek için derin bir kök sistemi geliştirirler (Oktem, 2008). Benzer şekilde Koçer ve Eltez (2004)'de serada domateste farklı

renkte malç uygulamalarının verim ve kalite üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada kontrol uygulamasında bitkilerin kök uzunluklarının malç uygulamaları altındaki bitki kök uzunluklarından daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar, kontrol bitkilerinin kök uzunluklarının daha fazla olmasının nedenini ise topraktaki nem kaybından dolayı bitkilerin daha fazla su arayışında olmaları şeklinde açıklamışlardır. Bu bulgular, bizim çalışmamızdaki kontrol uygulamasındaki bitkilerin kök uzunluğunun malç uygulamasına göre daha uzun olmasını açıklamaktadır. Malç uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkisi incelendiğinde de kontrol uygulaması ile GPM ve BPM uygulamaları arasında istatistiksel fark olmamakla birlikte, kontrol uygulamasının kök kuru ağırlık değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.17). Oktem (2008), artan su kısıtlılığı ile birlikte kök kuru ağırlığının arttığını bildirmiştir. Aynı şekilde Andrews et al. (2001) yaptıkları çalışmada su kısıtlılığı nedeniyle kuraklık stresinin kök kuru madde miktarını artırdığını rapor etmişlerdir.

Kök uzunluğu ve kök yaş ağırlığı üzerine biyokömür uygulamalarının etkisi bulunmazken, kök kuru ağırlığı üzerine etkili olduğu ve biyokömür uygulama dozu arttığında kök kuru ağırlığının azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 4.17). Yapılan çalışmalar biyokömür uygulamalarının kök özellikleri üzerine etkilerinin oldukça değişken olduğunu göstermektedir. Biyokömür uygulamalarının kök biyokütlesini artırdığı (Prendergast-Miller et al., 2011; Varela Milla et al., 2013; Brennan et al., 2014), azalttığı (Aguilar-Chavez et al., 2012; Van De Voorde et al., 2014) veya etki etmediği (Macdonald et al., 2014; Keith et al., 2015) ile ilgili çalışma sonuçlarına literatürde rastlanılmaktadır. Bu durumun biyokömürün üretildiği malzemeden, piroliz koşullarından, yapısından, biyokömürün uygulama miktarından ve toprak ortamındaki farklılıklardan kaynaklanabileceği bildirilmektedir (Macdonald et al., 2014; Reibe et al., 2015; Xiang et al., 2017).

Tablo 4.20. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin kök kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.915	13.188	0.000
Ürün Sezonu (S)	1	22.034	317.731	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	1.386	19.982	0.000
Malç (M)	3	0.477	6.872	0.001
SxM	3	0.650	9.371	0.000
Hata-2 (BlokxSxM)	12	0.461	6.643	0.000
Biyokömür (B)	2	0.283	4.087	0.026
SxB	2	0.284	4.093	0.026
MxB	6	0.109	1.574	0.187
SxMxB	6	0.107	1.540	0.197
Toplam Hata	32	0.069		

Marul bitkisinin kök kuru ağırlığına ait SxM interaksyonunun sonuçları Tablo 4.21’de verilmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı ikinci sezonda kontrol uygulamasında tespit edilmiş, bunu aralarında istatistiksel fark olmayan ikinci sezondaki GPM ve BPM uygulamalarında yetiştirilen marulların kök kuru ağırlık değerleri izlemiştir.

Tablo 4.21. Kök kuru ağırlığına ait ürün sezonu x malç interaksyon sonuçları

Malçlar	Ürün sezonları		Ortalamalar
	S1	S2	
K	0.29c*	1.87a	1.08
GPM	0.36c	1.47ab	0.92
BPM	0.33c	1.44ab	0.87
KM	0.36c	1.01b	0.69
Ortalamalar	0.34b**	1.44a	

K: Kontrol, PM: Geleneksel Polietilen Malç, BPM: Biyobozunur Plastik Malç, KM: Kağıt Malç, *: p<0.05, **: p<0.01

SxMxB interaksyonuna ait marul bitkisinin kök kuru ağırlıkları değerleri 0.20-2.04 g aralığında bulunmuştur (Tablo 4.17). Bu değerlerin marul konusunda yürütülen bazı çalışma sonuçlarında bildirilen 0.62-10.30 g aralığındaki değerler ile uyumlu olduğu söylenebilir (Kibar, 2018; Gümüş, 2021; Şahin vd., 2022).

İkinci sezon marul bitkilerinin baş ağırlıkları (601.71 g bitki⁻¹) birinci sezona (252.00 g bitki⁻¹) göre istatistiksel olarak çok önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Ürün sezonları dışında malç uygulamalarının baş ağırlığı üzerine etkisi de çok önemli (p<0.01) bulunmuştur. Buna karşılık ana etkilerden biyokömür dozları ile ikili (MxB, SxM, SxB) ve üçlü (SxMxB) interaksyonların etkilerinin istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.22). Yapılan çalışmalar kıvrıcık marulda baş ağırlığının yetiştirme dönemlerine göre farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur (Gül et

al., 2005; Koudela and Petřiková, 2008). Öztürk (2011) marulda baş ağırlığının farklı ekim zamanları ve çeşitlere göre önemli ölçüde etkilendiğini bildirmiştir. Carter et al. (2013) tarafından biyokömür uygulamasının toprak özellikleri ile saksıda yetiştirilen marul ve lahana bitkilerinin gelişimlerini inceledikleri çalışmada; 3. dönem yetiştirdikleri bitkilerin ilk dönem yetiştirilen bitkilere göre verimlerinin daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar dönem farklarının nedenini biyokömürün toprakta uzun sürede çözünmesi olarak açıklamışlardır (Luo et al., 2011; Carter et al., 2013; Erdal et al., 2018; Adekiya et al., 2019). Çelik (2021) yaptığı çalışmada baş ağırlığı değerlerinin bahar yetiştiricilik döneminde 587.5-880.0 g bitki⁻¹ ve güz döneminde ise 595.0-825.0 g bitki⁻¹ olarak belirlemiştir. Şen vd. (2016) ise baş ağırlığı değerlerinin 616.82-638.50 g arasında olduğunu bildirmişlerdir. Elde ettiğimiz değerler bu araştırmacıların sonuçları ile uyumludur.

Tablo 4.22. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin baş ağırlığına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	19300.022	6.202	0.005
Ürün Sezonu (S)	1	2200413.887	707.068	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	217.440	0.070	0.933
Malç (M)	3	34625.769	11.126	0.000
SxM	3	4401.393	1.414	0.257
Hata-2 (BlokxSxM)	12	4513.659	1.450	0.195
Biyokömür (B)	2	1888.602	0.607	0.551
SxB	2	1090.261	0.350	0.707
MxB	6	6379.902	2.050	0.088
SxMxB	6	6566.167	2.110	0.079
Toplam Hata	32	3112.025		

Malç uygulamalarının marul bitkisinin baş ağırlıkları üzerine etkileri incelendiğinde; en yüksek değerler aralarında istatistiksel fark bulunmayan GPM ve BPM uygulamalarında (sırasıyla 455.70 ve 471.68 g bitki⁻¹) yetişen bitkilerde tespit edilmiştir. En düşük baş ağırlığı ise aralarında istatistiksel fark bulunmayan kontrol ve KM (sırasıyla 379.45 ve 400.73 g bitki⁻¹) uygulamalarında bulunmuştur. SxMxB interaksiyonuna ait marul bitkilerinin baş ağırlıkları 204.75-689.18 g bitki⁻¹ aralığında bulunmuştur (Tablo 4.24). Cozzolino et al. (2020) yaptıkları çalışmada en yüksek baş ağırlığını biyobozunur (MaterBi 2) malç materyalinde tespit ederken (319.5 g bitki⁻¹), en düşük baş ağırlığını ise kontrol uygulamasından (216.3 g bitki⁻¹) tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmaların ışığında marul bitki baş ağırlıkları çeşit özelliklerine, iklimsel verilere ve yapılan uygulamalara göre değişiklik göstermektedir.

Dekara verim bakımından baş ağırlığında olduğu gibi ürün sezonları ve malç uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak %1 düzeyinde çok önemli bulunmuştur. Biyokömür dozları ile ikili (MxB, SxM, SxB) ve üçlü (SxMxB) interaksiyonların dekara verim üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4.23). En yüksek dekara verim ikinci sezonda 6685.66 kg da⁻¹ ve en düşük ise birinci sezonda 2800.81 kg da⁻¹ olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.24). İki sezon olarak yürütülen denemede ikinci sezon bitki gelişim değerlerinin de birinci sezona göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte her ne kadar bazı bitki gelişim göstergeleri ve verim üzerine istatistiksel olarak biyokömür uygulamalarının etkisi belirlenmemiş olsa da ikinci sezon değerlerinin birinci sezona göre daha yüksek bulunması biyokömürün toprak ortamında inkübe olmasından kaynaklanmış olabilir.

Tablo 4.23. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin dekara verimine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	2382835.040	6.202	0.005
Ürün Sezonu (S)	1	2.717E8	707.084	0.000
Hata-1 (BlokxS)	2	26836.440	0.070	0.933
Malç (M)	3	4274764.601	11.127	0.000
SxM	3	543394.487	1.414	0.257
Hata-2 (BlokxSxM)	12	557224.135	1.450	0.195
Biyokömür (B)	2	233159.455	0.607	0.551
SxB	2	134585.115	0.350	0.707
MxB	6	787642.958	2.050	0.087
SxMxB	6	810662.564	2.110	0.079
Toplam Hata	32	384193.856		

Malç uygulamalarının marulun dekara verimi üzerine etkileri incelendiğinde; en yüksek dekara verim aralarında istatistiksel fark bulunmayan GPM ve BPM uygulamalarında (sırasıyla 5063.28 ve 5240.94 kg da⁻¹) tespit edilmiştir. En düşük dekara verim ise aralarında istatistiksel fark bulunmayan kontrol ve KM uygulamasından (sırasıyla 4216.14 ve 4452.56 kg da⁻¹) elde edilmiştir (Tablo 4.24).

Malçlamanın bitki büyümesi, vejetatif kütle ve verim artışı üzerinde olumlu etkisi bulunmaktadır (Maged, 2006). Elde ettiğimiz bu çalışma sonuçları, malçlamanın malç uygulanmayan kontrol uygulamalarına kıyasla bitki gelişimi, ağırlığı ve verimi üzerine önemli veya çok önemli farklılıklar oluşturduğunu bildiren çalışmalarla uyumlu bulunmuştur (Ponjićan and Bajkin, 2004; Maged, 2006; Moniruzzaman, 2006; Tosic et al., 2014). Kurtar (2010) yapmış olduğu çalışmada siyah malç uygulamasının kontrole göre erkenci verimde %130 ve toplam verimde ise %66 artış sağladığını

bulmuştur. Malç uygulamaları altındaki verim artışı, muhtemelen malçın toprak sıcaklığını artırıcı ve nem kaybını engelleyici etkilerinden kaynaklanmış olabilir (Pakyürek et al., 1994; Koçar, 2001; Franquera and Mabesa, 2016; Xu et al., 2016). Plastik malç altındaki sıcaklık; bitki besin elementi alımı ve su emilimi gibi bazı fizyolojik süreçleri ve köklerdeki sıcaklığı etkileyerek gaz değişimi ve çeşitli enzimlerin aktivitesi gibi köklerdeki aktiviteleri de etkileyebilmektedir (Dodd et al., 2000; Franquera and Mabesa, 2016).

Çalışma sonuçları biyokömür uygulamalarının bitki büyüme ve verim üzerine etki etmediğini göstermektedir (Tablo 4.24). Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda da bu bulgulara benzer olarak biyokömürün bitki büyüme ve verimi üzerine etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Borchard et al., 2014; Nguyen et al., 2016; Al-Wabel et al., 2018). Jeffery et al. (2017), biyokömürün tropik iklimlerde %25 verim artışı sağlarken, ılıman iklimlerde verim artışına hiçbir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Bunun nedenininde tropik bölgelerde toprakların pH değerlerinin düşük olması ve yüksek pH'ya sahip biyokömürlerin olumlu etki etmesi olarak açıklamışlardır. Yapılan bazı araştırmalarda da biyokömürün bitki gelişimini olumsuz etkilediği belirtilmiştir (Nelissen et al, 2015; Lin et al., 2015; Cui et al., 2017). Biyokömürün verim ve bitki gelişimi üzerindeki etkisi biyokömürün çevresel koşullarla etkileşimi ve fizikokimyasal özelliklerine bağlı değişebilmektedir (Joseph et al., 2010). Ayrıca, yapılan çalışmalarda biyokömür uygulamasının bitki gelişimi ve verim sınırları üzerindeki etkilerinin biyokütle tipine, biyokömür kalitelerine ve biyokömür uygulama oranlarına bağlı olduğu bildirilmiştir (Zhang et al., 2012; Galadima et al., 2020).

Tablo 4.24. Farklı ürün sezonlarında malç ve biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin bazı bitkisel özellikleri üzerine etkileri

Ürün sezonu (S)	Malç (M)	Biyokömür (B)	Baş ağırlığı (g bitki ⁻¹)	Dekara verim (kg da ⁻¹)
S1	K	0	204.75	2275.07
		0.8	228.16	2535.10
		1.6	243.81	2708.99
	GPM	0	239.56	2661.79
		0.8	272.91	3032.32
		1.6	293.96	3266.22
	BPM	0	270.35	3003.82
		0.8	310.20	3446.66
		1.6	274.48	3049.84
	KM	0	222.54	2472.66
		0.8	228.56	2539.61
		1.6	235.58	2617.57
S2	K	0	524.16	5823.97
		0.8	539.88	5998.71
		1.6	535.95	5955.02
	GPM	0	659.80	7331.13
		0.8	689.18	7657.61
		1.6	578.75	6430.61
	BPM	0	674.91	7499.01
		0.8	683.58	7595.38
		1.6	616.58	6850.93
	KM	0	537.31	5970.11
		0.8	508.47	5649.60
		1.6	671.92	7465.79
Ana etkiler				
S	S1	252.07b	2800.81b	
	S2	601.71a	6685.66a	
M	K	379.45b	4216.14b	
	GPM	455.70a	5063.28a	
	BPM	471.68a	5240.94a	
	KM	400.73b	4452.56b	
B	0	416.67	4629.70	
	0.8	432.62	4806.87	
	1.6	431.38	4793.12	
S		**	**	
M		**	**	
B		öd	öd	
SxMxB		öd	öd	

K: Kontrol, PM: Geleneksel Polietilen Malç, BPM: Biyobozunur Plastik Malç, KM: Kağıt Malç, öd: önemli değil, **: p<0.01

4.2. Farklı Malç ve Biyokömür Uygulamalarının Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri

Farklı malç uygulamalarının toprak pH'sı üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuştur (Tablo 4.25).

Tablo 4. 25. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak pH değerlerine olan etkilerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.002	0.410	0.667
Derinlik (D)	1	0.014	3.513	0.070
Hata-1 (BlokxD)	2	0.001	0.217	0.806
Malç (M)	3	0.018	4.418	0.010
DxM	3	0.008	2.018	0.131
Hata-2 (BlokxDxM)	12	0.008	1.968	0.063
Biyokömür (B)	2	0.002	0.578	0.567
DxB	2	0.002	0.604	0.553
MxB	6	0.004	0.953	0.472
DxMxB	6	0.003	0.729	0.630
Toplam Hata	32	0.004		

Malç uygulamalarının toprak pH'sı üzerine etkileri incelendiğinde; KM uygulanan toprakların pH değeri (7.58), diğer malç uygulaması (GPM ve BPM) yapılan toprakların pH değerlerine göre önemli derecede düşük bulunmuştur. Kontrol ile KM uygulamalarının toprak pH'sı üzerine olan etkileri istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır (Tablo 4.30). Malç uygulamalarının %5 düzeyinde önemli bulunmasının nedeninin, malç örtüsü altında toprak sıcaklığında meydana gelen artışlar olabileceği düşünülmektedir. Guoju et al. (2012), 0.5-2.0°C arasındaki sıcaklık artışının toprak pH'sını 0.42-0.67 birim artırdığını bildirmişlerdir.

Uygulanan biyokömür dozlarının toprak pH'sı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.25). Biyokömürün toprağa karışma ve etki etme sürecinin biyolojik bir süreç olması nedeniyle etkilerinin ortaya çıkması için de daha uzunca bir süreye ihtiyaç duyulabileceği değerlendirilmektedir. Chang et al. (1991) organik maddenin pH üzerine etkili olabilmesi için ayrışma işleminin gerçekleşmesi gerektiğini bildirmiştir. Uçgun vd. (2019)'nin belirttiği gibi biyolojik süreç bakteriler tarafından gerçekleştirildiği için bakteriler toprak nemi ve ısısı uygun olduğunda aktif olurlar ve böylece biyokömürün çözünmesi başlar. Namlı vd. (2017) tarımsal atıklardan elde ettiği biyokömürün buğday bitkisinin gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkilerini incelediği çalışmasında biyokömürün toprak pH miktarı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığını belirlemiştir. Çeşitli araştırmacılar

tarafından biyokömürün kısa sürede toprağa etki etmediği söylenmektedir (Luo et al., 2011; Adekiya et al., 2019). Bu nedenden kaynaklı olarak mevcut çalışmada biyokömür dozlarının toprak pH'sı üzerine etkisinin önemli bulunmadığı düşünülmektedir. Diğer taraftan bazı araştırmacıların bu konu ile ilgili aksi görüşler de ortaya koyduğu görülmektedir. Jafari Tarf (2019) yaptığı çalışmada kullanılan biyokömür türleri ve bunların farklı uygulama dozlarının toprak pH'sı üzerine etkisini istatistiksel açıdan önemli bulmuştur. Abdulwahhab (2020), killi toprağa uyguladığı biyokömür dozlarının artmasıyla %1 düzeyinde istatistiksel fark tespit etmiş ve pH değerlerinde düşüş gözlemlemiştir. Tarakçıoğlu vd. (2019) ise farklı toprağa uygulanan organik materyallerin 120 gün sonunda toprak pH'sını genellikle arttırdığı ve inkübasyon süresinin istatistiki açıdan %1 düzeyinde önemli olduğunu bildirmiştir.

Bazı araştırmacılar artan biyokömür dozlarının genellikle toprakların pH'sını arttırdığını (Dai et al., 2014; Hailegnaw et al., 2019; Bista et al., 2019) bildirmiş olup, çalışmamızda kullanılan biyokömürde de olduğu gibi (Tablo 3.2) biyokömürün fazlasıyla bazik olabileceğini ve uygulandığında toprak pH'sını arttırdığını, kireç veya alkalın etkisiyle asidik topraklarda faydalı olabileceği bildirilmiştir (Qadeer et al., 2014; Abbasi and Anwar, 2015). Yapılan farklı araştırmalarda biyokömür uygulamalarının yüksek pH'lı toprakta önemli bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Zhai et al., 2014; Soinne et al., 2014). Diğer bir çalışmada ise inkübasyon sonunda pH'da düşüş olduğu, bu farklılığın biyokömür yapımında kullanılan materyallerden ve kullanılan prolez tekniğinden kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Shenbagavalli and Mahimairaja, 2012).

Çalışmada toprak derinliğinin pH üzerine, ikili [DerinlikxMalç (DxM), DerinlikxBiyokömür (DxB), MalçxBiyokömür (MxB)] ve üçlü [DerinlikxMalçxBiyokömür (DxMxB)] interaksiyonların etkileri de istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.25). Tüm uygulamaların toprak pH'sı üzerine olan etkileri birlikte değerlendirildiğinde pH değerlerinin 7.52-7.69 arasında değiştiği saptanmıştır (Tablo 4.30). Elde edilen bu toprak pH değerlerinin nötre yakın hafif alkali sınıfında yer aldığı görülmektedir.

Toprak derinlikleri ve malç uygulamalarının toprakların EC değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$), DxM interaksiyonunun önemli ($p<0.05$); biyokömür dozları ile ikili (MxB, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonların etkilerinin ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.26).

Tablo 4.26. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak EC değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.108	10.594	0.000
Derinlik (D)	1	0.181	17.741	0.000
Hata-1 (BlokxD)	2	0.003	0.260	0.773
Malç (M)	3	0.211	20.647	0.000
DxM	3	0.035	3.435	0.028
Hata-2 (BlokxDxM)	12	0.010	1.017	0.457
Biyokömür (B)	2	0.010	0.983	0.385
DxB	2	0.008	0.774	0.470
MxB	6	0.007	0.637	0.700
DxMxB	6	0.007	0.727	0.631
Toplam Hata	32	0.010		

Logaritma dönüşümü uygulanmıştır

Toprak derinliklerine göre EC değerleri karşılaştırıldığında; 0-10 cm toprak derinliğindeki 0.69 dS m^{-1} olarak belirlenen EC değerinin 10-20 cm toprak derinliğinde 0.53 dS m^{-1} olarak belirlenen EC değerine göre istatistiksel olarak çok önemli derecede yüksek bulunmuştur (Tablo 4.30). Malç uygulamalarının toprak EC'si üzerine olan etkisi incelendiğinde de en yüksek EC değerlerinin aralarında istatistiksel fark bulunmayan KM ve kontrol uygulamalarında (sırasıyla 0.79 ve 0.69 dS m^{-1}) elde edildiği görülmektedir. En düşük EC değerleri ise istatistiksel olarak aynı grupta yer alan BPM ve GPM uygulamalarından (sırasıyla 0.48 ve 0.46 dS m^{-1}) elde edilmiştir (Tablo 4.30). Araştırmacılar toprak sıcaklığının artmasıyla mikrobiyal aktivitenin arttığını ve topraktaki parçalanma ve ayrışma hızının da buna bağlı olarak artış gösterdiğini bildirmektedirler (Ekberli ve Dengiz, 2016). Bu nedenle malç uygulamalarındaki etkinin ana nedeninin farklı malç uygulamalarında toprak sıcaklığında ve nem içeriğinde meydana gelen değişkenliklerin olduğu düşünülmektedir. Mohd-Aizat et al. (2014) çalışmalarında pH'nın, toprak sıcaklığının, toprak neminin, tekstür, porozite ve farklı mineral içeriklerinin EC üzerine etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışmada istatistiksel olarak biyokömür dozlarının EC üzerine etkisi önemsiz bulunmuş olmakla birlikte kontrole göre biyokömür uygulamasının EC değerini kısmen artırdığı belirlenmiştir (Tablo 4.30). Bulgularımızın aksine Taşdemir (2021) farklı organik materyallerin ve biyokömür uygulamalarının EC değerleri üzerinde istatistiksel farka neden olduğunu bildirmektedir. Nigussie et al. (2012)'da krom ile kirlenmiş topraklara biyokömür ilavesi yaparak marul bitkisi yetiştirmişler ve deneme sonunda aldıkları toprak örneklerinin EC değerleri arasında önemli artışın olduğunu

rapor etmişlerdir. Aynı şekilde bazı çalışmalarda, biyokömür uygulamasının EC değerini arttırdığı belirtilmiş (Jafari Tarf, 2019; Abdulwahhab, 2020), bunun da biyokömürün piroliz sürecinde bazı elementlerin çözünürlüğünün artması ve serbest hale geçmesi (Chintala et al., 2013) ile ilgili olduğu bildirilmiştir.

Mevcut çalışmada tüm uygulamaların toprak EC'si üzerine olan etkileri birlikte değerlendirildiğinde, EC değerlerinin 0.36-1.06 dS m⁻¹ arasında değiştiği saptanmıştır (Tablo 4.30). Bu değerler Soil Survey Staff (1951)'a göre sınıflandırıldığında tuzsuz sınıfta yer almaktadır.

Biyokömür dozlarının toprak organik madde içeriğine etkileri istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunurken, toprak derinliği ve malç uygulamalarının yanı sıra ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonların etkileri önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.27). Biyokömür dozlarının toprak organik madde içeriği üzerine olan etkileri incelendiğinde; biyokömürün 0.0 ve 0.8 ton da⁻¹ uygulandığı masuralarda toprak organik madde içeriği (sırasıyla %8.10 ve 7.59), 1.6 ton da⁻¹ biyokömür uygulamasına (%7.14) göre önemli derecede yüksek bulunmuştur (Tablo 4.30). Biyokömürün 0.0 ve 0.8 ton da⁻¹ uygulamalarının toprak organik madde içeriği üzerine olan etkileri ise istatistiksel olarak aynı grupta sınıflandırılmıştır.

Ayrıca çalışma alanının toprak özelliklerinin ortaya konulması amacıyla deneme başlangıcında alınan toprak örneklerinin organik madde içeriğiyle (%5.97-6.50) karşılaştırıldığında (Tablo 3.1), tüm uygulamaların deneme alanı topraklarında organik madde içeriğini artırdığı (%6.36-8.80) saptanmıştır (Tablo 4.30).

Tablo 4.27. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak organik madde değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.839	0.739	0.485
Derinlik (D)	1	0.038	0.033	0.857
Hata-1 (BlokxD)	2	0.977	0.861	0.432
Malç (M)	3	1.512	1.333	0.281
DxM	3	0.984	0.867	0.468
Hata-2 (BlokxDxM)	12	0.810	0.714	0.726
Biyokömür (B)	2	5.615	4.951	0.013
DxB	2	0.241	0.213	0.810
MxB	6	0.509	0.449	0.841
DxMxB	6	0.073	0.064	0.999
Toplam Hata	32	1.134		

Farklı malç ve biyokömür dozu uygulamaları ile yürütülen marul yetiştiriciliği hasatından sonra sera alanı topraklarında organik madde içeriği, deneme başlangıcına göre artmasına karşın organik madde yeterlilik sınıfının (çok yüksek) değişmediği görülmektedir (Hazelton and Murphy, 2007). Sera alanı topraklarında başlangıçta organik madde içeriğinin bu kadar yüksek çıkmasının nedeninin, bu alanda önceki yıllarda sürekli olarak organik ve inorganik gübre uygulamalarının yapılmasının yanı sıra sera alanında kalan bitki atıklarının da toprak içerisine işlenmesi olarak değerlendirilmektedir. Birçok araştırmacı toprak organik madde içeriğinin çoğu toprak özelliği üzerinde önemli etkileri olduğunu bildirmiştir (Ghuman and Sur, 2001; Liyanage and Leelamane, 2016; Ma et al., 2016) Buna karşılık, mevcut çalışmada organik madde içeriğinin denemenin başlangıcında da yüksek bulunmasının farklı malç ve biyokömür uygulamalarının incelenen çoğu toprak özelliği üzerine etkilerini sınırlamış olabileceği değerlendirilmektedir.

Son yıllarda tarımda biyokömür uygulamaları toprak düzenleyici olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni biyokömür materyalinin toprakların pH'sını, su tutma kapasitesini, organik madde içeriğini artırarak ve mikrobiyal aktiviteyi destekleyerek yetiştirilen ürünün verimine ve toprak verimliliğine önemli katkılar sağlamasıdır (Steiner et al., 2007; Chan et al., 2008; Dias et al., 2010). Araştırma verilerimizi destekler nitelikte araştırmacılar biyokömür uygulamalarının toprak organik madde içeriği üzerinde etkili olduğunu bildirmektedirler. Yılmaz ve Kurt (2018) biyokömür ve vermikompost uygulamalarının organik madde içeriği üzerine etkilerini incelediği çalışmasında inkübasyon dönemine bağlı olarak meydana gelen değişimlerin (UygulamaDönem) etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu ve meydana gelen artışların dönemsel olarak farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir.

Ana etkilerden toprak derinliği, malç uygulamaları, biyokömür dozları ile bunların ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonlarının suya dayanıklı agregat içeriği üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.28). Mevcut çalışmanın sonuçlarıyla benzerlik ve farklılık gösteren çalışmalara literatürde rastlanılmaktadır. Jafari Tarf (2019)'ın yaptığı çalışmada farklı biyokömür dozu uygulamalarının suya dayanıklı agregat içeriği üzerine olan etkisinin istatistiki anlamda önemsiz olduğu, ancak materyal ve materyal x doz interaksiyonunun %1 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Aksakal (2011) yaptığı çalışmada farklı oranlarda buğday samanını malç olarak kullanarak bazı toprak özellikleri üzerine

etkilerini araştırmıştır. Araştırmacı, yaptığı deneme sonucunda agregat stabilitesi değerlerini %11.11-58.80 aralığında bulmuştur. Taşdemir (2021) de farklı organik materyallerin (anız, kül) ve biyokömür uygulamalarının toprakların agregat stabilitesi değeri üzerine etkileri arasında istatistiksel olarak önemli fark olduğunu belirlemiştir.

Sönmez (2014) mısır bitkisi yetiştirilen killi tın bünyeye sahip topraklara uygulanan beş farklı biyogübrenin agregat oluşumu ve stabilitesi üzerine etkilerini incelemiştir. Deneme sonunda incelenen deneme topraklarından elde edilen makro (2-1 mm) ve mikro (0.25-0.05 mm) boyuta sahip agregatların organik karbon içerikleri ve agregat stabilite değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli farkların olduğu ve aralarında pozitif bir ilişki bulunduğu saptanmıştır. Hernández et al. (2016) kompost uygulamalarının, inorganik gübreleme yerine kullanımının uygulanabilirliğini araştırdıkları çalışmada ikinci marul mahsulünden sonra, alınan toprak örneklerinde agregat stabilitesi ve toprak su tutma kapasitesi gibi toprak fiziksel özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda kompost uygulamalarının, inorganik gübre uygulanan topraklara göre stabil agregat yüzdesini ve su tutma kapasitesini artırdığı tespit edilmiştir. Yine mevcut çalışmanın sonuçlarından farklı olarak birçok araştırmacı toprağa organik materyal uygulamasının uygulanan organik materyal miktarlarına bağlı olarak agregat stabilitesini artırdığını bildirmişlerdir (Mapa and Gunasena, 1995; Sharratt, 1996; Erdel, 2013; Taşdemir, 2021).

Tablo 4.28. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak suya dayanıklı agregat değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.033	2.865	0.072
Derinlik (D)	1	0.012	1.017	0.321
Hata-1 (BlokxD)	2	0.002	0.157	0.855
Malç (M)	3	0.009	0.752	0.529
DxM	3	0.005	0.400	0.754
Hata-2 (BlokxDxM)	12	0.007	0.617	0.812
Biyokömür (B)	2	0.008	0.672	0.518
DxB	2	0.000	0.025	0.975
MxB	6	0.008	0.701	0.651
DxMxB	6	0.015	1.292	0.289
Toplam Hata	32	0.012		

Logaritmik transformasyon uygulanmıştır

0-10 cm toprak derinliğinde suya dayanıklı agregat (SDA) değerlerine bakıldığında; en yüksek suya dayanıklı agregat yüzdesi GPM (%60.52) uygulamasında, en düşük ise BPM (%35.82) uygulamasında tespit edilmiştir. 10-20

cm toprak derinliğindeki suya dayanıklı agregat değerlerine bakıldığında da yine yüzey toprağında olduğu gibi en yüksek suya dayanıklı agregat yüzdesi GPM (%50.13) uygulamasında ve en düşük suya dayanıklı agregat yüzdesi ise BPM (%32.72) uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 4.30).

Biyokömür uygulamalarının toprak strüktür stabilite indeksi (SSİ) değerlerine etkileri istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunmuş, malç uygulamaları ve toprak derinliğinin yanı sıra ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonların etkileri ise önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.29). Biyokömür uygulamalarının toprak SSİ üzerine etkileri incelendiğinde; 1.6 ton da⁻¹ biyokömür uygulaması yapılan topraklardaki SSİ değeri (%15.19), 0.0 ton da⁻¹ biyokömür uygulaması yapılan topraklara (%17.24) göre önemli derecede düşük bulunmuştur (Tablo 4.30). SSİ>%9 olan topraklar kararlı strüktürü, %7<SSİ≤%9 olan topraklarda düşük strüktürel bozulma riskini, %5<SSİ≤%7 olan topraklarda yüksek bozulma riskini ve SSİ≤%5 olan topraklar ise strüktürel olarak bozulmuş toprağı gösterirler (Reynolds et al., 2009). Çalışmada tüm uygulamaların toprak strüktür stabilite indeksi üzerine olan etkileri birlikte değerlendirildiğinde, strüktür stabilite indeksi değerlerinin %13.63-18.65 arasında değiştiği belirlenmiş olup, toprakların kararlı yapıya sahip olduğu saptanmıştır. Du et al. (2017) toprağı uyguladıkları biyokömürün 6 yıllık etkisine baktıkları çalışmalarında toprak makro agregat oluşumunun ve strüktür stabilitesinin biyokömür uygulamalarıyla arttığını bildirmişlerdir.

Tablo 4.29. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak strüktür stabilite indeksine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	6.405	1.073	0.354
Derinlik (D)	1	0.569	0.095	0.759
Hata-1 (BlokxD)	2	4.389	0.736	0.487
Malç (M)	3	12.363	2.072	0.124
DxM	3	1.559	0.261	0.853
Hata-2 (BlokxDxM)	12	4.147	0.695	0.744
Biyokömür (B)	2	26.505	4.442	0.020
DxB	2	1.179	0.198	0.822
MxB	6	1.439	0.241	0.959
DxMxB	6	0.259	0.043	1.000
Toplam Hata	32	5.968		

Farklı malç ve biyokömür dozu uygulamalarının toprak hacim ağırlığı üzerine olan etkilerine ilişkin sonuçlar Tablo 4.31’de sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre toprak derinliğinin toprak hacim ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak %5

düzeyinde önemli bulunurken malç ve biyokömür dozu uygulamaları ile ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonların toprak hacim ağırlığına etkileri ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.31).

Tablo 4.30. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak hacim ağırlığına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.005	2.660	0.085
Derinlik (D)	1	0.009	4.218	0.048
Hata-1 (BlokxD)	2	0.005	2.679	0.084
Malç (M)	3	0.001	0.261	0.853
DxM	3	0.001	0.574	0.636
Hata-2 (BlokxDxM)	12	0.005	2.248	0.034
Biyokömür (B)	2	0.005	2.226	0.124
DxB	2	0.005	2.541	0.095
MxB	6	0.003	1.573	0.187
DxMxB	6	0.001	0.485	0.814
Toplam Hata	32	0.002		

Malç uygulamalarının etkileri bakımından incelendiğinde bulgularımıza benzer olarak birçok araştırmacı, malç uygulamalarının hacim ağırlığına etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğunu rapor etmektedir (Acosta et al. 1999; Mulumba and Lal 2008; Erdel, 2013). Çalışma sonuçlarımıza benzer şekilde Alaboz ve Öz (2020)'de yaptıkları çalışmada toprağa uygulanan biyokömür ve solarizasyon uygulamalarının hacim ağırlığı üzerine istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığını bildirmektedir. Öte yandan mevcut çalışmanın sonuçlarından farklı olarak literatürde biyokömür uygulamalarının toprak hacim ağırlığı üzerine istatistiksel olarak önemli etkilerinin bulunduğunu bildiren çalışmalarda bulunmaktadır (Lehmann and Joseph, 2009; Gılab et al., 2016; Ningning et al., 2016; Blanco-Canqui, 2017). Yaptığımız uygulamalardan bağımsız olarak araştırmacılar toprak agregatlarının sıkıştırılmasına veya agregatların dağılmasına bağlı olarak toprakların hacim ağırlıklarının arttığını, toprak katmanlarının daha sıkışmış bir hal aldığını ve toplam toprak hacminin arttığını ifade etmişlerdir (Radford et al., 2000; Badalikova and Hruby, 2006).

Tablo 4.31. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak pH, EC, OM, SDA ve SSİ özellikleri üzerine etkileri

Derinlik (D)	Malç (M)	Biyokömür (B)	pH	EC ⁺⁺ (dS m ⁻¹)	OM (%)	SDA ⁺⁺ (%)	SSİ
0-10	K	0	7.58	0.77	7.88	39.80	16.61
		0.8	7.57	0.87	7.21	39.20	15.26
		1.6	7.61	0.72	7.47	39.47	14.52
	GPM	0	7.62	0.56	7.91	43.24	17.14
		0.8	7.65	0.50	7.31	44.54	16.76
		1.6	7.68	0.42	7.30	60.52	15.97
	BPM	0	7.69	0.44	8.40	50.92	17.77
		0.8	7.59	0.48	7.93	36.49	17.10
		1.6	7.63	0.53	7.22	35.82	15.64
	KM	0	7.52	0.90	7.78	44.07	16.45
		0.8	7.56	0.98	7.72	43.19	16.59
		1.6	7.53	1.06	6.89	42.45	15.29
10-20	K	0	7.63	0.52	7.68	38.01	16.29
		0.8	7.63	0.67	6.64	38.54	14.59
		1.6	7.63	0.60	6.36	43.15	13.63
	GPM	0	7.63	0.36	8.17	41.59	17.56
		0.8	7.64	0.52	7.65	50.13	16.91
		1.6	7.64	0.42	7.58	35.32	15.91
	BPM	0	7.68	0.45	8.80	42.18	18.65
		0.8	7.64	0.45	7.94	32.72	17.51
		1.6	7.59	0.54	7.10	46.11	15.58
	KM	0	7.67	0.56	8.20	40.32	17.43
		0.8	7.58	0.69	8.29	35.30	18.19
		1.6	7.61	0.54	7.16	41.68	14.99
Ana etkiler							
D	0-10	7.60	0.69a	7.58	43.31	16.26	
	10-20	7.62	0.53b	7.63	40.42	16.44	
M	K	7.61ab	0.69a	7.21	39.69	15.15	
	GPM	7.65a	0.46b	7.65	45.89	16.71	
	BPM	7.64a	0.48b	7.90	40.71	17.04	
	KM	7.58b	0.79a	7.68	41.17	16.49	
B	0	7.63	0.57	8.10a	42.52	17.24a	
	0.8	7.61	0.64	7.59ab	40.01	16.61ab	
	1.6	7.62	0.60	7.14b	43.07	15.19b	
D		öd	**	öd	öd	öd	
M		*	**	öd	öd	öd	
B		öd	öd	*	öd	*	
DxMxB		öd	öd	öd	öd	öd	

K: Kontrol, GPM: Geleneksel Polietilen Malç, BPM: Biyobozunur Plastik Malç, KM: Kağıt Malç, OM: Organik Madde, SDA: Suya Dayanıklı Agregat, SSİ: Strüktür Stabilité İndeksi, *: p<0.05, **: p<0.01, öd: önemli değil, ††: Logaritma dönüşümü.

Farklı toprak derinliklerine ait porozite değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Toprak yüzey derinliğinde (0-10 cm) %61.79 olarak belirlenen porozite değeri, toprak derinliği arttığında (10-20 cm) %60.96'ya düşmüştür. Farklı toprak derinliklerinde porozite değeri arasında fark

bulunmasına rağmen, malç ve biyokömür dozu uygulamaları ile ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonların etkileri bakımından istatistiksel olarak önemli farklar bulunmamıştır (Tablo 4.32). Verilerimizin aksine, Taşdemir (2021) organik materyal ve biyokömür uygulamalarının toprakların toplam porozite değeri üzerine etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğunu ve porozite değerlerini %39.33-63.71 aralığında bulduğunu bildirmiştir.

Tablo 4.32. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak porozitesine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	7.728	2.660	0.085
Derinlik (D)	1	12.255	4.218	0.048
Hata-1 (BlokxD)	2	7.784	2.679	0.084
Malç (M)	3	0.759	0.261	0.853
DxM	3	1.668	0.574	0.636
Hata-2 (BlokxDxM)	12	6.532	2.248	0.034
Biyokömür (B)	2	6.467	2.226	0.124
DxB	2	7.383	2.541	0.095
MxB	6	4.571	1.573	0.187
DxMxB	6	1.410	0.485	0.814
Toplam Hata	32	2.905		

Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak makropor içeriğine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.33’de sunulmuştur. Elde edilen bu sonuçlara göre biyokömür uygulamalarının makropor içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Ana etkilere derinlik ve malç uygulamaları ile ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonların makropor içeriği üzerine etkileri ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.33).

Tablo 4.33. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki makropor içeriğine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	7.464	1.010	0.375
Derinlik (D)	1	1.046	0.142	0.709
Hata-1 (BlokxD)	2	16.308	2.208	0.126
Malç (M)	3	8.822	1.194	0.328
DxM	3	1.161	0.157	0.924
Hata-2 (BlokxDxM)	12	10.085	1.365	0.233
Biyokömür (B)	2	25.376	3.435	0.045
DxB	2	0.270	0.036	0.964
MxB	6	2.233	0.302	0.931
DxMxB	6	5.486	0.743	0.619
Toplam Hata	32	7.387		

Reynolds et al. (2009) en ideal makropor aralığını $P_{MAC} \geq 0.05-0.10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ olarak belirtirken, $P_{MAC} \leq 0.04 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ değerlerinin ise sıkışma ile bozulmuş topraklarda bulunduğunu bildirmişlerdir (Carter, 1988; Drewry et al., 2001; Drewry and Paton, 2005). Mevcut çalışmada en yüksek makropor değerleri %8.19 ile biyokömür uygulanması yapılmayan (0.0 ton da^{-1}) topraklarda bulunurken, 0.8 ton da^{-1} ve 1.6 ton da^{-1} biyokömür uygulamalarında ise makropor içeriğinin daha düşük değerler aldığı saptanmıştır (Tablo 4.36). Ancak gerek biyokömür uygulanmayan gerekse uygulanan masuralarda elde edilen ortalama makropor değerlerinin tamamının ideal aralıklar arasında olduğu belirlenmiştir (Reynolds et al., 2009). Bununla birlikte, Castellini et al. (2015), mevcut çalışmanın bulgularından farklı olarak biyokömür uygulamalarının makropor oranını artırdığını ve makropor içeriğinin %11.3-26.3 arasında değiştiğini bildirmektedir.

Varyans analiz sonucuna göre ana etkilere derinlik, malç, biyokömür dozları ile ikili (MxB, DxM, DxB), üçlü (DxMxB) interaksiyonların havalanma kapasitesi (HK) içeriğine olan etkileri, istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.34). Mevcut çalışmada biyokömür uygulamalarının toprak havalanma kapasitesi üzerine etkilerinin istatistiksel olarak önemli olmadığı ve havalanma kapasitesi içeriğinin %22.87-27.85 arasında değiştiği saptanmıştır (Tablo 4.36). White (2006), bitki kök bölgesinde ürüne zarar veren veya verimi azaltan havalanma kapasitesi sınır değerinin geleneksel olarak $10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ olduğunu ifade etmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise kumlu tın ve killi tın topraklarda bu sınır değerinin $14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ olduğu bildirilmiştir (Drewry, 2006; Mueller et al., 2008). Mevcut çalışmada elde edilen havalanma kapasitesi değerleri bu sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Castellini et al. (2015)'da biyokömür uygulamalarının havalanma kapasitesi oranını artırdığını ve elde etmiş oldukları ortalama havalanma kapasitesi değerlerinin $0.17-0.24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Tablo 4.34. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak havalanma kapasitesine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	11.123	1.816	0.179
Derinlik (D)	1	19.809	3.234	0.082
Hata-1 (BlokxD)	2	14.655	2.393	0.108
Malç (M)	3	1.232	0.201	0.895
DxM	3	1.983	0.324	0.808
Hata-2 (BlokxDxM)	12	7.253	1.184	0.335
Biyokömür (B)	2	3.815	0.623	0.543
DxB	2	8.867	1.448	0.250
MxB	6	4.315	0.704	0.648
DxMxB	6	1.327	0.217	0.969
Toplam Hata	32	6.124		

Biyokömür dozlarının doymuş hidrolik iletkenlik (DHİ) değerleri üzerine olan etkileri %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuş, buna karşın toprak derinliği ve malç uygulamaları ile ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonların etkileri ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.35).

Tablo 4.35. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak doymuş hidrolik iletkenlik değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.197	6.143	0.006
Derinlik (D)	1	0.001	0.045	0.833
Hata-1 (BlokxD)	2	0.039	1.221	0.308
Malç (M)	3	0.076	2.367	0.089
DxM	3	0.029	0.890	0.457
Hata-2 (BlokxDxM)	12	0.054	1.665	0.123
Biyokömür (B)	2	0.137	4.249	0.023
DxB	2	0.040	1.232	0.305
MxB	6	0.021	0.665	0.679
DxMxB	6	0.016	0.506	0.799
Toplam Hata	32	0.032		

Logaritmik transformasyon uygulanmıştır

Çalışmada malç uygulamalarının DHİ üzerine istatistiksel olarak bir etkisi bulunmamış olmakla birlikte, bizim bulgularımızın aksine, Erdel (2013) farklı yoğunluk seviyelerinde saman malç uygulamalarının toprak nemine ve bazı fiziksel özelliklerine etkilerini araştırdığı çalışmasında, toprakların hidrolik iletkenlik özellikleri üzerine kullandıkları yönetim sistemlerinin etkisini önemsiz, malç uygulamasının etkisini ise önemli bulmuştur. Farklı araştırmacılar organik madde ilavesinin hidrolik iletkenlik değerlerini artırdığını bildirmişlerdir (Demir, 2019; Taşdemir, 2021).

Tablo 4.36. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak hacim ağırlığı, porozite, makropor, havalanma kapasitesi ve doymuş hidrolik iletkenlik özellikleri üzerine etkileri

Derinlik (D)	Malç (M)	Biyokömür (B)	Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	Porozite (%)	Makropor (%)	HK (%)	DHİ ^{††} (cm sa ⁻¹)
0-10	K	0	1.02	61.66	8.58	27.65	172.49
		0.8	1.01	62.00	5.66	26.42	119.89
		1.6	0.99	62.64	6.25	26.17	172.29
	GPM	0	0.99	62.75	8.30	27.85	202.97
		0.8	1.05	60.23	6.42	25.15	156.97
		1.6	1.00	62.47	5.33	27.16	106.52
	BPM	0	1.03	61.10	8.27	26.59	116.80
		0.8	1.05	60.24	7.43	26.03	167.81
		1.6	0.98	63.02	7.28	27.13	117.12
	KM	0	1.00	62.29	6.68	26.42	120.53
		0.8	1.04	60.84	5.94	25.38	105.82
		1.6	1.00	62.22	6.49	27.32	96.81
10-20	K	0	1.05	60.21	8.85	25.55	154.70
		0.8	1.03	61.17	7.41	26.27	108.04
		1.6	1.04	60.61	4.29	22.87	101.50
	GPM	0	1.02	61.42	6.42	26.52	226.18
		0.8	1.05	60.27	5.31	25.67	160.91
		1.6	1.06	59.97	7.23	24.20	167.74
	BPM	0	1.04	60.83	9.87	25.37	169.79
		0.8	1.03	61.25	6.79	26.34	109.98
		1.6	1.03	61.19	8.57	27.15	164.92
	KM	0	0.95	64.09	8.58	26.38	217.54
		0.8	1.05	60.35	6.75	25.59	79.70
		1.6	1.06	60.17	5.46	24.76	123.79
Ana etkiler							
D	0-10		1.01b	61.79a	6.89	26.61	138.00
		10-20	1.04a	60.96b	7.13	25.56	148.73
M	K		1.02	61.38	6.84	25.82	138.15
	GPM		1.03	61.19	6.50	26.09	170.22
	BPM		1.03	61.27	8.04	26.44	141.07
	KM		1.02	61.66	6.65	25.97	124.03
B	0		1.01	61.79	8.19a	26.54	172.63a
	0.8		1.04	60.79	6.46b	25.86	126.14b
	1.6		1.02	61.54	6.36b	25.85	131.34b
D			*	*	öd	öd	öd
M			öd	öd	öd	öd	öd
B			öd	öd	*	öd	*
DxMxB			öd	öd	öd	öd	öd

K: Kontrol, GPM: Geleneksel Polietilen Malç, BPM: Biyobozunur Plastik Malç, KM: Kağıt Malç, *: p<0.05, öd: önemli değil, HK: Havalanma Kapasitesi, DHİ: Doymuş Hidrolik İletkenlik ^{††}: Logaritma dönüşümü.

Biyokömür dozlarının DHİ değerleri üzerine etkileri incelendiğinde; 0.0 ton da⁻¹ biyokömür dozu uygulaması yapılan masura topraklarında DHİ değeri (172.63 cm

sa⁻¹), 0.8 ve 1.6 ton da⁻¹ biyokömür dozu uygulamaları yapılan masuralardaki DHİ değerlerine göre önemli derecede yüksek bulunmuştur (Tablo 4.36). 0.8 ve 1.6 ton da⁻¹ biyokömür dozu uygulamalarının DHİ değerleri üzerine etkileri ise istatistiksel olarak aynı grupta sınıflandırılmıştır. Bunun yanı sıra tüm uygulamaların DHİ değerleri üzerine olan etkileri birlikte değerlendirildiğinde, değerlerin 79.70-226.18 cm sa⁻¹ arasında değiştiği saptanmıştır (Tablo 4.36).

Ana etkilerden derinlik, malç ve biyokömür dozları ile ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonların tarla kapasitesi değerleri üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.37).

Tablo 4.37. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak tarla kapasitesine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	21.392	3.869	0.031
Derinlik (D)	1	13.328	2.410	0.130
Hata-1 (BlokxD)	2	0.355	0.064	0.938
Malç (M)	3	4.285	0.775	0.517
DxM	3	7.075	1.280	0.298
Hata-2 (BlokxDxM)	12	2.278	0.412	0.948
Biyokömür (B)	2	1.464	0.265	0.769
DxB	2	1.559	0.282	0.756
MxB	6	4.133	0.747	0.616
DxMxB	6	1.398	0.253	0.955
Toplam Hata	32	5.529		

Çalışma sonuçlarının aksine Taşdemir (2021) organik materyal ve biyokömür uygulamalarının toprakların tarla kapasitesi değeri üzerine etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğunu ve tarla kapasitesi değerlerinin %33.31-52.20 arasında değiştiğini bildirmiştir. Yine toprağa karıştırılan biyokömürlerin toprak fiziksel özelliklerini geliştirdiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Lehmann and Joseph, 2009; Gılab et al., 2016; Hernández et al., 2016; Ningning et al., 2016; Taşdemir, 2021).

Toprak derinliğinin nispi tarla kapasitesi (TK_{nispi}) içeriğine etkileri %1 düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunurken, malç ve biyokömür dozu uygulamaları ile ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonların etkileri önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.38). Toprak derinliğinin TK_{nispi} içeriğine etkileri incelendiğinde; 10-20 cm toprak derinliğinin (0.30), 0-10 cm toprak derinliğine göre önemli derecede yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra TK_{nispi} içeriğine olan

etkileri birlikte değerlendirildiğinde, TK_{nispi} içeriği değerlerinin %0.18-0.40 arasında değiştiği saptanmıştır (Tablo 4.40).

Bitki kök bölgesi toprak su kapasitesi ile toprak hava kapasitesi arasındaki optimal denge, $0.6 \leq TK_{nispi} \leq 0.7$ olduğunda elde edilebilir, çünkü bu aralık genellikle mineral topraklarda mikrobiyal nitrat üretimini maksimize etmektedir (Doran et al., 1990; Olness et al., 1998). Düşük TK_{nispi} değerleri (yani $TK_{nispi} < 0.6$), yetersiz toprak suyu ("suyun sınırlı" olduğu toprak) nedeniyle mikrobiyal aktivitenin azalmasına (ve dolayısıyla nitrat üretiminin azalmasına) neden olurken, daha yüksek TK_{nispi} değerleri ($TK_{nispi} > 0.7$) ise toprak havasının yetersiz olması ("havalanması sınırlı" toprak) nedeniyle düşük mikrobiyal aktiviteye neden olur (Linn and Doran, 1984; Skopp et al., 1990; Reynolds et al., 2008). Ayrıca optimal TK_{nispi} aralığının bir diğer önemli özelliği, toprak tekstüründen, organik karbon içeriğinden ve toprak hacim ağırlığından büyük ölçüde bağımsız görünmesidir (Linn and Doran, 1984; Skopp et al., 1990) ve bu nedenle de çoğu mineral toprak için geçerlidir. Bu optimal TK_{nispi} aralığı dikkate alınarak mevcut çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde çalışma alanı topraklarının TK_{nispi} 'nin düşük bulunduğu ($TK_{nispi} < 0.6$) görülmektedir.

Toprak derinlikleri, malç ve biyokömür dozu uygulamaları ile ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonların daimi solma noktasına (DSN) etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.39). Mevcut çalışmada DSN değerlerinin %18.70-28.92 arasında değiştiği saptanmıştır (Tablo 4.40). Bununla birlikte, birçok araştırmacı da elde edilen sonuçlara benzer olarak topraktaki organik karbon miktarındaki artışların DSN değerlerini etkilediğini bildirmişlerdir (Rawls et al., 2003; Birol ve Bender Özenç, 2011; Aygün, 2015; Ma et al., 2016).

Tablo 4.38. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak nispi tarla kapasitesine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.022	3.433	0.045
Derinlik (D)	1	0.052	7.921	0.008
Hata-1 (BlokxD)	2	0.007	1.052	0.361
Malç (M)	3	0.002	0.237	0.870
DxM	3	0.010	1.584	0.213
Hata-2 (BlokxDxM)	12	0.008	1.220	0.312
Biyokömür (B)	2	0.011	1.680	0.202
DxB	2	0.005	0.826	0.447
MxB	6	0.012	1.881	0.115
DxMxB	6	0.001	0.191	0.977
Toplam Hata	32	0.007		

Tablo 4.39. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak daimi solma noktasına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	0.003	1.189	0.318
Derinlik (D)	1	0.010	4.107	0.051
Hata-1 (BlokxD)	2	0.002	0.692	0.508
Malç (M)	3	7.772E-005	0.033	0.992
DxM	3	0.005	2.281	0.098
Hata-2 (BlokxDxM)	12	0.002	0.735	0.708
Biyokömür (B)	2	0.001	0.395	0.677
DxB	2	0.002	1.042	0.364
MxB	6	0.000	0.201	0.974
DxMxB	6	0.005	2.247	0.064
Toplam Hata	32	0.002		

Logaritmik transformasyon uygulanmıştır

Bitkiye yarayışlı su içeriği bakımından toprak derinliği, malç ve biyokömür dozu uygulamaları ile ikili (MxB, DxM, DxB) ve üçlü (DxMxB) interaksiyonlarının etkileri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır (Tablo 4.40).

Tablo 4.40. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak bitkiye yarayışlı su değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	Önemlilik
Blok (B)	2	14.258	1.247	0.301
Derinlik (D)	1	2.301	0.201	0.657
Hata-1 (BlokxD)	2	4.193	0.367	0.696
Malç (M)	3	3.005	0.263	0.852
DxM	3	6.239	0.546	0.655
Hata-2 (BlokxDxM)	12	5.477	0.479	0.912
Biyokömür (B)	2	1.539	0.135	0.875
DxB	2	11.071	0.968	0.391
MxB	6	5.754	0.503	0.801
DxMxB	6	17.768	1.554	0.193
Toplam Hata	32	11.432		

Literatürde yapmış olduğumuz çalışma sonuçlarına benzer nitelikte yani biyokömür uygulamalarının bitkiye yarayışlı su içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli etkilerinin bulunmadığını bildiren çalışmaların (Abel et al., 2013; Hardie et al., 2014) yanı sıra, toprağa biyokömür uygulamalarının bitkiye yarayışlı su içeriği değerlerini istatistiksel olarak önemli ölçüde artırdığını (Gláb et al., 2016; Hansen et al., 2016; Omondi et al., 2016; Zhang et al., 2021) veya azalttığını (Jeffery et al., 2015; Kameyama et al., 2016; Aller et al., 2017) rapor eden çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Tablo 4.41. Malç ve biyokömür uygulamalarının farklı derinliklerdeki toprak TK, TK_{nispi}, DSN ve BYS özellikleri üzerine etkileri

Toprak derinliği (D)	Malç (M)	Biyokömür (B)	TK (%)	TK _{nispi} (%)	DSN ^{††} (%)	BYS (%)
0-10	K	0	34.16	0.19	22.88	11.28
		0.8	35.94	0.26	18.70	17.24
		1.6	35.96	0.27	22.77	13.19
	GPM	0	33.96	0.18	22.35	11.61
		0.8	36.31	0.31	24.29	12.02
		1.6	34.06	0.20	22.45	11.61
	BPM	0	37.71	0.29	22.45	15.26
		0.8	35.46	0.27	23.90	11.56
		1.6	35.27	0.23	22.18	13.09
	KM	0	35.64	0.25	22.74	12.90
		0.8	36.68	0.30	23.14	13.54
		1.6	35.59	0.23	22.72	12.87
10-20	K	0	37.60	0.32	23.57	14.03
		0.8	37.18	0.29	28.92	8.26
		1.6	38.00	0.40	23.67	14.33
	GPM	0	35.05	0.24	22.88	12.17
		0.8	36.87	0.39	22.81	14.06
		1.6	36.74	0.34	24.37	12.37
	BPM	0	36.90	0.31	22.58	14.31
		0.8	36.08	0.27	23.80	12.28
		1.6	36.64	0.26	23.70	12.94
	KM	0	35.38	0.25	21.97	13.41
		0.8	35.65	0.28	23.44	12.21
		1.6	34.97	0.29	23.49	11.48
Ana etkiler						
D	0-10	35.56	0.25b	22.55	13.01	
	10-20	36.42	0.30a	23.77	12.66	
M	K	36.47	0.29	23.42	13.06	
	GPM	35.50	0.28	23.19	12.31	
	BPM	36.34	0.27	23.10	13.24	
	KM	35.65	0.27	22.92	12.74	
B	0	35.80	0.25	22.68	13.12	
	0.8	36.27	0.30	23.63	12.65	
	1.6	35.90	0.28	23.17	12.74	
D		öd	**	öd	öd	
M		öd	öd	öd	öd	
B		öd	öd	öd	öd	
DxMxB		öd	öd	öd	öd	

K: Kontrol, GPM: Geleneksel Polietilen Malç, BPM: Biyobozunur Plastik Malç, KM: Kağıt Malç, öd: önemli değil, *: p<0.05, **: p<0.01, TK: Tarla Kapasitesi, TK_{nispi}: Nispi Tarla Kapasitesi, DSN: Daimi Solma Noktası, BYS: Bitkiye Yarayışlı Su, ††: Logaritma dönüşümü.

Literatürde yapmış olduğumuz çalışma sonuçlarına benzer nitelikte yani biyokömür uygulamalarının bitkiye yarayışlı su içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli etkilerinin bulunmadığını bildiren çalışmaların (Abel et al., 2013; Hardie et al.,

2014) yanı sıra, toprağa biyokömür uygulamalarının bitkiye yarayışlı su içeriği değerlerini istatistiksel olarak önemli ölçüde artırdığını (Glăb et al., 2016; Hansen et al., 2016; Omondi et al., 2016; Zhang et al., 2021) veya azalttığını (Jeffery et al., 2015; Kameyama et al., 2016; Aller et al., 2017) rapor eden çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Mevcut çalışmada farklı malç ve biyokömür dozu uygulamalarının bitkiye yarayışlı su içeriği üzerinde istatistiksel olarak önemli bir fark ortaya koyamamasının nedeninin deneme alanı topraklarının başlangıçtaki organik madde içeriği değerlerinin yüksek olmasının yanı sıra uygulama konularının suya dayanıklı agregat stabilesi üzerine etkilerinin önemsiz olmasından kaynaklı olabileceği değerlendirilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sera koşullarında gerçekleştirilen bu çalışma, farklı malç ve biyokömür dozu uygulamalarının toprak fiziksel özellikleri ile marul bitkisinin verim ve kalite parametrelerine etkilerini belirlemek ve bu uygulama konuları ile ilgili geleceğe yönelik sürdürülebilir öneriler ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür. Öte yandan mevcut çalışmada malç uygulamalarının toprağa ilave edilen biyokömür üzerine etkileri ve bu etkilerin marul bitkisinin yetişmesindeki dönemsel yansımalarının da araştırılması amaçlanmıştır.

Bitkisel özellikler bakımından araştırma sonuçları ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde; denemede bitki boyu, baş çapı, yaprak uzunluğu, yaprak eni, klorofil, L, a, b, SÇKM, kuru madde, kök boğazı çapı, kök uzunluğu, kök yaş ve kuru ağırlığı, baş ağırlığı, dekara verim değerlerinde ürün dönemleri %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Bitki gelişimleri ve verim bakımından en önemli farklılıkların farklı ürün sezonlarında gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumun nedeni yetiştirme sezonunda marul bitkilerinin farklı sıcaklık ve nem değerlerine maruz kalmaları ile toprağa uygulanan biyokömür materyalinin toprağa etki süresinin uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen veriler ışığında dekara verim üzerine dönem ve malç uygulamalarının etkilerinin oldukça başarılı olduğu, biyokömür uygulamasının ise bir fark yaratmadığı söylenebilmektedir. Biyokömür uygulamalarının istatistiki bir fark yaratmamasının sebebi toprakta çözünme süresinin uzun olması, uygulanan dozların yetersiz olması ve biyokömür içeriğine bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Malç uygulamalarının etkisi incelendiğinde; malçlar arasında kök uzunluğu, yaprak uzunluğu, yaprak sayısı, baş ağırlığı ve dekara verim değerlerinde %1, bitki boyu ve baş çapı değerlerinde %5 düzeyinde istatistiksel fark bulunduğu tespit edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda araştırmacılar malç kullanımının bitkilerde erkencilikte, verim artışında ve diğer kalite parametrelerinde farklara yol açtığını bildirmişlerdir (Abak vd., 1990; Pakyürek et al., 1994; Koçar, 2001; Jenni et al., 2004; Moniruzzaman, 2006; Xu et al., 2016). Çalışmada değişik malç materyellerinin kullanımları toprak altı sıcaklığını, buharlaşmayı ve yabancı ot çıkışı farklı oranlarda

etkilediğinden malç uygulamalarına bağlı olarak bu farklılıkların ortaya çıkması gayet normaldir.

Toprak özellikleri bakımından araştırma sonuçları ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde ise biyokömür uygulamalarının toprağın organik madde (OM) içeriğine, strüktür stabile indeksine (SSI), makropor düzeyine ve doymuş hidrolik iletkenlik (DHI) içeriğine etkilerinin %5 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Malç uygulamalarının toprak özelliklerine etkileri incelendiğinde; elektriksel iletkenlik (EC) üzerine %1 düzeyinde, toprak reaksiyonu (pH) üzerine ise %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli etkileri olduğu bulunmuştur.

Gerek sera gerekse açık alan bitkisel üretim sahalarında geleneksel polietilen plastik malç (GPM) yerine biyobozunur plastik malç (BPM) kullanımı hasat sonrası malçlama materyalinin imha edilmesiyle ilgili toprak ekosisteminde ortaya çıkan çevresel sorunları önemli ölçüde çözebilir. Biyobozunur plastik malç (BPM) materyallerinin toprak içerisine işlenebilir nitelikte olması, hasat sonrası biyobozunur plastik malç (BPM) materyallerinin üretim alanlarından toplanmasına ihtiyaç duyulmaması ve imha edilmelerine yönelik maliyetlerinin olmaması en önemli avantajlarıdır. Biyolojik olarak parçalanabilir organik polimerlerin kullanıldığı biyobozunur plastik malç (BPM) üretim teknolojisinin geleneksel polietilen plastik malç (GPM) üretim teknolojisine oranla daha yüksek maliyetli olmasına karşın yukarıda belirtilen avantajlar, yüksek üretim maliyetlerini büyük olasılıkla dengeleyebilir. Ancak bu malçların bitkisel üretim sistemlerindeki (sera ve açık alan) tarımsal performanslarının uzun süreli çalışmalarla ortaya konulmasına ve daha geniş ölçeklerde uygulanmalarının desteklenmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

Biyokömür uygulamalarının kimi bitki gelişim parametreleri ve marul verimi ile bazı toprak fiziksel özellikleri üzerine etkileri çalışmada önemli çıkmamıştır. Yapılan çalışmalar biyokömür uygulamalarının hammadde ve piroliz sıcaklığı, uygulama hızı ve yöntemi, ürün, toprak tipi ve çevresel ve biyolojik stresler gibi birçok değişkene bağlı olarak bitkisel parametrelere, verime ve toprak özelliklerine etkisinin olumsuz, olumlu ya da etkisiz olabileceğini göstermektedir. Birçok faktör ve sürecin etkisi dikkate alındığında bitkide ve toprak ortamında biyokömür uygulamaları ile ilgili farklı tepkilerin ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Çalışmanın sera koşullarında toprakta yetiştiricilik sistemi ile marul bitkisinde yürütülmüş olması ve elde edilen sonuçların üreticilere yönelik pratik bilgiler ortaya koyabilir nitelikte olması önemlidir. Her ne kadar biyokömür ile ilgili özellikle son 10 yılda yapılmış birçok çalışma olmasına rağmen, tarımsal kullanımının pratiğe aktarılabilmesi için biyokömür uygulamaları ile ilgili daha detaylı çalışmalara hala ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca mevcut çalışmanın biyobozunur plastik malç (BPM) ile biyokömür uygulamalarının kombinasyonunu içeren sınırlı sayıdaki çalışmalardan birisi olması nedeniyle hem ulusal hem de uluslararası literatür için faydalı olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, M.K. and Anwar, A.A. (2015). Ameliorating effects of biochar derived from poultry manure and white clover residues on soil nutrient status and plant growth promotion-greenhouse experiments. *Plos One*. doi: 10.1371/journal.pone.0131592.
- Abdulwahhab, Q. R. (2020). *Farklı Tekstürdeki Toprakların Bazı Hidrodinamik Özelliklerine Kireç Organik Madde ve Toprak Sıkışmasının Etkilerinin Belirlenmesi*. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Konya.
- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M. and Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*. 202. 183-191.
- Acosta, M.V., Reicher, Z., Bischoff, M. and Turco, R.F. (1999). The role of tree leaf mulch and nitrogen fertilizer on turfgrass soil quality. *Biology and Fertility of Soil*. 29(1). 55-61.
- Adekiya, A.O., Agbede, T.M., Aboyeji, C.M., Dunsin, O. and Simeon, V.T. (2019). Biochar and poultry manure effects on soil properties and radish (*Raphanus sativus* L.) yield. *Biological Agriculture and Horticulture*. 35(1). 33-45.
- Aguilar-Chávez, Á., Díaz-Rojas, M., del Rosario Cárdenas-Aquino, M., Dendooven, L. and Luna-Guido, M. (2012). Greenhouse gas emissions from a wastewater sludge-amended soil cultivated with wheat (*Triticum* spp. L.) as affected by different application rates of charcoal. *Soil Biology and Biochemistry*. 52. 90-95.
- Ahmed, M.S., Salem, E.A. and Helaly, A.A. (2017). Impact of mycorrhizae and polyethylene mulching on growth, yield and seed oil production of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*). *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*. 9. 28-38.
- Aksakal, E. (2011). Toprak yüzey malçının yüzey akış ve toprak kayıpları üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 42(2). 139-144.
- Alaboz, P. ve Işıldar, A.A. (2018). Elma ve gül posası biyokömürlerinin kumlu toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 6(2). 67-72.
- Alaboz, P. ve Öz, H. (2020). Biyokömür ve solarizasyon uygulamalarının bazı toprak fiziksel özellikler üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 35(2). 208-214.
- Al-Bayati, H.J. M., AL-Habar, M.T.A. and AL-Hamdany, S.Y. (2019). Effect of chemical and organic fertilizer and agricultural distances on growth and yield of two lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown under unheated plastic house. *Mesopotamia Journal of Agriculture*. 47(2). 83-95.
- Aller, D., Rathke, S., Laird, D., Cruse, R. and, Hatfield, J., (2017). Impacts of fresh and aged biochar on plant available water and water use efficiency. *Geoderma*. 307. 114-121.
- Al-Wabel, M.I., Hussain, Q., Usman, A.R., Ahmad, M., Abduljabbar, A., Sallam, A.S. and Ok, Y.S. (2018). Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. *Land Degradation and Development*. 29. 2124-2161.
- Amare, G. and Desta, B. (2021). Coloured plastic mulches: impact on soil properties and crop productivity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 8(1). 1-9.
- Andrews, M., Raven, J.A. and Sprent, J.I. (2001). Environmental effects on dry matter partitioning between shoot and root of crop plants: relations with growth and shoot protein concentration. *Ann. Appl. Biol.* 138. 57-68.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analysis Chemists (17th ed)*. Gaithersburg, Maryland USA: Ten Speed Press. AOAC International.

- Carter, M.R. (1988). Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. *Soil & Tillage Res.* 12. 37-51.
- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B. and 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.
- Castellini, M., Giglio, L., Niedda, M., Palumbo, A.D. and Ventrella, D. (2015). Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil. *Soil and Tillage Research*. 154. 1-13.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. and Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*. 45(8). 629-634.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. and Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*. 46. 437-444.
- Chang, C., Sommerfeldt, T.G. and Entz, T. (1991). Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 20. 475-480.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T.E., Malo, D.D. and Julson, J.L. (2013). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 60(3). 393-404.
- Conversa, G., Santamaria P. and Gonnella, M. (2004). Growth, yield and mineral content of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) grown in NFT. *Acta Hort.* 659. 621-628.
- Cormican, T. and Staunton, L. (1991). Factors in mushroom (*Agaricus bisporus*) compost productivity, In: Science and Cultivation of Edible Fungi, Maher (Ed.), Balkema, Rotterdam. 4: 221-224.
- Cozzolino, E., Giordano, M., Fiorentino, N., El-Nakhel, C., Pannico, A., Di Mola, I. and Rouphael, Y. (2020). Appraisal of biodegradable mulching films and vegetal-derived biostimulant application as eco-sustainable practices for enhancing lettuce crop performance and nutritive value. *Agronomy*. 10(3). 427.
- Cui, Y.F., Jun, M.E.N.G., Wang, Q.X., Zhang, W.M., Cheng, X.Y. and Chen, W.F. (2017). Effects of straw and biochar addition on soil nitrogen, carbon, and super rice yield in cold waterlogged paddy soils of North China. *Journal of Integrative Agriculture*. 16(5). 1064-1074.
- Çelik, Y. (2021) *Değişen Gübre Dozlarında PGPR Uygulamalarının Marulda Verim ve Verim Bileşenlerine Etkileri*. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Konya.
- Dai, Z., Wang, Y., Muhammad, N., Yu, X., Xiao, K., Meng, J., Liu, X., Xu, J. and Brookes, P.C. (2014). The effects and mechanisms of soil acidity changes, following incorporation of biochars in three soils differing in initial pH. *Soil Science Society of America Journal*. 78(5). 1606-1614.
- Demir, H., Gölükçü, M., Topuz, A., Özdemir, F., Polat, E. ve Şahin, H. (2003). Yedikule ve iceberg tipi marul çeşitlerinin mineral madde içeriği üzerine ekolojik üretimde farklı organik gübre uygulamalarının etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 16(1). 79-85.
- Demir, Z. (2019). Effects of vermicompost on soil physicochemical properties and lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) yield in greenhouse under different soil water regimes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 50(17). 2151-2168.
- Devereux, R.C., Sturrock, C.J. and Mooney, S.J. (2012). The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*. 103(1). 13-18.

- Di Mola, I., Ottaiano, L., Cozzolino, E., Senatore, M., Sacco, A., El-Nakhel, C., Rouqhael, Y. and Mori, M. (2020). *Trichoderma* spp. and mulching films differentially boost qualitative and quantitative aspects of greenhouse lettuce under diverse N conditions. *Horticulturae*. 6(3). 55.
- Dias, B.O., Silva, C.A., Higashikawa, F.S., Roig, A. and Sánchez-Monedero, M.A. (2010). Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification. *Bioresource Technology*. 101(4). 1239-1246.
- Dodd, I.C., He, J., Turnbull, C. G. N., Lee, S.K. and Critchley, C. (2000). The influence of supra-optimal root-zone temperatures on growth and stomatal conductance in *Capsicum annuum* L. *Journal of Experimental Botany*. 51(343). 239-248.
- Dorak, S. ve Aşık, B.B. (2019). Sıvı form biocharın toprak özellikleri ve marul bitkisi üzerine etkisi. 8. *Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi*. 12-15 Mart 2019, Antalya.
- Doran, J.W., Mielke, L.N. and Power, J.F. (1990). Microbial activity as regulated by soil waterfilled pore space. Symposium III-3, Ecology of Soil Microorganisms in the Microhabitat Environments III. Transactions of the 14th International Congress of Soil Science, August 12–18, Kyoto, Japan, pp. 94–99.
- Drewry, J.J. (2006). Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: a review. *Agric. Ecosys. Environ.* 114. 159-169.
- Drewry, J.J. and Paton, R.J. (2005). Soil physical quality under cattle grazing of a winter-fed brassica crop. *Aust. J. Soil Res.* 43. 525-531.
- Drewry, J.J., Cameron, K.C. and Buchan, G.D. (2001). Effect of simulated dairy cow treading on soil physical properties and ryegrass pasture yield. *New Zealand J. Agric. Res.* 44. 181-190.
- Du, Z.L., Zhao, J.K., Wang, Y.D. and Zhang, Q.Z. (2017). Biochar addition drives soil aggregation and carbon sequestration in aggregate fractions from an intensive agricultural system. *Journal of Soils and Sediments*. 17(3). 581-589.
- Ekberli, İ. ve Dengiz, O. (2016). Bazı inceptisol ve entisol alt grup topraklarının fiziko-kimyasal özellikleriyle ısısal yayılım katsayısı arasındaki regresyon ilişkilerin belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi*. 5(2). 1-10.
- Ekinci, M. ve Dursun, A. (2006). Sebze yetiştiriciliğinde malç kullanımı. *Derim*. 23(1). 20-27.
- Ensarioğlu, K. (2015). *Biochar'ın Bitki Gelişimine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Muğla.
- Erdal, İ., Memici, M., Ekinci, K. and Sukuşu, E. (2018). Effects of tomato harvest residue derived biochars obtained from different pyrolysis temperature on periodical available nutrient concentrations of soils. *Mediterranean Agricultural Sciences*. 32. 75-78.
- Erdel, E. (2013). *Malçlamanın Toprak Nemi ve Bazı Toprak Özelliklerine Etkisi*. Yüksek lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı Erzurum.
- Ergün, R. (2020). *Bitki gelişimini Uyarıcı Rizobakteri (PGPR) ve Sıvı Vermikompost Uygulamalarının Marul Bitkisinin (Lactuca sativa L.) Verimi ve Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sürdürülebilir Tarım ve Gıda Anabilim Dalı İzmir.
- Ergün, Y.A. (2017). *Biyokömür ve Ahır Gübresi Uygulamalarının Topraktaki Bazı Enzim Aktivitelerine, CO₂ Üretimine, Besin Elementi İçeriğine ve Domates Bitkisinin Gelişimine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi (basılmamış). Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Ordu.

- FAO. (2022). Value of agricultural production. Erişim: 13.06.2022, <https://www.fao.org/faostat>.
- Fazal, A. and Bano, A. (2016). Role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), biochar, and chemical fertilizer under salinity stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 47(17). 1985-1993.
- Franquera, E.N. (2015). Effects of plastic mulch color on the total soluble solids, total sugars and chlorophyll content of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Int. J. Agric. Res.* 2. 18-24.
- Franquera, E.N. and Mabesa, R.C. (2016). Colored plastic mulch effects on the yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and soil temperature. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*. 3(3).
- Galadima, M.M., Aziz, A.L.A., Yılmaz, E. and Uz, İ. (2020). Effect of biochar applications on certain quality parameters and lettuce yield (*Lactuca sativa* L.). *Mediterranean Agricultural Sciences*. 33(3). 417-424.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis, part I: physical and mineralogical methods* (2nd ed., pp. 388–409). Madison: ASA and SSSA Agronomy Monograph.
- Ghuman, B.S. and Sur, H.S. (2001). Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate. *Soil and Tillage Research*. 58(1-2). 1-10.
- Głab, T., Palmowska, J., Zaleski, T. and Gondek, K. (2016). Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*. 281. 11- 20.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G. and Zech, W. (2001). The Terra Preta phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*. 88. 37-441.
- Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with biochar-a review. *Biol. Fertil. Soils*. 35. 219–230.
- Gruda, N. (2008). The effect of wood fiber mulch on water retention, soil temperature and growth of vegetable plants. *Journal of Sustainable Agriculture*. 32(4). 629-643.
- Gunes, A., Inal, A., Sahin, O., Taskin, M.B., Atakol, O. and Yılmaz, N. (2015). Variations in mineral element concentrations of poultry manure biochar obtained at different pyrolysis temperatures, and their effects on crop growth and mineral nutrition. *Soil Use and Management*. 31. 429-437.
- Guoju, X., Qiang, Z., Jiangtao, B., Fengju, Z. and Chengke, L. (2012). The relationship between winter temperature rise and soil fertility properties. *Air, Soil and Water Research*. 5. ASWR-S8599.
- Gül, A., Eroğul, D. and Ongun, A.R. (2005). Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. *Scientia Horticulturae*. 106. 464-471.
- Gümüş, B. (2021). *Farklı Bitki Besin Elementi Kompozisyonlarının Su Kültüründe Yetiştirilen Marul Bitkisinin Gelişimi ve Kimi Bitki Besin Elementi İçeriğine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı Bursa.
- Gün, A. (2019). *Marulda (Lactuca sativa L. var. crispa) Organik Gübrelerin Verim ve Kaliteye Etkisi*. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ordu.
- Günal, E., Erdem, H. ve Kaplan, A. (2017). Biyokömür ilavesinin toprakta nitrat ve amonyum yıkanmasına etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 21(1). 77- 83.

- Hailegnaw, N.S., Mercl, F., Pračke, K., Száková, J. and Tlustoš, P. (2019). Mutual relationships of biochar and soil pH, CEC, and exchangeable base cations in a model laboratory experiment. *Journal of Soils and Sediments*. 19(5). 2405-2416.
- Hansen, V., Hauggaard-Nielsen, H., Petersen, C.T., Mikkelsen, T.N. and Müller-Stöver, D. (2016). Effects of gasification biochar on plant-available water capacity and plant growth in two contrasting soil types. *Soil and Tillage Research*. 161. 1-9.
- Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G. and Close, D. (2014). Does biochar influence soil physical properties and soil water availability?. *Plant Soil*. 376. 347–361.
- Hayes, D.G., Dharmalingam, S., Wadsworth, L.C., Leonas, K.K., Miles, C. and Inglis, D.A. (2012). Biodegradable agricultural mulches derived from biopolymers. In C.S. Kishan Khemani (Ed.), *Degradable polymers and materials: Principles and practice*. (pp. 201-223). Washington, DC: American Chemical Society.
- Hazelton, P. and Murphy, B. (2007). Interpreting soil test results: what do all those numbers mean. *NSW Department of Natural Resources*. Australia.
- Hekimoğlu, B. ve Altindeğer, M. (2019). Samsun İli kapa biber sektör raporu. Samsun Valiliği İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Samsun.
- Hendershot, W.H., Lalonde, H. and Duquette, M. (1993). Soil Reaction and Exchangeable Acidity. In Soil Sampling and Methods of Analysis, M.R. Carter (ed.). *Canadian Society of Soil Science*.
- Herath, H.M.S.K., Camps-Arbestain, M. and Hedley, M. (2013). Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*. 209. 188-197.
- Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J.L. and García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops effects on soil and plant. *Soil and Tillage Research*. 160. 14-22.
- Hossain, M.B. and Ryu, K.S. (2017). Effects of organic and inorganic fertilizers on lettuce (*Lactuca sativa* L.) and soil properties. *Saarc J. Agri*. 15(2). 93-102.
- Jackson, M. (1958). Soil chemical analysis. *Prentice-Hall Inc.*, Englewood Cliffs., pg: 1 - 498, New Jersey, USA.
- Jafari Tarf, O. (2019). *Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Biyokömürlerin Toprak Özellikleri ve Buğday Verimine Etkilerinin Karşılaştırılması*. Doktora Tezi. Ankara Fen Bilimleri Enstitüsü Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı Ankara.
- Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., Van Groenigen, J.W., Hungate, B.A. and Verheijen, F. (2017). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*. 12(5). 053001.
- Jeffery, S., Meinders, M.B.J., Stoof, C.R., Bezemer, T.M., van de Voorde, T.F.J., Mommer, L. and van Groenigen, J.W., (2015). Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. *Geoderma*. 251–252. 47-54.
- Jeffery, S., Verheijen, F.G., van der Velde, M. and Bastos, A.C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environmen*. 144(1). 175-187.
- Jones, D.L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T.H. and Murphy, D.V. (2012). Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry*. 45. 113-124.
- Joseph, S.D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C.H., Hook, J., van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B.P. and Lehmann, J. (2010). An Investigation into the reactions of biochar in soil. *Soil Research*. 48. 501-515.

- Kacar, B. (1994). Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri: III, Toprak Analizleri. 149-165, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No: 3, Ankara.
- Kameyama, K., Miyamoto, T., Iwata, Y. and Shiono, T. (2016). Effects of Biochar Produced From Sugarcane Bagasse at Different Pyrolysis Temperatures on Water Retention of a Calcaric Dark Red Soil. *Soil Science*. 181(1). 20-28.
- Karademir, S. (2019). *Farklı Oranlarda Vermikompost Uygulamalarının Marulda (Lactuca sativa L.) Bitki Gelişimi, Kalite Özellikleri ve Besin Elementi İçeriği Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Bolu Abant Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı Bolu.
- Karaer, M. (2020). *Farklı Sulama Seviyelerinin Malçlı ve Malçsız Koşullarda Yetiştirilen Sofralık Domatesin Verim ve Kalitesi Üzerine Etkisi*. Doktora Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı Bursa.
- Karataş, A. ve Büyükdiñç, D.T. (2016). Organik çay atığının ıspanak ve marul yetiştiriciliğinde bitki gelişimi üzerine etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*. 6. 201-210.
- Kayıkçıoğlu, H.H. ve Tepecik, M. (2022). Belediye budama atıklarından farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen biyokömürün, mısır verimi ile bazı toprak özellikleri üzerine etkisi. *MAS Journal of Applied Sciences*. 7(1). 108-127.
- Keith, A., Singh, B. and Dijkstra, F.A. (2015). Biochar reduces the rhizosphere priming effect on soil organic carbon. *Soil Biology & Biochemistry*. 88. 372-379.
- Kemper, W.D. and Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. Ed., Methods of soil analysis. Part 1. *Agronomy Monograph* 9. 2nd ed., Madison, Wisconsin, 425-442.
- Kılıç, B. (2018). *Bazı Organik Gübrelerin Marul Yetiştiriciliğinde Gelişme ve Verim Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Besleme Anabilim Dalı Antalya.
- Kibar, B. (2018). Marulda bitkisel özellikler, bazı kalite özellikleri ve besin elementleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*. 4(2). 149-160.
- Kibar, B. (2022). Farklı dozlarda hümitik asit uygulamalarının taze soğan ve marulda bitki gelişimi ve kalite üzerine etkileri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 8(1). 12-24.
- Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Ngouajio, M. and Fernandez, R.T. (2008). Assessment of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films. Part I: Field study. *Chemosphere*. 71(5). 942-953.
- Klute, A. (1986). Water Retention: Laboratory methods. In Methods of Soil Analysis, A. Klute (ed.), Part I, Physical and Mineralogical Methods (Second edition), pp: 635-662. ASA and SSSA *Agronomy Monograph*. No: 9. Madison, WI.
- Klute, A. and Dirksen, C. (1986). Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods. In Methods of Soil Analysis, A. Klute (ed.), Part I, Physical and Mineralogical Methods (Second edition), pp: 687-732. ASA and SSSA *Agronomy Monograph* no 9. Madison, WI.
- Koçar, G. (2001). Farklı renklerde polietilen ile malçlamanın sera marul yetiştiriciliğine etkileri. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*. 11(1).
- Koçer, G. ve Eltez, S. (2004). Serada domates yetiştiriciliğinde farklı renkte malç kullanımının verim, kalite ve sera beyaz sineği *Trialeurodes vaporariorum* (Westw.)(Homoptera: Aleyrodidae) nimf popülasyonuna olan etkileri üzerine araştırmalar. *Alatarım*. 36.

- Koide, R.T., Nguyen, B.T., Skinner, R.H., Dell, C.J., Peoples, M.S., Adler, P.R. and Drohan, P.J., (2014). Biochar amendment of soil improves resilience to climate change. *GCB Bioenergy*. 1-8.
- Korkmaz, S.S. (2015). *Serada Taze Fasulye Yetiştiriciliğinde Farklı Renklerde Malçların Erkencilik, Verim ve Kalite Üzerine Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Samsun.
- Koudela, M. and Petříková, K. (2008). Nutrients content and yield in selected cultivars of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*). *Horticultural Science*. 35(3). 99-106.
- Köylü, A. (2019). *Bitkisel Malç Uygulamasının İnfiltrasyon ve Bazı Toprak Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kahramanmaraş.
- Kurtar, E. (2010). Isıtmasız cam serada sonbahar dönemi yazlık kabak (*Cucurbita pepo* L.) yetiştiriciliğinde malç uygulamalarının etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 14(2). 69-76.
- Kyrikou, I. and Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. *Journal of Polymers and the Environment*. 15(2). 125-150.
- Lamont, W.J. (2005). Plastics: modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *HortTechnology*. 15. 477-481.
- Lehmann, J. and Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: science, technology and implementation, *Earthscan, London, Routledge*. 2. 1-15.
- Lehmann, J., Cowie, A., Masiello, C.A., Kammann, C., Woolf, D., Amonette, J.E., Cayuela, M.L., Camps-Arbestain, M. and Whitman, T. (2021). Biochar in climate change mitigation. *Nat. Geosci*. 14. 883-892.
- Lehmann, J., Gaunt, J. and Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems: A review. *Mit. Adapt. Strat. Global Chang*. 11. 403-427.
- Lehmann, J., Perira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T. Zech, W. and Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*. 249. 343-357.
- Li, Q., Li, H., Zhang, L., Zhang, S. and Chen, Y. (2018). Mulching improves yield and water-use efficiency of potato cropping in China: a meta-analysis. *Field Crop Res*. 221. 50-60.
- Linn, D.M. and Doran, J.W. (1984). Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 48. 1267-1272.
- Liu, B., Cai, Z., Zhang, Y., Liu, G., Luo, X. and Zheng, H. (2019). Comparison of efficacies of peanut shell biochar and biochar-based compost on two leafy vegetable productivity in an infertile land. *Chemosphere*. 224. 151-161.
- Liyanage, T.D.P. and Leelamanie, D.A.L. (2016). Influence of organic manure amendments on water repellency, water entry value, and water retention of soil samples from a tropical Ultisol. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 64(2). 160-166.
- Luo, Y., Durenkamp, M., De Nobili, M., Lin, Q. and Brookes, P.C. (2011). Short term soil priming effects and the mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different pH. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(11). 2304-2314.
- Ma, N., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., Yu, C., Yin, G., Doane, T. A., Wu, Z., Zhu, P. and Ma, X. (2016) Biochar improves soil aggregate stability and water availability in a mollisol after three years of field application. *Plos One*. 11 (5). e0154091.

- Macdonald, L.M., Farrell, M., Zwieten, L.V. and Krull, E.S. (2014). Plant growth responses to biochar addition: an Australian soils perspective. *Biology and Fertility of Soils*. 50. 1035-1045.
- Maged, A.E. (2006). Effect of mulch types on soil environmental conditions and their effect on the growth and yield of cucumber *Plants. J. Appl. Sci. Res.* 2(2). 67-73.
- Mapa, R.B. and Gunasena, H.P.M. (1995). Effect of alley cropping on soil aggregate stability of a tropical alfisol. *Agroforestry Systems*. 32(3). 237-245.
- Mohd-Aizat A., Mohamad-Roslan M.K., Sulaiman W.N.A. and Karam D.S. (2014). The relationship between soil pH and selected soil properties in 48 years logged-over forest. *International Journal of Environmental Sciences*. 4(6). 1129- 1140.
- Moniruzzaman, M. (2006). Effects of plant spacing and mulching on yield and profitability of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Agriculture & Rural Development*. 4(1). 107-111.
- Mounirou, M.M. (2019). *Biyokömür ve Organik Gübre Uygulamalarının Kıvırcık Salata (Lactuca sativa L. var. crispa) ve Soğan (Allium cepa L.) Bitkilerinin Gelişimi ve Kimyasal Gübreden Yararlanma Oranına Etkileri*. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Ankara.
- Mueller, L., Kay, B.D., Been, B., Hu, C., Zhang, Y., Wolff, M., Eulenstein, F. and Schindler, U. (2008). Visual assessment of soil structure: Part II. Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany. *Soil Till. Res.* 103. 188–196.
- Mukherjee, A. and Zimmerman, A.R. (2013). Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. *Geoderma*. 193. 122-130.
- Mulcahy, D.N., Mulcahy, D.L. and Dietz, D. (2013). Biochar soil amendment increases tomato seedling resistance to drought in sandy soils. *Journal of Arid Environments*. 88. 222-225.
- Mulumba, L.N. and Lal, R. (2008). Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*. 98(1). 106-111.
- Namlı, A., Akça, M.O. ve Akça, H. (2017). Tarımsal atıklardan elde edilen biyokömürün buğday bitkisinin gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(1). 39-47.
- Nelissen, V., Ruysschaert, G., Manka'Abusi, D., D'Hose, T., De Beuf, K., Al-Barri, B., Cornelis W. and Boeckx, P. (2015). Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment. *European Journal of Agronomy*. 62. 65-78.
- Nguyen D.H., Scheer C, Rowlings D.W. and Grace P.R. (2016). Rice husk biochar and crop residue amendment in subtropical cropping soils: Effect on biomass production, nitrogen use efficiency and greenhouse gas emissions. *Biology and Fertility of Soils*. 52. 261- 270.
- Nieto, A., Gascó, G., Paz-Ferreiro, J., Fernández, J.M., Plaza, C. and Méndez, A. (2016). The effect of pruning waste and biochar addition on brown peat based growing media properties. *Scientia Horticulturae*. 199. 142-148.
- Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M. and Ambaw, G. (2012). Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*. 12(3). 369-376.
- Ningning, M., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., Yu, C., Yin, G., Doane, T. A., Wu, Z., Zhu, P. and Ma, X. (2016). Biochar improves soil aggregate stability and water availability in a mollisol after three years of field application. *Plos One*. 11(5). e0154091.

- Oktem, A. (2008). Effect of water shortage on yield, and protein and mineral compositions of drip-irrigated sweet corn in sustainable agricultural systems. *Agricultural water management*. 95(9). 1003-1010.
- Olness, A., Clapp, C.E., Liu, R. and Palazzo, A.J. (1998). Biosolids and their effects on soil properties. In: Wallace, A., Terry, R.E. (Eds.), *Handbook of Soil Conditioners*. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 141–165.
- Omondi, M.O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P.K. and Pan, G. (2016). Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma* 274. 28–34.
- Öz, H. (2018). A new approach to soil solarization: Addition of biochar to the effect of soil temperature and quality and yield parameters of lettuce (*Lactuca sativa* L. Duna). *Scientia Horticulturae*. 228. 153-161.
- Öz, H., Yaylacı, C. ve Erdal, İ. (2021). Farklı malç materyallerinin marul (*Lactuca sativa* L. Duna) bitkisinin gelişimi ve bazı mineral besin elementleri üzerine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 26(2). 489-496.
- Özer, H., Kandemir, D. ve Uzun, S. (2009). İlk turfanda organik biber yetiştiriciliğinde farklı malç uygulamalarının büyüme ve verime etkisi. *GAP Organik Tarım Kongresi Şanlıurfa*. 784-790.
- Öztürk, B. (2011). *Farklı Dikim Zamanlarında Kıvırcık Yapraklı Salata (Lactuca sativa var. crispa)'nın Organik ve Konvansiyonel Yetiştiriciliğinin Verim, Kalite ve Toprak Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tokat.
- Pakyürek, Y., Abak, K., Sarı, N. and Güler, Y. (1994). Influence of mulching on earliness and yield of some vegetables grown under high tunnels. *Acta Horticulturae*. 366: 155-160.
- Pandit, N.R., Mulder J., Hale S.E., Schmidt H.P. and Cornelissen G. (2017). Biochar from "Kon Tiki" flame curtain and other kilns: Effects of nutrient enrichment and kiln type on crop yield and soil chemistry. *Plos One*. 124.
- Pereira, E.I.P., Conz, R.F. and Six, J. (2017). Nitrogen utilization and environmental losses in organic greenhouse lettuce amended with two distinct biochars. *Science of the Total Environment*. 598. 1169-1176.
- Pieri, C.J.M.G. (1992). *Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah*. Springer-Verlag. 10. Berlin. Germany.
- Prendergast-Miller, M.T., Duvall, M. and Sohi, S.P. (2011). Localisation of nitrate in the rhizosphere of biochar-amended soils. *Soil Biology & Biochemistry*. 43. 2243-2246.
- Ponjičan, O. and Bajkin, A. (2004). Effects of soil mulching and covering with agrotexil in greenhouse production. *Modern vegetable producer*. 3(12). 6-8.
- Qadeer, S., Batool, A., Rashid, A., Khalid, A., Samad, N. and Ghufra, M.A. (2014). Effectiveness of biochar in soil conditioning under simulated ecological conditions. *Soil & Environment*. 33. 149-158.
- Radford, B.J., Bridge, B.J., Davis, R.J., McGarry, D., Pillai, U.P., Rickman, J.F., Walsh, P.A. and Yule, D.F. (2000). Changes in the properties of a vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic. *Soil & Tillage Research*. 54 (3/4). 155-170.
- Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki, T.M. and Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*. 116(1). 61-76.
- Reibe, K., Götz, K. P., Roß, C. L., Döring, T. F., Ellmer, F. and Ruess, L. (2015). Impact of quality and quantity of biochar and hydrochar on soil Collembola and growth of spring wheat. *Soil Biology and Biochemistry*. 83. 84-87.

- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M. and Tan, C.S. (2008). Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. *Geoderma*. 146. 466–474.
- Rhoades, J.D. (1986). Soluble Salts. In *Methods of Soil Analysis*, A. Klute (ed.), Part II, Chemical and Microbiological Properties (Second edition), pp: 167-179. ASA and SSSA Agronomy Monograph, no. 9, Madison, WI.
- Saglam, M., Sintim, H.Y., Bary, A.I., Miles, C.A., Ghimire, S., Inglis, D.A. and Flury, M. (2017). Modeling the effect of biodegradable paper and plastic mulch on soil moisture dynamics. *Agricultural Water Management*. 193. 240-250.
- Saygan, E.P. ve Aydemir, S. (2016). Harran ovası kireçli killi toprak özellikleri üzerine antepfıstığı dış kabuğu biyokömür uygulamasının etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 20(4). 301-312.
- Schmidt, H.P., Kammann, C., Niggli, C., Evangelou, M.W., Mackie, K.A. and Abiven, S. (2014). Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 191. 117-123.
- Sekara, A., Pokluda, R., Cozzolino, E., del Piano, L., Cuciniello, A. and Caruso, G. (2019). Plant growth, yield, and fruit quality of tomato affected by biodegradable and non-degradable mulches. *Horticultural Science*. 46(3). 138-145.
- Serrano-Ruiz, H., Martin-Closas, L. and Pelacho, A.M. (2021). Biodegradable plastic mulches: Impact on the agricultural biotic environment. *Science of The Total Environment*. 750. 141228.
- Shareef, T.M.E. and Zhao, B.W. (2017). The fundamentals of biochar as a soil amendment tool and management in agriculture scope: An overview for farmers and gardeners. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*. 6. 38-61.
- Sharratt, B.S. (1996). Tillage and straw management for modifying physical properties of a subarctic soil. *Soil and Tillage Research*. 38(3-4). 239–250.
- Shenbagavalli, S. and Mahimairaja, S. (2012). Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. *I.J.A.B.R.* 12 (2). 2012: 249-255.
- Si, L.L., Xie, Y.N., Ma, Q.X. and Wu, L.H. (2018). The short-term effects of rice straw biochar, nitrogen and phosphorus fertilizer on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy field. *Sustainability*. 10(2). 537
- Sinclair, K., Slavich, P., Van Zwieten, L. and Downie, A. (2008). Productivity and Nutrient Availability on A Ferrosol: Biochar, Lime and Fertiliser. In: *Proceedings of The Australian Society of Agronomy Conference*. 21-25th September 2008 Adelaide Australia.
- Skopp, J., Jawson, M.D. and Doran, J.W. (1990). Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54. 1619-1625.
- Soil Survey Staff (1951). *Soil Survey Manual*. Agricultural Research Administration, U.S. Dept. *Agriculture Handbook*. No: 18.
- Soinne, H., Hovi, J., Tammeorg, P. and Turtola, E. (2014). Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability. *Geoderma*. 219-220. 162-167.
- Sönmez, M. (2014). *Biyogübre Uygulamalarının Toprakta Agregat Oluşumu ve Stabilitesi Üzerine Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Antalya.
- Steiner, C., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J.L.V., Blum, W.E. and Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop

- production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*. 291(1-2). 275-290.
- Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Trooger, J., Munoz, K., Fror, O. and Schaumann, G.E. (2016). Plastic mulching in agriculture. Trading shortterm agronomic benefits for long-term soil degradation. *Sci. Total Environ*. 550. 690-705.
- Sümer, S.K., Kavdır, Y. ve Gıyasettin, Ç. (2016). Türkiye’de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bil. Derg.* 19(4). 379-387.
- Swiatkiewicz, D.I., Siwek, P., Bucki, P. and Rabiasz, K. (2019). Effect of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) and vetch-rye (*Secale cereale* L.) biculture cover crops and plastic mulching in high tunnel vegetable production under organic management. *Biological Agriculture & Horticulture*. 35(4). 248-262.
- Şahin, G.T., Kandemir, D., Balkaya, A., Karaağaç, O. ve Sarıbaş, Ş. (2022). Sonbahar dönemi yetiştiriciliğinde kıvrıkcık (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) ve Yedikule (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) tipi marul çeşitlerinin vejetatif büyüme düzeylerinin incelenmesi. *Bahçe*. 51(1). 1-10.
- Şen, F., Teksür, P.K., Okşar, R. E., Güleş, A. ve Aşçıoğlu, T.K. (2016). Yararlı mikroorganizma uygulamasının marul verim ve kalite özellikleri üzerine etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 13(1). 35-40.
- Tarakçıoğlu, C., Özenç, D.B., Yılmaz, F. I., Kulaç, S. ve Aygün, S. (2019). Fındık kabuğundan üretilen biyokömürün toprağın besin maddesi kapsamı üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 34(1). 107-117.
- Taşdemir, G. (2021). *Çeltik Anızının, Biyokömürü ve Külünün Marul Bitkisi Gelişimi ve Toprak Özelliklerine Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Çanakkale.
- Tegen, H., Dessalegn, Y. and Mohammed, W. (2016). Influence of mulching and varieties on growth and yield of tomato under polyhouse. *Journal of Horticulture and Forestry*. 8(1). 1-11.
- Tian, X., Li C., Zhang, M., Wan, Y., Xie, Z., Chen, B. and Li, W. (2018). Biochar derived from corn straw affected availability and distribution of soil nutrients and cotton yield. *Plos One*. 13. 0189924.
- Tosic, I., Illin, Z., Maksimovic, I. and Pavlovic, S. (2014). The effect of plant mulching and covering on the lettuce yield and nitrate content (*Lactuca sativa* L.). *African Journal of Agricultural Research*. 9(23). 1774-1777.
- TÜİK (2022). Bitkisel üretim istatistikleri. Erişim: 13.06.2022, <https://www.tuik.gov.tr/>.
- Uçgun, K., Kelebek, C., Cansu, M., Altındal, M. and Yalçın, B. (2019). Toprak pH’sını etkileyen bazı materyallerin hububat tarımında kullanımı. *Toprak Su Dergisi*. 94-100.
- Upadhyay, K.P., George, D., Swift, R.S. and Galea, V. (2014). The influence of biochar on growth of lettuce and potato. *Journal of Integrative Agriculture*. 13(3). 541-546.
- Uysal, P. (2019). *Topraktaki Tuzluluğun Azaltılmasında Biyokömür Uygulamalarının Etkileri Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir.
- Ünlü, Ö.H., Ünlü, H., Karataş, A., Padem, H. ve Kitiş, Y.E. (2006). Farklı renkteki malçların domateste verim ve kalite özelliklerine etkisi. *Alatarım*. 5(1). 10-14.
- Van De Voorde, T.F., van Noppen, F., Nachenius, R.W., Prins, W., Mommer, L., Van Groenigen, J.W. and Bezemer, T.M. (2014). Biochars produced from individual

- grassland species differ in their effect on plant growth. *Basic and Applied Ecology*. 15(1). 18-25.
- Varela Milla, O., Rivera, E. B., Huang, W.J., Chien, C., and Wang, Y.M. (2013). Agronomic properties and characterization of rice husk and wood biochars and their effect on the growth of water spinach in a field test. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 13(2). 251-266.
- Verheijen, F.G.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., van der Velde, M. and Diafas, I. (2010). Biochar application to soils: a critical scientific review on effects on soil properties, processes and functions. *Joint Research Centre (JRC) Scientific and Technical Report*. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Vural, H., Eşiyok D. ve Duman, İ. (2000). Kültür Sebzeleri (Sebze Yetiştirme). *Ege Üniversitesi Basım Evi*. s: 440. Bornova. İzmir.
- Wang, X., Jia, Z., Liang, L., Yang, B., Ding, R., Nie, J. and Wang, J. (2016). Impacts of manure application on soil environment, rainfall use efficiency and crop biomass under dryland farming. *Sci. Rep.* 6. 1-8.
- Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W. and Rillig, M.C. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil concepts and mechanisms. *Plant Soil*. 300.9-20.
- White, R.E. (2006). Principles and Practice of Soil Science, 4th Edition. *Blackwell Publishing*. Oxford, UK.
- Xiang, Y., Deng, Q., Duan, H., and Guo, Y. (2017). Effects of biochar application on root traits: a meta- analysis. *GCB Bioenergy*. 9(10). 1563-1572.
- Xu, H., Wang, H., Hu, C., Fu, M., He, Y., Liu, J. and Liu, X. (2016). The influence of different donor/acceptor matches on chromophore's nonlinear optical activity. *Dyes and Pigments*. 131. 215-223.
- Yağanoğlu, S. (2019). *Sera Koşullarında Yetiştirilen Turşuluk Hıyar (Cucumis sativus L.) Bitkisinde Farklı Malç Malzemeleri ve Sulama Suyu Seviyelerinin Verime Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yıldız, T. (2018). *Kıvırcık Marulda (Lactuca sativa L. var. crispa) Farklı Gübrelerin Bitki Gelişimi ve Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum.
- Yılmaz, F.I. ve Kurt, S. (2018). Biyokömür ve vermikompost uygulamalarının toprağın bazı biyolojik özellikleri üzerine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 6(2). 143-150.
- Yordanova, M. and Nikolov, A. (2017). Influence of plant density and mulching on growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* var. Romana L.). *International Journal of Environmental & Agriculture Research*. 3(10). 10-14.
- Zemanova, V., Brendova, K., Pavlikova, D., Kuvatova, P. and Tlustos, P. (2017). Effect of biochar application on the content of nutrients (Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard. *Plant, Soil and Environment*. 7. 322-327.
- Zhai, L., Caiji, Z., Liu, J., Wang, H., Ren, T., Gai, X., Xi, B. and Liu, H. (2014). Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities. *Biol. Fert. Soils*. 51. 113-122.
- Zhang J., James E. Amonette J.E., and Flury M. (2021). Effect of biochar and biochar particle size on plant-available water of sand, silt loam, and clay soil. *Soil & Tillage Research*. 212. 104992.

- Zhang, M., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y. and Inyang, M. (2012). Synthesis, characterization, and environmental implications of graphene-coated biochar. *Science of the Total Environment*. 435. 567-572.
- Zheng, W., Sharma, B.K. and Rajagopalan, N. (2010). Using biochar as a soil amendment for sustainable agriculture. Final Rep. to Illinois Dept. of Agriculture, Illinois Sustainable Technology Center, Champaign, IL.

ÖZGEÇMİŞ

Salim Taşdelen, Çorum Atatürk Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Samsun Meslek Yüksek Okulu Seracılık programından 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkilerinde lisans öğrenimine başladı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkilerinden 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisansa başladı.

Orta seviyede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları futbol, tenis, kayak ve yemek yapmaktır.

İletişim Bilgileri

ORCID ID: 0000-0002-7806-4747

Yayınlar

1. Taşdelen, S., Çilingir Tütüncü, A. ve Özer, H. (2021). Topraksız tarımda kullanılan atıkların marul ve maydanoz fidesi yetiştiriciliğine etkileri. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 36(2). 231-238.
2. Tüzen, B., Çilingir Tütüncü, A., Taşdelen, S. and Pekşen, A. (2021). Effect of polyethylene plastic mulch on yield and fruit quality parameters of tomato. *Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences*. 3(2). 56-59.