



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ÇELTİK ANIZININ, BİYOKÖMÜRÜ VE KÜLÜNÜN MARUL BİTKİSİ
GELİŞİMİ VE TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLİSTAN TAŞDEMİR

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. YASEMİN KAVDIR

ÇANAKKALE – 2021



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ÇELTİK ANIZININ, BİYOKÖMÜRÜ VE KÜLÜNÜN MARUL BİTKİSİ
GELİŞİMİ VE TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLİSTAN TAŞDEMİR

Tez Danışmanı

PROF. DR. YASEMİN KAVDIR

ÇANAKKALE – 2021



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



tarafından Prof. Dr. yönetiminde danışmanlığında hazırlanan ve .././20.. tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

..... **Jüri Üyeleri**

İmza

.....

Prof. Dr.
(Danışman)

.....

Doç. Dr

.....

Dr. Öğr. Üyesi

.....

Tez No :

Tez Savunma Tarihi : .././20..

.....

İSİM SOYİSMİ

Enstitü Müdürü

.././20..

ETİK BEYAN

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

//

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen ve olabildiğince sabırlı ve anlayışlı yaklaşımıyla zor zamanlarımda bana destek olan saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Yasemin KAVDIR' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İş alanındaki çalışmalarımı akademik olarak sürdürmem ve bu tezi yapmam için beni teşvik eden, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Başak EGESEL' e teşekkürlerimi sunarım.

Biyokömürün üretimini sağlayan Prof. Dr. Kamil EKİNCİ'ye, toprak ve bitki C,N analizi için Dr. Remzi İLAY'a, hidrolik iletkenlik ve diğer analizlerde yardımlarını esirgemeyen Dr. Nurten İŞLER'e teşekkürlerimi sunarım.

İş yükümü hafifleterek tezin çalışma sürecine daha fazla zaman ayırmamı sağlayan Ziraat Yüksek Mühendisi Zuhal ÖZDEMİR' e, bu çalışmayı yapabilmeme olanak sağlayan Çanakkale İl Tarım ve Orman Müdürlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen eşim Dr. Murat TAŞDEMİR' e ve en çok beraber geçireceğimiz zamandan tez çalışmasına ayırdığım süreler için bana anlayışla destek olan canım kızım Gülce'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gülistan TAŞDEMİR
Çanakkale, Ağustos 2021

ÖZET

ÇELTİK ANIZININ, BİYOKÖMÜRÜ VE KÜLÜNÜN MARUL BİTKİSİ GELİŞİMİ VE TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Gülistan TAŞDEMİR

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Yasemin KAVDIR

25/08/2021, 72

Bu çalışmada çeltik sapının kıyılarak, yakılarak ve biyokömüre dönüştürülerek toprağa karıştırılmasının toprak özellikleri ve marul bitkisi gelişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Deneme iki farklı dozda (%3 ve %6) biyokömür, (%1 ve %3) anız, (%3 ve %6) kül ve kontrol grubundan oluşmaktadır. Sıcaklık ve ışık kontrollü iklim odasında tesadüf parselleri deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak kurulan denemede marul (*Lactuca sativa* L.) fideleri saksılara şaşırtılmış, haftalık olarak yaprak sayısı ve boyu ölçülmüş, dikim tarihinden 61 gün sonra hasat edilmiştir. Toprak analiz sonuçlarında; porozite %63,71, tarla kapasitesi %52,20, K_{sat} $8,91 \times 10^{-4}$ cm/s değeriyle en fazla %6 biyokömür uygulamasında olmuştur. En yüksek agregat stabilitesi %6 kül uygulamasında (%85,40), en yüksek agregat ortalama ağırlık çapı ise %3 anız uygulamasında (%2,01) olmuştur. Toprak pH değeri en fazla %1 anız uygulamasında (7,54), elektriksel iletkenlik en fazla %6 kül uygulamasında (5,68 dS/m) ve en düşük %3 biyokömür uygulamasında (2,72 dS/m) bulunmuştur. Toprak toplam karbon (C) miktarı en fazla %3 biyokömür uygulamasında (%10,43), toprak toplam N miktarı %6 biyokömür uygulamasında (%0,58) ve toprak karbon azot (C/N) oranı en fazla kontrolde (29,77) en düşük %6 biyokömür uygulamasında (15,78) olmuştur. Marul bitkilerinin bünyesindeki N miktarı en fazla kontrol uygulamasında (%9,17), en düşük %6,33 ile %6 kül uygulamasında olmuştur. En yüksek kuru ağırlık %6 biyokömür uygulamasında (1,06 g), yaprak alanı en fazla %3 biyokömür uygulamasında (625,26 cm²) bulunmuştur. Yaprak sayısı ve bitki boyu biyokömür uygulamalarında daha fazla olmuştur. Kül ve anız uygulaması marul gelişimini olumsuz etkilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, Çeltik Sapı, Kül, Marul, Toprak

ABSTRACT

THE EFFECT OF RICE STRAW, BIOCHAR AND ASH ON LETTUCE PLANT GROWTH AND SOIL PROPERTIES

Gülistan TAŞDEMİR

Canakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Soil Science and Plant Nutrition Department Master Thesis

Graduate Advisor: Prof. Dr. Yasemin KAVDIR

25/08/2021, 72

In this study, the effects of incorporating different forms of rice straw (chopped, burned, and converted into biochar) into soil on properties of soil and lettuce plant growth have been investigated. The experiment consisted of two different rates of biochar (3% and 6%), rice straw (1% and 3%), ash (3% and 6%) and control group (soil only). Lettuce (*Lactuca sativa* L.) seedlings were transplanted into pots and placed in the temperature and light-controlled climate room according to randomized plots experimental design. Leaf numbers and heights were measured weekly, and plants harvested 61 days after planting. According to soil analysis results, the highest soil porosity was 63,71%, field capacity was 52,20%, K_{sat} was $8,91 \times 10^{-4}$ cm/s with 6% biochar application. The highest aggregate stability value was obtained with 6% ash application (85,40%) and the highest aggregate mean weight diameter was obtained with 3% straw applications. The highest soil pH value was obtained with 1% rice straw application (7,54). The highest electrical conductivity was observed in 6% ash application (5,68 dS/m) while the lowest value was seen in 3% biochar application (2,72 dS/m). Soil total carbon (C) amount was maximum with 3% biochar application (10,43%), while total soil N amount was maximum with 6% biochar application (0,58%). The highest soil C/N ratio was in control (29,77) treatment while the lowest one was in 6% biochar application (15,78). The highest N content of lettuce plant was in the control (9,17%) while the lowest was (6,33%) in the 6% ash application. 6% biochar application resulted in the greatest plant dry weight (1,06 g). The leaf area was the highest at 3% biochar application (625,26 cm²). The maximum leaf number and plant height were obtained in biochar treatment. Ash and straw applications adversely affected lettuce growth.

Keywords: Biochar, Rice Straw, Ash, Lettuce, Soil

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JURİ ONAY SAYFASI	i
ETİK BEYAN	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ	1
-------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Çeltik Sapının Toprak Özelliklerine Etkileri ile İlgili Önceki Çalışmalar	5
2.2. Çeltik Sapı Biyokömürünün Toprak Özelliklerine Etkileri ile İlgili Önceki Çalışmalar	7
2.3. Çeltik Sapı Külünün Toprak Özelliklerine Etkileri ile İlgili Önceki Çalışmalar	11
2.4. Toprağa Eklenen Organik Kökenli Materyallerin Marul Gelişimine Etkileri ile İlgili Önceki Çalışmalar	12

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal	18
3.1.1. Bitki Materyali	18
3.1.2. Toprak Materyali	18
3.1.3. Toprağa uygulamada kullanılan materyaller	18
3.2. Yöntem	20
3.2.1. Saksı denemesinin kurulması ve yönetilmesi	20
3.2.2. Bitki Analizleri	23

3.2.3. Toprak Örneklerinin Analizleri	24
3.2.4. Uygulama Materyallerinin Analizleri.....	28
3.2.5. İstatistik Analizleri	30

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Denemede kullanılan materyallerin (çeltik anızı, külü ve biyokömürü) özellikleri.....	31
4.2. Denemede kullanılan toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	31
4.3. Uygulamaların toprak özelliklerine etkisi	32
4.3.1. Uygulamaların toprak fiziksel özelliklerine etkisi	34
4.3.2. Uygulamaların toprak kimyasal özelliklerine etkisi.....	44
4.4. Uygulamaların Bitki Gelişimine Etkisi	54
4.4.1. Toplam Azot.....	55
4.4.2. Klorofil	57
4.4.3. Yaş Ağırlık	57
4.4.4. Kuru Ağırlık	58
4.4.5. Yaprak Alanı	59
4.4.6. Yaprak Sayısı.....	60
4.4.7. Bitki Boyu	61

BEŞİNCİ BÖLÜM SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Uygulamaların Toprak Özelliklerine Etkisi	63
5.2. Uygulamaların Marul Bitkisinin Gelişimine Etkisi.....	64
KAYNAKÇA	65
ÖZGEÇMİŞ.....	I

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	Yüzde oranı
Al	Alüminyum
As	Arsenik
AS	Agregat stabilitesi
C/N	Karbon azot oranı
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
CFC	Kloroflorokarbon
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondiyoksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
da	Dekar
EC	Elektriksel iletkenlik
Fe	Demir
g	Gram
K	Potasyum
kg/ha	Kilogram hektar oranı
K _{sat}	Sature hidrolik kondüktivite
mg/kg	Miligram kilogram oranı
ml	Mililitre
mm	Milimetre
Mn	Mangan
N	Azot
N ₂ O	Nitröz oksit
NO ₃	Nitrat
OAC	Agregat ortalama ağırlık çapı
°C	Santigrat derece
P	Fosfor
P ₂ O ₅	Pentoksit

pH	Hidrojen iyonları konsantrasyonunun negatif logaritması
S	Kükürt
t/ha	Ton hektar oranı
TK	Tarla kapasitesi
TOK	Toprak organik karbonu
TOM	Toprak organik madde
Zn	Çinko



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Çeltik anızı, külü ve biyokömürünün bazı kimyasal analiz sonuçları (n=2).	31
Tablo 2	Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları (n=2).	31
Tablo 3	Deneme topraklarının fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistik.	32
Tablo 4	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak porozitesi üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).	34
Tablo 5	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak porozitesi üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).	34
Tablo 6	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının tarla kapasitesi üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).	36
Tablo 7	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının tarla kapasitesi üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).	36
Tablo 8	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının agregat stabilitesi üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).	38
Tablo 9	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının agregat stabilitesi üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).	38
Tablo 10	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının OAC üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).	40
Tablo 11	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının OAC üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).	41
Tablo 12	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının Ksat üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).	42

Tablo 13	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının Ksat üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).	43
Tablo 14	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprakların pH değeri üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).	44
Tablo 15	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprakların pH değeri üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).	45
Tablo 16	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprakların elektriksel iletkenlik (EC) değeri üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).	46
Tablo 17	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının elektriksel iletkenlik (EC) değeri üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).	47
Tablo 18	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak toplam karbon (C) miktarı üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).	48
Tablo 19	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak toplam karbon (C) miktarı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).	49
Tablo 20	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak toplam azot (N) miktarı üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).	50
Tablo 21	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak toplam azot (N) miktarı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).	51
Tablo 22	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak karbon azot (C/N) oranı üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).	52
Tablo 23	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak toplam karbon azot (C/N) oranı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).	53
Tablo 24	Marul bitkisinin bazı analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistik.	54
Tablo 25	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin toplam azot miktarına etkisi, ANOVA tablosu.	55

Tablo 26	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin toplam azot miktarı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu.	56
Tablo 27	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki klorofil miktarına etkisi, ANOVA tablosu.	57
Tablo 28	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki yaş ağırlığı üzerine etkisi, ANOVA tablosu.	57
Tablo 29	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki kuru ağırlığı üzerine etkisi, ANOVA tablosu.	58
Tablo 30	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki kuru ağırlığı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu.	58
Tablo 31	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının yaprak alanı üzerine etkisi, ANOVA tablosu.	59
Tablo 32	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının yaprak alanı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu.	59
Tablo 33	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki yaprak sayısı üzerine etkisi, ANOVA tablosu.	60
Tablo 34	Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi, ANOVA tablosu.	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Çeltik sapı biyokömürü.	19
Şekil 2	Çeltik sapı materyali.	19
Şekil 3	Işık ve sıcaklık kontrollü iklim odasında tesadüf parselleri deneme desenine göre yerleştirilen saksılar.	20
Şekil 4	%3 Biyokömür ile karıştırılan toprak örneği.	21
Şekil 5	%6 Biyokömür ile karıştırılan toprak örneği.	21
Şekil 6	Fide dikim tarihinden 33 gün sonra.	22
Şekil 7	Fide dikim tarihinden 43 gün sonra.	23
Şekil 8	Fide dikim tarihinden 50 gün sonra.	23
Şekil 9	Toprak pH ve EC analiz işlemleri için hazırlanan örnekler.	25
Şekil 10	Hidrolik iletkenlik analizi için kullanılan düzenek.	28
Şekil 11	Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların porozite değerinin % değişimi.	35
Şekil 12	Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların tarla kapasitesinin % değişimi.	37
Şekil 13	Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların agregat stabilitesi değerinin % değişimi.	39
Şekil 14	Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların OAÇ değerinin % değişimi.	41
Şekil 15	Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların Ksat değerinin % değişimi.	43
Şekil 16	Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların pH değerinin % değişimi.	45
Şekil 17	Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların EC değerinin % değişimi.	47
Şekil 18	Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların toplam (C) değerinin % değişimi.	49

Şekil 19	Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların toplam (N) değerinin % değişimi.	51
Şekil 20	Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların toprak (C/N) değerinin % değişimi.	53
Şekil 21	Marul gelişiminde haftalık yaprak sayısı ölçümleri.	60
Şekil 22	Marul gelişiminde haftalık bitki boyu ölçümleri.	62



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Hızlı bir ivme ile artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarının karşılanabilmesi ancak var olan doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasıyla gerçekleşir. Sanayi devrimiyle başlayan fosil yakıt tüketimin artması, yeşil devrim ile artan yoğun tarımsal üretim, sanayiye hammadde ve yeni tarım alanlarının açılmasına olanak sağlamak için orman alanlarının tahrip edilmesiyle ne yazık ki var olan doğal kaynakları korumak yerine bu kaynakların daha fazla zarar görmesine neden olmuştur. Küresel ısınmayla değişen iklim şartları son yıllarda tüm okyanus ve kıtalardaki ekosistemlerde etkilerini oldukça fazla hissedilir kılmıştır.

Atmosferde yer alan ozon, sera gazları ve bulutlar küresel iklim unsurlarını oluşturmaktadır. Bu unsurların değişimi sonucunda dünya yüzeyine gelen kısa dalga radyasyonu ile dünya yüzeyinden çıkan uzun dalga radyasyonu arasındaki denge bozulmaktadır. Bu dengenin değişmesi iklim değişikliğinin en temel etkeni olarak adlandırılmaktadır (Kahraman ve Şenol, 2018). Karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), klorofloro karbonlar (CFC) ve florlu gazlar sera gazlarını oluşturmaktadır. Bu gazların bir kısmının doğal yollarla oluşmasının yanında büyük kısmı ise insan faaliyetleri sonucu oluşmaktadır (Dulkadiroğlu, 2018).

Endüstri devrimiyle fosil yakıtların kullanımının artması sonucunda doğaya salınan CO₂ miktarı sürekli artış göstermiştir. 1750 yılında atmosferdeki CO₂ miktarı 280 ppm iken 2005 yılında 380 ppm ve 2019 yılında ise 410 ppm olmuştur (Climate.gov, 2020). Doğal ekosistemlerin başlıca bileşenleri olan toprak, su ve ormanlar, dünya üzerinde karbonun tutulmasında ve depolanmasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Karasal ekosistemde karbon depolanmasının sağlanmasıyla atmosferde bulunan CO₂ miktarının artması engellenebilir (Koçyiğit, 2008).

Karasal ekosistemde bulunan toprak, organik karbonu depolama kapasitesiyle küresel karbon döngüsü üzerinde önemli bir role sahiptir. Araziyi kullanım yöntemleri depolanan karbon miktarının artmasına veya azalmasına neden olmaktadır. Topraktaki

organik karbon miktarı toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkileyerek toprak verimliliğine etki etmektedir.

Toprak organik karbonu (TOK), toprak organik maddesi içerisinde oluşan karbonu ifade etmektedir. TOK, toprak strüktürünün dengelenmesini, besinlerin toprakta tutunmasını, toprakta suyun infiltrasyonu ve depolanması gibi pek çok temel toprak işlevlerini desteklediğinden dolayı toprak sağlığı ve verimliliğinde oldukça öneme sahiptir. Arazi kullanımı ve yönetimindeki değişiklikler, özellikle orman ve otlak alanlarının plansız biçimde tarım alanına dönüştürülmesiyle küresel boyutta TOK seviyelerinde önemli bir düşüşe neden olmuştur.

Mera ve tarım alanlarında toprak organik karbon stoklarını bilinçli ve sürdürülebilir yönetimle arttırmak amacıyla Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde “Toprak Organik Karbonu Projesi” yürütülmüştür. Toprak konusunda faaliyet gösteren tüm kamu kurum ve kuruluşlarının katılımıyla yürütülen projede Türkiye toprak karbon rezervi belirlenerek haritalandırılmıştır. Projede Ülkemiz topraklarının 30 cm derinliğinde toplam organik karbon stok miktarının 3,5 milyar ton olduğu, bir hektarda depolanan karbon miktarının orman alanlarında 56 ton, mera alanlarında 50 ton ve tarım alanlarında ise 36 ton olduğu belirtilmiştir (ÇEM, 2018).

Türkiye topraklarının büyük kısmında organik madde miktarı oldukça düşük olup, yüzey topraklarında %0,5 ile %6 arasında değişmektedir (ÇEM, 2018). Tarım topraklarının organik madde eksikliği topraklardaki üretkenlik, verimlilik ve kalite sorunlarının kaynağını oluşturmaktadır. Tarım topraklarında toprak-bitki yönetimlerine bağlı olarak (toprak işleme, aşırı sulama ve kimyasal kullanımı) toprak organik madde içeriğinde hızlı değişimler görülmektedir. Ancak iyi bir yönetimle toprağa bağlanan karbonun uzun süre toprakta tutulması mümkündür. Toprak-bitki yönetimi ile toprakta karbon tutulması sürdürülebilir tarım ve yaşam için oldukça önem taşımaktadır.

Araştırmacılar iklim değişimlerinin önüne geçmek için atmosferdeki karbondioksit salınımını azaltmanın yanı sıra yeniden bitkilerde tutunmasını sağlayarak toprakta muhafaza edebilmek adına yeni araştırma teknikleri geliştirmektedirler. Bu tekniklerden biri de biyokütlelerin biyokömüre dönüştürülerek toprağa karıştırılmasıdır.

Genelde hayvan gübresi ve balık kemiğinden üretilen biyokömürün ilk uygulaması 2500 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Antik Amazon bölgesinde yüksek karbon içeriğİ sebebiyle “kara toprak” anlamına gelen “*terra preta*” maddesi kullanılmıştır. Benzer maddelerin Mısır, Japonya ve Yunanistan antik tarihinde de kullanıldığİna dair kanıtlar mevcuttur (Laird vd., 2009). Biyokütlelerin piroliz yoluyla ısıtıldığında ortaya çıkan karbon zengini yan ürün genellikle “biyokömür” olarak adlandırılmaktadır. Biyokütlelerin sınırlı oksijen altında veya oksijensiz olarak yüksek sıcaklıklarda (300-700  C) yakılma sürecine piroliz denilmektedir. Piroliz süreci sonucunda elde edilecek verim oranları için sıcaklık ve süre kriter olarak tanımlanmıştır. Biyokömür verimliliğİ piroliz ısısının düşük ve sürecin uzun tutulduğ koşullarda en fazla değere ulaşmaktadır. İlave olarak nem içeriğİ ve partikül boyutu gibi hammadde özellikleri de biyokömür üretim verimliliğİni önemli ölçüde etkilemektedir (Tripathi vd., 2016). Yavaş prosesli piroliz yöntemi toplam ürün içerisinde karbonun %50’ye varan ölçüde üretilmesini sağlayan, en verimli yöntem olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemi verimli kılan ölçütlerden en önemlisi son ürünün nem oranının uzaklaştırılabilme imkanının mikrodalga yönteminde gazlaştırma yöntemine nazaran daha yüksek oranda başarılı olmasıdır (Chaiwong vd., 2012). Biyokömür, hasat artıkları, kereste ve odun artıkları gibi odunsu selülozik biyokütlelerden üretildiğİ gibi kemik, yosun, sa ve et tüyü gibi odunsu-selülozik olmayan biyokütlelerden veya karışımlarından da retilabilir (Li ve Jiang, 2017). Yüksek gözenek hacmi ve adsorpsiyon kapasitesi sayesinde, tarımsal olarak toprak iyileştirme aracısı olarak kullanılabilir. Bu yöntem uygulaması ile toprak besin değeri ve su tutma kapasitesinde artış sağlanabilir (Andrenelli vd., 2016). Biyokömür retimi için atık veya yenilenebilir hammadde kullanımı çevresel faktörler açısından olumlu etkilere sahip olduğ değeriendirilmiştir (Manyà, 2012). Ancak biyokömür uygulaması ile toprak iyileştirmesi ve üretkenlik değerieleri arasındaki ilişki henüz tam olarak aydınlatılamamış, konu ile alakalı olarak artan oranda çalışmalar devam etmektedir. Özellikle ilgili çalışmalar uzun vade etkileri üzerine kesinlik içeren değeriendirme ve araştırma sonuçlarının teminine odaklanmaktadır (Woolf vd., 2010).

Bu çalışmada önemli bir bitkisel atık olan eltik sapının, pirolizi de değeriendirilmiştir. Çünkü eltik üretiminin en önemli sorunlarından birisi, hasat sonrasında tarla yüzeyinde kalan sapların yönetimidir. Çeltik sapının diğeri tahıl türlerine oranla silika içeriğinin yüksek, lignin içeriğinin ise düşük olması sebebiyle parçalanması daha zordur. Silika içeriğİ bölgesel ve tür bazında değerişiklik göstermekte olup, %5 ilâ 15 arasında

farklılaşabilmektedir (Bölükbaş, 2018). Silisyum bitki gövdesine kökler aracılığı ile çözülmüş formda, *silikat ve monosilisic asit* olarak girerek bitkinin dış gövdesinde kümelenir. Burada buharlaşma ve polimerizasyon sonucu selüloz/silika membranı oluşturur. Oluşan membran genel olarak inorganik bağlardan oluşmakta ve sapın dayanıklılığını artıran kovalent bağları da içermektedir (Sun ve Gong, 2001; 5862).

Dünyada 2018/19 üretim sezonunda çeltik ekim alanında önemli ülkeler sırasıyla %27 Hindistan, %18,5 Çin, %7,5 Endonezya, %7,2 Bangladeş ve %6,7 ile Tayland bulunmaktadır. Yine 2018/2019 üretim sezonunda üretim miktarı olarak %28 Çin, %22,7 Hindistan, %8 Endonezya, %7,1 Bangladeş ve %6,3 ile Vietnam gelmektedir. Türkiye’ de 2017/18 üretim sezonunda çeltik üretimi yaklaşık 110 bin hektar alanda gerçekleşmiştir. Bu üretiminin %41,7’si Edirne, %15,1’i Samsun, %13,2’si Balıkesir ve %7,5’i Çanakkale’ dendir (SGB, 2020). Hasat sonrası tarlada kalan saplar hem sap/tane oranının yüksek olması hem de toprakta parçalanmasının oldukça güç olması sebebiyle üreticiler tarafından sorun olarak görülmektedir. Aslında sap parçalama makinaları ile saplar parçalanabilmektedir. Ancak bu yöntem maliyetli olduğundan üreticiler tarafından pek tercih edilmemektedir. Çoğu çeltik üreticisi bir sonraki üretim sezonuna hazırlık yapma adına ucuz ve uygulaması kolay bir yöntem olarak hasat sonrası tarlada kalan sapları yerinde yakmaktadırlar. Anız yakılmasının kanunen yasak olmasına rağmen üreticilerin bu sapları yerinde yakmaları çeltik sapı yönetiminde eksiklikler olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, potansiyel tarımsal atık olarak görülen çeltik sapının kıyılarak, yakılarak ve biyokömüre dönüştürülerek toprağa karıştırılmasının toprak özelliklerine ve marul yetiştiriciliğinde verime olan etkisini belirlemektir.

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Çeltik Sapının Toprak Özelliklerine Etkileri ile İlgili Önceki Çalışmalar

Mandal vd., (2004) çeltik sapının yakılması, toprağa karıştırılması, malçlama ve balyalanarak tarladan uzaklaştırılması işlemlerinin toprak özellikleri ve buğday verimine etkisini belirlemeye yönelik çalışma yapmışlardır. Sonuçlarda, çeltik sapının yakılması ile haşereleri öldürmesi ve tarlanın bir sonraki ekime kolay hazırlamasının faydalarına karşın toprak içeriğindeki N (%80'e kadar), P (%25), K (%21) ve S (%4-60) kayıplarına yol açtığı bildirilmiştir. Bunun yanı sıra toprak organik madde (TOM) azalmasına ve CO₂ salınımının artmasına yol açtığını bildirmişlerdir (CO₂ 13 tha⁻¹). Çeltik sapının yakmaya kıyasla toprağa karıştırma işleminde ise toprakta TOM ve toprak N, P ve K oluşumuna yol açtığını ancak toprağa karıştırmanın en büyük dezavantajının ise N'un immobilizasyonu olduğunu bildirmişlerdir. Kalıntıların yüzeyde tutulmasının, yanmaya kıyasla toprak NO₃'ünü %46, bitki N alımını %29 ve verimi %37 oranında artırdığını gözlemlemişlerdir.

Çeltik samanı yönetiminin (toprağa karıştırma, yakma veya tarladan uzaklaştırma) toprak organik karbon içeriği ve fiziksel ve hidrolik özellikler üzerindeki etkilerini belirlemek üzere Singh vd., (2005) kumlu tın toprakta beş yıllık çeltik-buğday ekimini kapsayan deneme yapmışlardır. Toprağın organik karbon içeriği, anızın toprağa karıştırılmasında yakılma ile tarladan uzaklaştırmaya göre daha fazla artmıştır. Benzer şekilde agregatlaşma, toplam gözeneklilik, gözenek boyutu dağılımı ve kuru hacim ağırlığını da iyileştirilmiştir.

Güney Çin bölgesini kapsayacak biçimde Zhou vd., (2020) yılında yapılan çalışmada çeltik sapı ve yeşil gübreleme işlemini toprağa ayrı ayrı ve kombine olarak uygulamıştır. Uygulama düzeneği beş aşamalı olarak tasarlanmış olup, bunlar; gübresiz, kimyasal gübre, yeşil gübre, çeltik sapı ve kombine uygulamadır. Çalışma sonucunda gübreleme yapılmayan kontrol uygulamasına göre çeltik verimi, yeşil gübrelemede %4,1, çeltik sapı uygulamasında %4,7 ve kombine uygulamada %9,6 artış gözlenmiştir. Sonuç olarak kombine uygulama

sonucunda toprak organik karbonu, toplam N, mineral N ve potasyum oranlarında artış gözlenmiştir. Bu artışın çeltik sapının topraktaki organik karbon ve potasyum oranlarını artırma kapasitesi ile yeşil gübrelemenin toplam N ve mineral N artırım potansiyelinden kaynaklandığı bildirilmiştir.

Japonya'nın Tohoku bölgesinin soğuk ılıman bölgesinde, çeltik mevsimi haricinde hem sıcaklığın hem de nemin, çeltik samanı ayrışma oranını nasıl etkileyebileceğini anlamak için laboratuvarda Nakajima vd., (2018) bir modelleme ile inkübasyon deneyi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada dört sıcaklık seviyesi (-5 ila 5, 5, 15 ve 25 °C) ve iki nem seviyesinin (%60 ve %100 WFPS su dolu boşluk hacmi) kombinasyonu ile ¹³C etiketli çeltik samanı toprağa %2 oranında karıştırmış ve 24 hafta inkübe edilmiştir. Sonuçlar, sıcaklık ve nem değerlerinin çeltik samanının ayrışma oranını etkilediğini göstermiş, çeltik samanının ayrışma oranları yüksek sıcaklık yanında yüksek nem koşullarında da artmıştır. %100 WFPS koşulunda yüksek nem altında, çeltik samanı ayrışma oranları sırasıyla -5 ila 5, 5, 15 ve 25 °C sıcaklık işlemlerinde %14,0, %22,2, %33,5 ve %46,2 olarak gözlenmiştir. %60 WFPS koşulunda düşük nem altında iken, bu oranlar sırasıyla %12,7, %18,3, %31,2 ve %38,4 olarak kaydedilmiştir.

Jin vd., (2020) çeltik samanı (ÇS) ve çeltik samanı külünün (ÇSK), Güney Çin nadir yer elementi madenciliği bölgeleri çevrelerindeki topraklarda, erken çeltiğin büyümesi ve bakteri topluluğunun α çeşitliliği üzerindeki etkilerini incelemek için saksı deneyleri tasarlamışlardır. Toprak maden işletmeciliğinin toprak kirliliğine yol açtığını ve buna bağlı olarak çeltiğin büyümesinin negatif yönde etkilendiğini bildirmişlerdir. Madencilik alanlarında toprak bakterisinin α çeşitliliği azalır, bu da *Pseudorhodoferax*, *Phenylobacterium* ve aynı türden diğer bakterilerin büyümesini destekler ve faydalı bakterilerin büyümesini engeller. Kirlenmiş toprağa ÇS eklemek, nadir yer elementlerinin çözünmesini teşvik etmekte ve ilk aşamada pH değerinin düşmesi nedeniyle erken çeltiğin büyümesini engellemekte ve ikinci aşamada ise yüksek sıcaklık ve güçlü radyasyon ÇS'nin hızla ayrışmasına neden olarak toprak ötrofikasyonuna neden olmaktadır.

Çin'in Nanjing, Jiangsu Eyaleti Jurong kentinde buğday ekiminden önce toprağa farklı yöntemlerle karıştırılan çeltik samanının, N₂O emisyonuna etkisini araştırmak için 2006 ile 2008 yılları arasında Ma vd., (2010) tarafından bir tarla denemesi gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar a) çeltik samanı uygulanmamış (K), b) yerinde yanmış çeltik samanı (ÇK) c) üst toprağa eşit şekilde eklenmiş çeltik samanı (ÇA) d) tarlaya malç olarak eşit şekilde yayılmış çeltik samanı (ÇM) uygulamalarıdır. Sonuçlarda N₂O emisyonunun ÇK'de %24-29 ve ÇA'da %3-18 azaldığını ancak ÇM'de, K'dakine kıyasla %15-39 arttığını göstermiştir. Buğday hasadında toprak toplam C ve N içeriği, K ile karşılaştırıldığında, ÇA'da karbon için %7-13 ve azot için %8-12 oranında artmıştır. ÇA'daki buğday tanesi verimi, K'ındakinin 1,0-1,2 katı olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara dayanarak, çeltik samanını üst toprağa eşit şekilde ekleme yönteminin buğday yetiştirme mevsimi boyunca N₂O emisyonunu azaltma, buğday verimini ve toprak verimliliğini artırma eğiliminde olduğundan en faydalı yöntem olduğu belirtilmiştir.

2.2. Çeltik Sapı Biyokömürünün Toprak Özelliklerine Etkileri ile İlgili Önceki Çalışmalar

Özellikle bilimsel çalışmalarda, biyokömür daha önce siyah karbon veya odun kömürü olarak anılırken, siyah karbon esas olarak doğal kömüre atıfta bulunmakta olup, odun kömürü ise piroliz yöntemi ile elde edilen ürünü tanımlamaktadır (Chen vd., 2019).

Biyokömür teriminin ortaya çıkmasından önce odun kömürünün toprak düzenleyici olarak kullanılabileceği, iyon değişim kapasitesini artırabileceği ve pH düzenlemesine katkıda bulunabileceği bulguları 1960'lı yıllara kadar dayanmaktadır (Guo vd., 2003). 1970'li yıllarda ise özellikle yosun kültürü için besin ortamı olarak kullanımına dair çalışmalar yürütülmüştür (Wang ve Huang, 1976).

Enerji kaynağı ve aktif karbon olarak başka alanlarda kullanım alanlarının yanında biyokömür uygulamalarının tarımsal üretimde kullanımı araştırmaları ilk olarak Karaosmanoğlu vd., (2000) yılında Energy Fuels dergisinde yayınlanan ve biochar

uygulamasının enerji içeriğini konu edinen *Biochar from the straw-stalk of rapeseed plant* (Kanola bitkisinin sapından biyokömür üretimi) makalesi üzerine Woods vd., (2006) tarafından Nature Dergisinde yayınlanan yorum sonucunda dikkat çekmeye başlamıştır.

Kamali vd., (2020) yaptıkları bibliyometrik araştırmada biyokömür uygulamalarının toprak ıslahı üzerindeki etkilerini içeren çalışmaları derlemişlerdir. 2982 adet yayının çalışma kapsamına alındığı makalelerinde; 2000’li yıllardan sonra ilgi gören çalışma sayısının 2014 yılından itibaren ise ivmelenerek arttığını tespit etmişler, çalışma konusunda ABD ve Çin’in alana en fazla katkı yapan ülkeler olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmaların %43,47’sinin çevre bilimleri, %26,48’inin toprak bilimleri, %12,82’sinin zirai bilimler, %8,19’unun bitki bilimleri dergilerinde yayınlandıkları verilerini iletmişlerdir.

Demirbaş vd., (2005) karbonizasyon ve yavaş piroliz işlemleri sırasında piroliz sıcaklığı arttığında, biyokömür veriminin düştüğünü bildirmiştir. Biyokömür verimi, numunenin parçacık büyüklüğü arttıkça artmıştır.

İlay vd., (2020) farklı sıcaklıklarda ve bekletme sürelerinde üretilen farklı boyutlardaki domates hasat kalıntısı biyokömürünün (TB) karbon ve azot içeriklerini belirlemişlerdir. Biyokömürler beş farklı sıcaklıkta (300, 400, 500, 600, 700 °C) ve üç farklı sürede (20, 40 ve 80 dakika) üretilmiş ve üç farklı tane boyutu sınıfına (<0,5 mm, 0,5–2 mm ve 2 –4 mm) ayrılmışlardır. Üretim sıcaklığı, TB’nin N içeriğini istatistiki olarak önemli ölçüde etkilerken, C içeriklerinde sıcaklığa bağlı değişiklikler önemli bulunmamıştır. Bununla birlikte TB boyutunun, C ve N içerikleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. TB’nin tane boyutu arttıkça, BET yüzey alanı ve toplam gözenek hacmi artarken, ortalama gözenek yarıçapı azalmıştır. Biyokömürün daha büyük boyutu (2-4 mm), SEM (Taramalı elektron mikroskopu) görüntülerine göre, oldukça gözenekli ve bal peteği strüktür göstermektedir ve yüksek spesifik bir yüzey alanı oluşturan hem mikro hem de mezo-gözenekler içermektedir.

Akça vd., (2020) 400°C’de yavaş piroliz yöntemi ile çeltik sapından elde edilen biyokömürün özelliklerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda elde edilen biyokömürün karbonca zengin ve selülozik amorf bir madde olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca büyük gözenekli, orta-düşük özgül yüzey alanlı ve toprakta karbon dengelenmesi için kullanılabilir olduğunu bildirmişlerdir.

Biyokütlenin piroliz işlemi ile biyoyağ ve biyokömür elde edilmesi yönteminden yola çıkan Joseph vd., (2007) elde edilen biyokömürü toprağa uygulamış ve sonuç olarak uygulamanın toprak sağlığı ve verimliliği artırdığını, organik ve inorganik gübrelerin toprağa sızmasını azalttığını, topraktaki N₂O ve CH₄ emisyonlarının düştüğünü tespit etmişlerdir.

Bitki örtüsünün kısmi yanması sonucu oluşan biyokömürün organik kirleticileri tecrit etme yeteneği ve kömürün topraktaki diuron pestisitini emme ve desorpsiyon rolünü inceleyen Yu vd., (2006); Elde ettikleri sentetik kömürü kullanmışlar, yüzey alanının artması ile birlikte ayırma gücünün arttığı sonucuna erişmişlerdir.

Lu vd., (2014) çalışmalarında killi toprağa, toplam ağırlık oranının %0, 2, 4 ve 6’sını içerecek şekilde çeltik kavuzu biyokömürü (ÇKB) ve çeltik uçucu külünü (ÇK) 2 farklı gözlem için uygulamışlardır. ÇKB’nin 0,25mm’den büyük çaplı makro agregatları önemli ölçüde artırdığını ve mikroagregatları ise azalttığını gözlemlemişlerdir. ÇK uygulaması ise makro agregat oluşumu üzerinde kayda değer bir tesir göstermemiştir. Kontrole göre ÇKB ve ÇK uygulanmış topraklarda daha yüksek agregat ortalama ağırlık çapı ve geometrik ortalama çapı tespit edilmiştir. ÇKB uygulaması sonucu toprak su tutma kapasitesinde artış gözlenmiştir.

Kartika vd., (2018) Endonezya’da biyokömür uygulamasını çeltik yetiştiriciliği alanında incelemişlerdir. Toprağa uygulanan biyokömür sonucunda pH değerinde artış gözlenmiş ancak toprak katyon değişim kapasitesi ve toprağın makro besin maddelerinde

kayda değer bir değişiklik tespit edilmemiştir. Vejetatif dönemde nispi büyüme oranında artış, yaprak oranında ise azalma gözlenmiştir.

2005-2008 yılları arası 3 farklı çeltik yetiştirme sezonunda, çeltik kavuzundan elde edilen biyokömür (ÇKB) ve çeltik kavuzunun (ÇK) toprak özellikleri üzerindeki değişimi ve verim üzerine etkileri Haefele vd., (2011) tarafından incelenmiştir. Sonuçlar ÇKB uygulamasının toplam organik karbon, toplam toprak N'yi, C/N oranını ve mevcut P ve K'yı artırdığını göstermektedir. Verimli topraklarda, ÇKB'nin sağladığı yüksek C/N oranı sebebi ile sınırlı N kaynağı ortamı oluşumu sebebiyle bitkinin N erişebilirliği azalmış ve uygulamadan sonraki ilk 3 sezonda mahsul veriminin düştüğü bildirilmiştir. Su sıkıntısı yaşanan zayıf toprakta ise toprağın fiziksel ve kimyasal değişimleri sonucu ürün veriminde %16 ilâ 35 oranında artış gözlenmiştir.

Novak vd., (2009) toprak verimliliği düşük olan; kumlu, asidik, katyon değişim kapasitesi düşük, organik karbon içeriği az olan topraklara biyokömür ilavesiyle üretim sorunlarından bazılarının iyileştirileceğini varsaymışlardır. Yapılan çalışma sonrasında toprak pH'sı, organik karbonu, Ca, K, Mn ve P değerleri artmış ve değişebilir asidite, S ve Zn içeriği düşmüştür. Biyokömürün toprağa ilave edilmesi sonucunda verimlilik artışı kaydedilmiştir.

Zhao vd., (2018) tarafından yapılan tarla denemesinde 2 farklı biyokömür dozu (0 ve 2,25 t_{ha}⁻¹), iki farklı azot gübresi seviyesi (120 ve 180 kg_{ha}⁻¹) ve iki farklı fosfor gübre seviyesi (37,5 ve 67,5 kg_{ha}⁻¹) kullanılmıştır. Sonuçlar, biyokömür uygulamasının, kireçlenme etkisinden dolayı toprak pH'sinde önemli bir artışa neden olduğunu doğrularken, toprakta yaygın Ca, Mg, Al gibi katyonlarda önemli bir düşüşe neden olmuştur. Azot gübresi, P gübresi ve biyokömürün etkileşimli etkisi toprak toplam N alımı için önemli bulunmuştur. Bununla birlikte, biyokömürün çeltik verimi ve biyokütle üretimi üzerine kayda değer etkileri tespit edilmemiştir.

Bashir vd., (2017) metal kirlenmesi olan toprakta biyokömür uygulaması yaparak şeker kamışının büyüme oranı ve Cd, Cr seviyelerindeki azalmasını ölçmüşlerdir. Sonuç olarak kg başına 15 g kullanılan biyokömür uygulamasında Cd oranında %29 ile %32, Cr oranında ise %34 ile 41 azalma gözlemlenmiştir. Uygulama sonucunda toprağın Cd, Cr kirlenmesinde azalma, mikrobial aktivite ve bitki biyokütlesinde artış kaydetmişlerdir.

Abrishamkesh vd., (2015) alkali toprak üzerinde mercimek üretmişlerdir. Uygulamada çeltik kavuzundan elde ettikleri biyokömürü sırasıyla ağırlıkça %0,4, %0,8, %1,6, %2,4 ve %3,3 oranlarında toprağa uygulanmışlardır. Çalışma sonucunda toprak organik karbonu, katyon değişim kapasitesi, potasyum içeriği ve mercimek kök biyokütlesinin önemli oranda arttığı, toprak kuru hacim ağırlığının ise azaldığı gözlemlenmiştir.

2.3. Çeltik Sapı Külünün Toprak Özelliklerine Etkileri ile İlgili Önceki Çalışmalar

Tuyen ve Tan (2001), Vietnam Delta Rice Araştırma merkezi bünyesinde 6 üretim sezonu süresince devam eden bir çalışma yürütmüşler ve sonuç olarak çeltik samanı yakıldıktan sonra tarlaya uygulanmasının, samanın tarladan uzaklaştırılmasına göre daha yüksek verim sağladığını belirtmişlerdir. Toprağın N ve P açısından daha zengin hale geldiğini ancak Ca, Mg, Na, Zn ve Cu değerlerinde çok az değişim gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Çeltik sapı yakılma işleminin atmosfere CO₂ salınımı sebebiyle zararlı olabileceği bilinmektedir. Kanokkanjana ve Garivait (2013) çalışmalarında Tayland'da çeltik sapı yakma işlemi sonucunda ortaya çıkan CO₂ gazı ve karbon içerik kaybını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucuna göre yakım işlemi geleneksel ve en ucuz yöntem olmasına karşın atmosfer üzerindeki etkilerini azaltmak için samanın kuru mevsimde toplanmasını ve yağışlı mevsimde yakılmasını, ayrıca kalan samanın sürülerek toprağa dahil

edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Bu yöntem sayesinde yakılan saman miktarında %53 ve salınan CO₂ miktarında ise %52 azalma sağlanacağını tespit etmişlerdir.

Huang vd., (2011) metal kirleticilerinin hareketliliğini ve biyoyararlanımında çeltik samanı külünün (ÇSK) etkisini belirlemek üzere, kirlenmiş topraklarla su basmasını da simule eden bir inkübasyon çalışmasında, Cu'nun çözünürlüğü ve dağılımını incelemişlerdir. Çalışmada topraklara ÇSK'nın eklenmesiyle toprak pH'ında artış ve redoks potansiyelinde düşüş olduğu ve bu değişiklikler sebebiyle topraktaki Cu'nun daha az çözünür forma dönmesini sağladığını belirlemişlerdir. ÇSK'nın kirlenmiş topraklarda metalin immobilizasyonunu arttırdığını bildirmişlerdir.

Çeltik samanının yakılması, çeltik tarlalarında hasat sonrası gerçekleştirilen yaygın bir uygulamadır. Bu uygulama sonucunda çeltik toprağında çeltik samanı külü (ÇSK) birikimi gözlenmektedir. Toprakta ÇSK oluşumu kirletici madde kalıntı miktarını ve taşınmasını ekleyebileceğinden çalışmada ÇSK'nın toprak içeriğindeki emici özelliğinin tespiti amaçlanmıştır. Bunun için ÇSK ve ÇSK ile değiştirilmiş topraklarda 3-klorofenolün (3-CP) soğurulması araştırılmıştır. Topraklara ÇSK'nın eklenmesi, toplam 3-CP emilimini artırmış, bu da ÇSK değişikliğinin kontamine topraklarda 3-CP'nin hareketini geciktirmek için uygulanabileceğini göstermiştir. Topraktaki ÇSK içeriği %0'dan %2'ye yükselince, toprağın Langmuir emilimi maksimum 18–80'den 256–274 mg/kg'a yükselmiştir. Böylece, ÇSK, topraktaki diğer ana bileşenlere göre toprağın toplam emilim kapasitesine daha fazla katkıda bulunmuştur (Liu vd., 2010).

2.4. Toprağa Eklenen Organik Kökenli Materyallerin Marul Gelişimine Etkileri ile İlgili Önceki Çalışmalar

Vişne ağacından yapılmış biyokömür üç farklı piroliz sıcaklığında üretilmiştir (375, 475 ve 575 °C). Biyokömür toprağa üç farklı oranda uygulanmış (ağırlıkça % 1, 2 ve 3) ve marul (*Lactuca sativa*) yetiştirilmiştir. Biyokömür ilavesi ile marul verimi kontrole göre azalmış sadece en düşük sıcaklıkta 375 °C üretilen biyokömür ilavesi kontrolle aynı grupta

yer almıştır. Sonuçlar 375 °C'de üretilen ve %2 oranında toprağa uygulanan biyokömürün en iyi kombinasyon olduğunu göstermiştir (Hunter vd., 2017).

Sadece biyokömür kullanımı yanında kompost ile beraber kullanımlarının da incelendiği çalışmalardan bir tanesi olan Trupiano vd., (2017) tarafından yürütülen projede kompostun besin açısından fakir toprakta yetişen marul bitkisi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Biyokömür yalnız kullanıldığında marul bitkisinin gelişiminde, toprağın toplam N, C ve P içeriğinde artış gözlenmiştir. Kompost uygulamasında ise bitki büyümesi, verimi ve toprak kimyasal özelliklerinde olumlu etkiler tespit edilmiştir. İki aşama birleştirilerek kompost ve biyokömür birlikte toprağa uygulandığında ise pozitif yönde bir sinerji gözlenmemiştir.

Laboratuvar inkübasyon deneyinde, biyokömür (%2 ve %5) ve çiftlik gübresi (20 tha^{-1}) tek başına ve iki doz çiftlik gübresi (10 ve 20 tha^{-1}) ile birlikte %2 biyokömür uygulanmış ve 40 gün boyunca inkübasyon yapılmıştır. Ayrıca saksı denemesinde marul yetiştirilmiştir. Çalışma, biyokömürün yalnızca çiftlik gübresiyle birlikte toprak pH'sı, toplam organik karbon ve katyon değişim kapasitesini artırdığını ve geçici olarak toprak solunumunu ve mikrobiyal biyokütle karbonunu artırdığını göstermiştir. Ayrıca, çiftlik gübresi ve biyokömürün kombine uygulamasının dahil edilmesi, marul verimini daha fazla arttırmıştır. Çalışma, mısır koçanı biyokömürünün yalnızca ya da çiftlik gübresiyle birlikte uygulandığında toprak kimyasal özelliklerini ve marul verimini artırabileceğini göstermiştir (Frimpong vd., 2016).

Deri sanayi atıklarının, toprakları krom (Cr) ile kirlettiği, bundan dolayı kromun bitkisel dokularda toksik konsantrasyonlarda biriktiği ve biyokömür uygulamasını marul bitkisinde Cr birikimine etkisi araştırılan çalışmada mısır sapından üretilen biyokömür kullanılmıştır. Sonuç olarak toprak pH, elektriksel iletkenlik, organik karbon, toplam azot, fosfor, katyon değişim kapasitesinde değişim gözlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda Cr ile kirlenmiş topraklarda yetiştirilen marul bitkisinde bitkisel dokularda Cr miktarında azalma ve toprak verimlilik kapasitesinde artış gözlenmiştir (Nigussie vd., 2012).

Çeltik kavuzu kaynaklı biyokömür katkısı yapılan saksı deneyinde, sırası ile marul-çin lahanası-marul yetiştirilmesinin sonuçları araştırılmıştır (Carter vd., 2013). Uygulama üç dozda gerçekleştirilmiş, kg başına kütleye %28,7 karbon içeriği olan 25, 50 ve 150 g biyokömür uygulanmıştır. Biyokömür uygulamasına ek kompost, sıvı kompost ve göl tortusu karışımı gübre olarak ortama eklenmiştir. Çalışma sonucunda kontrole göre toprak eser metal ve değiştirilebilir katyonları (K, Ca, Mg) ile toprak pH'ında artış kaydedilmiştir. Bunun yanında biyokömür uygulaması ile biyokütle, kök biyokütlesi, bitki boyu ve yaprak sayısında artış bildirilmiştir. Ancak en büyük artış gübreleme yapılmadan sadece biyokömür uygulaması ile elde edilen üründe gözlenmiştir.

Kim vd., (2015) ağır metal ile kirlenmiş toprağa %0, 0,5, 1, 2, 5 ve 10 oranlarında biyokömür uygulanan toprakta marul gelişimini ve toprak özelliklerini incelemişlerdir. Araştırma bitki bünyesindeki ağır metal oranında azalış bildirmektedir. Ancak ağır metal oranındaki düşüşe rağmen, biyokömür uygulama oranı artırıldıkça bitki büyümesinde yavaşlama gözlenmiştir. Azotun da diğer ağır metaller ile birlikte biyokömür tarafından absorbe edilmesi büyümenin yavaşlaması için sebep olarak gösterilmiştir. Kirli topraklarda biyokömür uygulaması yapılırken azot eksikliği ihtimalini dikkate alarak uygulama miktarının doğru belirlenmesi tavsiye edilmiştir.

Hernandez vd., (2016) çalışmalarında kompostların gelereksele inorganik gübreleme (İG) yerine tam veya ikame olarak kullanımının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Güney İspanya'da kumlu, tın bünyeli toprakta çeşitli oranlarda inorganik ve organik gübrelerden (kompostlar) oluşan muamelelerde, iki ardışık marul mahsulünde (*Lactuca sativa* L.) dört tekerrür olarak çalışılmıştır. Çalışmada toprak ve bitki yapraklarındaki makro ve mikro besin maddeleri, ağır metal konsantrasyonları, toprak bazal solunumu (BR), mikrobiyal biyokütle C (C_{mic}), dehidrojenaz (DHA) ve hidrolaz aktiviteleri gibi parametreler ile toprak mikrobiyal bolluğu ve aktivitesi göstergeleri her üründen sonra belirlenmiştir. Ayrıca ikinci marul mahsulünden sonra, agregat stabilitesi ve toprak su tutma kapasitesi gibi toprak fiziksel özellikleri de incelenmiştir. İlk mahsul için, kompostla uygulanmış topraklar ile İG uygulanmış toprakların marul verimi istatistiki olarak önemli ölçüde farklılık göstermemiş, ancak ikinci mahsulde kompostlu topraktaki marul veriminin daha yüksek olduğu

gözlenmiştir. İkinci mahsulün ardından, organik olarak işlenmiş topraklarda, İG uygulanan topraklara göre daha yüksek C, N, P konsantrasyonları ile Cmic, BR ve DHA aktiviteleri belirlenmiş ve daha yüksek stabil agretat yüzdesi ve daha fazla su tutma kapasitesi gibi fiziksel özelliklerde iyileşme tespit edilmiştir.

Castro vd., (2009) Alcázar de San Juan'ın Atık Su Arıtma Tesisi (AAT) yakınındaki bir tarım arazisinde; havada kurutulmuş kanalizasyon çamuru (KÇ), belediye katı atık kompostu (KAK), ticari gübrenin inorganik muamelesi (İG) ile hiçbir gübrelemenin uygulanmadığı kontrol işlemini (K) içeren çalışmada art arda üç mahsul mevsimi boyunca marul (*Lactuca sativa* L.) yetiştirmişlerdir. En yüksek verim, tüm mahsul mevsimlerinde KÇ uygulamasında görülmüştür. Mikrobiyolojik içerik ise KÇ uygulamasında ilk hasat sezonunda, özellikle marul yaprakları ve toprakta diğer uygulamalara nazaran daha fazla tespit edilmiştir.

Marul yetiştiriciliğinde bitki gelişim dönemlerinde 5 aşamada makro mineraller, iz elementleri ve fotosentetik pigmentlerdeki değişiklikleri izlemek için Pinto vd., (2014) çalışmalarında üç farklı tarım serası alanında (A1, A2 ve A3) marul yetiştirilmiş ve marul içeriği üzerindeki etkisini anlamak için toprak bileşimi de izlenmiştir. Genel olarak, marul büyümesi sırasında makro mineral, iz elementi, klorofil ve karotenoid içeriğinin azaldığı ve marulun daha genç aşamalarında yüksek besin değeri olduğu gözlenmiştir. A2 deki marullarda, farklı toprak fizikokimyasal parametreleri nedeniyle Fe, Al, Cr ve Pb'de artış gözlenmiştir. Aşamalı regresyon analizi ile sonuçlar değerlendirilerek, toprak özelliklerinin element biyoyararlanımı ve bitkinin mineral içeriğini belirlemede anahtar rolü olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, marulun besin değerinin büyük ölçüde büyüme aşamasına ve toprak özelliklerine bağlı olduğu sonucuna erişilmiştir.

Organik, inorganik ve sıvı gübrelerin nitrat konsantrasyonlarını belirlemek ve marul büyümesi üzerindeki etkilerini araştırmak için Liu vd., (2014) saksı denemesi yapmışlardır. Bu deneyin sonucunda, azotlu gübre miktarı arttıkça topraktaki toplam azot konsantrasyonunun ve maruldaki nitrat konsantrasyonunun arttığını belirlemişlerdir. Standart olarak önerilen miktarda kullanılan inorganik gübreye göre (200 kgNha^{-1}) organik gübre (200 kgNha^{-1}) kullanılan marulda önemli ölçüde daha uzun ve daha geniş yapraklar

ile daha yüksek sürgün elde edilmiştir. Ayrıca daha düşük nitrat konsantrasyonları içerdiği belirlenmiştir.

Humusça zengin kompostların köklerde, marul (*Lactuca sativa* L.) büyümesinde ve toprak verimliliğinin iyileştirilmesinde yerli veya aşılınmış AM mantar kolonizasyonu üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Solaiman vd., (2019) yapılan çalışmada ekimden sonra 10 hafta boyunca sera koşullarında yetiştirilen marullara farklı humus içerikli dört farklı kompost uygulanmış ve düşük humuslu kompost ve sadece toprak ile karşılaştırılmıştır. Humus açısından zengin kompostların, köklerde marul sürgün büyümesini, kök büyümesini ve AM mantar kolonizasyonunu önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Kompostlardaki humus içeriği, ayrıca marul sürgünleri ve kök büyümesi ile de ilişkilendirilmiştir. Humus açısından zengin kompostların uygulanmasıyla toprakta çözünmüş organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbon ve verimlilik artırılmıştır. Humus açısından zengin bu kompostlar, özellikle AM aşılması olan ve olmayan yüksek hümik asit kompostu, marul büyümesi gibi sürdürülebilir sebze üretiminde önemli bir role sahip olabileceği bildirilmiştir. Genel olarak sonuçlar, humus açısından zengin kompost takviyesinin toprak verimliliğini artırmak ve sebze üretiminin sürdürülebilirlik potansiyelini korumak için oldukça faydalı olduğunu göstermiştir.

Mohammad vd., (2004), farklı oranlarda kanalizasyon çamuru (KÇ), diamonyumfosfat (DAP) katılmış kireçli topraklarda marul gelişimini gözlemek için saksı deneyi tasarlamıştır. Deneyde hektar başına 20, 40, 80, 160 ton KÇ ve (80 kg ha^{-1} P $_2$ O $_5$) DAP gübresi uygulanmıştır. Bitki kuru ve yaş ağırlığında en fazla artış 80 ve 160 t ha^{-1} KÇ uygulamasında gözlenmiştir. DAP ve 20-40 t ha^{-1} KÇ uygulamalarından ise yakın sonuçlar elde edilmiştir. KÇ uygulamaları, gübre ve kontrole nazaran makrobesin, mikroelementler ve ağır metal içeriğinde artışa sebep olmuş, toprak pH'sını düşürmüş, elektriksel iletkenlik, organik madde ve toprak fosforunu artırmıştır. Sonuç olarak ağır metal içeriği artışı ve diğer parametreler göz önünde bulundurulduğunda optimum çözümün hektar başına 40 ton KÇ uygulaması olduğu bildirilmiştir.

Organik gübrelemenin marul üretiminde verim, kalite ve hasat sonrası durumunda düşüş yaşanmadan mineral gübrelemenin yerini alıp alamayacağını test etmek için El-Mogy vd., (2020) tarafından mineral veya organik gübrenin toprak verimliliği ve mikrobiyal topluluk üzerindeki etkileri bir çalışmada incelenmiştir. Kontrol (150: 45: 65 kg^{ha}⁻¹ NPK) mineral gübre ile diğer örnekler 15 t^{ha}⁻¹ kompost, 10 t^{ha}⁻¹ tavşan gübresi ve 10 t^{ha}⁻¹ tavuk gübresi ile gübrelenmiştir. Çalışma sonucunda tüm organik gübre kaynaklarının mineral gübreye nazaran topraktaki toplam N, organik karbon, toplam mantar ve bakteri içeriklerini önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir.

Ahşap yapıların böcek, tahta kurdu, mikrop gibi zararlılardan korunması için kullanılan kromatlı bakır arsenat (CCA) zaman içerisinde süzülerek topraktaki inorganik As içeriğini artırabilmektedir. Bu topraklarda yetiştirilen ürünlerde ise As seviyelerini azaltabilmek için çalışmalar dizayn edilmektedir. De Oliveira, L. vd., (2017) çalışmalarında hiperakümülatör bir bitki olan *P. Vittata* aracılığı ile marul bünyesindeki As oranını azaltmayı hedeflemişlerdir. Çalışmada CCA (63,9 mgkg⁻¹ As) ile kirlenmiş toprağa farklı düzeneklerde %1 oranında biyokömür, aktif karbon, kahve telvesi karıştırılmış ve 150 gün *P. Vittata* ardından 55 gün marul yetiştirilmiştir. Sonuç olarak *P. Vittata* varlığı, marulda As içeriğini %21 oranında düşürürken, biyokömür, aktif karbon ve kahve telvesi uygulamaları %5,6–18 oranlarında fazladan düşüş sağlamıştır. İlgili uygulamalar içerisinde en fazla düşüş aktif karbon uygulamasında gözlenmiştir.

Zandvakili vd., (2019) tarafından marulun organik N içeren gübrelere olan tepkilerini ölçmek üzere yaptıkları saksı çalışmasında, kan unu, tüy unu, pamuk tohumu unu, yonca unu, kanalizasyon çamuru, kompost ve inek gübresi kullanılmıştır. Gübrelere elde edilen N miktarları saksı başına 100, 200, 400 ve 800 mg olarak ölçülmüştür. Çalışmada verim, gübre verilen toprakta yetişen marullarda, verilmeyen topraklara göre daha yüksek olarak ölçülmüş; gübrelere N salınımı arttıkça marul yapraklarında N ve nitrat oranları artmıştır. Toprağın CO₂ salınımı ve amonyak buharlaşması ise yüksek N konsantrasyonu içeren gübreli denemelerde daha fazla tespit edilirken, düşük N içerikli organik gübreler daha düşük dozlarda uygulandığında marul gelişimini artırmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Bitki Materyali

Saksı denemesi şeklinde yürütülen bu çalışmada maritima çeşit kıvrıkcık marul fidesi kullanılmıştır. Çeşit özelliği olarak geç sapa kalkan, orta yeşil yapraklıdır. Olgunluk süresi yetiştirme dönemi ve iklim koşullarına bağlı olarak ortalama sıcak dönemlerde 45-50, soğuk dönemlerde 65-80 gündür. Baş yapısı homojen, yaprakları kalın, sulu ve gevrekli.

3.1.2. Toprak Materyali

Çanakkale İli Kumkale ovasından 39.975 K, 26.2374 D koordinatlarında 0-20 cm derinlikten bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri 30.07.2019 tarihinde alınmıştır. Çalışma alanı toprakları toprak taksonomisine göre *Typic Ustorthents* olarak sınıflandırılmıştır (Everest, 2015).

3.1.3. Toprağa uygulamada kullanılan materyaller

Çanakkale İli Kumkale Ovasında 2018 yılında çeltik üretiminden arta kalan çeltik sapları yöre çiftçisi arazisinden temin edilmiştir.

Çeltik sapı biyokömürü: Çeltik sapları, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesine gönderilmiş ve oradaki yüksek malzeme kapasiteli piroliz fırınında 500 °C sıcaklıkta biyokömüre dönüştürülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Çeltik sapı biyokömürü.

Çeltik sapı külü: Çeltik saplarının teneke varilde kontrollü şekilde yakılmasıyla elde edilmiştir.

Çeltik sapı: Saplar, ortalama 1 cm uzunluğunda kesilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çeltik sapı materyali.

3.2. Yöntem

3.2.1. Saksı denemesinin kurulması ve yönetilmesi

Denemede iki farklı dozda biyokömür, anız ve kül uygulaması ile hiçbir materyalin uygulanmadığı kontrol amaçlı örneklerden oluşmakta ve tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak tasarlanmıştır. Toplamda 28 saksıdan oluşan deneme Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde sıcaklık ve ışık kontrollü iklim odasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Işık ve sıcaklık kontrollü iklim odasında tesadüf blokları deneme desenine göre yerleştirilen saksılar.

Her bir saksı içerisine toprak ve/veya toprak + materyal toplamda 1000 gram olacak şekilde tartılarak doldurulmuştur. Materyaller sırasıyla; 1000 g toprak, %1 (10 g) anız + 990 g toprak, %3 (30 g) anız + 970 g toprak, %3 (30 g) kül + 970 g toprak, %6 (60g) kül + 940 g toprak, %3 (30 g) biyokömür + 970 g toprak (Şekil 4), %6 (60 g) biyokömür + 940 g toprak (Sekil 5) 4 tekerrür olacak şekilde tartılıp karıştırılarak numaralandırılan saksılara konulmuştur.



Şekil 4. %3 Biyokömür ile karıştırılan toprak örneği.



Şekil 5. %6 Biyokömür ile karıştırılan toprak örneği.

Hazırlanan saksılara marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisi fideleri 21.11.2019 tarihinde şaşırtılarak 20-23 °C ayarlı iklim odasına yerleştirilmiştir. Bitki gelişimine göre her bir saksıya toplamda 1 g diamonyum fosfat (DAP), 4 g amonyum sülfat, 0,8 ml kompoze sıvı yaprak gübresi (combisol) ile kimyasal gübreleme yapılmıştır. Yine bitkinin ihtiyacına göre sulama yapılmıştır. Gelişimleri takip edilen marullarda (Şekil 6,7,8) gelişimleri duran ve ölmek üzere oldukları gözlemlenen marullar (3 tane %1 anızlı, 4 tane %3 anızlı ve 2 tane %6 kül örneklerindeki marullar 30.12.2019 tarihinde ve 1 tane kontrol örneğindeki marul 10.01.2020 tarihinde) ölüm gerçekleşmeden önce marul gövdesinden toprağa temas ettiği yerden kesilerek hasat edilmiştir. Gelişimleri devam eden diğer örneklerdeki marullar fide dikim tarihinden 61 gün sonra 20.01.2020 tarihinde hasat edilmiştir.



Şekil 6. Fide dikim tarihinden 33 gün sonra.



Şekil 7. Fide dikim tarihinden 43 gün sonra.



Şekil 8. Fide dikim tarihinden 50 gün sonra.

3.2.2. Bitki Analizleri

Denemede yetiştirilen marulların; yaprak sayısı ve uzunlukları (cm), klorofil miktarı (SPAD), yaş ağırlığı (g), kuru ağırlığı (g), toplam yaprak yüzey alanı (cm²), toplam Azot

(%) ve Karbon (%) miktarı ile C/N oranları belirlenmiştir. Yapılan ölçüm ve analizler aşağıda açıklanmıştır.

Yaprak sayısı ve bitki boyu: Marullar 30 günlük olduğunda 20.12.2019 tarihinden itibaren haftalık olarak cetvel yardımı ile ölçülmüştür.

Klorofil ölçümleri: 20.01.2020 tarihinde marulların hasat işleminden hemen önce SPAD birimi olarak el tipi (Minolta SPAD-502) klorofilmetre ile klorofil ölçümleri yapılmıştır.

Toplam yaş ağırlık: Hasat edilen marullar hasattan hemen sonra hassas terazide tartılmıştır.

Yaprak alanı ölçümü: Hasat edilen marullar hasattan hemen sonra tazeyken tüm yapraklar Epson kök tarayıcısı cihazı ile taratılarak toplam yaprak alanları hesaplanmıştır.

Toplam kuru ağırlık: Marullar numaralandırılan kese kağıdına konularak 65 °C de 48 saat Nüve, FN500 marka etüvde kurutulmuştur. Kurutulan marullar hassas terazide tartılmıştır.

Toplam azot (TN) ve toplam karbon (TC) analizleri: Bitki örnekleri kurutulup öğütülmüştür. Öğütülen örneklerde Truspec 2000 CN elementel analiz cihazı kullanılarak toplam azot ve karbon miktarı belirlenmiştir.

3.2.3. Toprak Örneklerinin Analizleri

Kumkale ovasından alınan toprak örnekleri, toprak kurutma odasında hava kuru duruma getirildikten sonra 2 mm çapındaki elekten elenerek analize hazır hale getirilmiştir.

Hazırlanan örneklerin toprak reaksiyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC) ve toprak tekstür analizleri yapılmıştır.

Toprak reaksiyonu (pH): 1:2,5 oranında toprak-su karışımında (Şekil 9) hidrojen iyonu konsantrasyonun pH-metre ile potansiyometrik olarak ölçülmesi yöntemi ile belirlenmiştir (Black vd., 1965).

Elektriksel iletkenlik (EC): 1:2,5 oranında toprak-su karışımında elektriksel iletkenliğe bağlı kondaktivite metodu ile belirlenmiştir (Black vd., 1965).



Şekil 9. Toprak pH ve EC analiz işlemleri için hazırlanan örnekler.

Toprak tekstürü (toprak tane irilik dağılımı): Bozulmuş toprak örnekleri 2 mm elekten elendikten sonra iki paralel olacak şekilde Bouyoucos tarafından belirlenen esaslara göre hidrometre yöntemiyle yapılmıştır (Gee ve Bauder, 1986).

Deneme tamamlanıp marul bitkileri hasat edildikten sonra saksı topraklarında agregat stabilitesi (AS), agregat ortalama ağırlık çapı (OAÇ), tarla kapasitesi (TK), toplam porozite (TP), toplam azot (N) ve karbon (C) miktarı, sature hidrolik iletkenlik (K_{sat}), toprak

reaksiyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC) analizleri yapılmıştır. Yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

Agregat stabilitesi: Örneklerin % stabilitesi ıslak eleme metodu ile ıslak eleme cihazında belirlenmiştir (Kemper ve Rosenau, 1996).

Agregat ortalama ağırlık çapı: 4 mm elek açıklığına sahip elekten elenmiş 100 g ağırlığındaki topraklar farklı çaplardaki elekler kullanılarak (0-0,163 mm, 0,163-0,25 mm, 0,25-0,50 mm, 0,50-1 mm, 1-2 mm, 2-4 mm) agregatlarına ayrılmıştır. Büyüklüklerine göre ayrılan agregatlar tartılarak agregat büyüklük dağılımı tespit edilmiştir (Kemper and Koch, 1966).

Su tutma kapasitesi: 2 mm elek açıklığına sahip elekten elenen toprak örneklerinde, belirli hacimdeki toprağın tutabildiği su, % olarak ağırlık hesabı ile belirlenmiştir (Anonim, 1988).

Toprak kuru hacim ağırlığı: Saksılardan 100 cm³ hacimli çelik silindirlerle alınan bozulmamış toprak örneklerinin fırın kuru ağırlıklarının, toplam hacime bölünmesi ile hesaplanmıştır (Blake ve Hartge 1986).

Toplam porozite: $TP = 1 - (kuru\ hacim\ ağırlığı / tane\ yoğunluğu)$ eşitliğine göre belirlenmiştir (tane yoğunluğu= 2.65 g/cm³).

Toplam (C) ve (N) miktarı: Örnekler kurutulup, 0,5 mm'lik elekten elendikten sonra kuru yakma metoduna göre (Kirsten, 1983) LECO Truspec 2000 CN elementel analiz cihazı kullanılarak ASTM D5373 metoduna göre yapılmıştır (ASTM. 2014).

Hidrolik iletkenlik: Belirli bir hidrolik yük altında bulunan birim alandaki toprak gözeneklerinden birim zamanda geçen su miktarının sature hidrolik iletkenlik metoduna

(Klute ve Dirksen, 1986) göre ölçülmesiyle yapılmıştır. Saksılardan 100 cm³ hacimli çelik silindirlerle bozulmamış toprak örneği alınmıştır. Silindirlerin alt kısmı kaba filtre kağıdı ve gözenekli kapaklar ile kapatılmıştır. Daha sonra 0,1 M kalsiyum klorür (CaCl₂) çözeltisi dolu kabın içerisine yerleştirilmiş, kapillarite yolu ile doygunluğa ulaşmaları beklenmiş ve yüzeylerinden buharlaşmayı önlemek amacı ile üzerleri kapatılmıştır. Örnekler 48 saat sature edilmiştir. Saturasyon sonrası silindirler Şekil 10'daki gibi düzeneğe yerleştirilmiştir. Silindirlerin üstünden 2 saat boyunca sürekli 0,1 M kalsiyum klorür (CaCl₂) çözeltisi akışı yapılmıştır. İki saat sonrasında belirlenen sürelerle sabit su yükü altında toprak sütunundan geçen çözelti miktarı ölçülmüştür. Darcy yasasına göre sonuçlar hidrolik iletkenlik cm/s olarak eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır.

$$k=QL/AHT \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

k= Hız (cm/saniye)

Q: Birim zamanda toplanan su miktarı (ml)

T: Zaman (saniye)

L: Toprağın kalınlığı (cm)

A: Toprağın yüzey alanı (cm²)

H: Hidrolik yükseklik (cm)



Şekil 10. Hidrolik iletkenlik analizi için kullanılan düzenek.

3.2.4. Uygulama Materyallerinin Analizleri

Denemede kullanılan çeltik anızı, külü ve biyokömüründe azot (N) ve karbon (C) miktarı, toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) analizleri yapılmıştır. Ayrıca biyokömür verimi, nemi ve kül içeriği analizleri yapılmıştır. Yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

Çeltik anızı, külü ve biyokömürün pH değeri: 1:10 oranında adsorban-su karışımında hidrojen iyonu konsantrasyonun pH-metre ile potansiyometrik olarak ölçülmesi yöntemi ile belirlenmiştir (Black vd., 1965).

Çeltik anızı, külü ve biyokömürün EC değeri: 1:10 oranında adsorban-su karışımında elektriksel iletkenliğe bağlı kondaktivite metodu ile belirlenmiştir (Black vd., 1965).

Çeltik anızı, külü ve biyokömürün karbon (C) ve azot (N) miktarı: Örnekler kurutulup, havanda dövüldükten sonra 0.5 mm'lik elekten elenmiştir. Daha sonra kuru

yakma ile LECO truspec CN elementer analiz cihazı kullanılarak ASTM D5373 metoduna göre yapılmıştır (ASTM. 2014).

Biyokömür verimi: Biyokömüre ait verim değeri, çok sayıda araştırmacı tarafından tercih edilen gravimetrik yöntem eşitlik (3.2) kullanılarak belirlenmiştir (Lehman ve Joseph, 2009).

$$\text{Biyokömür verimi (\%)} = M_{\text{biyokömür}} / M_{\text{biyokütle}} \times 100 \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

$M_{\text{biyokütle}}$: Denemeye alınan örnek ağırlığı (g)

$M_{\text{biyokömür}}$: Elde edilen biyokömürün oda sıcaklığındaki ağırlığı (g)

Biyokömür % Nemi (M): Öğütülmüş ve 0,25 mm'lik elekten elenmiş biyokömür örneğinde ASTM 3173 (kömür) ve ASTM D1762 (odun kömürü) metoduna göre yapılmıştır. Ağırlığı 1 g olan örnekler fırında 105 °C de 2 saat kurutulduktan sonra desikatörde soğutulup tartılmıştır. Biyokömür % nemi eşitlik (3.3) yardımıyla hesaplanmıştır.

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

Eşitlikte;

% Nem (M): Biyokömür nemi (%)

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

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

Biyokömür % kül içeriği: ASTM D1762-84 metoduna göre belirlenmiştir. Yaklaşık 1 g biyokömür krozellerle kül fırınında 750 °C'de 6 saat bekletildikten sonra desikatörde 1 saat soğutulup tekrar tartılmıştır. Kül içeriği eşitlik (3.4) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%K\ddot{u}l = K\ddot{u}l / B \times 100 \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

% k\ddot{u}l i\c{c}eriği: Biyok\ddot{o}m\ddot{u}r k\ddot{u}l i\c{c}eriği (%)

B: Krozeeye tartılan, fırın kuru biyok\ddot{o}m\ddot{u}r miktarı (g)

K\ddot{u}l: 750 °C’de 6 saat bekletildikten sonraki k\ddot{u}l ağırlılığı (g)

3.2.5. İstatistik Analizleri

Denemede kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 k\ddot{u}l, %6 k\ddot{u}l, %3 biyok\ddot{o}m\ddot{u}r, %6 biyok\ddot{o}m\ddot{u}r \ddot{o}rnekleri 4 tekerr\ddot{u}r olarak uygulanmıştır. Deneme deseni tesad\ddot{u}f blokları deneme desenidir. Deneme sonucunda elde edilen t\ddot{u}m değerlerin varyans analizleri (ANOVA) i\c{c}in SAS istatistik yazılım programı kullanılarak, ortalamaların karşılaştırması da Tukey testine g\ddot{o}re $P \leq 0.05$ d\ddot{u}zeyinde yapılmıştır (SAS Enstit\ddot{u}s\ddot{u}, 1999).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Denemede kullanılan materyallerin (çeltik anızı, külü ve biyokömürü) özellikleri

Denemede kullanılan biyokömürün verimi %46,03, kül içeriği %33,3 ve nem oranı %5 olarak bulunmuştur. Akça, vd. (2020) yapmış oldukları çalışmada çeltik sapının 400 °C de yavaş proliz yöntemiyle elde ettikleri biyokömürün verimini %42,1, kül içeriğini de %30,3 olarak bulduklarını belirtmişlerdir.

Tablo 1.

Çeltik anızı, külü ve biyokömürünün bazı kimyasal analiz sonuçları (n=2).

	pH	EC (dS/m)	C (%)	N (%)	C/N
Anız	7,67	3,37	36,99	0,93	39,64
Kül	10,76	11,80	13,90	0,85	16,37
Biyokömür	9,48	6,83	42,76	1,46	29,21

4.2. Denemede kullanılan toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tablo 2.

Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları (n=2).

Kil	Silt	Kum	pH	EC	C	N	C/N
%	%	%		dS/m	%	%	
21,65	40,12	38,23	8,8	0,18	1,97	0,19	10,17

Deneme toprağı %21,65 kil, %40,12 silt ve %38,23 kum içeriğine sahiptir. Tekstür sınıflamasına göre toprak Tın bünyelidir. pH değeri 8,8 ve bazik sınıfa giren bir topraktır. Tuzluluğı 187 $\mu\text{S}/\text{cm m}^{-1}$ ile tuzsuz toprak sınıfına girmektedir.

4.3. Uygulamaların toprak özelliklerine etkisi

Tablo 3.

Deneme topraklarının fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistik sonuçları.

Uygulama	Rep.	Değişken	N	Ortalama	Satandart Sapma	Minimum	Maximum
Kontrol	4	Porozite (%)	4	43,15	4,22	36,88	45,83
	4	Tarla Kap. (%)	4	35,70	2,97	31,31	37,75
	4	Agregat Stab. (%)	4	36,47	2,12	34,43	39,25
	4	OAC (mm)	4	1,49	0,24	1,32	1,84
	4	EC (dS/m)	4	4,91	0,98	4,01	6,30
	4	pH	4	7,13	0,02	7,11	7,15
	4	Azot (%)	4	0,25	0,08	0,18	0,36
	4	Karbon (%)	4	6,94	0,09	6,81	7,03
	4	C/N	4	29,77	8,03	19,07	38,33
	4	K _{sat} (cm/s)	4	3,22x10 ⁻⁰⁴	2,91x10 ⁻⁰⁴	3,37x10 ⁻⁰⁵	7,06x10 ⁻⁰⁴
%1 Anız	4	Porozite (%)	4	39,33	0,59	38,68	39,92
	4	Tarla Kap. (%)	4	33,31	0,80	32,77	34,49
	4	Agregat Stab. (%)	4	41,12	6,88	31,03	46,49
	4	OAC (mm)	4	1,87	0,13	1,73	2,04
	4	EC (dS/m)	4	3,33	0,74	2,68	3,97
	4	pH	4	7,54	0,11	7,45	7,69
	4	Azot (%)	4	0,26	0,06	0,21	0,32
	4	Karbon (%)	4	7,42	0,12	7,29	7,57
	4	C/N	4	29,44	5,97	23,33	34,84
	4	K _{sat} (cm/s)	4	1,06 x10 ⁻⁰⁴	9,94 x10 ⁻⁰⁵	1,33 x10 ⁻⁰⁵	2,37 x10 ⁻⁰⁴
%3 Anız	4	Porozite (%)	4	44,60	2,17	41,39	46,13
	4	Tarla Kap. (%)	4	36,90	1,47	35,02	38,57
	4	Agregat Stab. (%)	4	48,14	3,53	45,01	52,54
	4	OAC (mm)	4	2,01	0,14	1,86	2,14
	4	EC (dS/m)	4	3,60	0,89	2,63	4,56
	4	pH	4	7,47	0,12	7,33	7,63
	4	Azot (%)	4	0,26	0,04	0,21	0,30

	4	Karbon (%)	4	7,44	0,13	7,33	7,60
	4	C/N	4	29,10	4,36	25,27	34,12
%3 Kül	4	K _{sat} (cm/s)	3	2,41 x10 ⁻⁰⁴	1,50 x10 ⁻⁰⁴	1,44 x10 ⁻⁰⁴	4,13 x10 ⁻⁰⁴
	4	Porozite (%)	4	39,87	1,40	38,17	41,58
	4	Tarla Kap. (%)	4	35,24	1,32	33,65	36,76
	4	Agregat Stab. (%)	4	62,76	6,34	56,36	69,00
	4	OAC (mm)	4	1,16	0,13	1,03	1,32
	4	EC (dS/m)	4	4,76	0,30	4,43	5,16
	4	pH	4	7,32	0,02	7,29	7,34
	4	Azot (%)	4	0,31	0,04	0,27	0,35
	4	Karbon (%)	4	7,34	0,12	7,21	7,51
	4	C/N	4	23,89	3,06	21,23	26,94
%6 Kül	4	K _{sat} (cm/s)	4	3,73 x10 ⁻⁰⁴	2,18 x10 ⁻⁰⁴	1,61 x10 ⁻⁰⁴	6,58 x10 ⁻⁰⁴
	4	Porozite (%)	4	50,50	3,46	45,99	54,05
	4	Tarla Kap. (%)	4	45,14	2,92	41,31	48,02
	4	Agregat Stab. (%)	4	85,40	3,25	81,12	88,32
	4	OAC (mm)	4	1,02	0,04	0,99	1,07
	4	EC (dS/m)	4	5,68	0,57	5,19	6,50
	4	pH	4	7,47	0,08	7,39	7,57
	4	Azot (%)	4	0,32	0,04	0,29	0,37
	4	Karbon (%)	4	7,52	0,11	7,41	7,63
	4	C/N	4	23,63	2,54	20,23	25,73
%3 Biyokömür	4	K _{sat} (cm/s)	4	4,28 x10 ⁻⁰⁴	7,78 x10 ⁻⁰⁵	3,38 x10 ⁻⁰⁴	4,99 x10 ⁻⁰⁴
	4	Porozite (%)	4	45,45	1,92	43,61	48,12
	4	Tarla Kap. (%)	4	38,98	1,39	37,79	40,97
	4	Agregat Stab. (%)	4	54,54	1,41	52,77	56,06
	4	OAC (mm)	4	1,51	0,17	1,26	1,64
	4	EC (dS/m)	4	2,72	0,49	2,00	3,09
	4	pH	4	7,31	0,03	7,28	7,35
	4	Azot (%)	4	0,47	0,08	0,35	0,54
	4	Karbon (%)	4	10,43	3,90	8,09	16,26
	4	C/N	4	21,88	6,02	16,78	29,98
%6 Biyokömür	4	K _{sat} (cm/s)	3	3,57 x10 ⁻⁰⁴	2,02 x10 ⁻⁰⁵	3,36 x10 ⁻⁰⁴	3,76 x10 ⁻⁰⁴
	4	Porozite (%)	4	63,71	4,70	58,44	68,53
	4	Tarla Kap. (%)	4	52,20	1,79	49,85	53,92
	4	Agregat Stab. (%)	4	67,73	7,12	60,30	76,68
	4	OAC (mm)	4	1,09	0,04	1,06	1,15
	4	EC (dS/m)	4	5,27	2,16	2,84	8,09
	4	pH	4	7,31	0,08	7,22	7,41
	4	Azot (%)	4	0,58	0,10	0,50	0,73
	4	Karbon (%)	4	9,03	0,28	8,73	9,31
	4	C/N	4	15,78	2,33	12,60	17,71
	4	K _{sat} (cm/s)	4	8,91 x10 ⁻⁰⁴	2,65 x10 ⁻⁰⁴	4,95 x10 ⁻⁰⁴	1,06x10 ⁻⁰³

4.3.1. Uygulamaların toprak fiziksel özelliklerine etkisi

Porozite

Tablo 4.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak porozitesi üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	1693,08	282,18	31,58	<.0001
Hata	21	187,66	8,94		
Düzeltilmiş Toplam	27	1880,73			

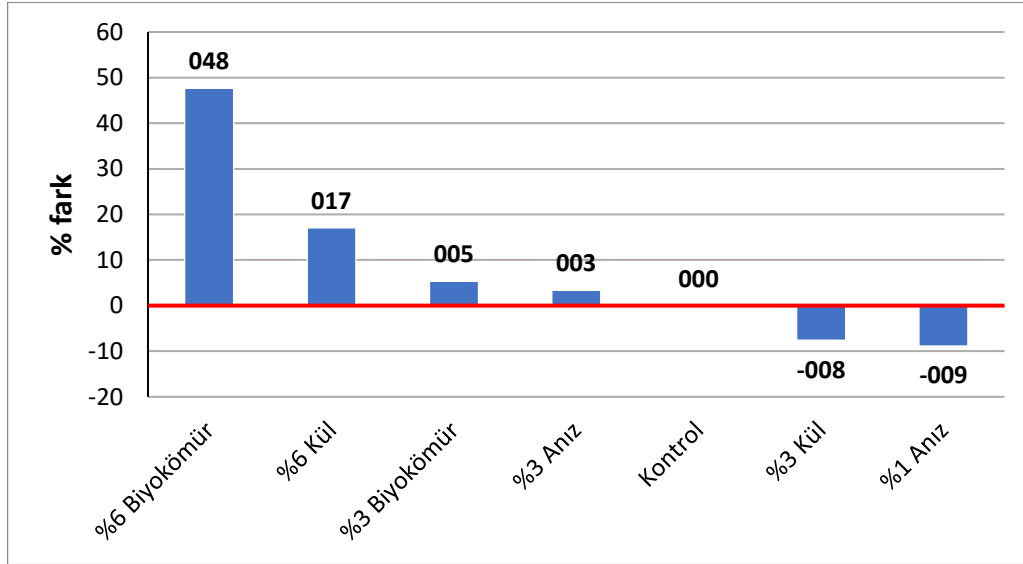
Uygulamaların, toprakların toplam porozite değeri üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.0001$) (Tablo 4). En fazla toplam porozite (%63,71) %6 biyokömür uygulamasında olmuş ve bu fark istatistiki olarak önemlidir. Bu değeri sırası ile %6 kül, %3 biyokömür ve %3 anız izlemiştir. En düşük porozite değerleri %39,87 ve 39,33 ile %3 kül ve %1 anız uygulamasında elde edilmiştir. (Tablo 5).

Tablo 5.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak porozitesi üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).

Duncan Gruplaması	Ortalama		Uygulama
	%	N	
A	63,71	4	%6 Biyokömür
B	50,50	4	%6 Kül
C	45,45	4	%3 Biyokömür
C	44,60	4	%3 Anız
DC	43,15	4	Kontrol
D	39,87	4	%3 Kül
D	39,33	4	%1 Anız

Kontrol uygulamasına göre %6 biyokömür, %6 kül, %3 biyokömür ve %3 anız sırası ile porozite değerlerini %47,65, %17,04, %5,34, %3,37 oranında artırmıştır. Bununla birlikte %3 kül ve %1 anız uygulamaları kontrole göre porozite değerlerini %7,60 ve %8,85 oranında azaltmıştır. İlgili veriler şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların porozite değerinin % değişimi.

İlay vd., (2020), farklı sıcaklıklarda ve bekletme sürelerinde üretilen farklı boyutlardaki domates hasat kalıntısı biyokömürünün (TB) tane boyutunun arttıkça, BET yüzey alanı ve toplam gözenek hacminin arttığını ve ortalama gözenek yarıçapının azaldığını bildirdikleri çalışmalarında ayrıca biyokömürün daha büyük boyutu (2-4 mm), SEM (taramalı elektron mikroskopu) görüntülerine göre, oldukça gözenekli ve bal peteği strüktür gösterdiğini ve yüksek spesifik bir yüzey alanı oluşturan hem mikro hem de mezo-gözenekler içerdiğini de belirtmişlerdir. Bu çalışmada da uygulamalar arasında biyokömürün yüzey alanının diğer materyallere göre daha fazla olmasından dolayı porozite değeri %6 biyokömür uygulamasında daha fazla çıkmıştır.

Tarla Kapasitesi

Tablo 6.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının tarla kapasitesi üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).

Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	1083,52	180,59	46,80	<.0001
Hata	21	81,03	3,86		
Düzeltilmiş Toplam	27	1164,55			

Uygulamaların, toprakların tarla kapasitesi değeri üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.0001$) (Tablo 6).

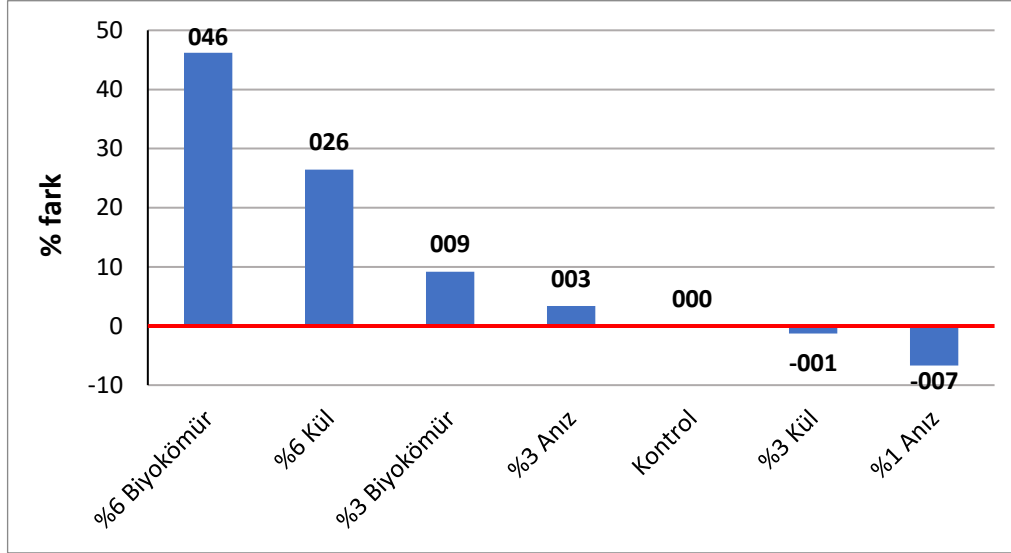
Tarla kapasitesi en fazla, %6 biyokömür uygulamasında (%52,20) olmuş ve bu fark istatistiki olarak önemlidir Bu değeri sırası ile %6 kül, %3 biyokömür ve %3 anız izlemiştir. Tarla kapasitesi en düşük %35,24 ve %33,31 ile %3 kül ve %1 anız uygulamasında elde edilmiştir (Tablo 7).

Tablo 7.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının tarla kapasitesi üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).

Ortalama			
Duncan Gruplaması	%	N	Uygulama
A	52,20	4	%6 Biyokömür
B	45,14	4	%6 Kül
C	38,98	4	%3 Biyokömür
DC	36,90	4	%3 Anız
DE	35,70	4	Kontrol
DE	35,24	4	%3 Kül
E	33,31	4	%1 Anız

Kontrol uygulamasına göre %6 biyokömür, %6 kül, %3 biyokömür ve %3 anız sırası ile tarla kapasitesi değerlerini %46,22, %26,27, %9,20, %3,36 oranında artırmıştır. Bununla beraber %3 kül ve %1 anız uygulamaları kontrole göre tarla kapasitesi değerlerini %1,29 ve %6,67 oranında azaltmıştır. İlgili veriler şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların tarla kapasitesinin % değişimi.

Akça vd., (2020), 400°C’de yavaş piroliz yöntemi ile çeltik sapından elde edilen biyokömürün özelliklerini incelemiş ve araştırma sonucunda elde edilen biyokömürün büyük gözenekli, orta-düşük özgül yüzey alanlı olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada da gözenek hacmi biyokömürde diğer materyallere göre daha fazla olduğundan tarla kapasitesi en yüksek %6 biyokömür uygulamasında görülmüştür.

Agregat Stabilitesi

Tablo 8.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının agregat stabilitesi üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).

Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	6848,13	1141,36	47,64	<.0001
Hata	21	503,08	23,96		
Düzeltilmiş Toplam	27	7351,22			

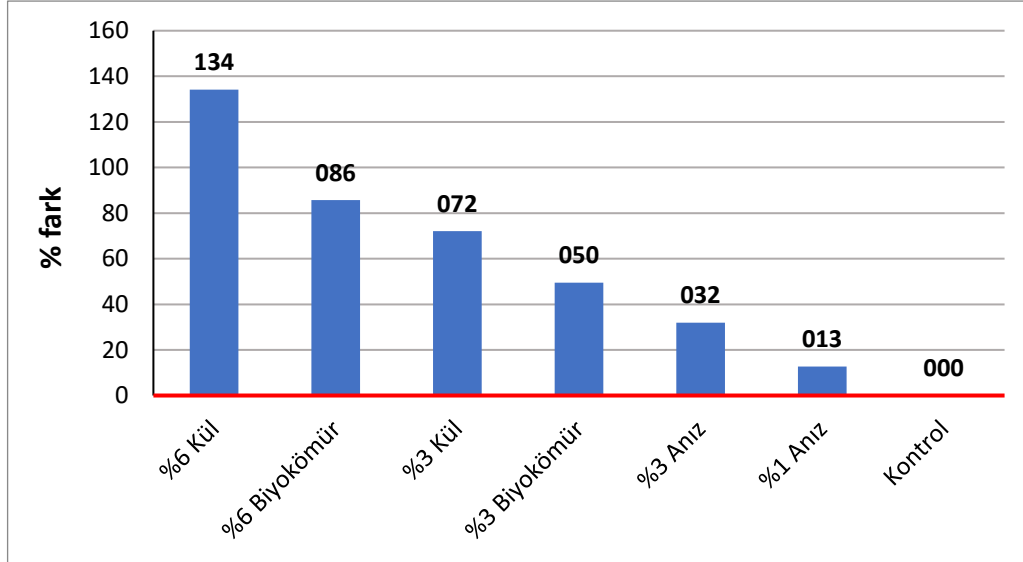
Uygulamaların, toprakların agregat stabilitesi değeri üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.0001$) (Tablo 8). Agregat stabilitesi en fazla %6 kül uygulamasında olmuş ve bu fark istatistiki olarak önemlidir. Bu değeri sırası ile %6 biyokömür, %3 kül, %3 biyokömür, %3 anız, %1 anız izlemiştir. %6 biyokömür ve %3 kül uygulamaları istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. Agregat stabilitesi değeri en düşük kontrol uygulamasında olmuştur (Tablo 9).

Tablo 9.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının agregat stabilitesi üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).

Duncan Gruplaması	Ortalama		Uygulama
	%	N	
A	85,40	4	%6 Kül
B	67,73	4	%6 Biyokömür
B	62,76	4	%3 Kül
C	54,54	4	%3 Biyokömür
DC	48,14	4	%3 Anız
DE	41,12	4	%1 Anız
E	36,47	4	Kontrol

Kontrol uygulamasına göre %6 kül, %6 biyokömür, %3 kül, %3 biyokömür, %3 anız ve %1 anız uygulaması sırası ile agregat stabilitesi değerlerini %134,15, %85,69, %72,07, %49,54, %31,97 ve %12,74 oranında artırmıştır. İlgili veriler şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların agregat stabilitesi değerinin % değişimi.

Sönmez, M. (2014) mısır bitkisinin yetiştirildiği killi tın bünyeye sahip toprağa beş farklı biyogübre uygulamasının agregat oluşumu ve stabilitesi üzerine etkilerini incelediği çalışmada ayrıca, organik karbon içeriği ile agregat stabilitesi arasındaki ilişkiyi belirlemeye yönelik çalışmalar da yapmıştır. Çalışma sonucunda her bir uygulamadan elde edilen makro (2-1 mm) ve mikro (0.25-0.050 mm) agregatların organik karbon içerikleri ile agregat stabilite değerleri arasında önemli ve pozitif korelasyonlar gözlemlendiğini belirtmiştir. Hernandez vd., (2016) kompostların geleneksel inorganik gübreleme (SG) yerine tam veya ikame olarak kullanımının uygulanabilirliğini araştırdıkları çalışmada ikinci marul mahsulünden sonra, agregat stabilitesi ve toprak su tutma kapasitesi gibi toprak fiziksel özelliklerini de incelemişlerdir. İkinci mahsulün ardından, organik olarak işlenmiş topraklarda, SG uygulanan topraklara göre daha yüksek stabil agregat yüzdesi ve daha fazla su tutma kapasitesi gibi fiziksel özelliklerde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Ca, Mg, Al gibi elementler toprak agregat oluşumunda çimentolayıcı etki göstermektedir. Bu çalışmada element içerikleri belirlenmese de literatürlerde külün içeriğinde bu elementlerin biyokömürden daha fazla olduğu bildirilmektedir (Moragues-Saitua ve ark

(2017) ve bu durum stabiliteyi arttırmaktadır. Nitekim çalışmamızda agregat stabilitesi en yüksek %6 kül uygulamasında olmuştur.

Agregat Ortalama Ağırlık Çapı (OAÇ)

Tablo 10.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının OAÇ üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).

Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	3,55	0,59	28,21	<.0001
Hata	21	0,44	0,02		
Düzeltilmiş Toplam	27	3,99			

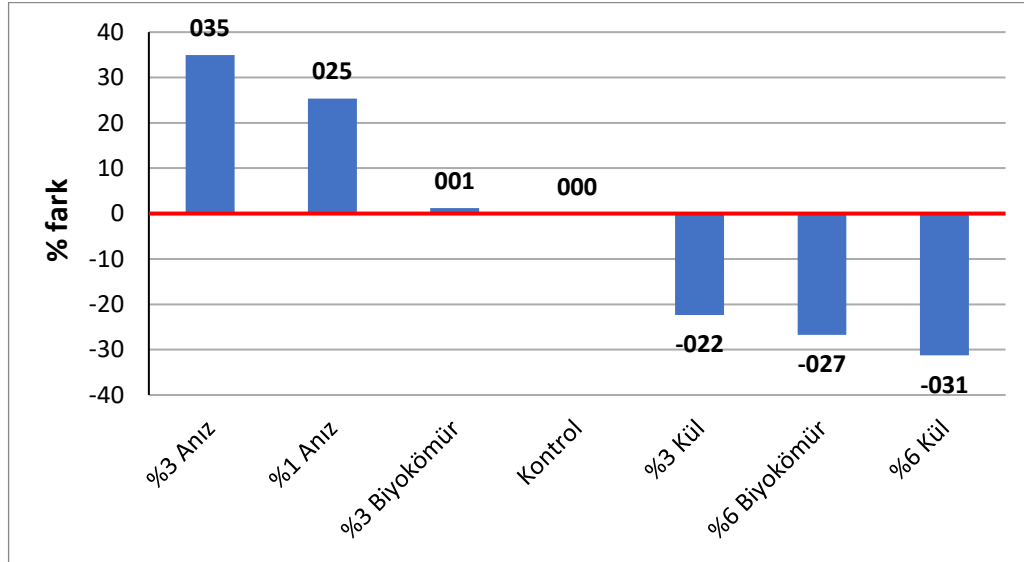
Uygulamaların, toprakların OAÇ değeri üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.0001$) (Tablo 10). OAÇ en fazla %3 anız ve %1 anız uygulamalarında olmuş ve bu fark istatistiki olarak önemlidir. Bu değeri %3 biyokömür izlemiş ve kontrol ile istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. OAÇ en düşük 1,02, 1,09 ve 1,16 mm değerleri ile %6 kül, %6 biyokömür ve %3 kül uygulamasında elde edilmiştir (Tablo 11).

Tablo 11.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının OAÇ üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4)

Ortalama			
Duncan Gruplaması	mm	N	Uygulama
A	2,01	4	%3 Anız
A	1,87	4	%1 Anız
B	1,51	4	%3 Biyokömür
B	1,49	4	Kontrol
C	1,16	4	%3 Kül
C	1,09	4	%6 Biyokömür
C	1,02	4	%6 Kül

Kontrol uygulamasına göre %3 anız, %1 anız ve %3 biyokömür uygulamaları sırası ile OAÇ değerlerini %34,96, %25,38 ve %1,18 oranında artırmıştır. Bununla beraber %3 kül, %6 biyokömür ve %6 kül uygulamaları kontrole göre OAÇ değerlerini %22,35, %26,72 ve %31,26 oranında azaltmıştır. İlgili veriler şekil 14’te gösterilmiştir.



Şekil 14. Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların OAÇ değerinin % değişimi.

Moragues-Saitua ve ark (2017) biyokömür ve odun külü uygulamasının tınlı ve asidik toprakta ortalama agregat çapı değerlerinde, kontrol toprağına göre önemli azalmaya sebep olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada da tınlı toprak ile çalışılmış ve %6 biyokömür ve kül uygulamalarında ortalama agregat çapı değerleri en düşüktür. Literatür ile benzer sonuç görölmüştür.

Sature Hidrolik İletkenlik (K_{sat})

Tablo 12.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının K_{sat} üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).

Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	1,42x10 ⁻⁰⁶	2,37x10 ⁻⁰⁷	6,41	0,0008
Hata	19	7,01x10 ⁻⁰⁷	3,69x10 ⁻⁰⁸		
Düzeltilmiş Toplam	25	2,12x10 ⁻⁰⁶			

Uygulamaların, toprakların K_{sat} değeri üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.0001$) (Tablo 12).

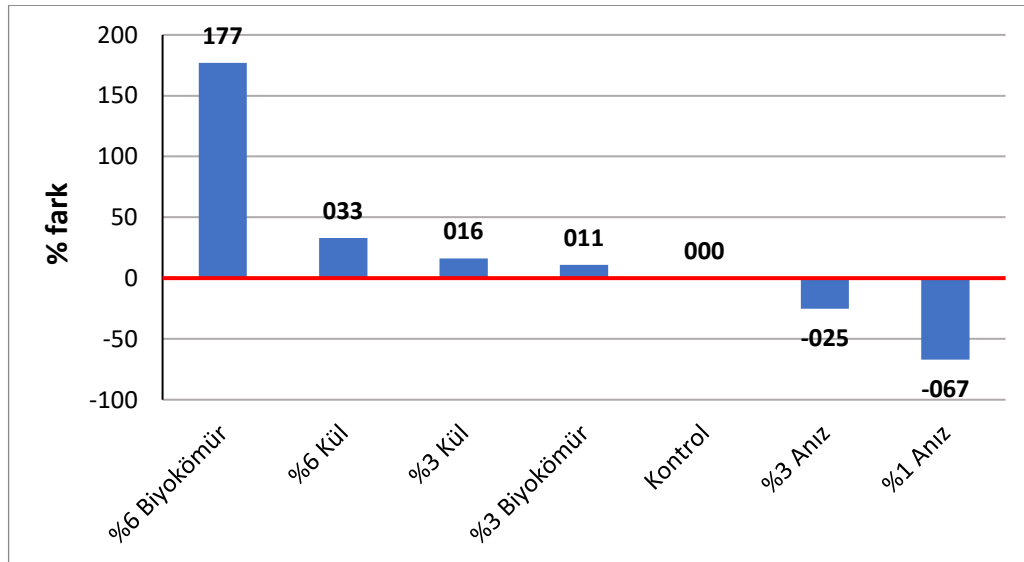
En fazla K_{sat} %6 biyokömür ($8,91 \times 10^{-04}$ cm/s) uygulamasında olmuş ve bu fark istatistiki olarak önemlidir (Tablo 13). Bu değeri sırası ile %6 kül, %3 kül ve %3 biyokömür izlemiştir. En düşük K_{sat} değerleri $2,4 \times 10^{-04}$ cm/s ve $1,06 \times 10^{-04}$ cm/s ile %3 anız ve %1 anız uygulamasında elde edilmiştir. Fakat bu uygulamalar arasında istatistiki olarak fark bulunmamıştır ($P>0,05$).

Tablo 13.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının K_{sat} üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).

Duncan Gruplaması	Ortalama (cm/s)	N	Uygulama
A	$8,91 \times 10^{-04}$	4	%6 Biyokömür
B	$4,28 \times 10^{-04}$	4	%6 Kül
B	$3,73 \times 10^{-04}$	4	%3 Kül
B	$3,57 \times 10^{-04}$	3	%3 Biyokömür
B	$3,22 \times 10^{-04}$	4	Kontrol
B	$2,41 \times 10^{-04}$	3	%3 Anız
B	$1,06 \times 10^{-04}$	4	%1 Anız

Kontrol uygulamasına göre %6 biyokömür, %6 kül, %3 kül ve %3 biyokömür sırası ile K_{sat} değerlerini %176,96, %33,12, %16,11, %11,01 oranında artırmıştır. Bununla beraber %3 anız ve %1 anız uygulamaları kontrole göre K_{sat} değerlerini %25,19 ve %66,92 oranında azaltmıştır. İlgili veriler şekil 15’de gösterilmiştir.



Şekil 15. Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların K_{sat} değerinin % değişimi.

Toprağa eklenen organik maddeler toprak içinde poroziteyi en fazla arttıran %6 biyokömür uygulamasıdır (Tablo 13). Ayrıca biyokömür en fazla gözenek yüzey alanına sahip olduğu için en yüksek hidrolik iletkenlik %6 biyokömürde görülmüştür. Kil bünyeli toprağa %2 ve 4 dozunda uygulanan biyokömür K_{sat} değerini düşürürken %6 ve üzerinde doz arttıkça K_{sat} değerinin arttığı bildirilmiştir (Obia ve ark.2018).

4.3.2. Uygulamaların toprak kimyasal özelliklerine etkisi

pH

Tablo 14.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprakların pH değeri üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).

Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	0,47	0,08	13,51	<.0001
Hata	21	0,12	0,01		
Düzeltilmiş Toplam	27	0,59			

Uygulamaların, toprakların pH değeri üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.0001$) (Tablo 14).

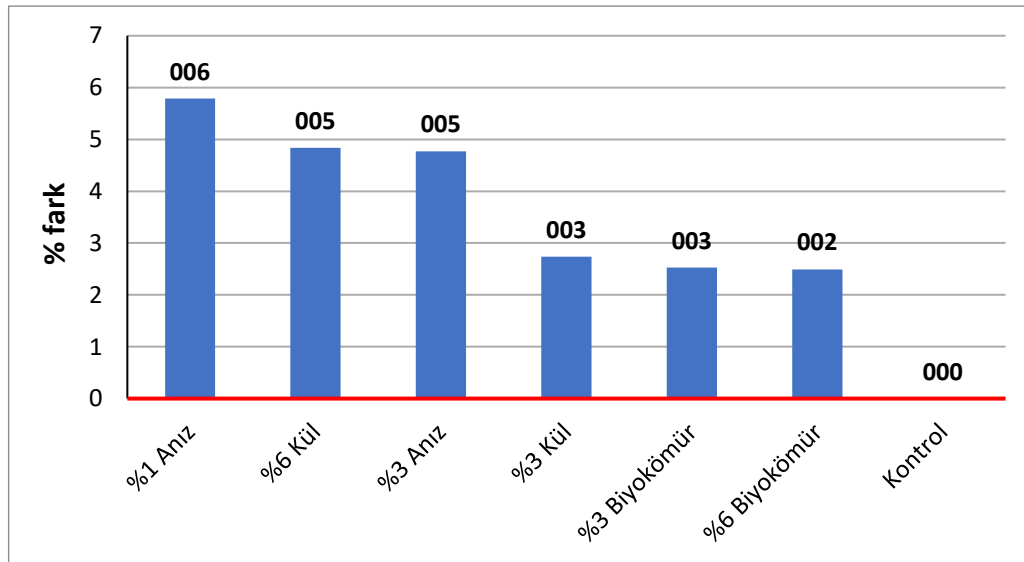
Toprak pH'ı en fazla %1 anız uygulamasında olmuş fakat istatistiki olarak %6 kül ve %3 anız uygulamaları ile aynı grupta yer almaktadır. Bu değerleri sırası ile %3 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamaları izlemiş ve bu değerler de kendi aralarında aynı gruptadır. En düşük toprak pH'ı 7,13 ile kontrol uygulamasında elde edilmiştir (Tablo 15).

Tablo 15.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprakların pH değeri üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).

Duncan Gruplaması	Ortalama	N	Uygulama
A	7,54	4	%1 Anız
A	7,47	4	%6 Kül
A	7,47	4	%3 Anız
B	7,32	4	%3 Kül
B	7,31	4	%3 Biyokömür
B	7,31	4	%6 Biyokömür
C	7,13	4	Kontrol

Kontrol uygulamasına göre %1 anız, %6 kül, %3 anız, %3 kül, %3 biyokömür ve %6 biyokömür uygulamaları sırası ile toprak pH değerlerini %5,79, %4,84, %4,77, %2,74, %2,53 ve %2,49 oranında artırmıştır. İlgili veriler şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16. Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların pH değerinin % değişimi.

Cui, Y. S. vd., (2008) farklı bölgelerden alınan toprak örneklerinde çeltik samanı (ÇS) ekleyerek yaptıkları inkübasyon deneyinde ÇS ilavesinin kontrol uygulamasına göre

toprak pH'sını ortalama olarak yaklaşık 0,4 pH birimi artırdığını belirtmişlerdir. Huang vd., (2011) Çeltik samanı külünün (ÇSK) etkisini belirlemek üzere, kirlenmiş topraklarla yapılan inkübasyon çalışmasında, topraklara ÇSK'nin eklenmesiyle toprak pH'ında artış ve redoks potansiyelinde düşüş olduğu belirtmişlerdir. Bu çalışmada da pH değerinin en yüksek anız uygulamasında olduğu görülmüştür. Külün pH değerinin (10,76) diğer materyallere göre daha yüksek olmasından dolayı %6 kül ile anız uygulamaları toprak pH'ını en fazla arttırmıştır. Kartika vd., (2018) toprağa uygulanan biyokömür sonucunda pH değerinde artış olduğunu belirtmiştir ve biyokömür uygulamaları ile %3 kül uygulaması pH değerini diğer materyallere göre daha az arttırmıştır.

Elektriksel İletkenlik (EC)

Tablo 16.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprakların elektriksel iletkenlik (EC) değeri üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).

Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	29,38	4,90	4,5	0,004
Hata	21	22,83	1,09		
Düzeltilmiş Toplam	27	52,21			

Uygulamaların, toprakların elektriksel iletkenlik (EC) değeri üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.0001$) (Tablo 16).

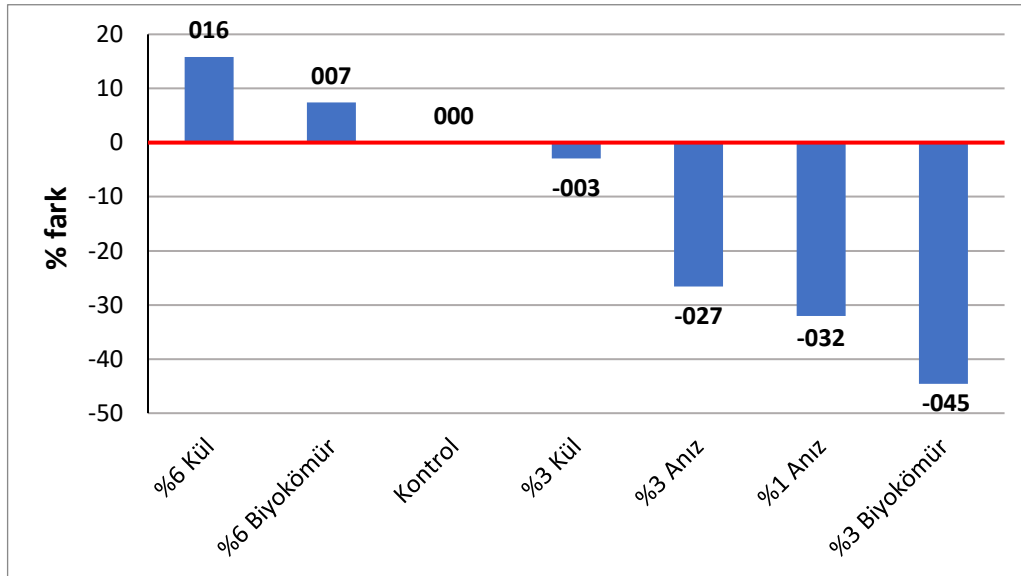
Elektriksel iletkenlik (EC) en fazla %6 kül uygulamasında olmuş fakat istatistiki olarak %6 biyokömür ile aynı grupta yer almaktadır (Tablo 17). En düşük EC değerleri %3 kül, %3 anız, %1 anız ve %3 biyokömür uygulamasında elde edilmiştir.

Tablo 17.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının elektriksel iletkenlik (EC) değeri üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).

Duncan Gruplaması	Ortalama		Uygulama
	(dS/m)	N	
A	5,68	4	%6 Kül
A	5,27	4	%6 Biyokömür
BA	4,91	4	Kontrol
BA	4,76	4	%3 Kül
BC	3,60	4	%3 Anız
BC	3,33	4	%1 Anız
C	2,72	4	%3 Biyokömür

Kontrol uygulamasına göre %6 kül ve %6 biyokömür sırası ile EC değerlerini %15,80 ve %7,39 oranında artırmıştır. %3 kül, %3 anız, %1 anız ve %3 biyokömür uygulamaları kontrole göre EC değerlerini %2,96, %26,61, %32,02 ve %44,60 oranında azaltmıştır. İlgili veriler şekil 17’de gösterilmiştir.



Şekil 17. Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların EC değerinin % değişimi.

Nigussie vd., (2012) çeltik sapı ve mısır sapından elde edilen biyokömür materyalleri Cr ile kirlenmiş toprağa karıştırarak marul bitkisi yetiştirdikleri çalışma sonucunda toprağın elektriksel iletkenliğinde önemli artış olduğunu belirtmişlerdir. Kül ve biyokömürün EC değeri yüksek olduğundan bu materyallerin toprağa eklenmesiyle %6 kül ve %6 biyokömür uygulamaları toprağın EC değerini yükseltmiştir. Ancak daha az oranda eklenen bu materyaller toprağın EC değerini düşürmüştür.

Toplam Karbon (C) Miktarı

Tablo 18.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak toplam karbon (C) miktarı üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).

Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	37,62	6,27	2,85	0,034
Hata	21	46,18	2,20		
Düzeltilmiş Toplam	27	83,80			

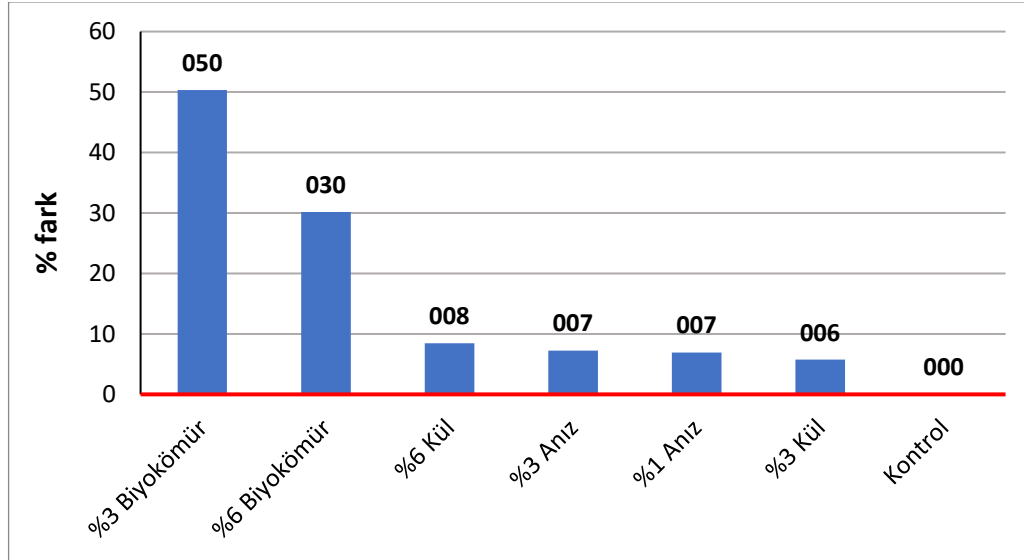
Uygulamaların, toprak toplam karbon (C) miktarı üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.0001$) (Tablo 18). Toprak toplam karbon (C) miktarları en fazla %3 biyokömür uygulamasında olmuş ve onu %6 biyokömür izlemiştir. Biyokömür eklenen toprakların karbon içeriği, diğer uygulamalardan istatistiki olarak fazla bulunmuştur (Tablo 19).

Tablo 19.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak toplam karbon (C) miktarı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).

Duncan Gruplaması	Ortalama		Uygulama
	%	N	
A	10,43	4	%3 Biyokömür
BA	9,03	4	%6 Biyokömür
B	7,52	4	%6 Kül
B	7,44	4	%3 Anız
B	7,42	4	%1 Anız
B	7,34	4	%3 Kül
B	6,94	4	Kontrol

Kontrol uygulamasına göre %3 biyokömür, %6 biyokömür, %6 kül, %3 anız, %1 anız ve %3 kül uygulaması sırası ile toprak toplam karbon (C) miktarı değerlerini %50,31, %30,18, %8,43, %7,25, %6,93 ve %5,76 oranında artırmıştır. İlgili veriler şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların toplam (C) değerinin % değişimi.

Abrishamkesh vd., (2015) alkali toprakta çeltik kavuzundan elde edilen biyokömürü ağırlıkça sırasıyla yüzde 0,4, 0,8, 1,6, 2,4, ve 3,3 oranlarında toprağa karıştırarak mercimek yetiştirmiş ve sonuç olarak toprak organik karbonunun önemli oranda arttığını belirtmişlerdir. İlay vd., (2020), farklı sıcaklıklarda ve bekletme sürelerinde üretilen farklı boyutlardaki domates hasat kalıntısı biyokömürünün (TB) karbon ve azot içeriklerini belirlemek için yaptıkları çalışmada üretim sıcaklığı, TB'nin N içeriğini istatistiki olarak önemli ölçüde etkilediğini, C içeriklerinde sıcaklığa bağlı değişikliklerin önemli bulunmadığını bununla birlikte TB boyutunun, C ve N içerikleri üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada da biyokömürdeki C içeriği diğer materyallere göre daha fazla olduğundan toprak toplam karbon miktarını en fazla biyokömür uygulamaları arttırmıştır.

Toplam Azot (N) Miktarı

Tablo 20.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak toplam azot (N) miktarı üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).

Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	0,39	0,066	14,63	<.0001
Hata	21	0,09	0,004		
Düzeltilmiş Toplam	27	0,49			

Uygulamaların, toprak toplam azot (N) miktarı üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.0001$) (Tablo 20).

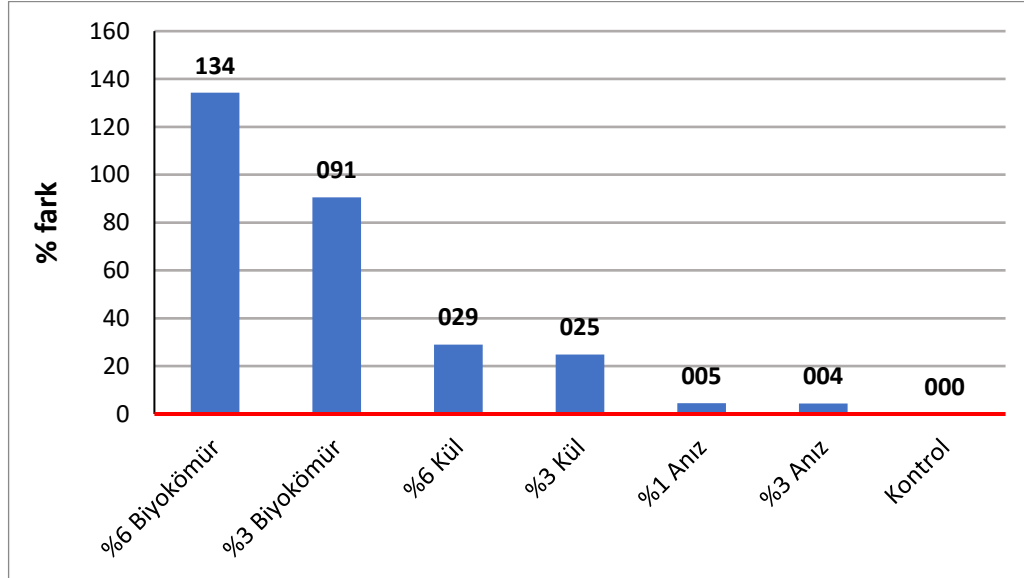
Toprak toplam azot (N) miktarı en fazla %6 biyokömür uygulamasında olmuş ve bu fark istatistiki olarak önemlidir (Tablo 21). Bu değeri sırası ile %3 biyokömür, %6 kül, %3 kül, %1 anız ve %3 anız ve kontrol uygulaması izlemiştir. %6 kül, %3 kül, %1 anız, %3 anız ve kontrol uygulamaları istatistiki olarak aynı grupta yer almaktadır.

Tablo 21.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak toplam azot (N) miktarı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).

Ortalama			
Duncan Gruplaması	%	N	Uygulama
A	0,58	4	%6 Biyokömür
B	0,47	4	%3 Biyokömür
C	0,32	4	%6 Kül
C	0,31	4	%3 Kül
C	0,26	4	%1 Anız
C	0,26	4	%3 Anız
C	0,25	4	Kontrol

Kontrol uygulamasına göre %6 biyokömür, %3 biyokömür, %6 kül, %3 kül, %1 anız ve %3 anız uygulaması sırası ile toprak toplam azot (N) miktarını %134,31, %90,58, %29,02, %24,91, %4,56 ve %4,39 oranında artırmıştır. İlgili veriler şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların toplam (N) değerinin % değişimi.

Ma vd., (2010) tarafından yapılan tarla denemesinde; çeltik samanı eklenmemiş kontrol toprağında (K) ve üst toprağa eşit şekilde çeltik samanı eklenmiş (ÇS) toprakta buğday yetiştirmişlerdir. Buğday hasadında toprak toplam C ve N içeriği, K ile karşılaştırıldığında, ÇS'de karbon için %7-13 ve azot için %8-12 oranında arttığını belirtmişlerdir. El-Mogy vd., (2020) tarafından mineral veya organik gübrenin toprak verimliliği ve mikrobiyal topluluk üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada kontrol (150: 45: 65 kg^{ha}⁻¹ NPK) mineral gübre ile diğer örnekler ise 15 t^{ha}⁻¹ kompost, 10 t^{ha}⁻¹ tavşan gübresi ve 10 t^{ha}⁻¹ tavuk gübresi ile gübrenlenmiştir. Çalışma sonucunda tüm organik gübre kaynaklarının mineral gübreye nazaran topraktaki toplam N içeriğini önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada da materyaller arasında en fazla N biyokömürün içeriğinde bulunmuştur. Bu yüzden en fazla N miktarı biyokömür uygulamasında olmuştur.

Toprak Karbon Azot (C/N) Oranı

Tablo 22.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak karbon azot (C/N) oranı üzerine etkisi, ANOVA tablosu (n=4).

Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	627,38	104,56	4,14	0,007
Hata	21	529,96	25,24		
Düzeltilmiş Toplam	27	1157,34			

Uygulamaların, C/N oranı üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur (p<0.0001) (Tablo 22).

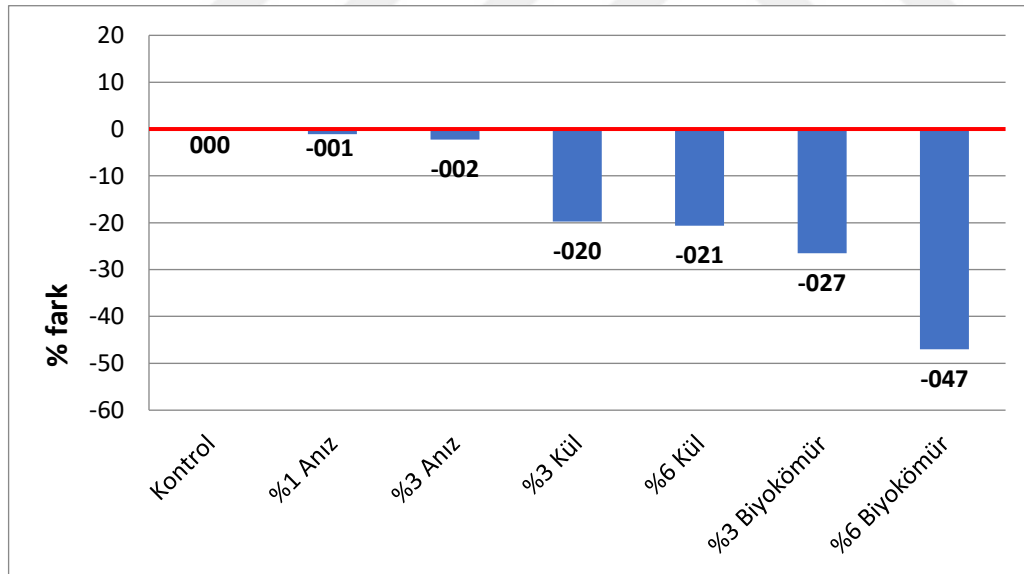
Toprak karbon azot (C/N) oranı değeri en fazla kontrolde olmuş fakat istatistiki olarak %1 anız, %3 anız, %3 kül ve %6 kül ile aynı grupta yer almıştır ve bu fark istatistiki olarak önemlidir (Tablo 23). En düşük C/N oranı %6 biyokömür uygulamasında olmuştur.

Tablo 23.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının toprak toplam karbon azot (C/N) oranı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu (n=4).

Duncan Gruplaması	Ortalama	N	Uygulama
A	29,77	4	Kontrol
A	29,44	4	%1 Anız
A	29,10	4	%3 Anız
A	23,89	4	%3 Kül
A	23,63	4	%6 Kül
BA	21,88	4	%3 Biyokömür
B	15,78	4	%6 Biyokömür

Kontrol uygulamasına göre %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür ve %6 biyokömür uygulaması sırası ile toprak karbon azot (C/N) oranı değerini %1,12, %2,25, %19,76, %20,65, %26,53 ve %46,99 oranında azaltmıştır. İlgili veriler şekil 20’de gösterilmiştir.



Şekil 20. Kontrol uygulamasına göre diğer uygulamaların toprak (C/N) değerinin % değişimi.

2005-2008 yılları arası 3 farklı çeltik yetiştirme sezonunda, çeltik kavuzundan elde edilen biyokömür (ÇKB) ve çeltik kavuzunun (ÇK) toprak özellikleri üzerindeki değişimi ve verim üzerine etkilerini Haefe vd., (2011) tarafından inceledikleri çalışma sonucunda;

ÇKB uygulamasının toplam organik karbon, toplam toprak N'yi, C/N oranını ve mevcut fosfor ve K'yı artırdığını belirtmişlerdir. Verimli topraklarda, ÇKB'nin sağladığı yüksek C/N oranı sebebi ile sınırlı N kaynağı ortamı oluşumu sebebiyle bitkinin N erişebilirliğinin azaldığını ve uygulamadan sonraki ilk 3 sezonda mahsul verimimin düştüğünü bildirmişlerdir. Su sıkıntısı yaşanan zayıf toprakta ise toprağın fiziksel ve kimyasal değişimleri sonucu ürün veriminde %16 ilâ 35 oranında artış olduğunu belirtmişlerdir.

4.4. Uygulamaların Bitki Gelişimine Etkisi

Tablo 24.

Marul bitkisinin bazı analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistik.

Uygulama	Rep.	Değişken	N	Ortalama	Satandart Sapma	Minimum	Maximum
Kontrol	4	Klorofil (SPAD)	3	28,35	11,74	18,20	41,21
		Yaprak say.	3	12,00	7,21	6,00	20,00
		Bitki boyu (cm)	3	4,33	3,21	2,00	8,00
		Yaş ağ. (g)	3	4,65	6,21	0,83	11,82
		Kuru ağ. (g)	4	0,41	0,35	0,18	0,94
		Yap. Al. (cm ²)	3	153,94	191,85	35,68	375,29
		Azot (N) %	4	9,16	1,28	7,32	10,29
		Karbon (C) %	4	27,66	2,43	25,52	30,91
		C/N	4	3,10	0,77	2,48	4,22
%1 Anız	4	Klorofil (SPAD)	1	21,20	.	21,20	21,20
		Yaprak say.	1	6,00	.	6,00	6,00
		Bitki boyu (cm)	1	3,00	.	3,00	3,00
		Yaş ağ. (g)	1	1,04	.	1,04	1,04
		Kuru ağ. (g)	4	0,11	0,07	0,06	0,21
		Yap. Al. (cm ²)	1	45,50	.	45,50	45,50
		Azot (N) %	4	8,43	0,71	7,74	9,08
		Karbon (C) %	4	30,52	4,16	26,73	35,92
		C/N	4	3,63	0,48	2,97	4,00
%3 Anız	4	Klorofil (SPAD)	0	.	.	.	.
		Yaprak say.	0	.	.	.	.
		Bitki boyu (cm)	0	.	.	.	.
		Yaş ağ. (g)	0	.	.	.	.
		Kuru ağ. (g)	4	0,11	0,06	0,06	0,20
		Yap. Al. (cm ²)	0	.	.	.	.
		Azot (N) %	4	7,83	1,38	6,02	9,39
		Karbon (C) %	4	34,97	2,82	30,82	36,99
		C/N	4	4,61	1,08	3,28	5,92
%3 Kül	4	Klorofil (SPAD)	4	26,16	1,37	24,33	27,65
		Yaprak say.	4	17,50	2,89	14,00	21,00
		Bitki boyu (cm)	4	7,50	3,11	4,00	11,00
		Yaş ağ. (g)	4	6,30	3,03	2,37	9,20

%6 Kül	4	Kuru ağı. (g)	4	0,52	0,19	0,28	0,70
		Yap. Al. (cm ²)	4	235,30	126,66	83,54	377,63
		Azot (N) %	4	7,55	0,69	7,00	8,53
		Karbon (C) %	4	30,93	0,82	30,10	31,93
		C/N	4	4,13	0,41	3,53	4,45
		Klorofil (SPAD)	2	22,09	3,13	19,88	24,30
		Yaprak say.	2	18,00	1,41	17,00	19,00
		Bitki boyu (cm)	2	9,75	0,35	9,50	10,00
		Yaş ağı. (g)	2	5,50	2,27	3,90	7,11
		Kuru ağı. (g)	4	0,30	0,16	0,15	0,52
%3 Biyokömür	4	Yap. Al. (cm ²)	2	237,83	86,19	176,88	298,78
		Azot (N) %	4	6,33	0,76	5,20	6,87
		Karbon (C) %	4	29,76	3,07	25,58	32,79
		C/N	4	4,72	0,19	4,46	4,92
		Klorofil (SPAD)	4	21,48	0,95	20,30	22,40
		Yaprak say.	4	21,00	1,83	19,00	23,00
		Bitki boyu (cm)	4	13,38	2,06	11,50	16,00
		Yaş ağı. (g)	4	18,93	3,20	16,39	23,37
		Kuru ağı. (g)	4	1,04	0,19	0,85	1,29
		Yap. Al. (cm ²)	4	625,26	101,15	559,85	776,05
%6 Biyokömür	4	Azot (N) %	4	6,80	0,17	6,59	6,99
		Karbon (C) %	4	29,87	0,59	29,30	30,61
		C/N	4	4,40	0,19	4,19	4,65
		Klorofil (SPAD)	3	24,03	4,66	20,85	29,38
		Yaprak say.	3	19,33	4,73	14,00	23,00
		Bitki boyu (cm)	3	11,83	3,82	8,50	16,00
		Yaş ağı. (g)	3	16,38	15,53	7,19	34,19
		Kuru ağı. (g)	3	1,06	0,78	0,57	1,96
		Yap. Al. (cm ²)	3	518,68	371,97	294,02	948,04
		Azot (N) %	3	6,85	0,56	6,36	7,46
		Karbon (C) %	3	31,12	1,17	30,02	32,36
		C/N	3	4,56	0,35	4,15	4,80

4.4.1. Toplam Azot

Tablo 25.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin toplam azot miktarına etkisi, ANOVA tablosu.

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	23,51	3,92	4,89	0,0032
Hata	20	16,03	0,80		
Düzeltilmiş Toplam	26	39,54			

Uygulamaların, toplam azot miktarına etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$) (Tablo 25). En fazla toplam azot miktarı kontrol uygulamasında olmuş ve bu fark istatistiki olarak önemlidir. Bu değeri sırası ile %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 biyokömür,

%3 biyokömür ve %6 kül uygulaması izlemiştir. En düşük azot miktarı %6,33 değeri ile %6 kül uygulamasında olmuştur (Tablo 26).

Tablo 26.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının marul bitkisinin toplam azot miktarı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu.

Duncan Gruplaması	Ortalama		Uygulama
	%	N	
A	9,17	4	Kontrol
BA	8,43	4	%1 Anız
BAC	7,83	4	%3 Anız
BDC	7,55	4	%3 Kül
DC	6,85	3	%6 Biyokömür
DC	6,80	4	%3 Biyokömür
D	6,33	4	%6 Kül

Mandal vd., (2004) çeltik sapının yakılması, toprağa karıştırılması, malçlama ve balyalanarak tarladan uzaklaştırılması işlemlerinin toprak özellikleri ve buğday verimine etkisini belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada, çeltik sapının yakmaya kıyasla toprağa karıştırılmasında toprakta TOM ve toprak N, P ve K oluşumuna yol açtığını ancak toprağa karıştırmanın en büyük dezavantajının ise N'nin immobilizasyonu olduğunu bildirmişlerdir. Kalıntıların yüzeyde tutulmasının, yanmaya kıyasla toprak NO₃'ünü %46, bitki N alımını %29 ve verimi %37 oranında artırdığını belirtmişlerdir. Kim vd., (2015) ağır metal ile kirlenmiş toprağa %0, 0,5, 1, 2, 5 ve 10 oranlarında biyokömür uygulanan toprakta marul gelişimini ve toprak özelliklerini inceledikleri araştırmada, bitki bünyesindeki ağır metal oranında azalış olduğunu, ancak ağır metal oranındaki düşüşe rağmen, biyokömür uygulama oranı artırıldıkça bitki büyümesinde yavaşlama olduğunu bildirmişlerdir. N'nin de diğer ağır metaller ile birlikte biyokömür tarafından absorbe edilmesiyle büyümenin yavaşlamasına sebep olarak göstermişlerdir. Kirli topraklarda biyokömür uygulaması yapılırken N eksikliği ihtimalini dikkate alarak uygulama miktarının doğru belirlenmesi yönünde de tavsiyede bulunmuşlardır. Bu çalışmada da bitki bünyesinde en fazla N kontrolde (9,17) olmuştur. En az N %6 kül uygulamasında (%6,33) olmuş ve %3 biyokömür (%6,80) ile %6 biyokömür (%6,85) uygulamaları bu değere yakın olmuştur.

4.4.2. Klorofil

Tablo 27.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki klorofil miktarına etkisi, ANOVA tablosu.

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	5	114,36	22,87	0,75	0,6056
Hata	11	337,33	30,67		
Düzeltilmiş Toplam	16	451,70			

Uygulamaların, klorofil değeri üzerine etkileri istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$) (Tablo 27). En yüksek klorofil değeri kontrol uygulamasında 28,35 SPAD iken en düşük %1 anız uygulamasında 21,2 SPAD tır (Tablo 28). Zafer vd., (2019) katı solucan ve tavuk gübrelerinin kıvırcık salatada verim, bazı kalite özellikleri ve bitki besin elementi içeriklerine etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada klorofil miktarı bakımından uygulamalar arasında farklılık olmadığını belirtmişlerdir.

4.4.3. Yaş Ağırlık

Tablo 28.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki yaş ağırlığı üzerine etkisi, ANOVA tablosu.

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	5	700,16	140,03	2,50	0,0956
Hata	11	616,62	56,06		
Düzeltilmiş Toplam	16	1316,78			

Uygulamaların, bitki yaş ağırlığı üzerine etkileri istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$) (Tablo 28).

4.4.4. Kuru Ağırlık

Tablo 29.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki kuru ağırlığı üzerine etkisi, ANOVA tablosu.

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	6	3,52	0,59	6,15	0,0009
Hata	20	1,91	0,95		
Düzeltilmiş Toplam	26	5,42			

Uygulamaların, kuru ağırlık üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 29). Kuru ağırlık en fazla %6 biyokömür uygulamasında olmuş ve istatistiki olarak %3 biyokömür uygulamasıyla aynı grupta yer almıştır. Bu değeri sırası ile %3 kül, kontrol, %6 kül, %3 anız ve %1 anız uygulaması izlemiştir ve istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. (Tablo 30).

Tablo 30.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki kuru ağırlığı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu.

Duncan Gruplaması	Ortalama (g)	N	Uygulama
A	1,06	3	%6 Biyokömür
A	1,04	4	%3 Biyokömür
B	0,52	4	%3 Kül
B	0,41	4	Kontrol
B	0,30	4	%6 Kül
B	0,11	4	%3 Anız
B	0,11	4	%1 Anız

4.4.5. Yaprak Alanı

Tablo 31.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının yaprak alanı üzerine etkisi, ANOVA tablosu.

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	5	6.742.078.282	1.348.415.656	3,40	0,0423
Hata	11	4.365.799.287	396.890.844		
Düzeltilmiş Toplam	16	11.107.877.569			

Uygulamaların, yaprak alanı üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 31). En fazla yaprak alanı %3 biyokömür uygulamasında olmuş ve bu fark istatistiki olarak önemlidir. Bu değeri sırası ile %6 biyokömür, %6 kül ve %3 kül uygulaması izlemiştir. En düşük yaprak alanı değeri 45,50 cm² ile %1 anız uygulamasında olmuştur (Tablo 32).

Tablo 32.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının yaprak alanı üzerine etkisi, Duncan LSD tablosu.

Duncan Gruplaması	Ortalama cm ²	N	Uygulama
A	625,26	4	%3 Biyokömür
BA	518,68	3	%6 Biyokömür
BAC	237,83	2	%6 Kül
BAC	235,30	4	%3 Kül
BC	153,94	3	Kontrol
C	45,50	1	%1 Anız

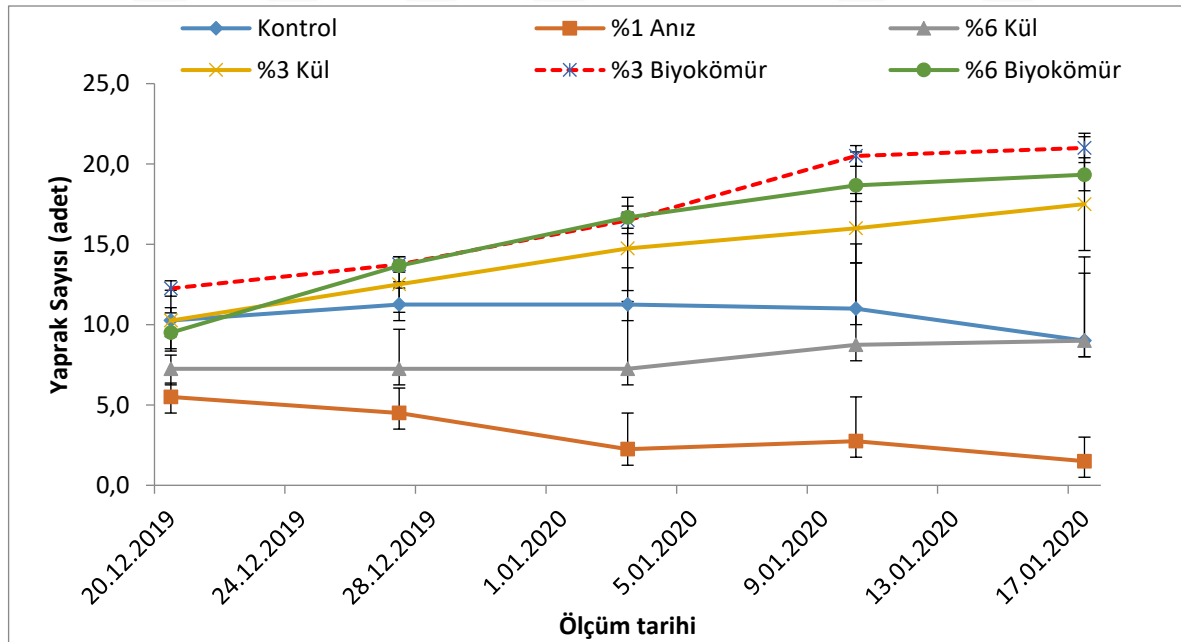
4.4.6. Yaprak Sayısı

Tablo 33.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki yaprak sayısı üzerine etkisi, ANOVA tablosu.

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	5	279,27	55,85	3,31	0,0456
Hata	11	185,67	16,88		
Düzeltilmiş Toplam	16	464,94			

Uygulamaların, bitki yaprak sayısı üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$) (Tablo 33). Şekil 21’den de görüleceği gibi yaprak sayısı %3, %6 biyokömür ve kontrol örneklerinde daha fazla olmuş ve bu fark marul dikiminden itibaren görülmektedir.



Şekil 21. Marul gelişiminde haftalık yaprak sayısı ölçümleri.

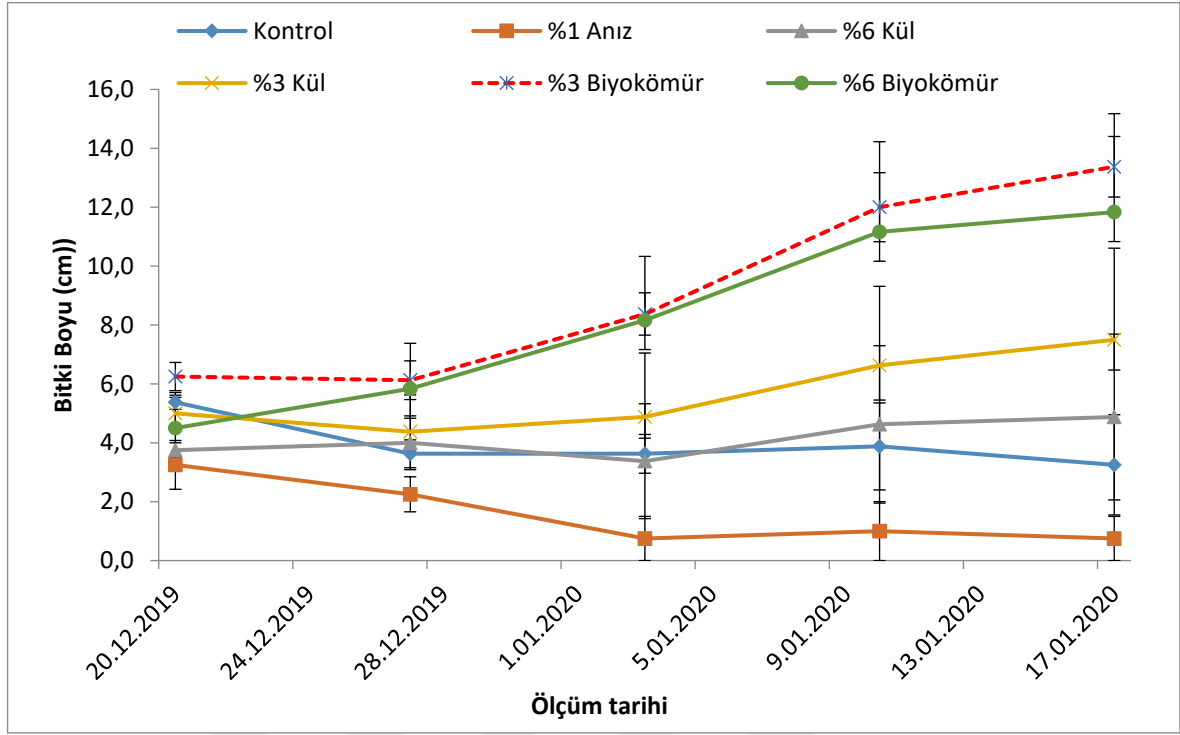
4.4.7. Bitki Boyu

Tablo 34.

Kontrol, %1 anız, %3 anız, %3 kül, %6 kül, %3 biyokömür, %6 biyokömür uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi, ANOVA tablosu.

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Value	Pr > F
Model	5	211,97	42,39	5,09	0,0117
Hata	11	91,65	8,33		
Düzeltilmiş Toplam	16	303,62			

Uygulamaların, bitki boyu üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 34). Carter vd., (2013) çeltik kavuzu biyokömürü (ÇKB) katkısı yaptıkları saksı deneyinde, sırası ile marul-çin lahanası-marul yetiştirilmesinin sonuçlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında ÇKB uygulamasına ek olarak kompost, sıvı kompost ve göl tortusu karışımı gübre olarak ortama eklemişlerdir. ÇKB uygulaması ile biyokütle, kök biyokütlesi, bitki boyu ve yaprak sayısında artış olduğunu ancak en büyük artışın gübreleme yapılmadan sadece ÇKB uygulaması ile elde edilen üründe olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada da şekil 22 de görüleceği gibi bitki boyu %3, %6 biyokömür örneklerinde daha fazla olmuş ve bunu kontrol uygulaması izlemiştir. Gelişme farklılığı marul dikiminden itibaren görülmektedir. Kül ve anız uygulaması marul gelişimini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 22. Marul gelişiminde haftalık bitki boyu ölçümleri.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada potansiyel tarımsal atık olarak görülen çeltik sapının kıyılarak, yakılarak ve biyokömüre dönüştürülerek toprağa karıştırılmasının toprağın özelliklerini ve marul bitkisi gelişimini nasıl etkilediği araştırılmış ve bulunan sonuçlar aşağıda iki grup halinde belirtilmiştir.

5.1. Uygulamaların Toprak Özelliklerine Etkisi

Uygulamalar arasında biyokömürün yüzey alanının diğer materyallere göre daha fazla olmasından dolayı porozite %63,71, tarla kapasitesi %52,20, Ksat $8,91 \times 10^{-04}$ cm/s değeriyle en fazla %6 biyokömür uygulamasında olmuştur. Ca, Mg, Al gibi elementler toprak agregat oluşumunda çimentolayıcı etki gösterdiğinden bu çalışmada AS en yüksek %6 kül uygulamasında (%85,40) bulunmuştur. OAC en fazla %3 anız (%2,01) ve %1 anız (%1,87) uygulamalarında olmuştur.

Toprak pH'ı en fazla %1 anız uygulamasında (7,54) görülmüştür. Fakat külün pH'ının (10,76) çok yüksek olmasından dolayı %6 kül ve %3 anız uygulamalarının pH değeri (7,47) %1 anız değerine oldukça yakındır. EC en fazla %6 kül uygulamasında (5,68 dS/m) olmuş fakat %6 biyokömür uygulamasının (5,27 dS/m) sonucu bu değere yakındır. Biyokömürdeki C içeriği (%42,76) diğer materyallere göre daha fazla olduğundan toprak toplam karbon miktarını en fazla biyokömür uygulamaları arttırmıştır. Toprak toplam karbon (C) miktarı en fazla %3 biyokömür uygulamasında (%10,43) görülmüştür. Materyaller arasında en fazla N içeriği, biyokömürde (%1,46) bulunmuştur. Ayrıca biyokömürün bünyesinde azotu tutarak, sulama suyu ile topraktan yıkanmasını engellemesinden dolayı deneme sonunda toprakta en fazla N miktarı %6 biyokömür uygulamasında (%0,58) bulunmuştur. Toprak karbon/azot (C/N) oranı en fazla kontrol toprağında (29,77) olmuş fakat istatistiki olarak %1 anız, %3 anız, %3 kül ve %6 kül ile aynı grupta yer almıştır. En düşük C/N oranı %6 biyokömür uygulamasında (15,78) olmuştur.

5.2. Uygulamaların Marul Bitkisinin Gelişimine Etkisi

Bitki bünyesindeki N miktarı en fazla kontrol uygulamasında (%9,17) olmuş ve bu değeri sırası ile %1 anız, %3 anız, %3 kül uygulamaları izlemiştir. Bitkide en düşük N miktarı %6,33 ile %6 kül uygulamasında olmuştur. Uygulamaların, klorofil değeri ve bitki yaş ağırlığı üzerine etkileri istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Kuru ağırlık en fazla %6 biyokömür uygulamasında (1,06 g) olmuş ve bu değer %3 biyokömür uygulamasına (1,04 g) oldukça yakındır. Yaprak alanı, %3 biyokömür uygulamasında (625,26 cm²) en fazla değerdedir. Bu değere en yakın %6 biyokömür uygulamasında (518,68 cm²) olmuş ve diğer uygulamalara oranla oldukça fazladır. En düşük yaprak alanı 45,50 cm² ile %1 anız uygulamasında görülmüştür. Yaprak sayısı ve bitki boyu biyokömür uygulamalarında daha fazla olmuştur. Bitki gelişme farklılığı marul dikiminden itibaren görülmektedir. Kül ve anız uygulamasının marul gelişimini olumsuz etkilediği görülmüştür.

Sonuç olarak toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi bakımından en olumlu sonuçlar biyokömür uygulamalarında görülmüştür. Toprak özelliklerinin iyileşmesi bitki gelişimine olumlu katkı sağlamıştır. Anız ve kül uygulamaları ise marul gelişimini olumsuz etkilemiştir. Çeltik hasadından sonra arta kalan sapların biyokömüre dönüştürülerek toprağa karıştırılmasıyla hem karbonun karasal ekosistemde depolanmasına katkıda bulunacağı hem de tarımsal üretimde verimliliği arttıracak kanaatine varılmıştır. Ancak, tarımsal üretimde çeltik sapının biyokömüre dönüştürülmesi işleminin maliyet açısından da incelenmesine ayrıca ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abrishamkesh, S., Gorji, M., Asadi, H., Bagheri-Marandi, G. H., & Pourbabae, A. A. (2015). "Effects of rice husk biochar application on the properties of alkaline soil and lentil growth. Plant". *Soil and Environment*, 61(11), 475-482.
- Akça, M. O., Usta, S., Uygur, V., & Ok, S. S. (2020). "Çeltik sapından elde edilen biyokömürün bazı karakterizasyon özellikleri". *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(2), 86-97.
- Andrenelli, M., Maienza, A., Genesio, L., Miglietta, F., Pellegrini, S., Vaccari, F., & Vignozzi, N. (2016). "Field application of pelletized biochar: Short-term effect on the hydrological properties of a silty clay loam soil". *Agricultural Water Management*, 163, 190–196.
- Anonim, (1988). "Nature and Management of Tropical Peat Soils". *The main characteristics of tropical peats moisture relationships*, retrieved March 13, 2021, from www.fao.org/docrep/x5872e/x5872e06.htm#4.2.2 Son erişim tarihi: 15 Mayıs 2014.
- ASTM D-3173. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke.
- ASTM International. (2014). Standard test methods for determination of carbon, hydrogen and nitrogen in analysis samples of coal and carbon in analysis samples of coal and coke. ASTM International.
- Bashir, S., Hussain, Q., Akmal, M., Riaz, M., Hu, H., Ijaz, S. S., ... & Ahmad, M. (2018). "Sugarcane bagasse-derived biochar reduces the cadmium and chromium bioavailability to mash bean and enhances the microbial activity in contaminated soil". *Journal of soils and sediments*, 18(3), 874-886.
- Black, C. A., Evans, D. D., White, J. L., Ensminger, L. E., & Clarke, F. E. (1965). "Methods of soil analysis". *American Society of Agronomy*. Madison, Wisconsin, part I, 1-770
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). "Methods of Soil Analysis". *Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Klute, A.

- Bölükbaş, B., & İsmail, K. A. Y. A. (2018). “Çeltik Samanının Besin Madde Bileşimi ve Yem Değerini Artırma Yöntemleri”. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 58(2), 99-107.
- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. B., & Haeefe, 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.
- Castro, E., Manas, P., & De las Heras, J. (2009). “A comparison of the application of different waste products to a lettuce crop: effects on plant and soil properties”. *Scientia Horticulturae*, 123(2), 148-155.
- Chaiwong, K., Kiatsiriroat, T., Vorayos, N., & Thararax, C. (2012). “Biochar production from freshwater algae by slow pyrolysis”. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 6(2), 186.
- Chen, W., Meng, J., Han, X., Lan, Y., & Zhang, W. (2019). “Past, present, and future of biochar”. *Biochar*, 1(1), 75-87.
- Climate.gov (2020). "Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide". Understanding Climate, Rebeca Lindsay, retrieved May 05, 2021, from <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>.
- Cui, Y. S., Du, X., Weng, L. P., & Zhu, Y. G. (2008). “Effects of rice straw on the speciation of cadmium (Cd) and copper (Cu) in soils”. *Geoderma*, 146(1-2), 370-377.
- ÇEM (2018). “Toprak Organik Karbonu Projesi, Teknik Özet”. *Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü*, Ankara, Türkiye
- de Oliveira, L. M., Suchismita, D., Gress, J., Rathinasabapathi, B., Chen, Y., & Ma, L. Q. (2017). “Arsenic uptake by lettuce from As-contaminated soil remediated with *Pteris vittata* and organic amendment”. *Chemosphere*, 176, 249-254.
- Demirbas, A., Pehlivan, E., & Altun, T. (2006). “Potential evolution of Turkish agricultural residues as bio-gas, bio-char and bio-oil sources”. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31(5), 613-620.

- Dulkadiroğlu, H. (2018). “Türkiye’de elektrik üretiminin sera gazı emisyonları açısından incelenmesi”. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67-74.
- El-Mogy, M. M., Abdelaziz, S. M., Mahmoud, A. W. M., Elsayed, T. R., Abdel-Kader, N. H., & Mohamed, M. I. (2020). “Comparative Effects of Different Organic and Inorganic Fertilisers on Soil Fertility, Plant Growth, Soil Microbial Community, and Storage Ability of Lettuce”. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 66(3), 87-107.
- Everest, T. (2015). “Truva Tarihi Milli Parkı Arazilerinin Detaylı Toprak Etüt ve Haritalanması ile Arazi Değerlendirmesi”. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Frimpong, K. A., Amoakwah, E., Osei, B. A., & Arthur, E. (2016). “Changes in soil chemical properties and lettuce yield response following incorporation of biochar and cow dung to highly weathered acidic soils”. *Journal of Organic Agriculture and Environment*, 4(1), 28-39.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. “Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd ed. Agron. 9”. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, pp. 383–413.
- Guo, Y., Zhang, H., Tao, N., Liu, Y., Qi, J., Wang, Z., & Xu, H. (2003). “Adsorption of malachite green and iodine on rice husk-based porous carbon”. *Materials chemistry and physics*, 82(1), 107-115.
- Haefele, S. M., Konboon, Y., Wongboon, W., Amarante, S., Maarifat, A. A., Pfeiffer, E. M., & Knoblauch, C. (2011). “Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems”. *Field Crops Research*, 121(3), 430-440.
- Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J. L., & 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.
- Huang, J. H., Hsu, S. H., & Wang, S. L. (2011). “Effects of rice straw ash amendment on Cu solubility and distribution in flooded rice paddy soils”. *Journal of hazardous materials*, 186(2-3), 1801-1807.

- Hunter, B., Cardon, G. E., Olsen, S., Alston, D. G., & McAvoy, D. (2017). "Preliminary screening of the effect of biochar properties and soil incorporation rate on lettuce growth to guide research and educate the public through extension". *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 9(1), 1-4.
- İlay, R., Kavdır, Y., Memici, M., & Ekinici, K. (2020). "Grain size-induced changes in carbon and nitrogen concentrations and characteristics of tomato harvest residue biochar". *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(9), 3917-3926.
- Jin, S., Jin, W., Dong, C., Bai, Y., Jin, D., Hu, Z., & Huang, Y. (2020). "Effects of rice straw and rice straw ash on rice growth and α -diversity of bacterial community in rare-earth mining soils". *Scientific reports*, 10(1), 1-12.
- Joseph, S. D., Downie, A., Munroe, P., Crosky, A., & Lehmann, J. (2007). "Biochar for carbon sequestration, reduction of greenhouse gas emissions and enhancement of soil fertility; A review of the materials science". *Proceedings of the Australian combustion symposium* (pp. 130-133).
- Kahraman, S., & Şenol, P. (2018). "İklim Değişikliği: Küresel, Bölgesel ve Kentsel Etkileri". *Akademia Sosyal Bilimler Dergisi*, 353-370.
- Kamali, M., Jahaninafard, D., Mostafaie, A., Davarazar, M., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A., ... & Aminabhavi, T. M. (2020). "Scientometric analysis and scientific trends on biochar application as soil amendment". *Chemical Engineering Journal*, 395, 125128.
- Kanokkanjana, K., & Garivait, S. (2013). "Alternative rice straw management practices to reduce field open burning in Thailand". *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(2), 119.
- Karaosmanoğlu F, Işıgigür-Ergüdenler A, Sever A. (2000). "Biochar from the straw-stalk of rapeseed plant". *Energy Fuels*, 14:336–339.
- Kartika, K., Lakitan, B., Wijaya, A., Kadir, S., Widur, L. I., Siaga, E., & Meihana, M. (2018). "Effects of particle size and application rate of rice-husk biochar on chemical properties of tropical wetland soil, rice growth and yield". *Australian J. of Crop Sci.*, 12(05), 817-826.

- Kemper, W. D., & Koch, E. J. (1966). "Aggregate stability of soils from western United States and Canada". No. 1488-2016-124039. doi: 10.22004/ag.econ.171386
- Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). "Aggregate stability and size distribution. Methods of Soil Analysis". *Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 425-442. doi: 10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17
- Kim, H. S., Kim, K. R., Kim, H. J., Yoon, J. H., Yang, J. E., Ok, Y. S., ... & Kim, K. H. (2015). "Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil". *Environmental Earth Sciences*, 74(2), 1249-1259.
- Kirsten, W. J. (1983). Organic elemental analysis: Ultramicro, micro, and trace methods. ISBN: 978-0-12-410280-4, Academic press. doi: 10.1016/B978-0-12-410280-4.X5001-3
- Klute, A., & Dirksen, C. (1986). "Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. Methods of Soil Analysis". *Physical and Mineralogical Methods*, 5, 687-734. doi: 10.2136/sssabookser5.1.2ed.c28
- Koçyiğit, R. (2008). "Karasal ekosistemde karbon yönetimi ve önemi". *GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (1), 81-85.
- Laird, D. A., Brown, R. C., Amonette, J. E., & Lehmann, J. (2009). "Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar". *Biofuels, bioproducts and biorefining*, 3(5), 547-562.
- Lehmann, J. Joseph S. 2009. "Biochar for Environmental Management.". ISBN 978-1-84407-658-1.
- Li J, Jiang H (2017). "The thermochemical conversion of non-lignocellulosic biomass to form biochar: a review on characterizations and mechanism elucidation". *Bioresour Technol*, 246:57–68.
- Liu, C. W., Sung, Y., Chen, B. C., & Lai, H. Y. (2014). "Effects of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.)". *International journal of environmental research and public health*, 11(4), 4427-4440.

- Liu, J. C., Tzou, Y. M., Lu, Y. H., Wu, J. T., Cheng, M. P., & Wang, S. L. (2010). "Enhanced chlorophenol sorption of soils by rice-straw-ash amendment". *Journal of hazardous materials*, 177(1-3), 692-696.
- Lu, S. G., Sun, F. F., & Zong, Y. T. (2014). "Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol)". *Catena*, 114, 37-44.
- Ma, E., Zhang, G., Ma, J., Xu, H., Cai, Z., & Yagi, K. (2010). "Effects of rice straw returning methods on N₂O emission during wheat-growing season". *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88(3), 463-469.
- Mandal, K. G., Misra, A. K., Hati, K. M., Bandyopadhyay, K. K., Ghosh, P. K., & Mohanty, M. (2004). "Rice residue-management options and effects on soil properties and crop productivity". *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2, 224-231.
- Mandal, K. G., Misra, A. K., Hati, K. M., Bandyopadhyay, K. K., Ghosh, P. K., & Mohanty, M. (2004). "Rice residue-management options and effects on soil properties and crop productivity". *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2, 224-231.
- Manyà, J. J. (2012). "Pyrolysis for biochar purposes: a review to establish current knowledge gaps and research needs". *Environmental science & technology*, 46(15), 7939-7954.
- Mohammad, M. J., & Athamneh, B. M. (2004). "Changes in soil fertility and plant uptake of nutrients and heavy metals in response to sewage sludge application to calcareous soils". *Journal of Agronomy*, 3(3), 229-236.
- Moragues-Saitua, L., Arias-González, A., & Gartzia-Bengoetxea, N. (2017). "Effects of biochar and wood ash on soil hydraulic properties: A field experiment involving contrasting temperate soils". *Geoderma*, 305, 144-152.
- Nakajima, M., Cheng, W., Tang, S., Hori, Y., Yaginuma, E., Hattori, S., ... & Xu, X. (2016). "Modeling aerobic decomposition of rice straw during the off-rice season in an Andisol paddy soil in a cold temperate region of Japan: Effects of soil temperature and moisture". *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(1), 90-98.
- Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M., & 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.

- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., & Niandou, M. A. (2009). "Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil". *Soil science*, 174(2), 105-112.
- Obia, A., Mulder, J., Hale, S. E., Nurida, N. L., & Cornelissen, G. (2018). "The potential of biochar in improving drainage, aeration and maize yields in heavy clay soils". *PLoS One*, 13(5), e0196794.
- Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A., & Ferreira, I. M. (2014). "Changes in macrominerals, trace elements and pigments content during lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth: Influence of soil composition". *Food chemistry*, 152, 603-611.
- SAS Institute (1999). SAS/STAT Users Guide. In: Vers. 6, fourth ed., vol. 2. SA Inst., Cary, NC.
- SGB (2020). "Çeltik tarım ürünleri piyasa raporu. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, 1-2.
- Singh, G., Jalota, S. K., & Sidhu, B. S. (2005). "Soil physical and hydraulic properties in a rice-wheat cropping system in India: effects of rice-straw management". *Soil use and management*, 21(1), 17-21.
- Solaiman, Z. M., Hongjun, Y. A. N. G., Archdeacon, D., Tippet, O., Michaela, T. I. B. I., & Whiteley, A. S. (2019). "Humus-rich compost increases lettuce growth, nutrient uptake, mycorrhizal colonisation, and soil fertility". *Pedosphere*, 29(2), 170-179.
- Sönmez, M. (2014). "Biyogübre uygulamalarının toprakta agregat oluşumu ve stabilitesi üzerine etkileri". Yüksek lisans tezi. Akdeniz Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü.
- Sun, L., & Gong, K. (2001). "Silicon-based materials from rice husks and their applications". *Industrial & engineering chemistry research*, 40(25), 5861-5877.
- Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). "Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467-481.
- Trupiano, D., Cocozza, C., Baronti, S., Amendola, C., Vaccari, F. P., Lustrato, G., ... & Scippa, G. S. (2017). "The effects of biochar and its combination with compost on

- lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance”. *International Journal of Agronomy*, 2017.
- Tuyen, T. Q., & Tan, P. S. (2001). “Effects of straw management, tillage practices on soil fertility and grain yield of rice”. *Omonrice*, 9, 74-78.
- Üçok, Z., Demir, H., Sönmez, İ., & Polat, E. (2019). “Farklı organik gübre uygulamalarının kıvrıcık salata (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) verim, kalite ve bitki besin elementi içeriklerine etkileri”. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32, 63-68.
- Wang PJ, Huang LC. (1976). “Beneficial effects of activated charcoal on plant tissue and organ cultures”. *In vitro*, 12, 260-262.
- Woods WI, Falcão NPS, Teixeira, WG. (2006). “Biochar trials aim to enrich soil for smallholders”. *Nature*, 443, 144
- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). “Sustainable biochar to mitigate global climate change”. *Nature communications*, 1, 56.
- Yu, X. Y., Ying, G. G., & Kookana, R. S. (2006). “Sorption and desorption behaviors of diuron in soils amended with charcoal”. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(22), 8545-8550.
- Zandvakili, O. R., Barker, A. V., Hashemi, M., & Etemadi, F. (2019). “Biomass and nutrient concentration of lettuce grown with organic fertilizers”. *Journal of Plant Nutrition*, 42(5), 444-457.
- Zhao, J., Zhao, X., Wang, S. Q., & Xing, G. X. (2018). “Effects of successive incorporation of rice straw biochar into an alkaline soil on soil fertility, carbon sequestration and ammonia volatilization”. *The journal of applied ecology*, 29(1), 176-184.
- Zhou, G., Gao, S., Lu, Y., Liao, Y., Nie, J., & Cao, W. (2020). “Co-incorporation of green manure and rice straw improves rice production, soil chemical, biochemical and microbiological properties in a typical paddy field in southern China”. *Soil and Tillage Research*, 197, 104499.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı
Uyruğu
Doğum Tarihi ve Yeri
Telefon
Faks
E-mail

ORCID

Eğitim

Derece

Mezuniyet Tarihi

Lisans

Lise

İş Deneyimi

Yıl

Görev

Yabancı Dil

Yayınlar