

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BİOCHAR'IN TOPRAK VERİMLİLİK ÖZELLİKLERİ İLE MARUL
GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Moustapha MAHAMANE GALADIMA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KASIM 2020

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BİOCHAR'IN TOPRAK VERİMLİLİK ÖZELLİKLERİ İLE MARUL
GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Moustapha MAHAMANE GALADIMA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KASIM 2020

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİOCHAR'IN TOPRAK VERİMLİLİK ÖZELLİKLERİ İLE MARUL
GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Moustapha MAHAMANE GALADIMA

TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez Akdeniz Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Proje birimi tarafından
FDK-2019-4864 nolu proje ile desteklenmiştir.

KASIM 2020

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİOCHAR'IN TOPRAK VERİMLİLİK ÖZELLİKLERİ İLE MARUL
GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Moustapha MAHAMANE GALADIMA

TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME

DOKTORA TEZİ

Bu tez 19/11/2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erdem YILMAZ (Danışman)

Prof. Dr. Hasan MERDUN

Prof. Dr. Metin MÜJDECİ

Doç. Dr. İlker UZ

Doç. Dr. Gökçen YÖNTER

ÖZET

BİOCHAR'IN TOPRAK VERİMLİLİK ÖZELLİKLERİ İLE MARUL GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Moustapha MAHAMANE GALADIMA

Doktora Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Erdem YILMAZ

19 Kasım 2020; 150 sayfa

Biochar çok yaygın bir kavram olup birçok ülkede (örneğin İngiltere, Yeni Zelanda, Çin, ABD, Türkiye, vb.) akademik platformlarda gittikçe önem kazanan bir kavramdır. Biochar, toprakta karbon tutulması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atık yönetimi, yenilenebilir enerji, toprak iyileştirme, bitki verimliliğinin artırılması ve çevresel iyileştirme gibi konulardan dolayı gittikçe gelişmekte olan bir teknoloji ürünü olarak tanımlanmaktadır. Biochar'ın karakteristikleri üretildikleri biyokütlenin cinsine ve piroliz koşullarına göre değişmektedir.

Bu çalışmada, farklı sıcaklık değerlerinde (300°C ve 500°C) yavaş piroliz yöntemiyle farklı tarımsal atıklardan elde edilen [domates atığı (*Solanum lycopersicum* L.), muz plantasyon atığı (*Musa*), karanfil atığı (*Dianthus caryophyllus* L.) ve bağ budama atığı (*Vitis vinifera* L.)] biochar, Entisol grubuna ait (Typic Xerofluvent) killi-tin tekstüre sahip toprağa uygulanmıştır. Biochar örneklerinin toprağa uygulanmasından sonraki 5'er aylık iki farklı inkübasyon süresi sonunda toprağın verimlilik özellikleri ile marul (*Lactuca sativa* var. *crispa*) gelişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Sera koşullarında ve saksı denemesi olarak yürütülen çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre 5 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Deneme uygulamaları: Biochar örnekleri 10 kg toprak içeren saksılara 2 ton/da olarak (80 g/10 kg/saksı) uygulanmıştır. Çalışmada 4 tarımsal atık × 2 piroliz sıcaklığı × 5 tekerrür + 5 kontrol olmak üzere toplamda 45 uygulama konusu yapılmıştır.

Toplamda 300 günlük inkübasyon süresi sonunda, biochar uygulamaları toprağın kimyasal özelliklerinden pH, EC, KDK ve organik karbon içeriğini artırıcı yönde eğilim göstermiştir. 300°C ve 500°C'de elde edilen biochar örneklerinin I. ve II. inkübasyon dönemi sonunda makro (4-2; 2-1 mm), mezo (1-0.50) ve mikro (0.5-0.25; 0.25-0.050) boyuta sahip agregatların miktarında kontrole göre önemli düzeyde artış meydana gelmiştir. Çalışmada ayrıca, biochar uygulamalarının agregatların stabilitesini kontrole göre önemli düzeyde artırdığı ortaya konulmuştur. Ancak mikro (0.5-0.25; 0.25-0.050) boyuta sahip agregatların stabilitesinin makro (2-1 mm) agregatlardan daha kararlı olduğu belirlenmiştir. Çalışmada biochar uygulamalarının tarla kapasitesi, solma noktası ve toprakta yarayışlı su kapasitesi gibi toprağın fiziksel özelliklerini geliştirmede önemli bir potansiyele sahip olduklarını göstermiştir. Biochar uygulamaları ile toprağın hacim ağırlığı ve penetrometre değerlerinde kontrole göre önemli düşüşler tespit edilmiştir. Biochar uygulamalarının toprağın plastiklik sınıfları ve suyun infiltrasyonu üzerine çok etkili olmadığı bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, 300°C'de üretilmiş olan biochar örneklerinin, ölçülen bazı parametrelerde bakıldığında

500°C'de elde edilen biochar örneklerinden daha etkili olduğu ortaya konulmuş diğer parametrelere ise 500°C'de üretilen biochar örneklerinin 300°C'de elde edilen biochar örneklerinden daha iyi sonuç elde edildiği belirlenmiştir. Benzer şekilde bazı parametrelerde birinci inkübasyon döneminde elde edilen sonuçlar ikinci inkübasyon dönemine göre daha etkili bulunurken, diğer bazı parametreler de ise ikinci inkübasyon dönemi sonuçları birinci inkübasyon dönemi sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Çalışmada kullanılan biyokütleler, piroliz yöntemi ve elde edilen biochar örneklerinin özelliklerine bağlı olarak biochar örnekleri farklı davranışlar sergilemiş, toprak verimlilik parametreleri ile bitki verim ve kalite parametreleri üzerine etkilerinin farklı olabileceği ortaya konmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Agregat, Biochar, Marul, Piroliz, Tarımsal Atık, Toprak Verimliliği

JÜRİ: Prof. Dr. Erdem YILMAZ
Prof. Dr. Hasan MERDUN
Prof. Dr. Metin MÜJDECİ
Doç. Dr. İlker UZ
Doç. Dr. Gökçen YÖNTER

ABSTRACT

EFFECT OF BIOCHAR APPLICATIONS ON SOIL FERTILITY PARAMETERS AND LETTUCE GROWTH

Moustapha MAHAMANE GALADIMA

PhD Thesis in Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Erdem YILMAZ

19 November 2020; 150 pages

The concept of biochar is a popular notion that is increasingly present in academic arenas in several countries e.g. UK, New Zealand, China, USA, Turkey, etc. where it is often described. Like a miracle cure, biochar is known to improve soil carbon sequestration, reduce greenhouse gas emissions, waste management, renewable energy, soil improvement, increasing plant productivity, and environmental improvement. Studies on the application of biochar in agriculture are wide-ranging, but the characteristics of biochar vary greatly depending on the type of biomass and pyrolysis conditions.

This study aimed to assess the effect of applying a different type of biochar pyrolysed from different agricultural wastes like; Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.), Banana (*Musa*), Clove (*Dianthus caryophyllus* L.), and Vineyard (*Dianthus*) at a different temperature values (300°C and 500°C). Biochar was applied to the soil with clayey loam texture belonging to Entisol ordos (Typic Xerofluvent). The effects of biochars application (after two different incubation periods of 5 months) on soil fertility parameters, and lettuce (*Lactuca sativa* var Crispa) growth, were examined. The study was carried out under a greenhouse conditions, as a pot trial, the experimentation was set in 5 replications. According to the randomized plot test pattern, the Biochars were applied at the rate of 2 tons/da (80 g/10kg/pot). A total of 45 pots, including 4 agricultural wastes × 2 pyrolysis temperatures × 5 repetitions + 5 controls, were set.

After 300 days, biochar applications increased the chemical properties of the soil pH, EC, CEC, and organic carbon content. Applications of biochar obtained at 300°C and 500°C for the first and second incubation period increased macro (4-2; 2-1 mm), meso (1-0.50) and micro (0.5-0.25; 0.25-0.050) aggregate formation compared to the control. It has been demonstrated that the application of biochar significantly increased the stability of aggregates compared to the control. However, the aggregate stability was determined to be more stable in micro aggregates (0.5-0.25; 0.25-0.050) than macroaggregates (2-1 mm). The application of Biochar has shown that they have the potential to improve the soil physical properties such as field capacity, wilting point, and useful water capacity in the soil. The application of biochar decreased the bulk density and the penetration resistance of the soil compared to control. It has been found that the application of Biochar did not have an effective effect on the soil plasticity, and water infiltration in the soil. According to the results, it has been revealed that the application of biochars produced at 300°C achieved better results than, those obtained at 500°C regarding some parameters and vice versa. Similarly, the first incubation period

gave better results for some parameters than the second incubation period results and vice versa. However, depending on the feedstock (biomass), the biochars properties and the pyrolysis method, biochars can have different behaviors and their effects on soil fertility parameters and the plant yield can vary.

KEYWORDS: Aggregate, Agricultural waste, Biochar, Lettuce, Pyrolysis, Soil fertility.

COMMITTEE: Prof. Dr. Erdem YILMAZ

Prof. Dr. Hasan MERDUN

Prof. Dr. Metin MÜJDECİ

Assoc. Prof. Dr. İlker UZ

Assoc. Prof. Dr. Gökçen YÖNTER

ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmalarım boyunca beni yönlendiren, destek verip motive eden, benim için yeni olan bu konuda oldukça kapsamlı bir teorik altyapı oluşturmamda, deneysel çalışmalarımda, verilerin derlenmesi ve organize edilmesinde tezdeki verilerden yayına dönüştürülmesinde ve bu tezin yazılmasında yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Erdem YILMAZ'a,

Samimi ve huzurlu bir ortamda çalışma imkânı sağlayan bölümümüzün çok değerli öğretim üyelerine ve asistan arkadaşlarıma,

Akdeniz Üniversitesi İstatistik Danışmanlık Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde istatistiksel analizleri yapmada bana yardımcı olan Öğr. Gör. Dr. Ebru KAYA BAŞAR'a,

Türkiye Bursları Programı yardımıyla doktora yapma hayalimi gerçekleştirme fırsatı veren Türkiye Cumhuriyeti Devletine,

Bugünlere gelmemde sonsuz katkıları bulunan ve maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, sevgili annem Aissata MOUSTAPHA ve rahmetli babam Elhaj Mahamane GALADİMA'ya,

Çalışmalarım süresince benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili ailem ve sözlüm Fatchima ALİ IDE MADOUGOU'ya sonsuz şükranlarımı sunarım.

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Biochar’ın toprak verimlilik özellikleri ile marul gelişimi üzerine etkisinin incelenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

19/11/2020

Moustapha MAHAMANE GALADIMA



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
<	: Küçük
μm	: Mikrometre
a/a	: Ağırlık/ağırlık
atm	: Atmosfer
C	: Karbon
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
C kg ⁻¹	: Karbon/kilogram
C/N	: Karbon/Azot
Ca	: Kalsiyum
Ca(NO ₃) ₂	: Kalsiyum nitrat
CaCl ₂	: Kalsiyum klorür
CH	: Karbon hidrojen
CH ₄	: Metan
cm	: Santimetre
cm s ⁻¹	: Santimetre/saniye
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon Dioksit
COOH	: Karboksilik asit
Cu	: Bakır
da	: Dekar
dk	: Dakika
dS m ⁻¹	: Desisiemens/metre

g	: Gram
g cm ⁻²	: Gram/Santimetrekaare
g cm ⁻³	: Gram/Santimetrekaüp
g kg ⁻¹	: Gram/Kilogram
H/C	: Hidrojen/karbon
H ₂	: Dihidrojen
hPa	: Hektopaskal
K:	: Potasyum
Kg	: Kilogram
Ksat	: Sabit bir oransallık katsayısı
L	: Litre
m	: Metre
m ² g ⁻¹	: Metrekare/gram
Mg	: Magnezyum
Mg ha ⁻¹	: Megagram/hektar
mm	: Milimetre
mm dak ⁻¹	: Milimetre/dakika
Mn	: Mangan
Mpa	: Mega paskal
N	: Azot
N ₂	: Azot gazı
Na	: Sodyum
Na ₂ SO ₄	: Sodyum sülfat
NaHCO ₃	: Sodyum bikarbonat
n-SOC	: Doğal organik karbon
O	: Oksijen

O/C	: Oksijen/karbon
OH	: Hidroksit
P	: Fosfor
pH	: Toprak reaksiyonu
ppm	: Milyonda bir birime
s	: Saniye
S	: Kükürt
SOC	: Toprak organik karbonu
T	: Sıcaklık
t ha ⁻¹	: Ton/hektar
Zn	: Çinko

Kısaltmalar

AKİDUAM : Akdeniz Üniversite İstatistik Danışmanlık Uygulama ve Araştırma Merkezi

ASA : Absorbsiyon spektrofotometresi

ASTM : Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu

BB : Bağ budama biochar

DB : Domates biochar

EC : Elektriksel İletkenlik

FAO : Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü

IBI : International Biochar Initiative (Uluslararası Biochar Girişimi)

KB : Karanfil biochar

KDK : Katyon değişim kapasitesi

LL : Likit limit

MB : Muz biochar

PI	: Plastiklik indeksi
PL	: Plastik limit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SPAD	: Klorofilmetre
SSA	: Spesifik yüzey alanı
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UV	: Ultraviyole

Bu tez çalışmasında ondalık ayırıcı olarak “21.01” stili kullanılmıştır.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amaçları	2
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Toprak Verimliliğini Etkileyen Fiziksel Toprak Parametreleri	4
2.2. Tarımsal Atıkların Biochar Şeklinde Değerlendirilmesi.....	8
2.3. Biochar Elde Etme Yöntemleri ve Biochar'ın Özellikleri	9
2.4. Biochar'ın Toprak Verimlilik Parametreleri ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri.....	13
3. MATERYAL VE METOD	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Toprak	20
3.1.2. Araştırma alanı ve iklim özellikleri	20
3.1.3. Bitki.....	22
3.1.4. Biochar	23
3.2. Metod	25
3.2.1. Denemenin kurulması	25
3.2.2. Orijinal toprak örneklerinde yapılan analizler ve yöntemler	26
3.2.3. Biyokütl materyallerinin hazırlanması	27
3.2.5. Biochar'ın elde edilmesi ve hazırlanması	28
3.2.6. Biochar'da yapılan analiz ve yöntemler.....	29
3.2.7. Biochar uygulamaları sonrası toprakta gerçekleştirilen analizler	30
3.2.8. Marulda verim ve kalite belirlenmesine yönelik yapılan ölçümler.....	31
3.2.9. İstatistiksel analiz yöntemleri.....	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Denemede Kullanılan Orijinal Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	33

4.3. Biochar Uygulamalarının Toprak Verimlilik Özellikleri Üzerine Etkisi.....	45
4.3.1. Biochar uygulamalarının toprağın pH'sı üzerine etkisi	45
4.3.2. Biochar uygulamaların toprağın elektriksel iletkenliği (EC) üzerine etkisi	47
4.3.3. Biochar uygulamaların toprağın katyon değişim kapasitesi (KDK) üzerine etkisi.....	49
4.3.4. Biochar uygulamalarının toprağın agregat oluşumu üzerine etkisi	51
4.3.5. Biochar uygulamaların toprağın agregat stabilitesi üzerine etkisi.....	55
4.3.6. Biochar uygulamalarının toprağın makro (2-1 mm) ve mikro (0.25-0.050 mm) boyuta sahip agregatların organik karbon kapsamı üzerine etkisi.....	58
4.3.7. Biochar uygulamalarının toprağın tarla kapasitesi üzerine etkisi	63
4.3.8. Biochar uygulamalarının toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine etkisi	66
4.3.9. Biochar'ın uygulamalarının toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisi	69
4.3.10. Biochar uygulamalarının toprağın penetrometre direnci üzerine etkisi	71
4.3.11. Biochar uygulamalarının toprak kıvam limitleri üzerine etkisi	74
4.3.12. Biochar uygulamalarının toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	79
4.4. Biochar Uygulamalarının Marul Bitkisinin Gelişimi Üzerine Etkisi.....	90
4.4.1. Biochar uygulamalarının marul bitki boyu üzerine etkisi.....	90
4.4.2. Biochar uygulamalarının marul bitkisinin gövde çapı üzerine etkisi	92
4.4.3. Biochar uygulamalarının marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine etkisi	93
4.4.4. Biochar uygulamalarının marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkisi.....	95
4.4.5. Biochar uygulamalarının marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisi.....	96
5. SONUÇLAR	99
6. KAYNAKLAR	101
7. EKLER.....	117
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Farklı araştırmalarda (sayı = 65) incelenen toprak kalite göstergeleri (min.%10). Toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel göstergeleri sırasıyla yeşil, kırmızı ve mavi olarak gösterilmiştir.....	7
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan toprak materyaline ait örnekleme alanı.....	21
Şekil 3.2. I inkübasyon dönemi sera içerisindeki aylık ortalama sıcaklık değerleri.....	22
Şekil 3.3. II. inkübasyon dönemi sera içerisindeki aylık ortalama sıcaklık değerleri	22
Şekil 3.4. Araştırmada kullanılan kıvırcık marul (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i>) çeşidi....	23
Şekil 3.5. Bağ budama atıklarından elde edilen biochar örnekleri	23
Şekil 3.6. Domates atıklarından elde edilen biochar örnekleri	24
Şekil 3.7. Muz atıklarından elde edilen biochar örnekleri	24
Şekil 3.8. Karanfil atıklarından elde edilen biochar örnekleri	24
Şekil 3.9. a) Etkileri denenecek biochar'ın, deneme toprağına karıştırılması b) Karışım sağlanan toprakların deneme düzeninde saksılara aktarılması	25
Şekil 3.10. Yavaş piroliz deney düzeneğı.....	28
Şekil 3.11. Yavaş piroliz işlemi sonucu üretilen biochar görüntüsü.....	29
Şekil 4.1. Bağ budama atığının 300°C'deki yavaş pirolizinden elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri	38
Şekil 4.2. Bağ budama atığının 500°C'deki yavaş pirolizinden elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri	39
Şekil 4.3. Domates atığının 300°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri	40
Şekil 4.4. Domates atığının 500°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri	41
Şekil 4.5. Muz atığının 300°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri	42
Şekil 4.6. Muz atığının 500°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri	43
Şekil 4.7. Karanfil atığının 300 °C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri	44

Şekil 4.8. Karanfil atığının 500°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri	45
Şekil 4.9. Biochar uygulamaları ile toprağın penetrasyon direncinde meydana gelen değişiklik.....	74
Şekil 4.10. 300°C deki piroliz ile elde edilen bağ budama biochar'ının (BB300) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi	75
Şekil 4.11. 500°C deki piroliz ile elde edilen bağ budama biochar'ının (BB500) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi	75
Şekil 4.12. 300°C deki piroliz ile elde edilen domates biochar'ının (DB300) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi	76
Şekil 4.13. 500°C deki piroliz ile elde edilen domates biochar'ının (DB500) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi	76
Şekil 4.14. 300°C deki piroliz ile elde edilen muz biochar'ının (MB300) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi	77
Şekil 4.15. 500°C deki piroliz ile elde edilen muz biochar'ının (MB500) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi	77
Şekil 4.16. 300°C deki piroliz ile elde edilen karanfil biochar'ının (KB300) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi	78
Şekil 4.17. 500°C deki piroliz ile elde edilen karanfil biochar'ının (KB500) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi	78
Şekil 4.18. Çalışmanın I. ve II. döneminde kontrol uygulamasının kıvam limitleri.....	79
Şekil 4.19. BB300 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	80
Şekil 4.20. BB500 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	80
Şekil 4.21. DB300 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	81
Şekil 4.22. DB500 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	81
Şekil 4.23. MB300 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	82
Şekil 4.24. MB500 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	82

Şekil 4.25. KB300 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	83
Şekil 4.26. KB500 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	83
Şekil 4.27. Kontrol toprakların I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi.....	84
Şekil 4.28. BB300 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	85
Şekil 4.29. BB500 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	85
Şekil 4.30. DB300 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	86
Şekil 4.31. DB500 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	86
Şekil 4.32. MB300 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	87
Şekil 4.33. MB500 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	87
Şekil 4.34. KB300 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	88
Şekil 4.35. KB500 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi	88
Şekil 4.36. Kontrol toprakların II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi.....	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yaygın olarak kullanılan toprak kalite göstergeleri	8
Çizelge 2.2. Piroliz çeşitleri parametreler ve ürünler	12
Çizelge 2.3. Piroliz çeşitleri parametreler ve ürünler	12
Çizelge 4.1. Denemede kullanılan orijinal toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	33
Çizelge 4.2. Biyokütle ön analizi (%).....	34
Çizelge 4.3. Biyokütle üzerinde yapılan bileşenler analizi (%).....	34
Çizelge 4.4. Farklı sıcaklıklarda elde edilen biochar karakterizasyonu.....	35
Çizelge 4.5. 300 ve 500°C'deki yavaş piroliz yöntemiyle elde edilen biochar üzerinde yapılan ön analizler (%)	36
Çizelge 4.6. Biyokütlelerden farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen biochar'lara ait suda eriyebilir bitki besin elementi içerikleri.....	37
Çizelge 4.7. Biochar uygulamalarının toprak pH'sı üzerine etkisi ¹	46
Çizelge 4.8. Piroliz sıcaklık değerlerindeki farka bağlı olarak aynı biyokütleden elde edilen biochar uygulamalarının toprak pH'sı üzerine etkisinin karşılaştırılması. ¹	46
Çizelge 4.9. Biochar uygulamalarının toprağın EC değeri üzerine etkisi (dS m ⁻¹) ¹	48
Çizelge 4.10. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın EC değeri üzerine etkisi ¹	48
Çizelge 4.11. Biochar uygulamaların toprağın KDK üzerine etkisi (me 100gr ⁻¹) ¹	49
Çizelge 4.12. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamaların toprağın KDK değeri üzerine etkisi (me 100gr ⁻¹) ¹	50
Çizelge 4.13. Biochar uygulamalarının toprağın agregat oluşumu üzerine etkisi (%) ¹ ..	52
Çizelge 4.14. Farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın agregat oluşumu üzerine etkisinin karşılaştırılması (%) ¹	53
Çizelge 4.15. Biochar uygulamaların toprağın agregat stabilitesi üzerine etkisi (%) ¹ ...	56
Çizelge 4.16. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamaların toprağın agregat stabilitesi üzerine etkisi (%) ¹	57
Çizelge 4.17. Biochar uygulamalarının toprağın makro (2-1 mm) ve mikro (0.25-0.050 mm) agregatların organik karbon kapsamı üzerine etkisi (%) ¹	59

Çizelge 4.18. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın makro (2-1 mm) ve mikro (0.25-0.050 mm) agregatların organik karbon üzerine etkisi (%) ¹	60
Çizelge 4.19. Biochar uygulamalarının toprağın tarla kapasitesi üzerine etkisi (%) ¹	63
Çizelge 4.20. Farklı piroliz sıcaklık değerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın tarla kapasitesi üzerine etkisi (%) ¹	63
Çizelge 4.21. Biochar uygulamalarının toprağın solma noktası üzerine etkisi (%) ¹	65
Çizelge 4.22. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın solma noktası üzerine etkisi (%) ¹	65
Çizelge 4.23. Biochar uygulamalarının toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine etkisi (%) ¹	67
Çizelge 4.24. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar'ın toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine etkisi (%) ¹	67
Çizelge 4.25. Biochar uygulamalarının toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisi (g cm ³) ¹	69
Çizelge 4.26. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisi. 1	70
Çizelge 4.27. Biochar uygulamalarının toprağın penetrasyon direnci üzerine etkisi (N s ⁻¹) ¹	72
Çizelge 4.28. Farklı piroliz sıcaklık değerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın penetrasyon direnci üzerine etkisi (N s ⁻¹) ¹	72
Çizelge 4.29. Biochar'ın uygulamaların marul bitki boyu üzerine etkisi (cm) ¹	90
Çizelge 4.30. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının marul bitki boyu üzerine etkisi. ¹	91
Çizelge 4.31. Biochar uygulamalarının marul bitkisinin gövde çapı üzerine etkisi (mm) ¹	92
Çizelge 4.32. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin gövde çapı üzerine etkisi. ¹	92
Çizelge 4.33. Biochar'ın uygulamaların marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine etkisi ¹	93
Çizelge 4.34. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine etkisi ¹	94
Çizelge 4.35. Biochar'ın uygulamaların marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkisi (g bitki ⁻¹) ¹	95

Çizelge 4.36. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkisi ¹ 95

Çizelge 4.37. Biochar'ın uygulamaların marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisi¹ ..96

Çizelge 4.38. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisi¹ 97



1. GİRİŞ

Dünya nüfusu günümüz itibarıyla 7 milyarı aşmakta ve birleşmiş milletler öngörülerine göre dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9.3 milyar seviyesine ulaşması beklenmektedir. Önümüzdeki 50 yılda artan dünya nüfusunun yiyecek ihtiyaçlarını karşılamak için, gıda üretiminin yılda 8.4 milyar tondan 13.5 milyar tona yükselmesi gerektiği tahmin edilmektedir (FAO 2020). Hızla artan dünya nüfusunun yiyecek ihtiyaçlarını karşılamada, yeni tarımsal üretim sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Dünya genelindeki tarım topraklarının büyük çoğunluğu çeşitli nedenlere bağlı olarak bozulmakta ve bu durum her geçen gün daha da kötüleşmektedir. Toprakların verimlilik kapasitelerindeki düşüş başlıca üç temel etkenden kaynaklanmaktadır. Bunlar: a) toprakların organik karbon kapsamlarındaki azalma b) bitki besleme ve bitki korumada kullanılan aşırı kimyasallar ve c) hatalı toprak işleme uygulamalarıdır. Bununla birlikte, tarımsal arazilerin yaklaşık %33'ünün orta ve yüksek erozyon, tuzlanma, sıkışma, asitleşme ve diğer kimyasal kirlilik etmenlerinden dolayı bozulmuş olduğu tahmin edilmektedir (FAO 2016).

Toprak tarımsal üretim açısından büyük önem taşımaktadır. Toprakların verimliliğini artırmak ve korumak için sürdürülebilir yeni toprak yönetim tekniklerinin uygulanması ise bir zorunluluk halini almıştır. Toprakların verimliliğini korumak ve/veya arttırmak amacıyla en yaygın uygulama topraklara organik kökenli materyallerin ilavesidir ve bu amaçla birçok organik kökenli materyal kullanılmaktadır. Bu materyallerden birisi de önemi gittikçe artan biochar (biyokömür)'dir. Dünyada, bilim insanları tarafından biochar'a olan ilginin düzeyi, özellikle son yıllarda yürütülen çalışmaların yoğunluğundan anlaşılmaktadır. Günümüzde tarımsal açıdan biochar kullanımı yaygın olup, birçok yıpranmış toprağın restorasyonuna bir çözüm olarak görülmektedir. Son yıllarda bir çok araştırmacı tarafından toprakların verimlilik kapasitelerinin geliştirilmesi, toprak ve ekolojik düzenleyici olarak biocharın kullanımı önerilmektedir (Lehmann vd. 2006; Laird vd. 2010; Yuan ve Xu 2011). Biochar'a son yıllarda gösterilen yoğun ilginin temeli iki farklı yönden incelenebilir:

- Bu ilginin ilk yönü, biochar gibi materyallerin toprakların yüksek organik karbon içeriklerinin sebeplerinden biri oluşunun keşfi (Glaser vd. 2001) ve Terra Preta olarak bilinen Amazon Siyah Topraklarının sürdürülebilir verimliliğine katkısının ortaya çıkışı ile açıklanabilir (Lehmann vd. 2003).
- İkinci olarak, biochar'ın herhangi bir organik materyalden çok daha stabil bir yapıya sahip olması ve topraklarda uzun süre ayrılmadan kalabildiğinin ispatlanması ayrıca bitki besin elementlerinin yarıyışlılığını artırdığına ilişkin veriler, bu ilginin temelini oluşturmaktadır (Lehmann 2009).

Biochar'ın insanlar tarafından topraklara uygulanması binlerce yıldır yapılan bir uygulamadır. Amazonlarda bulunan ve bu yöntemle C ile zenginleştirilmiş —Terra Preta—siyah topraklarının verimliliğinin yüksek oluşu birçok araştırmacının dikkatini üzerine çekmiştir (Glaser vd. 2001). Biochar'ın yüzlerce hatta binlerce yıl toprakta karbonu depolayabildiği söylenmektedir (Lehmann 2007). Tahminlere göre, biochar ortalama 1.300 - 4.000 yıl toprakta kalmaktadır (Cheng vd. 2006; Liang vd. 2006); biochar, karbonun toprakta tutulmasını ve toprak özelliklerini geliştirmek amacıyla toprak ıslah materyali olarak üretilmektedir (Lehmann ve Joseph 2009).

Biochar karakteristikleri üretildikleri biyokütlenin cinsine ve piroliz koşullarına göre değişmektedir (Mcbeath vd. 2015). Biyokütle genel olarak selüloz, hemiselüloz, lignin ve az miktarda uçuculardan oluşur ve bunlar'ın oranları biyokütleden biyokütleye değişim gösterdiği için farklı biyokütlelerden üretilen biochar'lar aynı karbon oranına sahip olsalar bile yüzey özellikleri, yüzey alanları veya gözeneklilik gibi önemli fizikokimyasal özellikleri de farklılık göstermektedir (Lei ve Zhang 2013; Xie vd. 2014). Literatüre göre biochar'ın topraklara uygulanması ile toprakların verimlilik kapasiteleri artmakta ve yüksek bitkisel verim sağlanmaktadır (Krull vd. 2006; Lehmann vd. 2006, Glaser vd. 2002). Genel olarak biochar, toprağın iyileştirilmesi, bitki besin elementi kaynağı, toprakta karbon depolanması, agro-kimyasalların bağlanarak toprak veriminin artırılması, iklim değişikliğinin azaltılması (CO₂ ve CH₄ salınımlarının azaltılması), atık yönetiminde çevre kirliliğine neden olan atıkların bertarafı ve materyal akış yönetim maliyetlerinin düşürülmesi ile enerji üretimi gibi alanlarda kullanım olanaklarına sahiptir (Lorenz ve Lal 2014).

Biochar (bir tür ekolojik karbon) "Üçüncü Yeşil Devrim" olarak betimlenmiştir. İnce taneciklere (<2 mm) sahip olan biochar adı "Bio" ve "char" ikilisinden oluşan iki terimden oluşur. Biochar; odun, tarımsal atıklar, hayvansal atıklar gibi çeşitli organik maddelerin düşük oksijen varlığında veya hiç oksijen içermeyen bir ortamda ısıtılması ile elde edilen organik karbonca zengin katı bir materyaldir (Lehmann ve Joseph 2015).

Bölgemizde yapılan yoğun tarımsal üretim süreçlerinde oldukça çeşitli ve yüksek miktarda tarımsal atık meydana gelmektedir. Ancak, bu tarımsal atıkların önemli miktarı da değerlendirilememektedir. Tarımsal aktivitelerden çıkan atıkların yeterince değerlendirilememesinin sebebi atıkların dağınık olması ile taşıma ve işçilik maliyetlerinin öne çıkmasıdır. Bununla birlikte önemli bir girdi potansiyeli olan tarımsal atıkların etkili ekonomik kullanımına yönelik genel kabul gören bir yöntem henüz bulunmamıştır. Bölge veya ülke ölçeğinde bu atıklar genellikle ya çevreye terk edilmekte veya yakılarak heba edilmektedir. Çevreye terk edilen veya yakılan bu atıklar çevresel açıdan önemli bir kirlilik etmeni olmakla birlikte insan ve diğer canlılar açısından da bir tehdit oluşturmaktadır. TÜİK istatistikleri ile çeşitli kurum ve araştırmacılar tarafından belirlenmiş verilere göre, Türkiye'de 2015 yılında tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilebilecek biochar potansiyelinin 3.942.654 ton olduğu ifade edilmiştir (TÜİK 2016). Türkiye'de biochar dönüşüm potansiyelinin yeterli düzeyde olması nedeniyle bitki atıklarının bu yolla değerlendirilerek ülkemiz tarım topraklarının daha verimli hale getirilebilmesi mümkün görünmektedir.

1.1. Çalışmanın Amaçları

Bu doktora tez çalışmasının genel amacı, Antalya'da yapılan yoğun tarımsal aktiviteler sonucu meydana gelen tarımsal atıkların (bağ budama, domates, Muz ve Karanfil):

- Biochar'a dönüştürmek ve karakterize etmek.
- Karakteristikleri ortaya konulan biochar'ın toprağa uygulanarak toprak verimlilik parametreleri üzerine etkilerini incelenmek.
- Biochar'ın Marul gelişimi üzerine etkisini incelenmek.

Spesifik amaç olarak Antalya’da yapılan yoğun tarımsal aktiviteler sonucu meydana gelen tarımsal atıkların bu yolla değerlendirilerek çevreye kirliliğine, insana ve diğer canlılara olası zararlı etkilerini azalmaktadır.



2. KAYNAK TARAMASI

Genel kabul görmüş bir teoriye göre, dünya güneş ateşinden gelen bir kütle idi. Boşlukta dönerek zamanla soğuyan bu kütle sert bir kabuk haline geldi. Yer kabuğunu ince bir tabaka halinde kaplayan toprak, kayaçların fiziksel parçalanma ile kimyasal ve biyolojik ayrışmasından meydana gelmektedir. Toprak ayrıca organik madde, su, hava boşlukları ve canlılardan oluşan karmaşık bir ortamdır. Toprak verimliliği denildiğinde ise akla ilk olarak, sağlıklı ve istenilen seviyedeki bir bitkisel üretim için toprağın zengin besin elementi içeriğine sahip olması, faydalı organizmalar için barınak olması, erozyonu, kirlilik ve besin elementi kaybını azaltmada toprağın kapasitesi ile bitkiler üzerindeki çevresel streslerin en aza indirgenmesinde toprağın uygunluğu olarak tanımlanmaktadır.

Lewandowski ve Zumwinkle (1999) verimli bir toprağı organik madde miktarı ve biyolojik aktivitesi yüksek, bitki köklerinin kolaylıkla hareket edebildiği ve yüzeyde suyun kolaylıkla infiltre olabildiği ayrıca ufalanabilir dayanıklı agregatlara sahip bir toprak yapısı olarak nitelendirmektedir. Bu nedenle toprakların verimliliğini artırmak ve korumak için sürdürülebilir yeni toprak yönetim tekniklerinin uygulanması bir gerekliliktir.

Bu bölümde, biochar uygulamalarının özellikle fiziksel toprak verimlilik parametreleri ile bitki verimliliği üzerindeki etkinliğine ait bilimsel çalışmalara değinilmiştir.

2.1. Toprak Verimliliğini Etkileyen Fiziksel Toprak Parametreleri

Genel anlamda toprakların verimlilik kapasitelerindeki düşüş başlıca üç temel etkenden kaynaklanmaktadır. Bunlar; toprakların organik karbon kapsamlarındaki azalma, bitki besleme ve bitki korumada kullanılan aşırı kimyasallar ile hatalı toprak işleme uygulamalarıdır. Andrews vd. (2002) çevre kalitesini karakterize eden üç temel bileşenden ilk sırada su ardından hava kalitesi ve üçüncü sırada toprak kalitesi yer almaktadır. Su ve hava kalitesi esas olarak doğrudan insan ve hayvan sağlığını etkileyen kirlilik dereceleri veya ekosistemler olarak tanımlanmaktadır (Carter vd. 1997; Davidson 2000). Buna karşılık, bazı araştırmacılar toprak kalitesi kavramını farklı görüşlerle tanımlamışlardır. Ancak genel olarak, toprak kalitesi kavramı; toprağın özelliklerine ve insanların toprak yönetim şekillerinin toprakta bıraktığı etkiler sonucundaki durumuna göre nitelendirilmektedir (Bünemann vd. 2018).

Doran ve Parkin (1994)'e göre toprak kalitesini, biyolojik üretkenliği, çevresel kaliteyi, bitki ve hayvan sağlığında sürdürülebilirlik ile sınırlandırılmış ekosistemde rol alan toprağın kapasitesi olarak tanımlamaktadır. Panpatte ve Jhala (2019) için toprak kalitesi, tarımsal uygulamalara ve toprakta yapılan diğer faaliyetlere izin veren fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler arasındaki olumlu etkileşim ile tanımlanmaktadır. Kaliteli bir toprak, girdi düzeyinde bir artış olmaksızın uzun dönemde sağlıklı üretim yapabilme olanağı sağlamaktadır. Böyle bir toprak suyun hareketini, infiltrasyonunu ve potansiyel çevresel kirleticilerin degrede olmasını kontrol etmektedir. Sağlıklı bir toprak sıcaklık, nem ve diğer çevresel koşullar içindeki geniş salınımlara karşı tamponlama gücü olan topraktır. Bu tamponlama kapasitesi pestisit yayılım düzeyindeki azalma ve stabil ürün düzeyindeki oranın bir yansıması olabilmektedir (Lewandowski ve

Zumwinkle 1999). Ulusal Araştırma Konseyi (1993) tarafından, çevresel olarak ele alınan toprak kalitesi; bitki büyümesini teşvik eden, suyun bölünmesini ve infiltrasyonu düzenleyerek havzaların korumasını sağlayan, tarımsal kimyasallar, organik atıklar ve endüstriyel kimyasallar gibi potansiyel kirleticilerin tamponlanarak su ve hava kirliliğini önlenmesini sağlayan özellikler olarak tanımlanır.

Başka bir toprak kalitesi tanımı ise bilimsel literatürde kullanılan ve en eski toprak kalitesi kavramı olan Mausel (1971) tarafından, belirtilen tanımdır. Bu tanıma göre; “Toprak kalitesinin toprakların üst düzey yönetim koşulları altında mısır, soya fasulyesi ve buğday yetiştirme yeteneği” olduğu belirtilmiştir. Bu mahsullerin seçimi Illinois'deki toprak kalitesini yansıtmamasından ve bunaltıcı tarımsal ekonomik baskınlıklarından kaynaklanmaktadır. Bu tanım ile tarımsal üretimin kalitesi vurgulamakta ve bu bağlamda arazi kullanım planlamasının önemi anlatılmaktadır. Bouma vd. (2017) tarafından, öne sürülen benzer bir ifadede ise SSSA (1987) “toprak özelliklerinden veya dolaylı gözlemlerden çıkarılan toprakların doğal nitelikleri” olarak belirtilmiştir. Bu tanım, bir toprağın biyokütle üretimi de dahil olmak üzere ekosistem hizmetlerine katkıda bulunma kapasitesi olarak tanımlanan daha yakın zamandaki toprak kapasitesi ile karşılaştırılabilir (Bünemann vd. 2018).

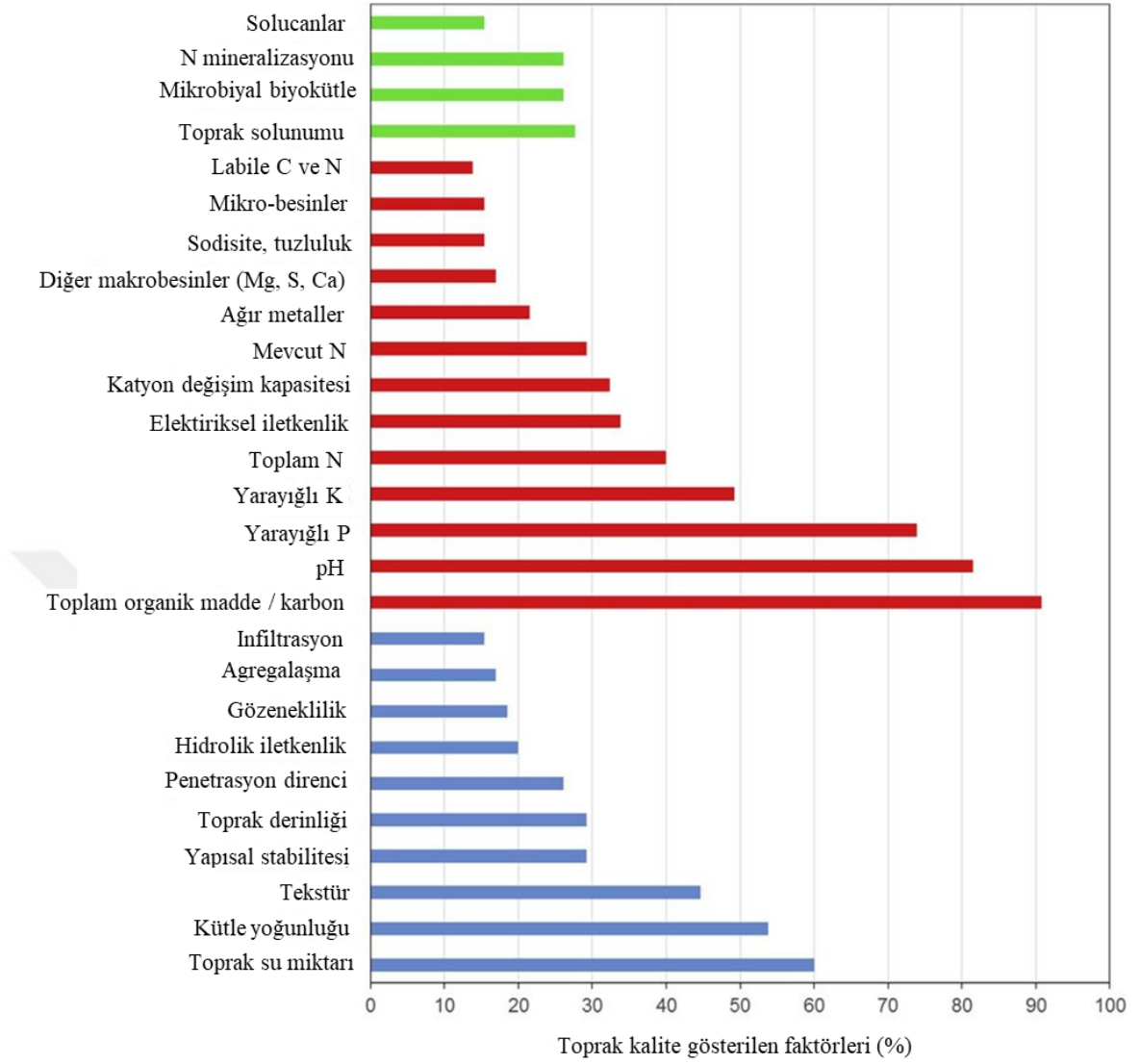
Öte yandan, Larson ve Pierce (1991) tarafından, yapılan toprak kalitesine ait tanımlama tarımsal üretkenliğe verilen vurgu ile çelişmektedir. Araştırmacılar böyle bir tanımlamanın aksine tarımsal üretkenlik kavramının toprak kalitesi tanımından ayrılmasını tercih etmektedir. Bu nedenle de toprak kalitesini “toprağın ekosistem sınırları içinde işlev görme ve bu ekosistemin dışındaki çevre ile olumlu etkileşim kurma kapasitesi” olarak tanımlanmıştır (Lewandowski ve Zumwinkle 1999). Doran ve Parkin (1994) tarafından, yapılan toprak kalitesi tanımında, toprakların sürdürülebilirliğinin de bu kapsama alınması istenmekte fakat bu tanımlamayla bile üretime yapılan vurgunun çok sınırlı olduğunu düşündükleri belirtilmektedir. Bununla birlikte araştırmacılar toprak kullanımıyla ilgili ana hususları vurgulayan bir toprak kalitesi tanımı istemişlerdir. Üretkenliğin yanı sıra, toprakların çevresel kaliteye katkıda bulunması ve yukarıda tanımlandığı gibi bitki, hayvan ve insan sağlığına olumlu etkileri barındırmasının da ele alınması gerektiğini savunmuşlardır.

Doran ve Parkin (1994) tarafından, önerilen toprak kalitesi kavramı, Sojka vd. (2003), Sojka ve Upchurch (1999) gibi bir kaç makalede ağır bir biçimde eleştirilmektedir. Bu araştırmacıların yapmış oldukları itiraz belli unsurlara dayanmaktadır. Birincisi, bu tanımı toprak kalitesi kavramının toprak bilimini nötr bir bilimden bir değer sistemine dönüştürebileceği için eleştirmişlerdir. İkinci olarak, toprak kalitesinin kurumsallaştırılması olarak adlandırdıkları evrensel bir toprak kalitesi indeksi fikrini kınamışlardır. Üçüncüsü, bazı toprak türlerine yönelik toprak özellikleri üzerinde yapılan vurgu nedeniyle kavramı eleştirmişlerdir. Eleştirilerin son nedeni ise, tanımın orijinal formunda, ucuz ve ağır sübvansiyonlu gıda sağlayan sınırlı sayıda yıllık mahsulü desteklemesidir (Bünemann vd. 2018). Gugino vd. (2009) toprak kalitesini (veya toprak sağlığını), doğal olarak toprağın bileşimi ve özellikleri şeklinde betimlemektedirler. Toprak kalitesi; karmaşık bir yapıya sahip olduğundan dinamik bir ortam olan toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin nasıl yönetildiğine göre değişebilmektedir. Tarla topraklarının kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla

toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ayrıntılı bir şekilde araştırılmalıdır (Guo 2016).

Toprak kalitesi indikatörler kullanılarak, toprağın işlenebilme kapasitesindeki değişiklikleri yansıtan parametreler olarak değerlendirilir. Yararlı göstergeler, değişime duyarlı ve yönetim değişiminde yanıt gösterebilmektedir (Bünemann vd. 2018). Lewandowski ve Zumwinkle'nin (1999) yapmış oldukları çalışmalarda toprağın fiziksel kalite parametreleri arasında en yaygın kullanılanların; İnfiltrasyon, kök derinliği, penetrasyon direnci, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi ve kütle yoğunluğu olduğu ifade edilmektedir. Bünemann vd. (2018) toplam 62 yayın taraması yapmış ve toprak kalitesi üzerine yapılan araştırmalarında en sık incelenen toprak fiziksel göstergelerini; toprak su miktarı, kütle yoğunluğu, tekstür, agregat stabilitesi, toprak derinliği, penetrasyon direnci, hidrolik iletkenlik, gözeneklilik, agregasyon ve infiltrasyon olarak sıralamışlardır.

Ürün verimini destekleyen en önemli fiziksel toprak özelliklerinden birisi toprak su miktarıdır. Yarayışlı su, tarla kapasitesi (100 hPa matris potansiyel) ve solma noktası (15000 hPa) arasındaki su miktarıdır (Bünemann vd. 2018). Gerçekleştirilen birçok araştırmada biochar uygulamasıyla hem topraktaki su tutma kapasitesinin hem de toprak su miktarının arttığı belirtilmektedir (Basso vd. 2013; Cornelissen vd. 2013; Herath vd. 2013; Mukherjee ve Lal 2013; Martinsen vd. 2014; Obia vd 2016). Doran ve Parkin (1996) toprak kalite göstergeleri çoğunlukla toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerini entegre edebilen önemli toprak parametrelerinden seçilmektedir. Ayrıca, bu parametreler ekosistem süreçlerine, yönetime ve iklime duyarlıdır ve birçok kullanıcı tarafından yorumlanabilir ve erişilebilirdir. En sık kullanılan toprak kalite göstergeleri Şekil 2.1 ve Çizelge 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Farklı araştırmalarda (sayı = 65) incelenen toprak kalite göstergeleri (min.%10). Toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel göstergeleri sırasıyla yeşil, kırmızı ve mavi olarak gösterilmiştir (Bünemann vd. 2018)

Çizelge 2.1. Yaygın olarak kullanılan toprak kalite göstergeleri (Doran ve Parkin 1996; Gugino vd. 2009)

Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik
Kütle yoğunluğu	pH	Organik madde içeriği
Toprak yapısı ve makro gözenekler	Elektriksel iletkenlik	Aktif karbon
Mevcut su kapasitesi	Değiştirilebilir asitlik	Özel organik madde
10 kpa'da penetrasyon direnci	Nitrat azotu	Yer solucanları
Geçirgenlik	Fosforlu	Organik madde ayrışma oranı
Kuru agregat boyutu	Potasyum	Potansiyel mineralize edebilir azot
Islak agregat stabilitesi	Kalsiyum	Mikrobiyal solunum hızı
Yüzey sertliği	Magnezyum	Enzimler
Yeraltı sertliği	Demir	Glomalin
Söndürme	Bakır	Kök sağlığı
Toprak kabukları	Çinko	Parazitik nematod popülasyonu
Alan sızdırmazlığı	Manganez	Ot tohumu zenginliği

Toprak fiziksel özellikleri, bitki büyümesi ve bitkisel üretim ile yakından ilişkilidir (Letey 1985). Bir toprağın fiziksel özellikleri, su ve çözünen akışın düzenlenmesi ve ayrılması, mikrobiyal çeşitlilik ve aktivitenin korunması, organik karbonun depolanması, kalıntıların geri dönüştürülmesi ve atıkların arıtılması gibi diğer çevresel işlemlere yapma yeteneğini de etkilerdir (Guo 2016). Toprak kalite yönetiminde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin entegre olması gerekmektedir. Tarımın çevresel etkilerinin azaltılmasında, ürün verimliliğinin optimize edilmesi ve en üst düzeye çıkarılması amaçlanmaktadır (Gugino vd. 2009). Tarım arazilerindeki yaygın kalite kısıtlamaları: sıkışma, zayıf agregasyon, zayıf drenaj, düşük su ve besin elementi tutma, düşük organik madde içeriği, yüksek toprak patojen ve kök hastalığı popülasyonu olarak tanımlanmaktadır (Harris ve Bezdicek 1994; Brady ve Weil 2007; Gugino vd. 2009). Bu kısıtlamaların çoğu minimize edilebilir ve aynı zamanda biochar uygulanarak toprağın fiziksel özellikleri iyileştirilebilmektedir. Biochar toprağa uygulandığında genellikle toprağın kütle yoğunluğu azalmakta, toprağın makro gözenekliliği ve agregat stabilitesi artmaktadır. Ayrıca toprağın su tutma kapasitesi ve doymuş hidrolik iletkenliği gibi parametreler geliştirilmektedir (Oguntunde vd. 2008; Asai vd. 2009; Eastman 2011; Herath vd. 2013; Hardie vd. 2014).

2.2. Tarımsal Atıkların Biochar Şeklinde Değerlendirilmesi

Antalya, Türkiye'nin önde gelen tarımsal üretim merkezleri arasında yer almaktadır. Antalya'da yapılan yoğun tarımsal üretim süreçlerinde oldukça çeşitli ve yüksek miktarlarda tarımsal atıklar meydana gelmektedir. Tarımsal atıklar diğer katı atıklara göre çevreye ve doğaya daha az zarar vermektedir. Tarımsal atıklar gelişigüzel çevreye bırakılmakta, yakılmakta veya hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Ama tarımsal atıkların her üç yolla da bertaraf edilmeleri çevre ve canlı sağlığı açısından oldukça yüksek riskler içermektedir. Örtü altında gerçekleştirilen tarımsal üretimde oldukça yüksek miktarlarda kimyasal girdi kullanılmaktadır. Bu kimyasalların oluşan atıklarda da bulunması kaçınılmazdır. Bu nedenle özellikle hayvan yemi olarak değerlendirilmesi ciddi sağlık problemlerine neden olabilir. Bununla birlikte söz konusu tarımsal atıklar önemli bir karbon kaynağıdır ve bu kaynağın bu yolla heba edilmesi de kabul edilebilir değildir.

Dünya genelliğinde yapılan yoğun tarımsal üretim süreçlerinde oldukça çeşitli ve yüksek miktarlarda tarımsal atıklar meydana gelmektedir. Akdeniz bölgesinde veya Türkiye ölçeğinde bu atıklar genellikle çevreye terk edilmekte veya yakılarak heba edilmektedir. Çevreye terk edilen veya yakılan bu atıklar çevresel açıdan önemli bir kirlilik etmeni olmakla birlikte insan ve diğer canlılar açısından da bir tehdit oluşturmaktadır (Sümer vd. 2016). Türkiye’de değerlendirilemeyen önemli miktarda tarımsal atık bulunmaktadır. Tarımsal atıkların yeterince değerlendirilememesinin başlıca sebepleri arasında, dağınık şekilde bulunan bu atıkların taşıma ve işçilik maliyetleri gelmektedir. Bu tehdidin ortadan kaldırılması amacıyla bitki artıklarının biochar’a dönüştürülmesi önemli bir avantaj sağlayabilir. Tarımsal aktiviteden çıkan bitkisel ve hayvansal atıklar iyi yönetilememekte ve çevreye büyük bir yük getirmektedir (Carpenter vd. 1998; Matteson ve Jenkins 2007). Son yıllarda dünyada organik atıkların geri kazanımına verilen önem artmış ve atıkların değerlendirmesine yönelik çok sayıda teknik geliştirilmiştir. Piroliz, kabul gören ve kullanım alanı bulan önemli biyokütle termokimyasal dönüşüm tekniklerinden birisidir. Bitki kalıntılarının piroliz işlemleriyle biochar’a dönüştürülmesi sonucu bitki atıklarının geri kazanılması teşvik edilmekte ve çevre kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Gorling 2013; Lee 2017).

2.3. Biochar Elde Etme Yöntemleri ve Biochar’ın Özellikleri

Biochar'ın üretiminde ilk kullanılan yöntem, çukur veya höyüklerden oluşan, basit ve düşük maliyete sahip olan kömür fırınlarıdır. Bu fırınlar hala gelişmekte olan ülkelerde kullanılmasına rağmen, kömür üretimini artırmak için başka fırın formları (tuğla, metal ve beton) piyasaya sürülmüştür (Brown 2009).

Brown (2009) biochar kavramı, önce biochar (biyokömür), char (kömür) ve charcoal (odun kömürü) terimleri ayırılmadan anlaşılmaz. Karbonlu materyalin üç formunun tamamı, oksijensiz koşullar altında yüksek ısı değerlerindeki piroliz yoluyla üretilmektedir. Char doğal yangınlar dahil olmak üzere herhangi bir malzemenin yanmasından kaynaklanan herhangi bir karbonlu kalıntı olarak tanımlanmaktadır. Charcoal, pişirme veya ısıtma amaçlı fırınlarda hayvansal veya bitkisel atıkların pirolizinden elde edilen bir kömür türüdür. Biochar, piroliz işlemiyle de elde edilen karbonlu bir üründür. Özellikle tarımsal veya çevresel uygulamalar amacıyla üretilmektedir. Fitzer vd. (1995) char doğal ve sentetik organik materyallerin ayrışmasından meydana gelen herhangi bir katı ürün olarak tanımlanmaktadır. Lehmann ve Joseph (2009)'e göre biochar ve charcoal son kullanım gözü önüne alındığında ayırt edilmektedir. Charcoal yakıt ve enerji olarak kullanılırken biochar ağırlıklı olarak çevre ve karbon yönetiminde kullanılmaktadır.

Terra preta topraklar yüksek karbon içeriği ile karakterize edilir (150 g C kg^{-1} toprağa kadar) ve çevresindeki diğer topraklarla kıyaslandığında ($20\text{--}30 \text{ g C kg}^{-1}$ toprak) daha yüksek karbon içermektedir (Smith 1980; Glaser vd. 2002). Ayrıca, terra preta olarak adlandırılan bu topraklardaki organik madde ve biochar arasında yapısal benzerlik olduğu ortaya konulmuştur (Smith 1980; Glaser vd. 2000). Araştırmacılara göre biochar terimine çok sayıda tanım atfedilmiştir. Biochar; odun, tarımsal atıklar ve hayvansal atıklar gibi çeşitli organik maddelerin düşük oksijen varlığında veya hiç oksijen içermeyen kapalı bir ortamda ısıtılması ile elde edilen organik karbonca zengin katı bir materyaldir (Lehmann ve Joseph 2009; Sohi vd. 2009; Verheijen vd. 2010;

Masek vd. 2013; Qian vd. 2015). Uluslararası Biochar Girişimi (IBI) tarafından sınırlı oksijen ortamında biyokütlenin termokimyasal dönüştürülmesinden elde edilen katı materyal olarak biochar'ın tanımı standardize edilmektedir (IBI 2012). Ayrıca, (IBI) tarafından kabul edilen bu tanımla, bu materyallerin hem tarımsal hem de çevresel kazançlar amacıyla toprağa uygulanabileceği belirtilmektedir (Sohi vd. 2009). Belli bir oranda toprağa uygulandığında mevcut ve gelecekteki toprak yönetimlerinde karbonun sürdürülebilir bir şekilde depolanması ve toprak fonksiyonlarını iyileştirmesini sağlar, insan ve hayvan sağlığının yanı sıra daha geniş çevreye kısa ve uzun vadeli yararlı etkileri olur. Biochar, düşük oksijen koşullarında yanmış, gözenekli, düşük yoğunluklu, karbon açısından zengin bir malzeme ile sonuçlanan biyolojik bir kalıntıdır (Beesley vd. 2011). Biyolojik kalıntılar düşük oksijen koşullar altında yanarak gözenekli, düşük yoğunluklu, karbon açısından zengin bir malzemeye yol açmaktadır (Shackley vd. 2012).

Biochar farklı termokimyasal işlemlerle üretilir: Bu işlemler geleneksel karbonizasyon veya yavaş piroliz, hızlı piroliz, flaş karbonizasyonu ve gazlaştırmadır (Gaunt ve Lehmann 2008). Termokimyasal dönüşüm genel bir terimdir ve ısıtma yardımıyla biyokütleyi parçalamak veya daha faydalı ürünlere dönüştürmek için kullanılan tüm işlemleri kapsamaktadır. Termokimyasal dönüşümde geleneksel olarak dört ana süreç vardır: Bunlar; yakma, piroliz, hızlı piroliz, gazlaştırma ve sıvılaştırmadır. Piroliz veya gazlaştırma süreçlerinde biochar ana ürün veya yan ürün olarak oluşur (Ronsse 2016). Biyokütle pirolizi, başlangıçta biochar üretimi için kullanılmıştır. Biyokütlenin piroliz işlemi sınırlı bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmıştır. Biyokütle pirolizi genellikle, biyokütle organik matrisinin oksitleyici olmayan ortamlarda termal ayrışması olarak tanımlanır. Bu da sıvı biyoyağ, katı biochar ve yoğunlaşmayan gaz ürünleri ile sonuçlanır (Kan vd. 2016). Biochar elde edilirken yapılan bu işleme piroliz denilmektedir. Piroliz, oksijensiz koşullar altında ham materyallerin belirli bir ısı işleminden geçirilerek organik maddelerin kimyasal bileşimlerine ayrılması işlemidir. Yunanca kelime anlamı “pyro” ateş “lysis” ayrışma ya da oluşan parçacıkların değişime uğramasıdır. Piroliz genellikle yüksek sıcaklıkta (300-1000°C) kendiliğinden meydana gelmektedir (Verheijen vd. 2009).

Biochar, biyokütlenin 200-900°C arasındaki sıcaklıklarda, oksijenin az olduğu veya oksijensiz koşullar altında termokimyasal ayrışması olan ve piroliz olarak bilinen metotla üretilir (Demirbas ve Arin 2002). Piroliz işlemi esnasında, termal ayrışma oksijensiz veya sınırlı oksijen koşulları altında meydana gelmektedir. Bu, organik maddelerin üç ayrı ürüne ayrılmasına yol açar: a) yoğunlaşmayan sonra sıvı ürün veren buharlar, b) yoğunlaşmayan veya kalıcı gazlar denilen buharlar ve c) katı tortu biyokömürdür (Mohan vd. 2006). Genellikle piroliz işleminin üç ana aşamadan oluştuğu kabul edilmiştir: (i) serbest nemin ilk buharlaşması, (ii) birincil ayrışma ve (iii) ikincil reaksiyonlar (yağ çatlaması ve yeniden polimerizasyon) (White vd. 2011). Dikkate alınacak piroliz parametreleri, hammadde tipi seçimi (biyokütle tipi, partikül boyutu, biyokütle ön muamelesi), reaksiyon koşulları (piroliz sıcaklığı, basınç, partikül ısıtma hızı, kalma süresi), reaktör konfigürasyonları ve işlemleri ve bunların ilave edilmesi gibi çeşitli değişkenleri içerir (Lu vd. 2009). Piroliz işlemi, biyokütle parçacığının maruz kaldığı ısıtma hızına bağlı olarak değişmektedir (Czernik ve Bridgwater 2004; Balat vd. 2009; Bridgwater 2012). Piroliz esnasında kullanılan biyokütle türü piroliz işlemini ve ortaya çıkan ürünleri çeşitli şekillerde etkilemektedir

(Hosoya vd. 2007; Worasuwannarak vd. 2007; Yang vd. 2010; Stefanidis vd. 2014). Biyokütlenin ön işlemleri de pirolizi etkileyebilir. Biyokütle ön işlem teknolojileri beş ana kategoriye ayrılmaktadır. Biyokütle ön işlemleri: 1) fiziksel, 2) termal, 3) kimyasal ürün, 4) biyolojik ön muameleler ve 5) yukarıdaki ön muamelelerin kombinasyonuyla gerçekleştirilmektedir (Zheng vd. 2014). Bileşenlerin yapısal kombinasyonu genellikle bir biyokütleden diğerine değişir. Sonuç olarak, bileşenler arasındaki etkileşim, dizinin etkisi nedeniyle piroliz sürecini etkileyen biyokütle tipine göre değişmektedir (Kan vd. 2016). Pirolizde kullanılan bitki atıklarının çoğu selüloz, hemiselüloz, lignin ve diğer özel makro-moleküler yapılar bakımından zengindir (Demirbas 2005). Organik maddenin (tarımsal artıklar) temel bileşenleri selüloz (ağırlıkça %25 ila 50), hemiselüloz (ağırlıkça %10 ila 40), lignin (ağırlıkça %0 ila 15) ve az miktarda inorganik mineral maddedir (Sjostrom 1993; Strezov 2014). Selüloz ve hemiselüloz ağırlıklı olarak biyoyağ veriminde artış sağlarken, lignin biyokömür veriminde artış sağlamaktadır (Akhtar ve Amin 2012).

Biochar'ın kimyasal bileşimi, hammadde tipine ve piroliz koşullarına (örnek: kalma süresi, sıcaklık, ısıtma hızı ve reaktör tipi) göre değişmektedir (Lehmann ve Joseph 2009). Piroliz parametrelerinden piroliz sıcaklığının, bitki atıklarından üretilen gazların ve biochar'ın verimlerini ve nihai özelliklerini önemli ölçüde etkilediği düşünülmektedir (Yu 2010; Brewer 2011). Biyokütle tipi ve piroliz koşulları, biochar'ın fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri üzerinde etkilidir. Düşük sıcaklık altında üretilen biochar'ın verim oranları daha yüksektir. Yüksek piroliz sıcaklık değerlerinde, biochar'ın karbon içeriği artar ve 400 ila 450°C'den sonra yüksek termal stabiliteye sahip biochar üretilmektedir (Sun vd. 2014). Biochar'ın fiziksel ve kimyasal özellikleri üç temel parametre ile belirlenir: a) kullanılan hammaddenin türü, b) oksijen varlığı ve c) piroliz işlemi sıcaklığıdır (Lua ve Yang 2004; Gundale ve DeLuca 2006; Amonette ve Joseph 2009). Biochar'ın fizikokimyasal özellikleri, piroliz koşulları ve bitki atıklarının türlerine bağlı olarak değişmektedir (Novak vd. 2009; Cantrell 2012; Tripathi 2016). Biochar'ın fizikokimyasal ve mekanik özellikleri, hammadde tipine ve piroliz koşullarına bağlıdır. 300 ila 800°C arasında değişen piroliz sıcaklıklarında yavaş piroliz (tipik ürün verimleri: ağırlıkça %30 biyoyağ, %35 biochar ve %35 gaz) işlemlerinde biyoyağ üretimi azalırken biochar üretimi artmaktadır (Kan vd. 2016).

Piroliz, ısıtma hızı ve kalma süresine bağlı olarak üç ana türe ayrılabilir: yavaş piroliz (konvansiyonel), hızlı piroliz ve flaş pirolizdir (Demirbas ve Balat 2007; Balat vd. 2009). Yavaş piroliz, düşük ısıtma hızı ile maksimum karbonizasyon verimi sağlayan daha uzun buhar/katı temas süreleri ile karakterize edilir. Çoğu zaman, "karbonizasyon" terimi ile yavaş piroliz kastedilir, ancak bu terim daha geniştir. Yavaş piroliz, karbonizasyona ek olarak, torefikasyon gibi daha yeni süreçleri kapsamaktadır (Ronsse 2016). Yavaş piroliz veya diğer ifadesiyle karbonizasyon, düşük sıcaklık derecelerinde (300-700°C) konvansiyonel olarak uzun kalma süresi sonunda (saatler ile günler arası) biochar üretimini kapsamaktadır (Demirbas ve Arin 2002). Hızlı pirolizde ise: maksimum biyoyağ verimi elde etmek için yüksek ısıtma hızı (yüzlerce derece °C dak⁻¹) tercih edilir. Bu işlemde buharın istenmeyen sekonder çatlamasını minimize etmesi adına üretilen buharların reaktörde kalma süresi daha düşük tutulmalıdır (Ronsse 2016). Hızlı piroliz tamamen yüksek ısıtma hızı (200-410°C s⁻¹) ve kısa kalma süresini (0.5-10 s arası genellikle de tipik olarak <2s) kapsamaktadır (Demirbaş ve Arin 2002). Flaş piroliz işlemi, 103-104 °C s⁻¹ daha yüksek ısıtma hızı ve daha kısa kalma süreleri

(<0.5 s) ile karakterize edilir. Bu işlem neticesinde yüksek biyoyağ verimi (ağırlıkça %75-80'a kadar çıkabilmektedir) elde edilmektedir (Bridgwater vd. 1999; Amutio vd. 2012). Gazifikasyon ise, diğer piroliz işlemlerinden daha yüksek sıcaklıkların (>700°C) kullanılması ve ayrıca stokiyometrik miktarlarda oksidan, yani saf oksijen, hava, CO₂, buhar veya bunların karışımlarının kullanılmasıyla ayırt edilir (Ronsse 2016). Piroliz çeşitleri parametreler ve ürünler Çizelge 2.2 ve 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.2. Piroliz çeşitleri parametreler ve ürünler (Kambo ve Dutta 2015)

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

Çizelge 2.3. Piroliz çeşitleri parametreler ve ürünler (Paul ve Wild 2015)

Piroliz türü	Reaksiyon koşulları	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
Hızlı piroliz	Reaktör sıcaklığı 500°C, Yüksek ısıtma hızı > 1000°C s ⁻¹ , Zaman: 1s	75	12	13
Orta piroliz	Reaktör sıcaklığı 400–500°C, Isıtma hızı 1 – 1000 °C s ⁻¹ , Zaman: ~10–30 s	70	25	25
Yavaş karbonizasyon	Reaktör sıcaklığı 400–500°C, Isıtma hızı 1 °C / s'ye, Zaman: saat – gün	30	33	35
Yavaş piroliz/ yavaş torefikasyon	Reaktör sıcaklığı ~290°C, Isıtma hızı >1 °C s ⁻¹ , Zaman: 30 dk	0 – 5	77	23

Chia vd. (2015) elde edilen biochar fiziksel özellikleri temel olarak hammadde tipi ve üretim koşullarına (örn: sıcaklık, ısıtma hızı, kalma süresi, reaksiyon basıncı, reaktör boyutu, paketleme yoğunluğu ve işlem sonrası yöntemi) bağlıdır. Xinyan (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada, farklı sıcaklık değerlerindeki pirolizin farklı bitki atıklarından elde edilen biochar üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, biochar veriminin 300°C ila 400°C sıcaklık değerleri ile keskin bir şekilde düştüğü ve ardından da kademeli bir düşüşün gerçekleştiği, ayrıca 500°C'deki sıcaklıkta biochar veriminin stabilize olduğu ifade edilmiştir.

Yüksek piroliz sıcaklığında elde edilen biochar verimi düşük, yüzey alanı büyük, pH yüksek, kül içeriği yüksek ve toplam yüzey yükü minimum. Yüksek piroliz sıcaklığında üretilen biochar uçucu bileşiklerin uzaklaştırılması sonucu, yüksek karbon (C) yüzdesine ancak düşük hidrojen (H) ve oksijen (O) içeriğine sahiptir (Novak vd. 2009). Organik maddenin yüksek sıcaklıkta (400 ila 700°C) pirolizi yoluyla elde edilen

biochar, poliyöğünleştirilmiş aromatik yapılarıdaki büyük miktarlarda karbona sahiptir. Bu biochar dehidrasyon ve dekarboksilasyon nedeniyle daha az iyon değişime sahip fonksiyonel gruba sahiptir ve bu nedenle de topraktaki besin maddelerinin tutulmasındaki potansiyelleri sınırlıdır (Glaser ve Lehmann 2002; Baldock ve Smernik 2002; Hammes vd. 2006). Bunun aksine, düşük sıcaklığında (250 ila 400°C) elde edilen biochar yüksek verime sahiptir ve oksidasyondan sonra besin değişim bölgeleri olarak işlev görebilen daha fazla C=O ve CH fonksiyonel grubu içermektedir. Ek olarak, bu biochar, alifatik ve selülozik tipi yapılar da dahil olmak üzere daha çeşitli bir organik karaktere sahiptir (Glaser ve Lehmann 2002). Alifatik bileşiklerin minimum yoğunlaşması ve düşük CH₄, H₂ ve CO kayıpları nedeniyle düşük piroliz sıcaklığında elde edilen biochar'ın veriminin yüksek olduğu ortaya konmuştur. 350°C'nin altındaki sıcaklıklarda piroliz yoluyla elde edilen biochar verimi %50'nin altındadır (Antal ve Grønli 2003; Hammes vd. 2006).

Dilek (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, piroliz sıcaklığının 500 veya 700°C'ye yükseltilmesi, hidroksil gruplarının dehidrasyonu ve lignoselüloz yapılarının termal bozulması nedeniyle biochar verimi yaklaşık %30 düşmüştür. Piroliz sıcaklığının proksimat analiz üzerine etkisinde, pirolizin sıcaklığı yükseltildikçe (400'den 700°C'ye kadar) biochar'ın uçucu madde içeriği azalmakta kül içeriği ve sabit karbon içeriği ise artmaktadır. Piroliz sıcaklığındaki 400 ila 700°C'lik bir artışla, biochar'ın karbon içeriğinin arttığı, hidrojen ve oksijen içeriklerinde bir azalma elde edildiği bildirilmiştir.

2.4. Biochar'ın Toprak Verimlilik Parametreleri ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri

Biochar, sahip olduğu fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri nedeniyle oldukça farklı alanlarda kullanımı söz konusudur. Son yıllarda ise bir çok araştırmacı tarafından biochar'ın toprak ve ekolojik düzenleyici olarak kullanımına odaklanılmıştır (Lehmann vd. 2006; Laird vd. 2010; Yuan ve Xu 2011).

Araştırmacılar tarafından biochar'ın toprağa uygulanması ile toprak verimliliği ve yüksek bitkisel üretime ilişkin sonuçlar ortaya konmuştur (Glaser vd. 2002; Krull vd. 2006; Lehmann vd. 2006). Son yıllarda bir çok araştırmacı tarafından biochar, toprakta karbon depolama, kirletici immobilizasyonu, sera gazı azalma, toprak gübreleme ve suyun filtrasyonunu işlemlerinde çok işlevli bir materyal olarak kabul edilmiştir (Lehmann and Joseph 2009; Ahmad vd. 2012; Awad vd. 2012; Bolan vd. 2012). Karbonca zengin organik bir materyal olan biochar, toprak verimliliğinin ve toprakların organik madde içeriğinin iyileştirilmesi amacıyla yönelik kullanılmaktadır (Ni vd. 2006; Lehmann 2007; Winsley 2007; Liffé 2009). Piroliz sıcaklığına bağlı olarak biochar özelliklerindeki değişikliklerin toprak özelliklerinde de farklı etkiler meydana getirdiği (Novak vd. 2009; Nelissen vd. 2014) ve buna bağlı olarak bitki gelişiminde de farklılıklara neden olduğu ifade edilmektedir (Liu vd. 2013).

Biochar, toprağın fiziksel özellikleri (kütle yoğunluğu, su tutma kapasitesi, geçirgenlik), kimyasal özellikleri (besin elementlerinin tutulması, besin elementi miktarı) ve toprağın biyolojik özelliklerini geliştirerek bitki büyümesini desteklemektedir (Glasser vd. 2002; Lehmann ve Rondon 2006; Yamato vd. 2006). Toprak kütle yoğunluğu, biochar uygulamalarında en çok önem verilen toprak fiziksel

özelliklerinden biridir (Blanco-Canqui 2017). Biochar'ın toprağa uygulanması ile toprakta gözenek ve boşluk oranı artarak toprağın kütle yoğunluğu azalmaktadır. Peake vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, sekiz farklı tekstüre sahip topraklara (tınıl kumdan siltli kil tınına kadar) %0.1 (a/a) oranında biochar uygulandığında toprak kütle yoğunluğunun kontrole göre bir düşüş %2.1 ila 6.1 (ortalama %3.3) olmuştur. Obia vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, mısır koçanı biochar'ının mısır ve soya yetiştiriciliği yapılan kumlu tın topraklara uygulandığında toprakların kütle yoğunluğunu önemli ölçüde ($0.04-0.06 \text{ g cm}^{-3}$) azalttığı ortaya çıkmıştır. Kütle yoğunluğunun azalmasının, makro gözeneklerdeki artıştan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Hseu vd. (2014), siltli killi tın tekstüre sahip olan toprağa <2 mm boyutlu pirinç kabuğundan üretilmiş biochar'ı 0, 2.5, 5 ve %10 (a/a) oranında toprağa uygulanmışlar ve 168 günlük bir inkübasyonunun sonunda toprağın kütle yoğunluğunda sırasıyla 1.59, 1.40, 1.35 ve 1.19 g/cm^{-3} 'lük değerleri elde etmişlerdir. Mukherjee vd. (2014) gerçekleştirdikleri bir tarla denemesinde, meşeden (*Quercus* spp.) elde edilen biochar 7.5 Mg ha^{-1} düzeyinde olmak üzere soya fasulyesi yetiştiriciliği yapılan toprağa uygulanmış ve 16 haftalık bir inkübasyon sonunda toprağın kütle yoğunluğu değerinin kontrole göre %13 azaldığı ifade edilmiştir. Omondi vd. (2016), biochar uygulamalarının toprak kütle yoğunluğu üzerine olan etkileri hakkındaki 22 adet bilimsel çalışmayı gözden geçirmiş ve biochar uygulanan, 22 topraktan 19'unda kütle yoğunluğunun %3 ila 31 oranında azaldığının tespit edildiğini bildirmiştir. Biochar uygulamalarıyla toprakların kütle yoğunluğu değerlerinin azalmasıyla birlikte, toprak gözenekliliği ve spesifik yüzey alanı (SSA) tipik olarak arttırılmaktadır. Biochar uygulamalarıyla, (i) toprak gözenekliliği artırıldığında, toprak kütle yoğunluğunun azalmasına, (ii) toprak agregasyonunun artırılmasına, (iii) mineral toprak parçacıklarıyla etkileşime girerek toprak sıkışmasının azalmasını sağlamaktadır. Biochar partiküllerinin gözenekliliği %70 ila 90 arasında değişmektedir. Bu gözenekli malzemenin toprağa uygulanması aynı zamanda toprak gözenekliliğini arttırabilmektedir (Blanco-Canqui 2017). Biochar uygulaması ile toprak kütle yoğunluğundaki bir azalma, doğrudan toprak gözenekliliğinde bir artışla sonuçlanmaktadır. Omondi vd. (2016) biochar uygulamasının toprak gözenekliliğini %8.4 arttırdığını bildirmiştir. Karhu vd. (2011) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada siltli-tınlı tekstüre sahip olan toprağa 9 t ha^{-1} düzeyinde olmak üzere (a/a %1.2'ye eşdeğer) huş ağacı (*Betula* spp.) odunundan üretilmiş biochar (400°C piroliz) uygulanmış ve toprağın gözenekliliğinin %50.9'dan %52.8'e yükseltildiği belirtilmiştir. Hseu vd. (2014) tarafından, <2 mm pirinç kabuğundan üretilmiş biochar'ı siltli killi tın tekstüre sahip toprağa %0, %2.5, %5.0 ve %10.0 (a/a) oranlarında uygulamışlar ve 168 günlük bir inkübasyon sonunda toprak gözenekliliğinin sırasıyla %38.3'ten %44.5, %46.1 ve %47.8'e yükseldiğini belirtmişlerdir. Laird vd. (2010) tarafından, 10 ila 20 g kg^{-1} düzeyindeki odun kömürünü ince tınlı bir toprağa uygulamışlar ve toprağın spesifik yüzey alanının (etilen glikol mono etil eter adsorpsiyon yöntemi ile ölçülmüştür) önemli ölçüde ($130 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ düzeyinden 138 ila $153 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) arttığını ifade etmişlerdir. Mukherjee ve Lal (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, %0.45 (a/a) oranlarda gerçekleştirdikleri biochar uygulaması ile kumlu bir toprağın spesifik yüzey alanı miktarının (N_2 adsorpsiyon yöntemiyle) iki kattan fazla arttırıldığı belirtilmiştir.

Laird vd. (2010) yapmış oldukları bir çalışmada %0.5 ila 2.0 (a/a) oranındaki toprak kolonlarına yaptıkları biochar uygulamalarının 500 günlük laboratuvar inkübasyonu sonucu kolondaki hacim ağırlığı değerinin kontrole göre önemli derecede düştüğü (1.36 g cm^{-2} den $1.24' \text{ g cm}^{-2}$ 'ye) belirtilmiştir. *Eucalyptus marginata*'dan elde edilen biochar'ın %0.45 ve %2.27 (a/a) oranında kumlu bir toprağa karıştırıldığında 1.4 g cm^{-3} lük bir kütle yoğunluğunun elde edildiği, yapılan uygulamalar ile %56.1 olan kontrol toprağın toplam gözenekliliğinin sırasıyla %57.6 ve 62.1'e ulaştığı belirtilmiştir Dempster vd. (2012). Busscher vd. (2010) tarafından, $<0.6 \text{ mm}$ boyutlu ceviz biyokütlelerinden elde edilmiş biochar'ı 20 g kg^{-1} düzeyinde olmak üzere ($\%2 \text{ a a}^{-1}$) tınlı kumlu toprağa uygulamışlar ve 44 günlük bir inkübasyon sonunda 1.52 g cm^{-3} olan kontrol toprağın hacim ağırlığı değerinin 1.45 g cm^{-3} 'lük bir değere düştüğünü ifade etmişlerdir. Novak vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, dallı darıdan (*Panicum virgatum* L.) üretilmiş biochar'ı (500°C 'deki piroliz ile), 20 g kg^{-1} düzeyinde olmak üzere Nolfork tınlı kumlu toprağa uygulandıktan 118 gün sonra 1.57 g cm^{-3} olan kontrol toprağın hacim ağırlığı değerinin 1.50 g cm^{-3} 'lük bir değere ulaştığı bildirilmiştir.

Agregat stabilitesi toprağın yapısal stabilitesinin hassas bir göstergesidir. Toprak ve biochar arasındaki etkileşimler hem toprak hem de biochar özelliklerine bağlı olduğundan çeşitlilik gösterebilir ve tahmin edilmesi zor olabilir. Biochar'ın toprak agregasyonu üzerindeki etkilerine ait gerçekleştirilen önceki çalışmalarda genellikle biochar'ın nispeten kısa vadeli etkilerine odaklanmış ve oldukça değişken sonuçlar elde edilmiştir (Blanco-Canqui 2017). Liu vd. (2014) Çin'deki subtropikal kırmızı bir toprağa buğday samanından elde edilen biochar'ın ($350\text{-}550^\circ\text{C}$) uygulanmasıyla agregatlaşma ve ürün verimliliğinin önemli ölçüde arttığı, öte yandan pirinç samanından elde edilen biochar'ın ($250\text{-}450^\circ\text{C}$), subtropikal Ultisol'de agregat stabilitesi üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı, ancak mısır biyokütlesinde artış sağladığı (Peng vd. 2011) ifade edilmektedir. Wang vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, 900°C 'de ceviz kabuğunun pirolizi ile elde edilen biochar ile $600\text{-}700^\circ\text{C}$ arasındaki piroliz ile elde edilen biochar ve algal bir ürünün karışımından elde edilen materyal siltli tın ve kumlu-tın tekstüre sahip iki toprağa uygulanmıştır. Yapılan uygulamalar sonrasında, her iki tip biochar'ın siltli tın toprağında agregat stabilitesini önemli ölçüde arttırırken kumlu tın toprağında önemli bir etkisinin bulunmadığı belirtilmiştir. Hartley vd. (2016) farklı piroliz sıcaklıklarında ($430\text{-}440^\circ\text{C}$ arasında piroliz) elde edilmiş biochar'ı kumlu tekstüre sahip bir toprağa uygulayarak toprak kalite parametrelerinden agregat stabilitesi üzerine etkisi değerlendirilmiştir. 12 aylık inkübasyondan sonra biochar'ın agregat oluşumunu (MWDD) ve agregat stabilitesini geliştirdiğini özellikle de makroagregatların baskın olduğunu belirtmişlerdir. Obia vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, mısır koçanı ve pirinç kabuğundan elde edilen biochar'ın soya fasulyesi yetiştirilen kumlu tın tekstüre sahip topraktaki agregat stabilitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Mısır koçanından üretilen biochar'ın, $0.6\text{-}2 \text{ mm}$ ve $2\text{-}6 \text{ mm}$ boyutlu agregatların stabilitesinde sırasıyla %4.6 ve %6.8 oranında artış sağladığı belirtilmiştir. Biochar uygulamaları ile toprağın agregat stabilitesi artırılabilir (Enders vd. 2012; Jien ve Wang 2013; Liu vd. 2014; Zhang vd. 2015; Obia vd. 2016).

Hseu vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, pirinç kavuzundan üretilmiş biochar'ı %2.5 ila %10 (a/a) oranında siltli tın tekstüre sahip toprağa uygulayarak toprağın agregat oluşumu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, 168 günlük bir biochar inkübasyon süresi sonunda toprak agregatlarının ortalama ağırlık çapının 1.15

mm'den sırasıyla 1.74 ve 2.09 mm'ye arttığı bildirilmiştir. Blanco-Canqui (2017) tarafından, biochar'ın 34 farklı tekstüre sahip topraktaki agregat üzerine etkisinin incelendiği çalışmalarda bulgulara göre biochar uygulamalarının 24 adet topraktaki suya dayanıklılığı agregat stabilitesini arttırdığını ancak 10 adet toprak üzerinde hiçbir etkisinin bulunmadığını ifade etmektedir. Ayrıca biochar uygulamaları ile suya dayanıklı agregatların ortalama ağırlık çapının %4 ila 58 ve suya dayanıklı agregatların oranının ise %21 ila 226 arttığı belirtilmektedir. Aynı araştırmacı tarafından yapılan literatür taramasına göre, biochar uygulamalarının kuru agregat stabilitesi üzerine değişik etkileri olduğunu, bazı toprak türlerinde kuru agregat stabilitesinde artış elde edilebildiği, ancak bazı toprak kategorilerinde ise biochar'ın etkisinin olmayabileceği belirtilmiştir. Nitekim Fungo vd. (2017) tarafından, Okalipütüs 'ten elde edilen biochar'ın (550°C) 2.5 t ha⁻¹ oranında Ultisol bir toprağa iki yıl süreyle uygulanmasıyla toprak agregat stabilitesinde (Ortalama Ağırlık Çapı) herhangi bir etkisinin bulunmadığı ifade edilmektedir.

Biochar'ın toprağın su tutma kapasitesi üzerindeki etkileri, tarımsal amaçlı diğer toprak hidrolik özellikleri üzerindeki etkilere göre daha tutarlıdır. Lima vd. (2018) yapmış olduğu bir çalışmada kumlu tekstüre sahip olan toprağa farkı dozda biochar uygulandıktan sonra toprağın solma noktası (SN), tarla kapasitesi (TK) ve yarayışlı su kapasitesinde kontrole kıyasla önemli bir artış izlendiği belirtilmiştir. Bu konuda yapılan bazı çalışmalarda %1'den fazla biochar kullandığında, (25 Mg ha⁻¹ biochar eşdeğerinde) toprağın su tutma kapasitesi ve bitkiye yarayışlı su miktarında önemli artışların rapor edildiği bildirilmiştir. Düşük miktarlarda biochar uygulandığında, toprağın yarayışlı su miktarında önemli artışlar elde edilemeyebilir. Örnek olarak bazı çalışmalarda, 10 Mg ha⁻¹ oranında gerçekleştirilen biochar uygulamalarıyla toprağın mevcut su içeriğinin etkilemediği rapor edilmektedir (Glaab vd. 2016; Kameyama vd. 2016; Xiao vd. 2016). Blanco-Canqui (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, bazı araştırmacılara göre biochar'ın killi topraklarda uygulanması ile toprağın mevcut su içeriğinin artabileceği (Kameyama vd. 2016), azalabileceği (Castellina vd. 2015) veya hiçbir etkisinin olmayabileceği (Bayabil vd. 2015) özellikle kaba tekstürlü topraklara biochar ilavesiyle toprağın su kapsamı bakımından daha tutarlı tepkilerin elde edilebileceği ifade edilmektedir. Aynı araştırmacı, 19 farklı toprak üzerinde gerçekleştirilen araştırmanın 17'sinde biochar uygulamasıyla toprağın su tutma oranının arttığı hatta biochar'ın toprağın su tutma yeteneğini %90 düzeyinde arttırdığını belirtmiştir. Blanco-Canqui (2017) tarafından yapılan literatür tarama çalışmasında, 29 topraktan 21'inde biochar uygulamaları ile topraktaki bitki tarafından kullanılan suyun miktarında artış elde edildiği yapılan uygulamalar ile toprağın mevcut su miktarındaki değişimin topraktan toprağa farklılık göstererek %4 ila 130 arasında değiştiği bildirilmektedir. Obia vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, mısır koçanından elde edilen biochar'ın mısır ve soya fasulyesinin yetiştirildiği topraklara uygulanmasıyla toprakların mevcut su kapasitesinin %3 oranında arttığı ancak pirinç kabuğundan elde edilen biochar uygulamalarıyla önemli bir değişimin elde edilemediği bildirilmiştir. Novak vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı piroliz koşullarında üretilen dokuz farklı biochar 20 g kg⁻¹ oranında olmak üzere toprağa uygulanmış ve gerçekleştirilen uygulamalar sonucu toprağın su tutma kapasitesinde %2 ila %6 arasında artış sağlandığı bildirilmiştir. Laird vd. (2010) tın tekstüre sahip bir toprağa 20 g kg⁻¹ düzeyinde yapmış oldukları odun kömürü uygulaması sonucu (500 günlük bir inkübasyon süresi) toprağın kontrollere göre %15 daha fazla su tuttuğunu

bildirmişlerdir. Kinney vd. (2012) tarafından 300 ila 500°C piroliz sıcaklıklarında üretilen biochar'ı kumlu Alfisol bir toprağa uygulamışlardır. Yapılan uygulamalar sonucu toprağın su tutma kapasitesinin belirgin bir şekilde arttığı ve bu artışın %2 ila %7 (a/a) arasında değiştiği bildirilmiştir.

Busscher vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, <2 mm boyutlu ceviz kabuğundan elde edilen biochar'ı %0.5, 1.0 ve %2.0 (a/a) düzeyinde olmak üzere tınlı kum tekstürlü bir toprağa uygulamışlar ve uygulamalar sonucu toprağın infiltrasyon yeteneğinin arttığını (%10 nemde 70 günlük inkübasyon sonunda yeniden paketlenmiş kolonlarda) bu artışın sırasıyla 1.1 mm min⁻¹ ila 2.7, 1.7 ve 2.0 mm min⁻¹ olarak gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Hseu vd. (2014) tarafından, çeltik sapından üretilmiş biochar %1 ve %5 ve %10 (a/a) oranında siltli killi tın tekstürlü bir toprağa uygulanmıştır. 168 günlük bir inkübasyon süresi sonunda %10 düzeyinde yapılan uygulama ile toprağın doymuş hidrolik iletkenlik değerlerinde (K) belirgin bir artışın meydana geldiği bildirilmiştir. Herath vd. (2013) tarafından yürütülen bir çalışmada, mısır söbe 'sinden üretilen biochar'ı 1.0 g kg⁻¹ ila 1.5 g kg⁻¹ (a/a) düzeylerinde olmak üzere siltli tın tekstürlü toprağa uygulanmış ve 295 günlük bir inkübasyonun ardından toprağın hidrolik iletkenlik değerinde (K) önemli düzeyde artış meydana geldiği ve toprağın drenaj yeteneğinin arttığı bildirilmiştir. Bunun aksine Laird vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, ise <0.5 mm boyutlu biochar'ın %2 oranında tın tekstürlü toprağa uygulanması sonucu toprağın K değerlerindeki değişimin çok az olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar elde edilen bu sonuca bağlı olarak granüler biochar'ın (örneğin, 0.2-10 mm) ince tekstürlü topraklara uygulanmasının toprakların infiltrasyonunu ve hidrolik iletkenliğini geliştirdiğini toz halinde uygulanan biochar'ın ise (örneğin, <0.2 mm) infiltrasyonu ve hidrolik iletkenliği azaltabileceğini bildirmişlerdir.

Toprağın fiziksel özelliklerinin diğer önemli göstergeleri likit limit veya Atterberg limitidir. Likit limit, plastik limit ve plastiklik indeksi toprağın kararlılık ölçüleridir. Zong vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, saman odun ve atık su çamurundan üretilmiş üç farklı biochar'ın %0.2, 4 ve %6 oranlarında kumlu toprağa uygulanması sonucu toprağın likit limitinin %8 ila 22 ve plastiklik indeksi değerinin %48 ila 99 oranında önemli ölçüde arttığı ancak önemli bir etki görülmemesine rağmen plastik limit değerinin ise düşme eğiliminde olduğu bildirilmiştir. Lu vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, pirinç kabuğundan elde edilen biochar'ın killi bir toprakta, %0.2, 4 ve %6 oranlarında uygulanması sonucu toprağın plastik ve likit limit değerlerinin %15 ila 18 oranında arttığı, ancak plastiklik indeksi üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı ortaya konulmuştur. Bu güne kadar yapılan birçok yayında biochar'ın toprak kimyasal özellikleri üzerindeki potansiyel etkileri gözden geçirilmiştir (Brassard vd. 2016; Ding vd. 2016; Mukherjee ve Lal 2017).

Toprağa 5, 10 ve 20 g kg⁻¹ düzeyinde gerçekleştirilen biochar uygulamasında 500 gün süreli bir inkübasyon sonunda toprağın toplam C içeriğinin kontrole göre sırasıyla %17.6, %37.6 ve %68.8 oranında önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir (Laird vd. 2010). Dong vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen beş yıllık bir tarla çalışmasında, pirinç kabuğundan ve pamuk sapından elde edilen biochar'lar 0.30, 60 ve 90 t ha⁻¹ düzeyinde uygulamasından sonra SOC değişimlerinin değerlendirmektedir. Biochar'ın toplam OC içeriğini %32.3-104.7 oranında önemli ölçüde artırdığını bulmuşlardır.

Wang vd. (2017) 60 haftalık bir biochar inkübasyonundan sonra toprağın karbon tutma yeteneği üzerindeki etkisinin, makro agregatlarında artış gösterdiği mikro agregatlarda ise kontrole kıyasladığında önemli farkın ortaya çıkmadığı bildirilmiştir. Biochar uygulamaları, toprağın biyolojik aktivitesini önemli ölçüde arttırmaktadır (Lehmann ve Rondon 2006; Kolb vd. 2009). Toprağa biochar ilavesi enzim aktivitelerini etkilemekte ve böylece topraktaki mikroorganizma yoğunluğu artırarak, mikrobiyal aktiviteleri de en üst düzeye çıkarmakta ve toprak fonksiyonelliğini önemli ölçüde değiştirebilmektedir (Thies ve Rillig 2009). Liu vd. (2016), Çin'in Zhejiang ilindeki 2011 ve 2012 yıllarında yapmış olduğu 2 yıllık tarla çalışmasında, bambu ve pirinç saman biochar'ından elde edilen biochar'ı toprağa uygulayarak bazı toprak özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre 2011 ve 2012 yılı sonunda toprak organik karbon içeriğinin kontrol toprağa göre sırasıyla %14.9 ve %11.1 daha fazla olduğu bildirilmiştir.

Laird vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, biochar uygulamaları sonucu topraktaki toplam N, organik karbon ve ekstrakte edilebilir P, K, Mg ve Ca düzeyinde önemli ölçüde artış sağlandığı ancak ekstrakte edilebilir S, Cu ve Zn üzerine uygulamanın hiçbir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Liu vd. (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada, bambudan ve pirinç samanından elde edilen biochar'ın toprağa uygulanmasından sonra kontrole göre topraktaki yararlı P ve K miktarının arttığı ancak toplam toprak N içeriğinde önemli bir değişiklik gözlenmediği bildirilmiştir.

Chintala vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, mısır söbe'sinden (*Zea mays* L.) ve dallı darıdan (*Panicum virgatum* L.) mikrodalga piroliz yoluyla (650°C'de) elde edilen biochar asidik bir toprağa uygulanmıştır. Uygulanan biochar'ın toprak pH'sı, elektriksel iletkenlik (EC), kation değişim kapasitesi (KDK) gibi bazı kimyasal özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada, her iki biochar uygulamasının, toprak pH'sını, EC ve KDK değerini önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir. Laird vd. (2010) tarafından yürütülen bir çalışmada, 20 g kg⁻¹ düzeyindeki biochar 500 günlük bir biochar inkübasyonu sonrası, toprak pH değerinin yaklaşık 1 birim arttığı ifade edilmiştir. Matsubara vd. (2002) tarafından gerçekleştirilen bir sera çalışmasında toprağa hacimce %10 düzeyindeki biochar uygulamasından sonra toprak pH 'sının 5.4'ten 6.2'ye ve hacimce %30 biochar uygulamasından sonra ise pH 'sının 6.3'e yükseldiği bildirilmiştir.

Diğer taraftan toprağa biochar uygulamasının bitki verimliliğini arttırdığı bildirilmektedir (Iswaran vd. 1980; Kishimoto ve Sugiura 1985; Marjenah 1994; Yamato vd. 2006). Martinsen vd. (2014), mısır koçanından elde edilen biochar'ın mısırın veriminde önemli bir artış sağladığı bildirilmiştir. Benzer şekilde bu konudaki birçok bilimsel çalışmada (Petter vd. 2012; Biederman ve Harpole 2013; Agegnehu vd. 2016; Lima vd. 2018) biochar'ın toprağa uygulanmasıyla toprağın agronomik performansların arttığı ifade edilmektedir.

Bunun aksine Hartley vd. (2016) ise, 12 aylık bir biochar inkübasyon döneminden sonra biochar'ın buğday tane verimi üzerine olumlu bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen bazı araştırmalarda da (Borchard vd. 2014; Butnan vd. 2015; Liu vd. 2017) biochar uygulamasının bitkisel verim üzerine etkisinin bulunmadığı veya olumsuz yönde bir etkisinin bulunduğu bildirilmektedir. Hagner vd. (2016) tarafından, farklı sıcaklıklardan (300, 375, 475°C) elde edilen huş ağacı

biochar'ının marul (*Lactuca sativa*), turp (*Raphanus sativus*), arpa (*Hordeum vulgare*) ve ryegrass'ın (*Lolium perenne*) bitki büyümesi üzerine etkilerinin paralel olduğu ve var olan farklılıkların çoğunlukla hafif ve kısa vadeli olduğu bulunmuştur. Carter vd. (2013) tarafından, pirinç kabuğundan elde edilen biochar uygulamasının marul (*Lactuca sativa*) ve Çin lahanası (*Brassica chinensis*) üzerindeki etkisi Kamboçya'daki bir saksı deneyinde belirlenmiştir. Çalışmada, 50-150 g kg⁻¹ düzeyinde uygulanan pirinç kabuğu biochar'ının kumlu, asidik bir topraktaki marul ve lahana gelişimi üzerindeki etkisinin oldukça olumlu olduğu bulunmuştur. Artiola vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, çam orman atıklardan yavaş piroliz (450-500°C) yoluyla elde edilen biochar'ların iki farklı düzeyi (ağırlıkça %2 ve ağırlıkça %4) alkaline tınlı kum toprağa uygulanmıştır. Çalışmada, her iki düzeyde uygulanan biochar'ın kontrole göre önemli ölçüde daha yüksek marul verimi alınabileceği rapor edilmiştir.

Mounirou (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, iki farklı lokasyondaki (Ayaş ve Ankara) deneme alanlarda biyokömür ve keçi gübresi toprağa uygulanarak marul bitki verimleri incelenmiştir. Ankara deneme alanında, biyokömürün tek başına uygulanmasıyla bitki baş ağırlığının kontrollere göre önemli düzeyde azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde Ankara deneme alanında yapılan biyokömür ve keçi gübresi uygulamaları ile marul klorofil miktarı ve nispi klorofil miktarının önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir. Biyokömür ve keçi gübresi uygulamalarıyla marul yaprak yaş ağırlığının kontrole göre artış gösterdiği, yaprak kuru ağırlığının biyokömür uygulaması ile kontrole göre azaldığı belirtilmiştir.

Meller ve Ministry (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada, ağırlıkça %1-3-5 oranında gerçekleştirilen biochar uygulaması ile biber (*Capsicum annuum* L.) ve domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) gelişimi ve verimliliği üzerine etkisi belirlenmiştir, %1 ve 3 düzeyinde gerçekleştirilen biochar uygulamaları ile domates bitki uzunluğunun kontrol (%0) ile karşılaştırıldığında, önemli ölçüde daha yüksek bulunduğu, biber bitkisinde ise önemli bir farkın elde edilmediği bildirilmiştir. Çalışmada ayrıca biochar'ın uygulamasının tüm seviyelerinde (%1, 3 ve %5) biber ve domates bitkilerinin yaprak yüzey alanında kontrol bitkilerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Jones vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, uzun vadeli ekim döngüsünde (3 yıllık süre boyunca) biochar'ın etkisi araştırılmıştır. Biochar, 0.25 ve 50 t ha⁻¹ düzeyinde toprağa uygulanmış biochar uygulanan tarım topraklarında mısır (yıl 1) ve çim (yıl 2 ve 3) yetiştirilmiştir. Bir yıllık denemeden sonra, biochar'ın mısır mahsulünün büyüme performansı üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı (çimlenme verimliliği, fide çıkış oranları ve yaprak klorofil içeriği) belirlenmiştir. Bununla birlikte, biochar uygulamasının, 2. yılda çim bitkisinin besin kalitesi üzerinde etkisi önemli olmuş yaprak N içeriğinde artış elde edilirken yaprak C/N oranında bir azalmanın gerçekleştiği bildirilmiştir. Ayrıca yapılan uygulamalar ile yaprak K, Ca, P veya Na içeriğinde önemli bir farklılığın meydana gelmediği belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

“Biochar’ın Toprak Verimlilik Özellikleri ile Marul Gelişimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu tez çalışması FDK-2019-4864 numarasıyla 30.05.2019 tarihinde Doktora Tez projesi kapsamında yürürlüğe girmiştir. Tez çalışması Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi’ne ait olan Venlo tipi modern serada yürütülmüştür.

Araştırma, dört (4) farklı bitkisel atığın, farklı sıcaklık değerlerindeki pirolizi yoluyla elde edilen biochar’ın alüvyal bir toprağa uygulanmasından sonraki 5’er aylık iki farklı inkübasyon süresi sonunda toprağın verimlilik özellikleri ile marul gelişimi üzerine etkisinin incelenmesini kapsamaktadır.

Bu bölümde, araştırmada kullanılan materyaller ile saksı denemeleri ve laboratuvar çalışmalarında uygulanan yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Toprak

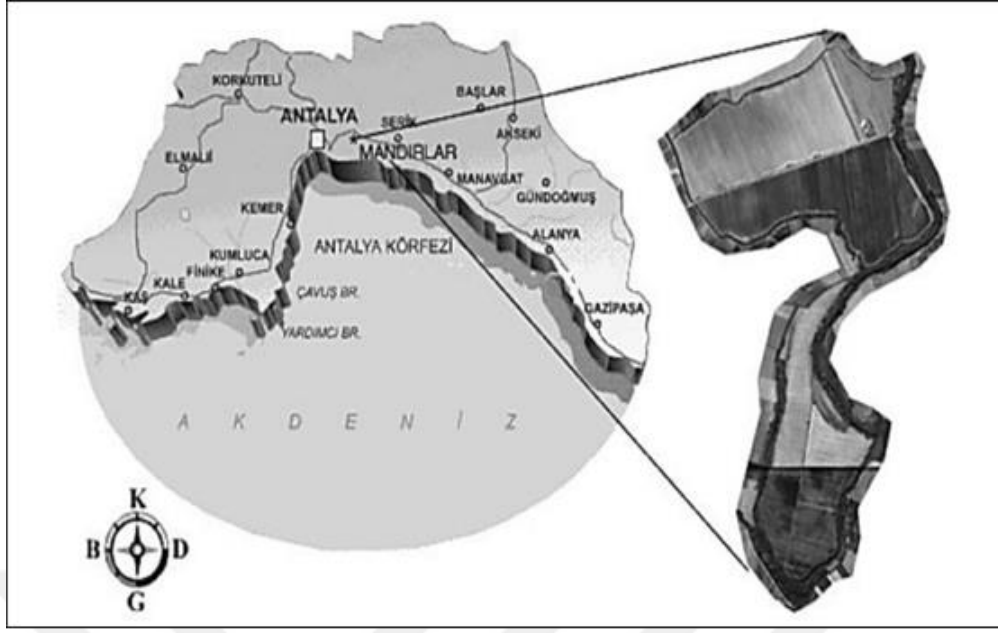
Çalışmada toprak materyali olarak Antalya Aksu bölgesindeki Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Arazisinde yer alan (AÜZFAUA) Tehnelli serisinin 0-30 cm derinliğinden alınan Entisol ordosuna ait (Typic Xerofluvent) killi tın tekstüre sahip toprak örnekleri kullanılmıştır. Deneme toprakları 2019 yılının Mart ayında alınmıştır.

3.1.2. Araştırma alanı ve iklim özellikleri

Araştırma, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesine ait olan venlo tipi modern serada yürütülmüştür. Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin alındığı yer, Antalya ili sınırları içerisinde 30°52'30" ve 30°53'45" doğu boylamları ile 36°52'30" ve 36°55'50" kuzey enlemleri arasında yer alan Aksu ilçesindeki AÜZFAUA’dır. Mandırlar olarak adlandırılan ve toplam alanı 1200 da olan arazi, Antalya-Mersin devlet karayolunun güneyinde ve Antalya ili Aksu-Çalkaya kasabası sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.1).

Deneme alanı, Antalya havzasının sahil kesiminde hâkim olan Akdeniz iklim kuşağında yer almasından dolayı yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. Ocak ayı ortalama sıcaklığı 6.4°C, Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 26.8°C, yıllık ortalama sıcaklık ise 16.3°C civarındadır. Ortalama yıllık toplam yağış miktarı 725.9 mm’dir ve yağışların çoğu kış mevsiminde gerçekleşmektedir. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı ise %5.7’dir ve bölgede yaz kuraklığı hâkimdir. Yıllık ortalama nispi nem %63.2’dir (Sensoy vd. 2008).

İki farklı inkübasyon süresince (Ekim-Mart 2019 ile Nisan-Ağustos 2020) yürütülen araştırmada sera içindeki sıcaklık değerleri düzenli olarak kaydedilmiş ve aylık ortalama veriler şeklinde Şekil 3.2 ve 3.3’te verilmiştir.

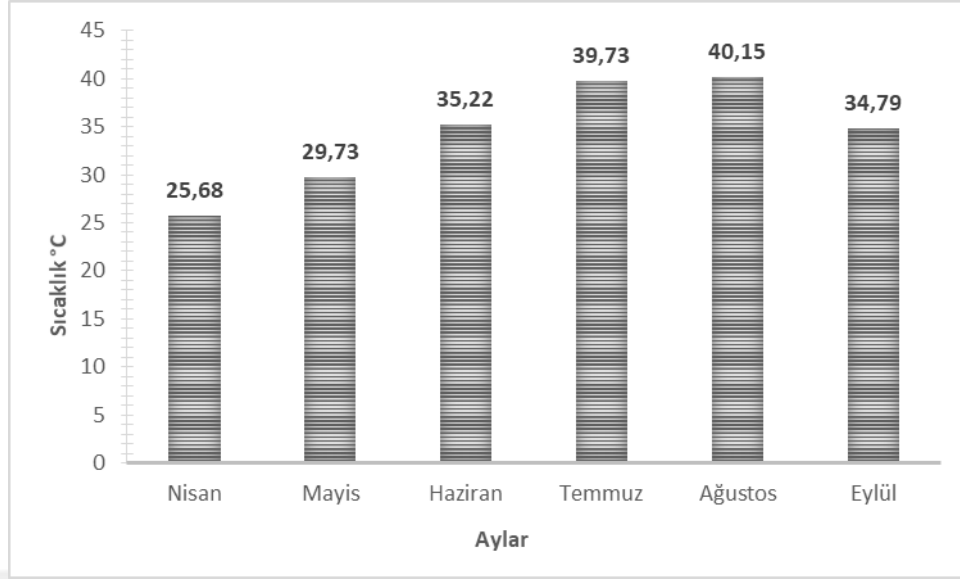


Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan toprak materyaline ait örnekleme alanı (Sarı vd. 2009)

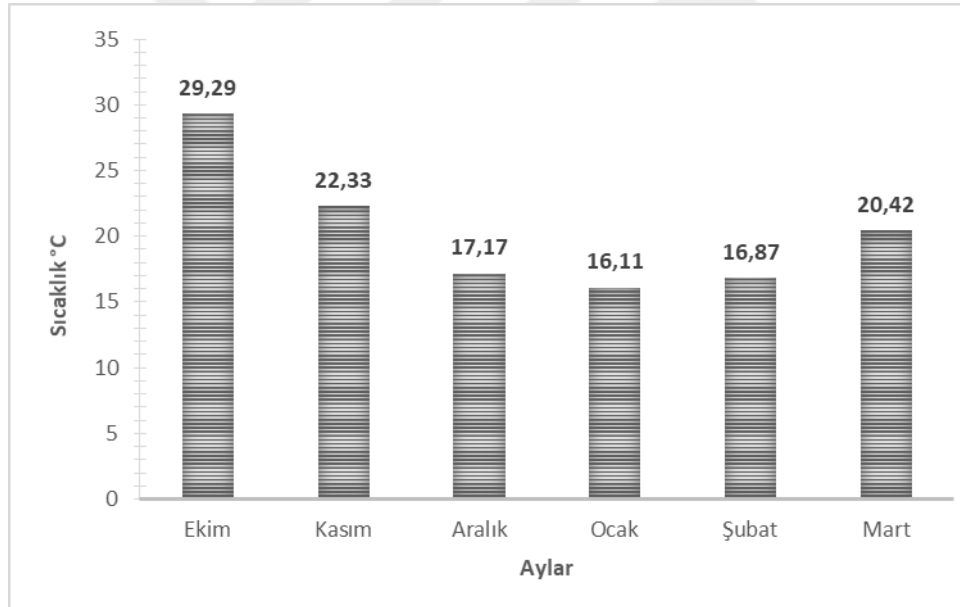
Saksı denemesi olarak gerçekleştirilen çalışmanın I. inkübasyon dönemi 2019 yılının Nisan-Ağustos aylarını kapsamaktadır. Bu dönem içerisindeki marul yetiştiriciliğine Nisan ayında (09.04.2019) başlanarak Haziran ayı ortalarına (10.06.2019) kadar devam edilmiştir. Yetiştiriciliği yapılan marul bitkileri Haziran ayında hasat edildikten sonra yetiştiricili in gerçekleştirildiği saksılarda bulunan topraklar dökülmemiş, uygulamaların toprak üzerindeki etkilerini görebilmek adına Ağustos ayı sonuna kadar inkübasyon süresi devam ettirilmiştir. Sözü edilen Nisan-Ağustos ayları arasında geçen sürenin tamamında sera içi sıcaklık verileri günlük olarak her saatte bir olmak üzere kayıt altına alınmıştır. Sera içi sıcaklık değerleri aylık ortalama değerler üzerinden verilmiştir.

 kinci inkübasyon dönemi ise 2019 Ekim ayı (11.10.2019) ile 2020 Mart (11.03.2020) ayları arasını kapsamaktadır. Bu dönemdeki marul yetiştiriciliğine Ekim ayında (17.10.2019) başlanmış ve Aralık ayında (16.12.2019) hasat gerçekleştirilmiştir. Uygulamaların toprak üzerine etkilerini belirleyebilmek adına II. Inkübasyon dönemi Mart ayı ortalarına (11.03.2020) kadar devam ettirilmiştir. Yine bu dönem içinde sera içi sıcaklık değerleri günlük olarak her saat başında belirlenmiş ve sera içi sıcaklık değerleri aylık ortalama değerler üzerinden verilmiştir.

Denemelerin gerçekleştirildiği seralarda yapılan ölçüm sonuçlarına göre en düşük sıcaklık ortalaması I. Inkübasyon döneminde Nisan ayında, en yüksek sıcaklık ortalaması ise II. Inkübasyon döneminde Ağustos ayında elde edilmiştir.



Şekil 3.2. I inkübasyon dönemi sera içerisindeki aylık ortalama sıcaklık değerleri



Şekil 3.3. II. inkübasyon dönemi sera içerisindeki aylık ortalama sıcaklık değerleri

3.1.3. Bitki

Denemede bitki materyali olarak, kıvırcık marul (*Lactuca sativa* var. *crispa*) fideleri kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Araştırmada kullanılan kıvrıkcık marul (*Lactuca sativa* var. *crispa*) çeşidi

3.1.4. Biochar

Araştırma kapsamında etkileri denenen uygulama materyali olarak, Antalya’da gerçekleştirilen tarımsal üretimler sonucu meydana gelen bazı atıklardan (bağ budama atığı, örtü altı domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) yavaş piroliz yöntemiyle (300 ve 500°C) elde edilen biochar örnekleri kullanılmıştır. Denemede uygulanan örneklerinin fiziki görünüşleri Şekil 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Bağ budama atıklarından elde edilen biochar örnekleri



Şekil 3.6. Domates atıklarından elde edilen biochar örnekleri



Şekil 3.7. Muz atıklarından elde edilen biochar örnekleri



Şekil 3.8. Karanfil atıklarından elde edilen biochar örnekleri

3.2. Metod

Araştırma kapsamında saksı denemeleri kurulmadan önce, ilk olarak araştırma toprağının genel durumunu belirlemek amacı ile bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Orijinal toprak örneğinin hafif alkali, çok kireçli, tuzsuz, organik maddesi orta seviyede ve killi tın tekstürlü olduğu belirlenmiştir. Deneme toprağının besin elementi kapsamına bakıldığında fosfor ve çinko bakımından yeterlilik düzeyinin altında olup incelenen diğer besin elementleri yönünden yeterli olduğu belirlenmiştir.

3.2.1. Denemenin kurulması

Deneme, 5 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre 01.04.2019 tarihinde başlatılmış ve 11.03.2020 tarihinde sonlandırılmıştır. Denemede 5'er aylık ($\times 2$ dönem) inkübasyon süresi uygulanmıştır. Denemede 4 tarımsal atık $\times 2$ piroliz sıcaklığı $\times 5$ tekerrür +5 kontrol olmak üzere toplamda 45 uygulama konusu bulunmaktadır. Sera ortamında gerçekleştirilen denemede toplam 45 konudan oluşan her saksıda bir bitki yetiştirilmiştir. Tarımsal atıkların farklı piroliz sıcaklık değerlerinden elde edilen biochar örnekleri 10 kg toprak içeren saksılara 2 ton/da hesabı üzerinden 80 g biochar/10 kg toprak/saksı düzeyinde uygulanmıştır.

11.03.2019 tarihinde AÜZFAUA'ndan getirilen toprak örnekleri, denemenin gerçekleştirileceği seraya serilmiş ve hava kuru duruma gelmesi için beklemeye bırakılmıştır. 25.04.2019 tarihinde hava kuru toprak örnekleri 4 mm'lik elekten elenerek, her birinde 10 kg toprak olup 13 L'lik saksılara aktarılmıştır. Saksılardaki 10 kg toprak her bir uygulama için hesaplanan 80 g biochar'la karışım sağlanarak inkübasyona bırakılmıştır (Şekil 3.9.a,b).



Şekil 3.9. a) Etkileri denenecek biochar'ın, deneme toprağına karıştırılması
b) Karışım sağlanan toprakların deneme düzeninde saksılara aktarılması

09.04.2019 tarihinde, biochar uygulamalarının etkilerini görebilmek adına bitki materyali olarak kullanılacak marul dikimi gerçekleştirilmiştir. Araştırma süresince deneme toprağının nem düzeyinin, tarla kapasitesinin %50'sine düştüğünde sulamaya başlanması ve nem düzeyinin tarla kapasitesinin %70'i oluncaya kadar suyun verilmesi şeklinde ayarlanmıştır. Bu amaçla saksılar periyodik olarak TethaProb Nemölçer ile topraktaki su miktarı kaybı belirlenmeye çalışılmıştır. Denemede marul yetiştiriciliğinin yapıldığı süre içerisinde temel gübreleme programı başlatılmıştır. Bu program dahilinde her saksıya 0.5 g/1.5 litre olacak şekilde 18-18-18 gübresi verilmiştir. Marul bitkisinin hasadına kadar, toplamda 6 defa gübre uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen gübreleme programında bir defaya mahsus olmak üzere (yetiştiriciliğin ortasında yani 3. gübrelemede) kalsiyum nitrat [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$] (1g/1.5 litre/saksı) verilmiştir.

3.2.2. Orijinal toprak örneklerinde yapılan analizler ve yöntemler

AÜZFAU'dan alınan orijinal toprak örnekleri Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesine ait olan modern serada hava kurusu hale getirildikten sonra Chapman vd. (1961)'nin bildirdiği esaslara uygun olarak analize hazır hale getirilmiş ve analiz edilmiştir. Toprak örneklerinin analizinde kullanılan metotlar aşağıda verilmiştir.

- **Toprak Bünyesi:** Bouyoucos (1955) tarafından bildirilen esaslara göre, hidrometre yöntemiyle yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre bünye sınıflarının belirlenmesinde, toprak bünyesi sınıflandırma üçgeninden yararlanılmıştır (Black 1957).
- **Organik Karbon:** Walkley-Black metoduna göre (Nelson ve Sommers 1982) belirlenmiştir.
- **Toprak Reaksiyonu (pH):** Analize hazırlanmış olan toprak örneklerinin pH'ları 1:2.5 toprak su karışımında ölçülmüştür (Jackson 1967).
- **Elektriksel İletkenlik (EC):** Deneme topraklarının EC değerleri 1:2.5 oranındaki toprak: su karışımında EC metre aleti ile ölçülmüştür (Jackson 1967).
- **Kasyon Değişim Kapasitesi (KDK):** 1 N amonyum asetat yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar 1995).
- **Toplam Azot (N):** Bremner (1965) tarafından bildirildiği şekilde Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir.
- **Yarayışlı Fosfor (P):** Toprak örneklerinde yarayışlı fosfor Olsen vd. (1982) tarafından bildirildiği şekilde, 0.5 M NaHCO_3 (pH: 8.5) ile ekstrakte edilmiş, çözeltiye geçen fosfor (P), molibdofosforik mavi renk yöntemine göre Shimadzu model UV 1210 spektrofotometresinde belirlenmiştir.
- **Değişebilir Potasyum (K), Kalsiyum (Ca) ve Magnezyum (Mg):** Pratt (1965) tarafından bildirildiği şekilde, toprak örnekleri 1.0 N nötr (pH: 7.0) amonyum asetat ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) ile ekstrakte edilerek, süzükteki potasyum (K) flamefotometre ile kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) ile belirlenmiştir.

- **Yarayışlı Demir (Fe), Çinko (Zn), Bakır (Cu) ve Mangan (Mn):** Lindsay ve Norvell (1978) tarafından açıklandığı gibi, toprak çözelti oranı 1:2 olacak şekilde 0.005 M DTPA + 0.01 M CaCl₂ + 0.1 MTEA karışım çözeltisi (pH: 7.3) ile 2 saat çalkalanarak ekstrakte edilen süzükte Fe, Zn, Cu ve Mn AAS ile belirlenmiştir.
- **Toprak Su Miktarı:** Toprakların tarla kapasitesi (1/3 atm) ve solma noktasında (15 atm) tutabildiği su yüzdelерinin farkının hesaplanmasıyla belirlenmiştir Demiralay (1993).

3.2.3. Biyokütl materyallerinin hazırlanması

Bu çalışmada Antalya'da yapılan yoğun tarımsal aktiviteler sonucu meydana gelen tarımsal atıklar kullanılmıştır. Dört (4) farklı bitkisel atık domates atığı (*Solanum lycopersicum* L.), muz plantasyon atığı (*Musa*), karanfil atığı (*Dianthus caryophyllus* L.) ve bağ budama atığı (*Vitis vinifera* L.)). Antalya merkez ve çevresinden toplanmıştır. Atıklar 5 cm boyutunda olacak şekilde parçalanmış olup Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Toprak Fiziği Laboratuvarı'nda oda şartlarında kurutularak, biochar üret,m,ne hazır hale getirilmiştir.

3.2.4. Biyokütle'de yapılan analiz ve yöntemler

Biyokütle içerik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, biyokütle karakterizasyonu yapılmıştır. Biyokütle üzerinde ön analiz (nem, uçucu madde, kül, sabit karbon içerikleri) ve bileşenler analizi (selüloz, hemiselüloz, lignin, ekstraktif madde içerikleri) gerçekleştirilmiştir.

• Biyokütle ön analizi

- Nem, ASTM D3173-03 yöntemine göre yapılmıştır.
- Kül, ASTM D-3174-02 yöntemine göre yapılmıştır.
- Uçucu madde, ASTM D-3175-07 yöntemine göre yapılmıştır.
- Sabit karbon, ASTM E 872-82 yöntemine göre (nem, uçucu madde ve kül yüzdelерinin toplamının 100'den farkı alınarak hesaplanmıştır).

$$\text{Sabit karbon (\%)} = 100 - (\text{Nem} + \text{Kül} + \text{Uçucu Madde}) \quad (3.1)$$

• Biyokütle bileşenler analizi

- Ekstraksiyon, hammaddenin ekstraktif madde belirlenmesi için, ASTM D1107-96 yöntemine göre yapılmıştır.
- Selüloz tayini Kurschner–Hoffer Metoduna göre yapılmıştır.
- Lignin tayini ASTM D1106-96 standardına göre yapılmıştır.
- Hemiselüloz miktarı aşağıda verilen formüle göre bulunmuştur:

$$\% \text{Hemiselüloz} = \% \text{Holoselüloz} - \% \alpha\text{-Selüloz} \quad (3.2)$$

3.2.5. Biochar'ın elde edilmesi ve hazırlanması

Biochar üretim işlemi Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'ndeki yavaş piroliz düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Düzenek, yüksekliği 50 cm ve çapı 20 cm olan, ağzı kapatılabilen çelik silindirik bir yapıya sahiptir (Şekil 3.10). Düzeneğin içinde bulunan elektrik rezistans tarafından ısı elde edilmiş ve ısıya karşılık gelen sıcaklık değeri dijital sıcaklık ölçer ile ölçülmüştür. Hazırlanmış olan biyokütle örnekleri yavaş piroliz düzeneğinde 300 ve 500°C sıcaklık değerlerinde 12 saat süreyle piroliz işlemine tabii tutulmuş olup, bu işlemler sonucu 8 adet biochar örneği elde edilmiştir. Elde edilen biochar örnekleri Bağ Budama Biochar-300 (BB300), Bağ Budama Biochar-500 (BB500), Domates Biochar-300 (DB300), Domates Biochar-500 (DB500), Muz Biochar-300 (MB300), Muz Biochar-500 (MB500), Karanfil Biochar-300 (KB300) ve Karanfil Biochar-500 (KB500) olarak adlandırılmış ve ufalanıp elendikten sonra 0.5 mm parçacık boyutunda saksı denemelerinde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Elde edilen biochar örnekleri piroliz işlemi öncesinde ve sonrasında tartılarak biochar verimi hesaplanmıştır.



Şekil 3.10. Yavaş piroliz deney düzeneği

Biochar verimini hesaplamak için yavaş piroliz sonucu elde edilen biochar'ın kütlesi, başlangıçta kullanılan biyokütle atığının kütlesine bölünmüş ve 100 ile çarpılmıştır.

$$\text{Biochar verimi (\%)} = \frac{W \text{ (g)}}{W_0 \text{ (g)}} \times 100 \quad (3.3)$$

Eşitlikte W pirolizden çıkan biochar'ın kütlesi ve W_0 piroliz öncesi biyokütle örneğinin kütlesi.

$$300 \text{ } ^\circ\text{C Biochar'ın genel verimi (\%)} = \frac{5340}{(3000 \times 4)} \times 100 = \%44.5$$

$$500 \text{ } ^\circ\text{C Biochar'ın genel verimi (\%)} = \frac{6900}{(4500 \times 4)} \times 100 = \%38$$

Bitkilere göre spesifik biochar verimleri:

$$\text{Bağ budama (300 °C)} \frac{1310}{3000} \times 100 = \%44$$

$$\text{Bağ budama (500°C)} \frac{1340}{4500} \times 100 = \%30$$

$$\text{Domates (300°C)} \frac{1420}{3000} \times 100 = \%47$$

$$\text{Domates (500°C)} \frac{1540}{4500} \times 100 = \%34$$

$$\text{Muz 300°C} \frac{1170}{3000} \times 100 = \%39$$

$$\text{Muz (500°C)} \frac{1480}{4500} \times 100 = \%33$$

$$\text{Karanfil (300°C)} \frac{1390}{3000} \times 100 = \%46$$

$$\text{Karanfil (500°C)} \frac{1420}{4500} \times 100 = \%32$$



Şekil 3.11. Yavaş piroliz işlemi sonucu üretilen biochar görüntüsü

3.2.6. Biochar’da yapılan analiz ve yöntemler

- **pH:** Biochar’ların pH’ları 1:10 oranında biochar: su karışımında 2 saat çalkalayıp pH-metre aleti ile ölçülmüştür (Jundo vd. 2014).
- **Elektriksel İletkenlik (EC):** Biochar’ın EC değerleri 1:10 oranındaki biochar: su karışımında EC metre aleti ile ölçülmüştür (Jundo vd. 2014).
- **Ön Analizi:** Biochar’a ait nem, uçucu madde, kül ve sabit karbon içerikleri belirlenmiş olup bu analizlere ait yöntemler 3.2.5 bölümünde açıklanmıştır.
- **Elementel Analiz:** Biochar içerisindeki elementlerin karbon (C), hidrojen (H), azot (N) ve sülfür (S) miktarlarını belirlemek amacıyla elementel analiz, İnönü

Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarında CHNS-932 (LECO) Elementel Analiz cihazında yapılmıştır. C-H-N-S analizi ile yüksek sıcaklıkta (1000-1100°C) yakma yoluyla örnekteki element yüzdeleri tayin edilir. 2 mg'lık örnek kalay ve gümüş kapsüller içine yerleştirilip, örnek yükleme kısmına konmakta, oksijen gazına ulaştığı anda örnek fırına düşüp kül haline dönmektedir. Bu dört elementten C, H ve kükürt (S) infrared absorpsiyon dedektörü, N ise termal iletkenlik dedektörü ile tayin edilir. Oksijen miktarı ise farktan hesaplanmıştır.

- **Biochar SEM Analizi:** Biochar'ın yüzey morfolojisini belirlemek için SEM görüntü analizleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma laboratuvarından hizmet alımı yoluyla gerçekleştirilmiştir.
- **Suda Eriyebilir P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu:** Biochar örneklerindeki kolay alınabilir (suda eriyebilir) bitki besin elementi içeriklerinin belirlenmesi, özel bir laboratuvarından hizmet alımı yoluyla gerçekleştirilmiştir.

3.2.7. Biochar uygulamaları sonrası toprakta gerçekleştirilen analizler

Beşer aylık iki farklı inkübasyon periyodu sonunda saksı denemelerinden alınan hava kurusu toprak örnekleri Chapman vd. (1961)'nin bildirdiği esaslara uygun olarak analize hazır hale getirilmiş ve gerçekleştirilen analizlerde kullanılan metotlar aşağıda verilmiştir.

- **Agregat Büyüklük Dağılımı:** Inkübasyon sonrası toprak örneklerinin agregat büyüklük dağılımı, Chepil (1962) tarafından belirtilen esaslara göre, saksı içerisindeki topraklar hava kurusu duruma getirildikten sonra 500g toprak örneği alınıp >4, 4-2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25, 0.25-0.050 mm delik çapına sahip eleklerden rotor elek makinasında 75 darbe frekansında 5 dk elenerek, her bir elek üzerinde kalan agregat miktarı ve yüzdesi hesaplanmıştır. Agregat Büyüklük dağılımları ise 5 tekrarlananın ortalaması olarak verilmiştir (Demiralay 1993).
- **Agregat Stabilitesi:** Inkübasyon sonrası toprakların agregat stabilite değerleri, kuru elemeyle elde edilmiş olan agregat fraksiyonlarından makroagregat sınıfına giren 2-1 mm boyuta sahip agregatlar ile mikroagregat sınıfına giren 0.25-0.050 mm boyuta sahip agregatların "Eijkelkamp" marka ıslak eleme aleti kullanılarak 5 dk sürede, 1.3 cm darbe uzunluğu ve 34 devir/dk ile ıslak elenmeye tabi tutulmasıyla belirlenmiştir (Demiralay 1993). Agregat stabilitesinin hesaplamasında Kemper'in agregat stabilite formülü kullanılmıştır (Kemper ve Koch 1966).

$$\text{Agregat Stabilitesi \%} = 100 \times [(P_1 - P_2) / (P - P_2)] \quad (3.4)$$

P₁ Stabil Agregat + Kum Ağırlığı, P₂ Kum Ağırlığı ve P Toprak Örneğinin Fırın Kuru Ağırlığı.

- **Penetrometre Direnci:** Toprak penetrasyon direncini belirlemek amacıyla Eijkelkamp marka Mekanik El Penetrograph aleti kullanılmıştır. Buradaki esas, toprağın gösterdiği direnç değerlerinin not edilmesine dayanır. Penetrograph 40 cm derinliğe kadar toprak direnç değerlerini belirleyebilmektedir ve 1 cm², 2 cm², 31/3

cm²'lik taban alanına sahip konik uçlara sahiptir. Bu çalışmada 1 cm²'lik taban alanına sahip konik uçlar kullanılmıştır.

- **Likit Limit:** Toprakların plastik halden akıcı hale geçiş anındaki nem düzeyi olarak tanımlanan Likit Limit Casagrande aleti kullanılarak Terzaghi ve Peck (1967) tarafından ortaya konan yöntemle göre belirlenmiştir.
- **İnfiltrasyon Düzeyi:** Doygun olmayan toprak koşullarındaki sabit su seviyeli permeametre yöntemine göre (Richards 1954) mini disk infiltrometre kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Ertuğrul ve Apan (1979) ile Güngör ve Yıldırım (1989) tarafından verilen esaslara göre toprağın infiltrasyon hızı hesaplanmıştır.
- **Hacim Ağırlığı:** Demiralay (1993)'a göre silindir yöntemi kullanılarak toprakların hacim ağırlıkları tespit edilmiştir.
- **Makro (2-1 mm) ve Mikro (0.25-0.050 mm) Agregatlardaki Organik Karbon Miktarı:** Walkley-Black metoduna göre (Nelson ve Sommers 1982) belirlenmiştir.
- **pH:** Toprak örneklerinin pH'ları 1:2.5 oranında toprak: su karışımında pH metre aleti ile ölçülmüştür (Jackson 1967).
- **Elektriksel İletkenlik (EC):** Deneme topraklarının EC değerleri 1:2.5 oranındaki toprak: su karışımında EC metre aleti ile ölçülmüştür (Jackson 1967).
- **Kasyon Değişim Kapasitesi (KDK):** 1 N amonyum asetat yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar 1995).
- **Toprağın Yarayışlı Su Kapasitesi:** Toprakların tarla kapasitesi (1/3 atm) ve solma noktasında (15 atm) tutabildiği su yüzdelерinin farkının hesaplanmasıyla belirlenmiştir (Demiralay 1993).

3.2.8. Marulda verim ve kalite belirlenmesine yönelik yapılan ölçümler

Denemenin 5'er aylık iki farklı inkübasyon süresinde gerçekleştirilmiş olan marul yetiştiriciliği 60'ar günlük yetiştiricilik süresini kapsamış ve bu sürenin sonunda ise marul bitkilerinin hasadı gerçekleştirilmiştir. Hasat edilen marul bitkilerinde aşağıda açıklanan ölçümler gerçekleştirilmiştir.

- **Boy (cm):** Deneme süresi sonunda marulun kotiledon yapraklarının gövdeye birleştiği nokta ile büyüme noktasına kadar olan kısım esas alınarak ve cetvel yardımıyla ölçülüp kaydedilmiştir.
- **Gövde Çapı (mm):** Marulda ilk yaprağın başladığı noktanın hemen alt kısmından kumpas ölçümüyle elde edilmiştir.
- **Bitki Yaş Ağırlığı (g/bitki):** Yetiştirme periyodu sonunda marul bitkilerinin 0.001 g hassasiyetindeki terazide ölçülmesiyle elde edilmiştir.

- **Bitki Kuru Ağırlığı (g/bitki):** Marul bitkilerinin yaş ağırlığı belirlendikten sonra etüvde 65°C sıcaklıkta sabit ağırlığa ulaşıldığında 0.001 g hassasiyetindeki terazide ölçülmesiyle elde edilmiştir.
- **Kök Boğazı Çapı Ölçümü (mm):** Tekrarlamalara göre hasat edilen marul bitkilerinin kök boğazı çapı iki yerden olmak üzere dijital kumpas ile belirlenmiştir.
- **Yaprak Sayısı (adet/bitki):** Tekrarlamalara göre hasat edilen marul bitkilerinin yaprakları dıştan içe doğru sayılarak bitki başına yaprak sayıları bulunmuştur.
- **Klorofil Miktarı:** Marul bitkisinin klorofil miktarını belirlemek üzere SPAD metre kullanılmış olup ölçülen anlık klorofil miktarları her saksı bitkisi için ayrı ayrı belirlenmiştir.

3.2.9. İstatistiksel analiz yöntemleri

Gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilmiş olan araştırma sonuçları Akdeniz Üniversitesi İstatistik Danışmanlık Uygulama ve Araştırma Merkezi (AKİDUAM) tarafından SAS 9.4 programı ve PROC GLM prosedürü kullanılarak istatistiksel analizi yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Denemede Kullanılan Orijinal Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Saksı denemeleri kurulmadan önce, Aksu ilçe sınırlarında bulunan AÜZFAUA'ndan alınan toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla analizler yapılmıştır. Saksı denemelerinde kullanılan orijinal toprağın analiz sonuçlarına ait veriler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Denemede kullanılan orijinal toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametre	Değer	Açıklama
Kum, %	10.88	
Silt, %	46.72	
Kil, %	42.4	
Tekstür	Killi-tın	
pH (1:2.5 su)	7.7	Hafif Alkalin
EC, dS m ⁻¹ (1:2.5 su)	1.96	Tuzsuz
Kireç, (%)	29.8	Çok Kireçli
Organik Madde, (%)	1.94	Düşük
Toplam Azot (N), (%)	0.119	Fazla
Değişebilir Potasyum (K), (kg K ₂ O da ⁻¹)	35.0	Yeterli
Değişebilir Kalsiyum (Ca), (kg CaO da ⁻¹)	1407.4	Fazla
Değişebilir Magnezyum (Mg), (kg MgO da ⁻¹)	74.4	Yeterli
Yarayışlı Fosfor (P), (kg P ₂ O ₅ da ⁻¹)	2.62	Az
Yarayışlı Demir (Fe), (ppm)	7.95	Yeterli
Yarayışlı Mangan (Mn), (ppm)	5.43	Fazla
Yarayışlı Çinko (Zn), (ppm)	0.12	Çok Az
Yarayışlı Bakır (Cu), (ppm)	1.70	Fazla

Killi tın tekstüre sahip olan deneme toprağının, hafif alkali (Kellog 1952), tuzsuz (Soil Survey Staff 1951), çok kireçli (Evliya 1960) ve organik madde içeriği düşük (Thun vd 1955) olduğu ortaya konmuştur. Analiz sonuçlarına göre denemede kullanılan toprağın azotça orta (Loue 1968), bitkiye yarayışlı fosforca az (Olsen ve Sommers 1982), potasyumca yeterli (Pizer 1967), kalsiyumca yüksek, magnezyumca yeterli (Loue 1968), demirce yeterli, çinkoca çok az, mangan ve bakırca yeterli (Lindsay ve Norvell 1978) olduğu belirlenmiştir.

4.2. Biyokütle ve Biochar'ın Karakterizasyonu

Denemede kullanılan biyokütle atıkları ve onlardan elde edilen biochar'a ait bazı analiz sonuçları Çizelge 4.2 Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Biyokütle ön analizi (%)

Biyokütle	Nem	Uçucu madde	Kül	Sabit karbon
Bağ atığı	5.52	71.83	4.08	18.57
Domates atığı	5.15	66.57	12.52	16.76
Muz atığı	5.24	66.54	13.12	15.09
Karanfil atığı	6.82	69.78	10.51	12.89

Biyokütellerin nem içeriğine bakıldığında %5-6 arasında değiştiği görülmektedir. Domates atığı en düşük nem içeriğine (%5.15) sahipken, karanfil atığının nem içeriğini (%6.82) en yüksektir. Nem değerleri < %10 olan biyoküteller için, termokimyasal dönüşüm süreçleri açısından genel kabul gören sınırdır (Braga vd. 2014). Uçucu madde içeriği açısından bakıldığında bağ budama atığı tüm bitki atıkları arasında, en yüksek içeriğe sahiptir (%71.83). Rosas vd. (2015) yaptıkları benzer bir çalışmada, bağ kalıntılarındaki uçucu madde içeriğini %70.79 bulmuşlardır. Çalışmadaki en düşük (%66.54) uçucu madde değeri ise muz atığına sahiptir. Bir başka çalışmada muz kabuğunda uçucu maddeye içeriği Tahir vd. (2019) tarafından %66.79; Kabenge vd. (2018) tarafından ise %88.02 bulunmuştur.

Denemede kullanılan biyokütellerin kül içeriklerine bakıldığında en düşük (%4.08) değer bağ budama atığına sahiptir. Bu oran Rosas vd. (2015)'nin bağ budama atığında bulduğu değerden (%9) daha azdır. Kül içeriği bakımından muz atığı en yüksek değere (%13.12) sahiptir. Kabenge vd. (2018) ile Abdullah (2013) muz kabuklarında, yapraklarında ve saplarında benzer sonuçlar ortaya koymuşlardır. Karanfil, muz, domates ve bağ biyokütellerinin sabit karbon içerikleri sırasıyla %12.89, %15.09, %16.76 ve %18.57 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre bağ biyokütlesinin en yüksek sabit karbon değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu değer Rosas vd. (2015) tarafından bulunan sabit karbon değerlerinden biraz farklıdır.

Biyokütle bileşenler analizine ait sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Biyokütle üzerinde yapılan bileşenler analizi (%)

Biyokütle	Selüloz	Hemiselüloz	Lignin	Ekstraktifler
Bağ budama	39.07± 0.23	29.44 ±0.43	27.41 ±0.19	5.30 ±0.01
Domates	35.26 ±0.18	40.66 ±0.21	11.56 ±0.04	14.07 ±0.01
Muz	31.16 ±0.06	40.77 ±0.15	14.94 ±0.03	12.06 ±0.004
Karanfil	40.87 ±0.060	37.04±0.15	11.58 ±0.01	16.81 ±0.01

Bileşenler analizi sonuçlarına göre selüloz içeriği en yüksek değer karanfil atığında (%40.87), hemiselüloz muz atığında (%40.77), lignin bağ budama atığında (%27.41) ve ekstraktif maddeler ise karanfil atığında (%16.81) bulunmuştur. Benzer sonuçlar Hlavsová vd. (2016) tarafından ekstraktifler ve selüloz için sırasıyla %10.63 ve %43.95 olarak rapor edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen muz atığındaki hemiselüloz değeri Kabenge vd. (2018) tarafından bildirilen muz kabuklarının hemiselüloz değeri (%41.38) ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Araştırmada kullanılan ve Çizelge 4.3 de verilen bileşen sonuçları, Kan vd. (2016); Sjostrom (1993) ve

Strezov (2014) tarafından bazı tarımsal artıkların temel bileşenlerin için verilen aralıklar ile uyumludur.

Araştırmada kullanılan biyokütlelerin farklı sıcaklık değerlerindeki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın temel özelliklerini ifade etmek amacıyla bazı analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı sıcaklıklarda elde edilen biochar karakterizasyonu

Uygulamalar	BB300	BB500	DB300	DB500	MB300	MB500	KB300	KB500
pH (1:10)	8.13	9.19	8.92	9.67	8.72	10.01	9.56	9.82
EC (dS m ⁻¹)	0.29	0.56	4.41	4.44	3.41	3.64	4.92	6.23
C (%)	63.57	54.75	60.00	51.62	51.75	47.69	54.00	49.93
H (%)	4.53	2.62	3.77	2.29	3.97	1.92	4.55	1.88
N (%)	1.37	0.86	1.78	1.39	0.67	1.04	3.22	2.49
O (%)	30.53	41.77	34.15	44.27	43.48	49.18	38.11	45.42
O/C (%)	0.48	0.76	0.57	0.86	0.84	1.03	0.71	0.91
H/C (%)	0.07	0.05	0.06	0.04	0.08	0.04	0.08	0.04
S (%)	-	-	0.31	0.44	0.14	0.17	0.13	0.28

Biochar'ların pH değerleri 300°C piroliz sıcaklığında BB (8.13) <MB (8.72) <DB (8.92) <KB (9.56) artmaktadır. Piroliz sıcaklığı 500°C'de, pH değerleri BB (9.19) <DB (9.67) <KB (9.82) <MB (10.01) yine artan bir eğilime sahiptir. Piroliz sıcaklığı arttıkça biochar'ın pH değerlerinde de artış elde edilmiştir. Bu sonuç pirolize olmayan biochar'da bulunan inorganik elementlerin konsantrasyonundan kaynaklanmaktadır (Novak vd. 2009). Ayrıca, biochar'ların pH değerlerindeki artış, yüksek kül içeriği ve tuzların hidrolizi (Ca, K ve Mg) ile ilişkilidir (Gaskin vd. 2008). 300 ve 500°C'de piroliz sıcaklığı uygulandığında elde edilen biochar'ların pH'ları alkaline olma eğilimindedir ve pH 8.13 ila 10.01 arasındadır. Lehmann vd. (2011), Mukherjee vd. (2011) ve Yuan vd. (2011) aynı kökenli hammaddelerden yüksek sıcaklıklarda (>400°C) elde edilen biochar'ların, düşük sıcaklıkta (<400°C) elde edilen biochar'lardan daha yüksek pH değerlerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, piroliz sıcaklığının artışı ile birlikte pH değerlerindeki artış –COOH ve –OH gibi organik fonksiyonel grupların azalmasından kaynaklanmaktadır (Challapan vd. 2018). Biochar'ların EC değerleri domates (300°C ve 500°C'de) ve karanfil biochar'ları (300°C ve 500°C'de) dışında tuzsuz olduğu belirlenmiştir. Bu değerlere bakıldığında 300 ve 500°C'de en yüksek EC değerine (4.92, 6.23) karanfil biocharı sahipken, bağ budama atığından elde edilen biochar'ın 300 ve 500°C'de sırasıyla en düşük EC değerlerine (0.29, 0.56) sahip olduğu görülmektedir. 500°C'de elde edilen biochar'ların (BB 0.29 <MB 3.41 <DB 4.41 <KB 4.92) EC değerleri 300°C'den elde edilen biochar'ın (BB 0.56 <MB 3.64 <DB 4.44 <KB 6.23) EC değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar literatürde bildirilen 0.04 dS m⁻¹ (Rajkovich vd. 2012) ile 54.2 dS m⁻¹ (Smider vd. 2014) EC değerleri aralığında kalmıştır.

Farklı biyokütlelerden farklı sıcaklıklarda (300°C ve 500°C) yavaş piroliz yöntemiyle elde edilen biochar'lar arasındaki elementel bileşimde büyük farklılıklar gözlenmiştir (Çizelge 4.3). Biochar'ın elementel içeriğine bakıldığında ana elementler

olarak karbon (C) ve Oksijen (O) olduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan Hidrojen (H), Azot (N) ve Kükürt (S)'ün tüm biochar'larda düşük oranda olduğu bulunmuştur. Piroliz sıcaklığındaki artış biyokütlelerin oksijen (O), hidrojen (H) (Çizelge 4.3) ve uçucu madde içeriğinin (Çizelge 4.5) azalmasına yol açmıştır (Peng vd. 2011).

Karbon içeriği tüm biochar'larda %47.69 ile %63.57 arasında değişmektedir. Yargıoğlu vd. (2015) benzer sonuçlar elde etmiş ve çam ağacı, %90 çam + % 10 odun ve yaşlı meşe odun biochar'larındaki karbon içeriğini sırasıyla %53,2, %23.5 ve %51.9 olarak bulunmuştur. Araştırmada kullanılan biyokütlelerin oksijen içeriği %30.53 ila %49.18 arasında değişmektedir. Biochar'larda gözlenen yüksek O içeriği, selüloz, hemiselüloz, lignin ve diğer organik maddeler gibi yüksek oranda oksijenli biyokütlenin çok sayıda bileşeninden kaynaklanmaktadır. Tüm biochar'larda bulunan H/C oranının, Ronsse vd. (2013) tarafından bildirilen 0.37 referansından düşük olduğu bulunmuştur. Bu sonuç uçucu madde gibi kolayca bozunabilen karbon bileşiklerinin kaybına bağlanabilir ve kömürleşme işlemi sırasında, dehidrasyon ve dekarboksilasyon reaksiyonları sonucunda H/C ve O/C oranlarında bir azalmaya neden olmaktadır.

Farklı biyokütleler farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen biochar ön analiz sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. 300 ve 500°C'deki yavaş piroliz yöntemiyle elde edilen biochar üzerinde yapılan ön analizler (%)

Uygulamalar	Nem	Kül	Uçucu Madde	Sabit karbon
BB300	3.34	5.39	33.26	58.01
BB500	4.03	8.93	14.01	73.03
DB300	4.89	23.82	30.87	40.42
DB500	3.01	30.62	19.86	46.51
MB300	3.79	17.65	37.13	41.42
MB500	2.72	25.55	17.38	54.35
KB300	4.38	23.92	38.66	33.05
KB500	4.15	32.48	22.55	40.82

Farklı piroliz sıcaklıklarında (300 ve 500°C) BB, DB, MB ve KB'den elde edilen biochar'ın nem içeriği sırasıyla %3.34, 4.03; %4.9, 3.01; %3.79, 2.72 ve %4.38, 4.15 olarak bulunmuştur. Piroliz sıcaklığının 300°C'den 500°C'ye artışı ile birlikte aynı materyalden gelen biochar'ın uçucu madde içeriği sırasıyla DB (%30.87, %19.86) <BB (%33.26, %14.01) <MB (%37.13, %17.38) <KB (%38.66, %22.55) olarak azalmıştır. En düşük sabit karbon değeri 300°C'de karanfil biochar'ında %33.05 en yüksek sabit karbon değeri ise yine aynı sıcaklık değerinde bağ budama biochar'ında (%58.01) elde edilmiştir. 500°C'de en düşük sabit karbon değeri karanfil biochar'ında (%40.82) olup, en yüksek değer ise bağ budama biochar'ında (%73.03) elde edilmiştir. Piroliz sıcaklığının 300°C'den 500°C'ye artmasıyla biochar'ın kül ve sabit karbon içeriğinde bir artış görülmüştür. Bu artışın nedeni olarak, %20'den daha fazla kül içeren biochar'larda biyokütlenin pirolizi sırasında organik ve inorganik bileşenler arasındaki olası bir etkileşimin olması gösterilmektedir (Enders vd. 2014).

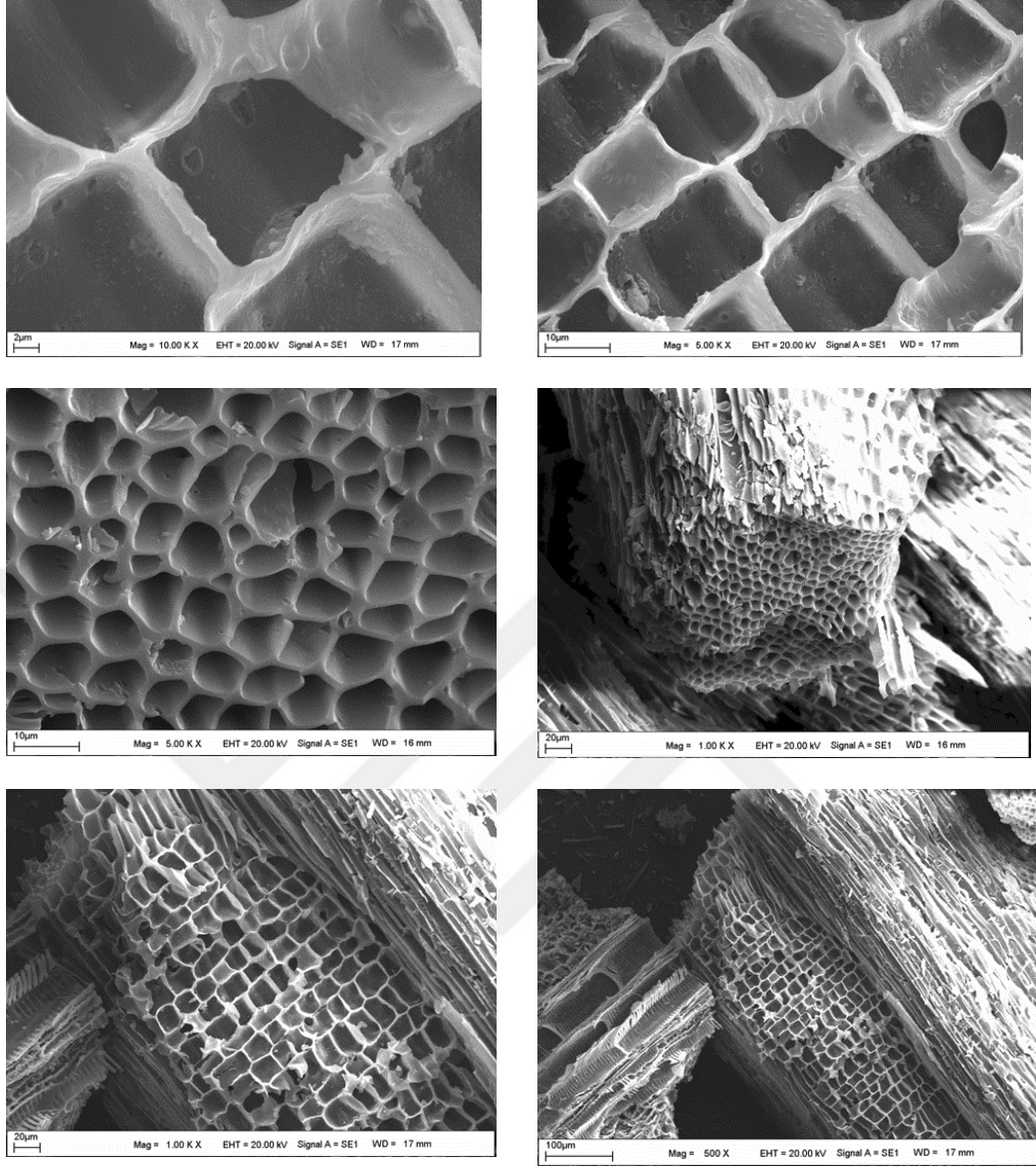
Biyokütlelerden farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen biochar'ların makro ve mikro element analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Biyokütlelerden farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen biochar'lara ait suda eriyebilir bitki besin elementi içerikleri

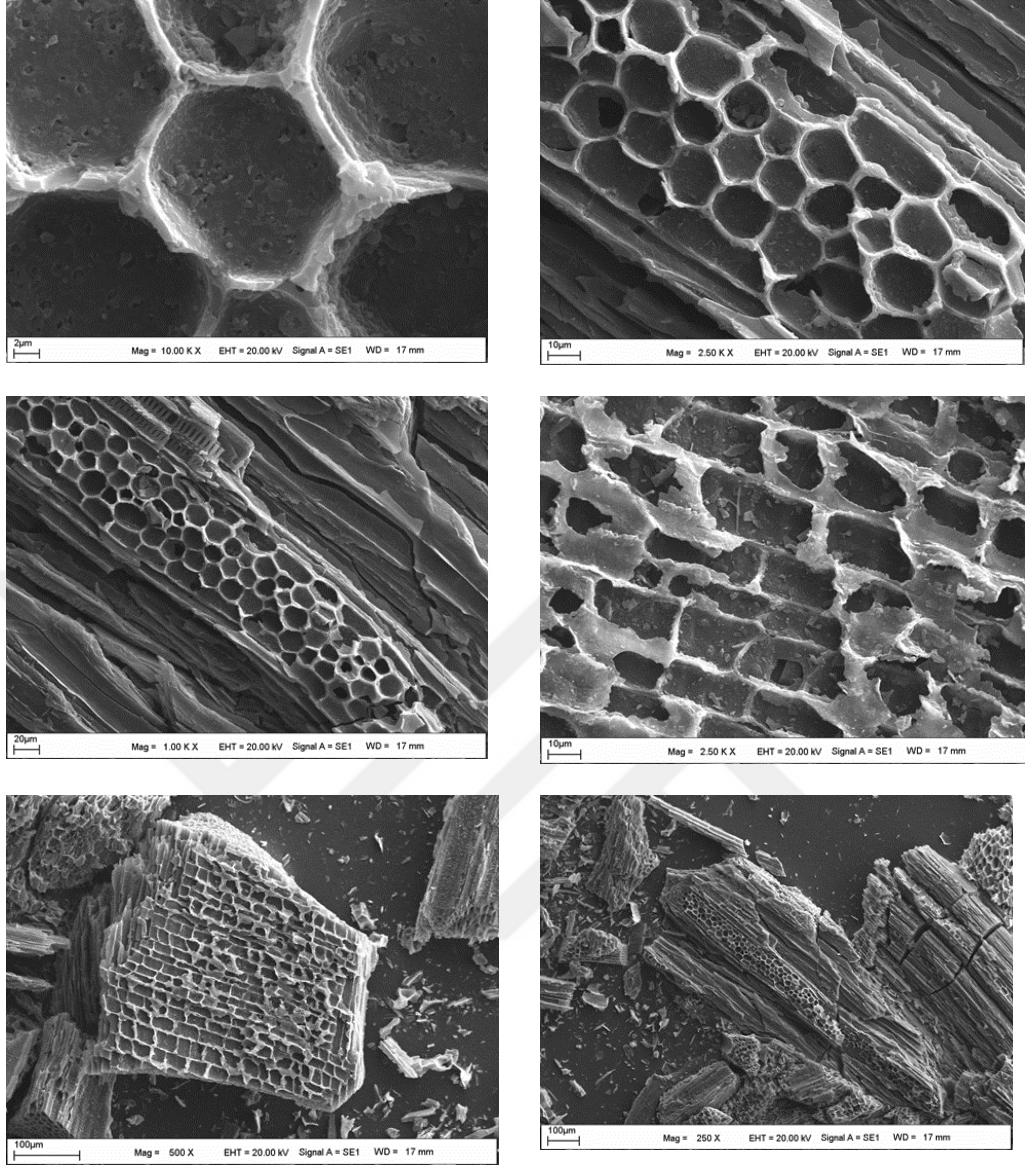
Uygulamalar	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)
BB300	0.26	1.17	1.31	0.17	817.7	61.7	32.8	26.2
BB500	0.27	1.19	2.00	0.25	1041	63.4	78.9	24.1
DB300	0.62	5.23	2.48	0.48	2378	109.2	123.8	36.1
DB500	0.83	6.52	2.62	0.52	3067	145.7	163	39.7
MB300	0.14	3.56	2.95	0.91	288.6	213.9	47.3	17.2
MB500	0.33	3.88	4.63	1.26	1755	434.6	48.1	21
KB300	0.41	6.23	3.25	0.33	608.9	342.8	182.3	44.2
KB500	0.48	8.80	0.44	0.60	1332	412	158	26.2

Biochar'ın bitki besin elementi konsantrasyonu, biyokütle çeşidi ve piroliz koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Piroliz sıcaklığı artışı ile birlikte biochar'ın inorganik element konsantrasyonlarında da bir artış olmaktadır. Buna yüksek sıcaklıklarda biyokütlenin kütle kaybı sebep olmaktadır. Biochar'larda gerçekleştirilen bitki besin elementi içeriği analizlerinde genel olarak makro ve mikro elementlerin konsantrasyonu KB500 (Ca, Mg, Zn, Cu) ve BB500 (Cu) haricinde piroliz sıcaklığı ile beraber artmıştır (Çizelge 4.6). 300°C'deki piroliz ile maksimum makro besin elementi (P, K, Ca, Mg) konsantrasyonu DB, KB, KB ve MB'de sırasıyla 0.62%, 6.23%, 3.25% ve 0.91% olarak bulunmuştur. Piroliz sıcaklığı 500°C'ye yükseldiğinde maksimum P, K, Ca ve Mg içeriği DB, KB, MB ve MB'de sırasıyla 0.83%, 0.88%, 4.63% ve 1.26% değerlerinde bulunmuştur. Mikro besin elementi konsantrasyonu bakımından bakıldığında 300°C piroliz sıcaklığında Fe, Mn, Zn ve Cu için maksimum değerler sırasıyla DB (2378 ppm), KB (342.8 ppm), KB (182.3 ppm), KB (44.2 ppm) gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, 500°C'deki maksimum Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonu ise sırasıyla DB (3067 ppm), MB (434.6 ppm), KB (158 ppm), DB (39.7 ppm) olarak belirlenmiştir.

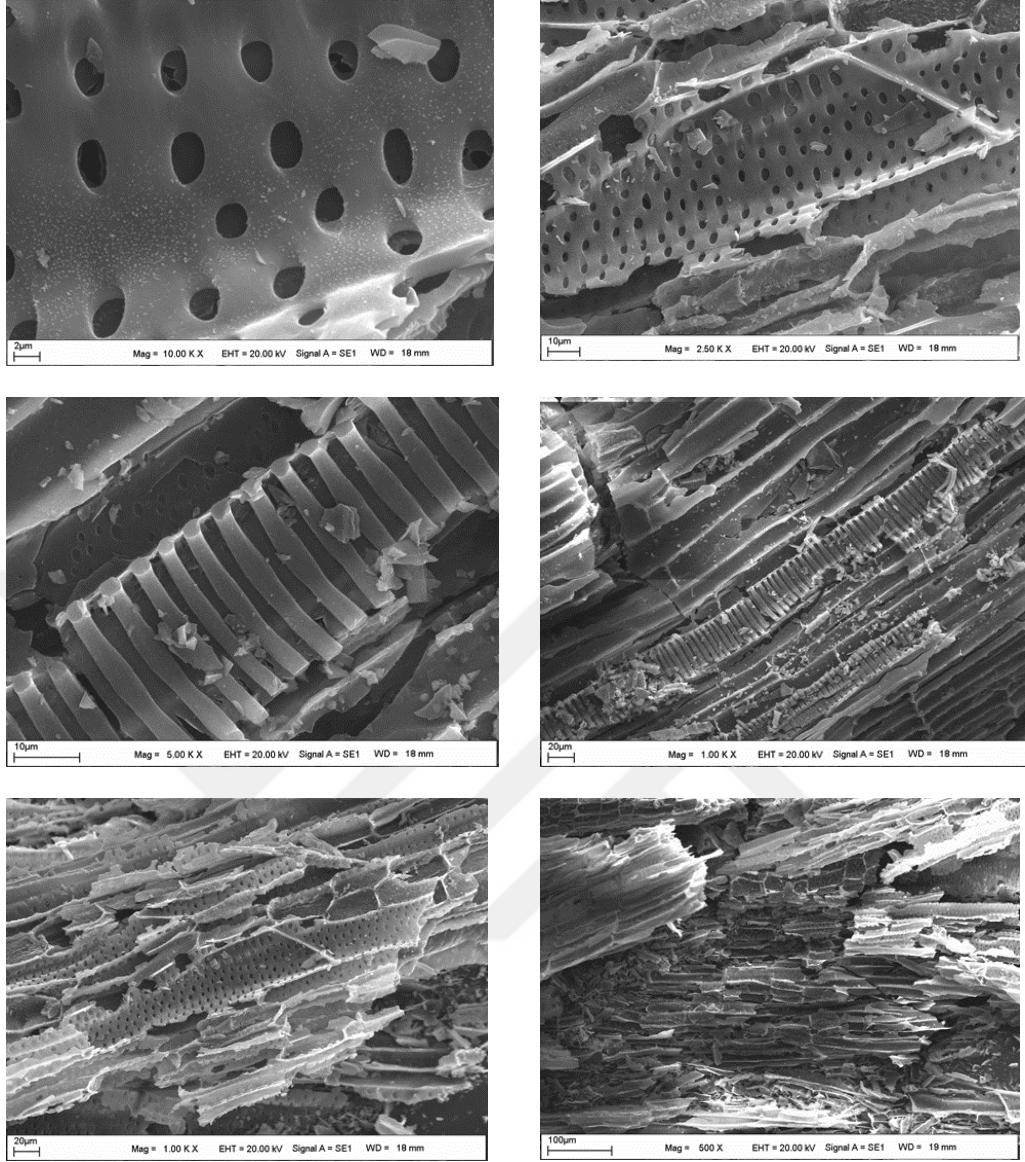
Biochar'ın büyüklüğü, şekli ve yapısı biochar morfolojisi bakımından önemli bir ölçüdür. Bu özellik genellikle biochar yüzey alanının bir yansıması olarak elde edilir ve piroliz sıcaklığı ve biyokütle çeşidine göre farklılık göstermektedir. Farklı biyokütlelerden 300 ve 500°C piroliz sıcaklıklarında elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de görülmektedir. Dört farklı biyokütleden elde edilen biochar'ların (BB, DB, MB ve KB) yüzey morfolojisinde büyük yapısal farklılıklar görülmektedir. Farklı materyallerin heterojen yüzeyleri, düzensiz şekillerdeki çatlakların varlığını göstermektedir.



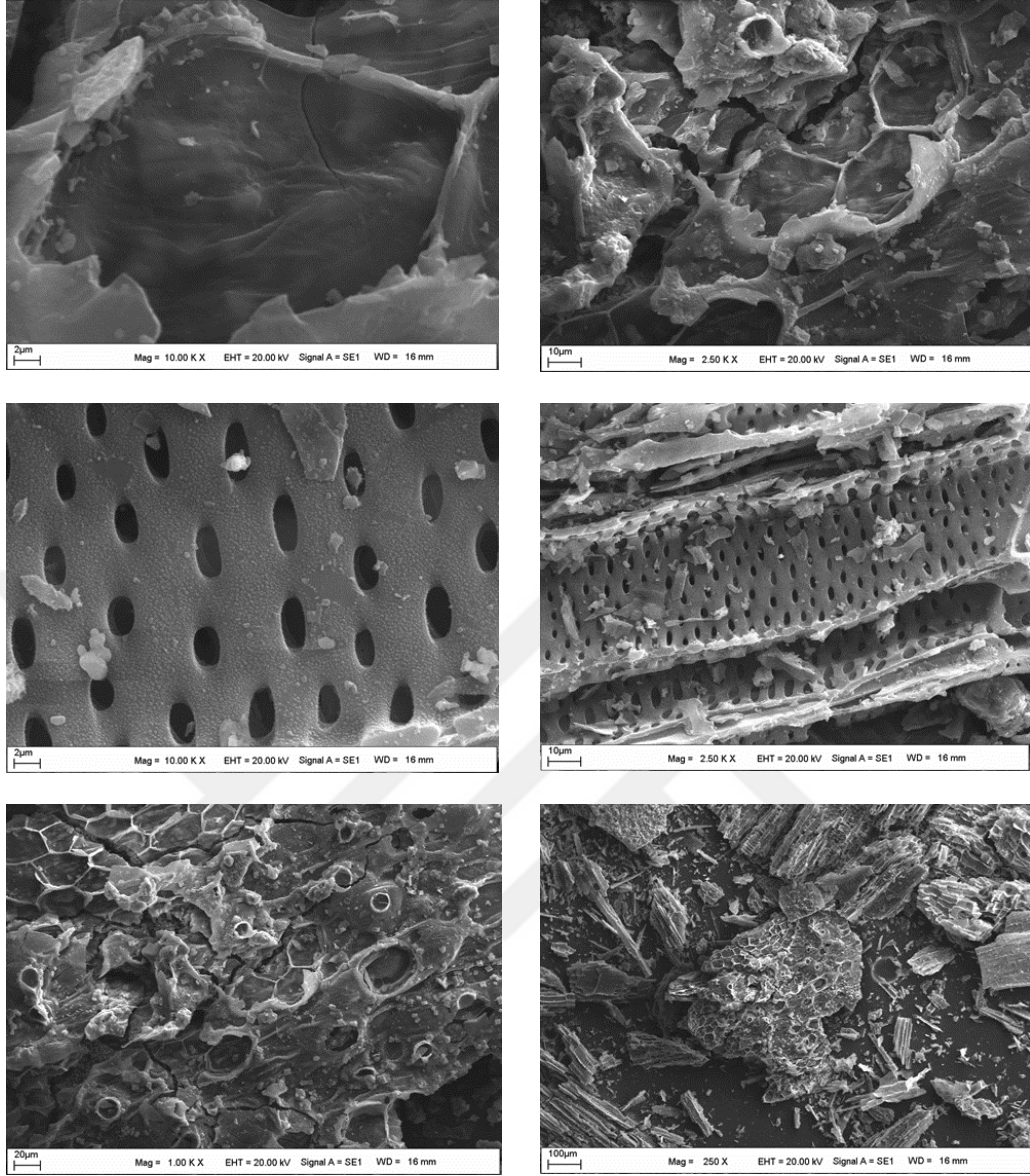
Şekil 4.1. Bağ budama atığının 300°C’deki yavaş pirolizinden elde edilen biochar’ın SEM görüntüleri



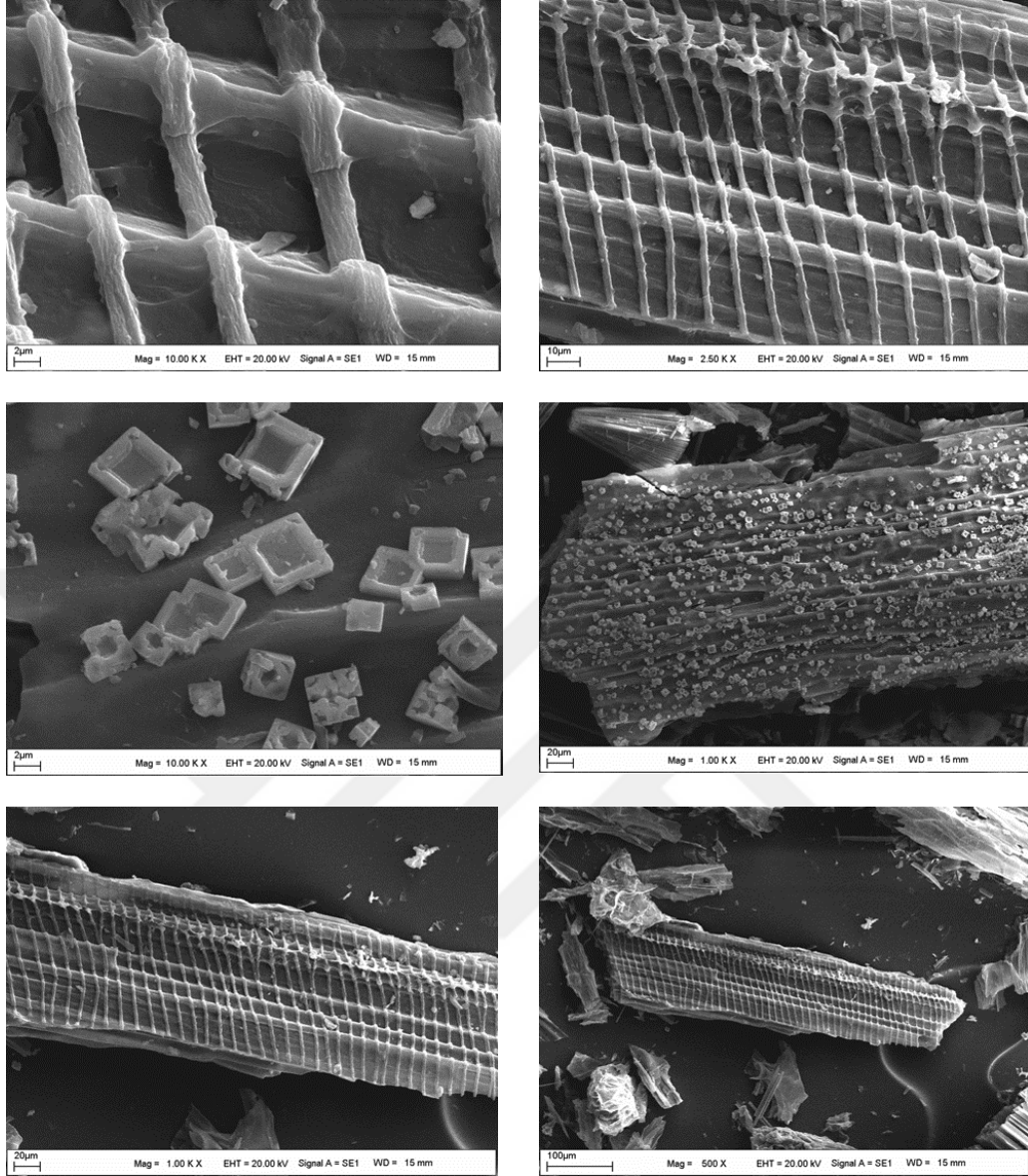
Şekil 4.2. Bağ budama atığının 500°C'deki yavaş pirolizinden elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri



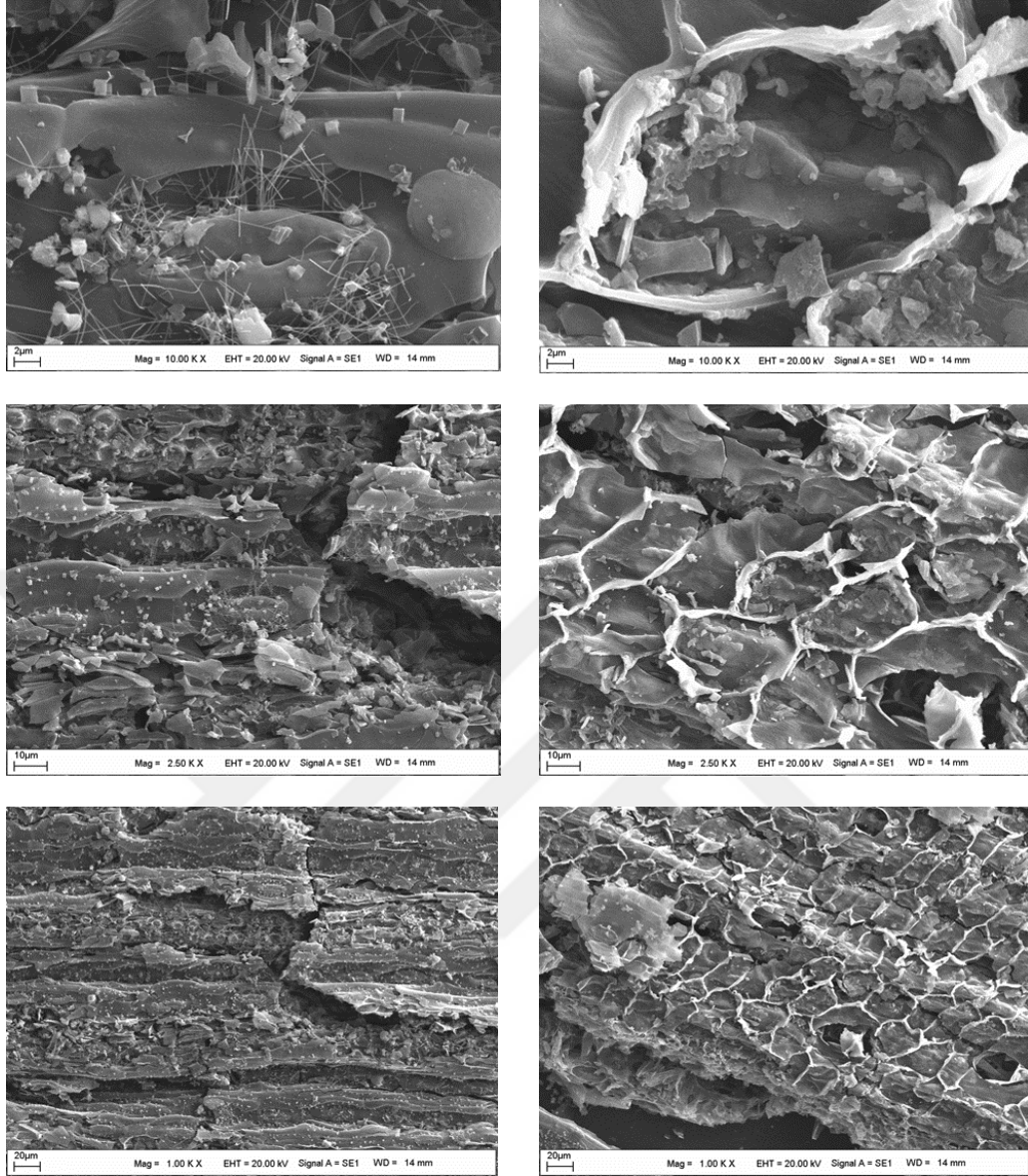
Şekil 4.3. Domates atığının 300°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri



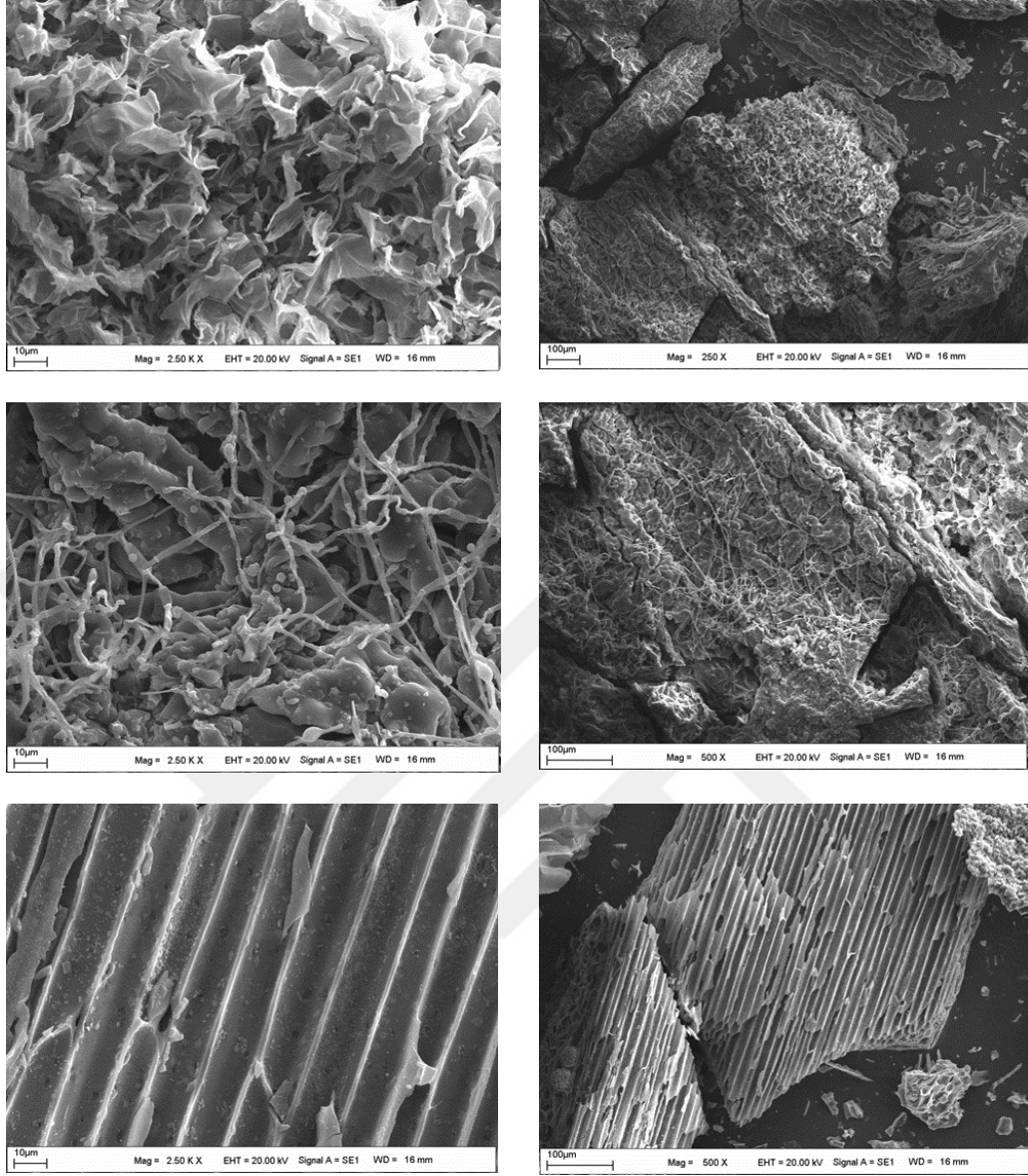
Şekil 4.4. Domates atığının 500°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri



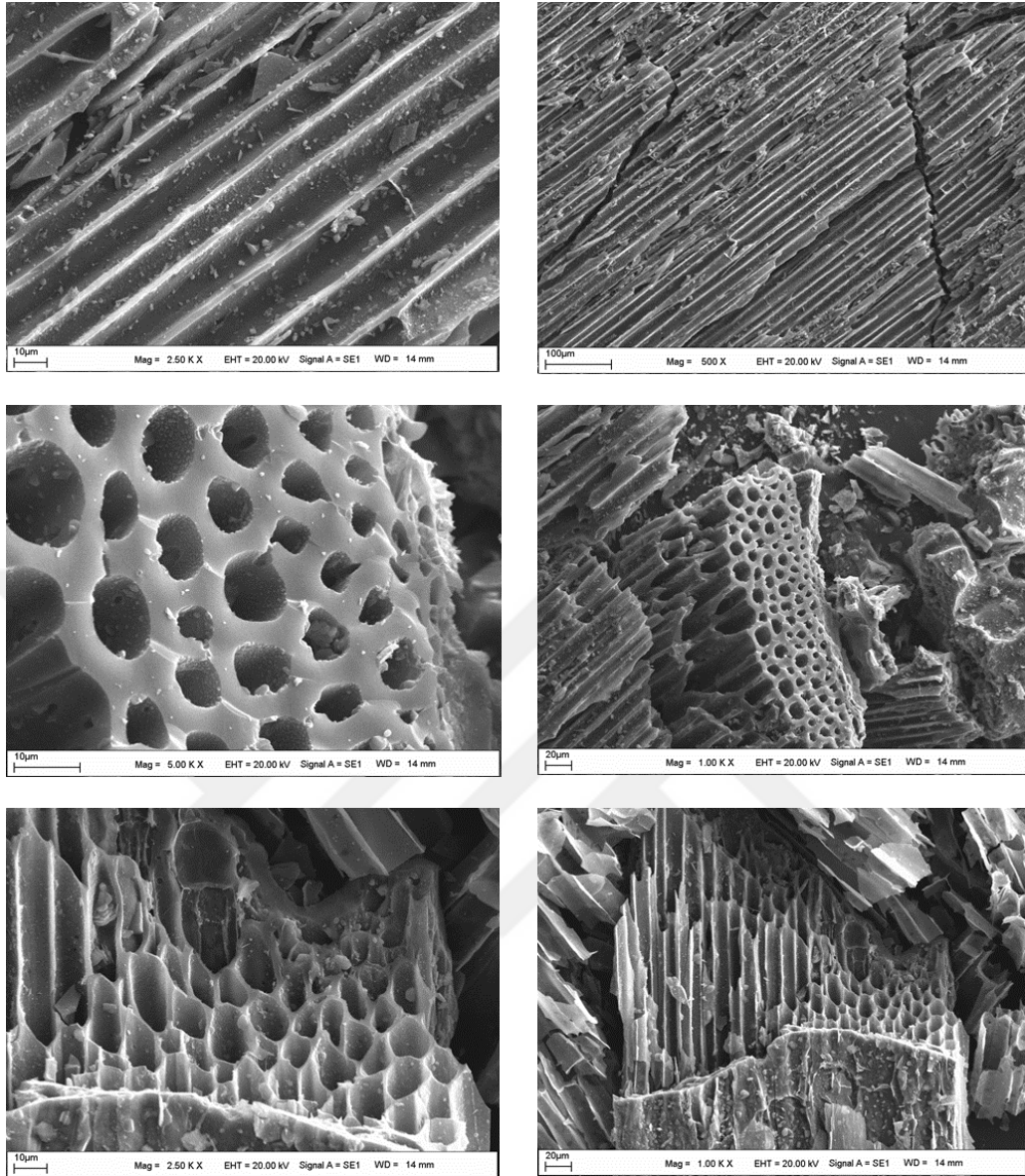
Şekil 4.5. Muz atığının 300°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri



Şekil 4.6. Muz atığının 500°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri



Şekil 4.7. Karanfil atığının 300 °C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri



Şekil 4.8. Karanfil atığının 500°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın SEM görüntüleri

4.3. Biochar Uygulamalarının Toprak Verimlilik Özellikleri Üzerine Etkisi

4.3.1. Biochar uygulamalarının toprağın pH'sı üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının toprakların pH'ları üzerine etkilerini dönem içi, dönemler arası ve bir dönem içinde benzer uygulamalar arasındaki istatistiksel sonuçlarını içeren analitik veriler Çizelge 4.7 ve 4.8'de 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.7. Biochar uygulamalarının toprak pH'sı üzerine etkisi¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değeri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	7.44	7.57AB ³	0.1218öd	7.44	7.57AB	0.1218öd
BB	7.22b	7.37aC	0.0198**	7.33	7.51BC	0.0569öd
DB	7.25b	7.50aB	0.0011***	7.33	7.45BC	0.0759öd
MB	7.45	7.53B	0.4245öd	7.30b	7.49aBC	0.0238*
KB	7.39b	7.63aA	0.0397*	7.25b	7.60aA	<.0001***
LSD	0.0859 öd	0.0002*** ²		0.3377öd	0.0077**	

1. Değerler 5 tekrür ortalamasıdır.
2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli
3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.8. Piroliz sıcaklık değerlerindeki farka bağlı olarak aynı biyokütleden elde edilen biochar uygulamalarının toprak pH'sı üzerine etkisinin karşılaştırılması¹

Uygulamalar	pH	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	7.44	7.57A
BB300	7.22	7.37B
BB500	7.33	7.51A
LSD Uyg	0.1139öd	0.0010** ²
KONTROL	7.44	7.57
DB300	7.25	7.50
DB500	7.32	7.45
LSD Uyg	0.0918öd	0.0792öd
KONTROL	7.44	7.57
MB300	7.45	7.53
MB500	7.30	7.49
LSD Uyg	0.3140öd	0.1324öd
KONTROL	7.44	7.57
KB300	7.38	7.62
KB500	7.25	7.60
LSD Uyg	0.1879öd	0.4066öd

1. Değerler 5 tekrür ortalamasıdır.
2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; **: %1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.7 incelendiğinde, 300°C biochar uygulaması neticesinde I. dönemdeki farklı uygulamaların toprağın pH'sı üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Aynı sıcaklığa ait II. dönem biochar uygulamasında ise pH üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.001$). 300°C piroliz sıcaklık değerinde kontrol ve MB uygulamaları dışındaki diğer uygulamalar ile toprağın pH değerlerinde dönemler arasında istatistiksel anlamda önemli farklılıklar bulunmuştur. Diğer taraftan 500°C biochar uygulamasında I. dönem de uygulamalar arasında farklı uygulama sonuçlarına bakıldığında toprağın pH'sı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmazken, II. dönem biochar uygulamasında pH üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.001$). Aynı piroliz sıcaklık değerindeki (300°C da) aynı materyallerin pH üzerine olan dönemler arası etkisi dikkate alındığında kontrol ve

muz biochar uygulamaları dışındaki tüm uygulamalar istatistiksel anlamlı bulunmuştur. Diğer taraftan aynı materyallerin 500°C sıcaklıktaki dönem arasındaki pH üzerine etkisi ise muz ve karanfil biochar uygulamaları dışındaki tüm uygulamalar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 4.8 incelendiğinde ise 300°C ve 500°C’de yavaş piroliz ile elde edilen biochar uygulanmalarının toprak pH’sı üzerine I. Dönemdeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. II. Dönemde yapılan uygulamaların pH üzerine etkisine bakıldığında ise yalnızca bağ budama (300°C ve 500°C) uygulaması istatistiksel olarak önemli bulunmuş diğer uygulamaların etkisi ise önemli bulunmamıştır.

İnkübasyon süresi (300 gün) sonrasında farklı sıcaklıklara maruz bırakılan ve farklı materyallerden elde edilen biochar’lar [bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)] uygulamalarının toprak pH’sı üzerine etkileri incelenmiş ve biochar’ın uygulanmasıyla toprağın pH seviyesini düşürmesini sağlanmıştır. Birçok uygulama ile istatistiksel anlamda önemlilik elde edilmese bile kontrol uygulamalarıyla kıyaslandığında toprağın pH değerlerinde hafif düşüş gözlenmiştir ve bu bulguya benzer bulgular bazı araştırmacılar tarafından da ortaya konulmuştur (Shenbagavalli ve Mahimairaja 2012). Biochar uygulamasının toprak pH’sı üzerindeki etkileri biochar hammadde türü ve piroliz süreci ile ilgilidir. Biochar’ın pH’sı ile muamele edilen toprağın pH’sı arasında önemli bir pozitif doğrusal ilişki vardır ve bazı araştırmacılar biochar alkalinitesinin asitli topraklar üzerindeki etkisini kontrol etmede anahtar bir faktör olabileceğini belirtmişlerdir (Yuan ve Xu 2011). Asidik topraklara biochar uygulandığında toprak pH’sı önemli ölçüde artabilir (Uzoma vd. 2011b; Jien ve Wang 2013). Streubel vd. (2011) tarafından, otsu biyokütleden elde edilen biochar’ların (9.4) ve odunsu biyokütleden elde edilen biochar’lardan (7.4) pH’sının ortalama 2 birim daha yüksek olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca otsu ve odunsu biyokütleden elde edilen biochar’lar toprağa uygulandığında muamele edilen toprakların pH’sı 0.4-0.8 ve 0.1-0.4 birim sırasıyla değiştirilmiştir.

4.3.2. Biochar uygulamaların toprağın elektriksel iletkenliği (EC) üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (domates atığı, muz plantasyon atığı, karanfil atığı ve bağ budama atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulanmalarının toprakların EC değeri üzerine etkilerini dönem içi, dönemler arası ve bir dönemin içindeki benzer uygulamalar arasındaki istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.9 ve 4.10’da 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.9. Biochar uygulamalarının toprağın EC değeri üzerine etkisi (dS m^{-1})¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değerleri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	1.041	0.482aC ³	0.082öd	1.041	0.485B	0.0829öd
BB	1.541a	0.518bBC	0.026*	1.389a	0.488bB	0.0131*
DB	1.841a	0.868bA	0.028*	1.623	0.893A	0.1120öd
MB	1.022a	0.680bB	0.026*	1.658	0.794A	0.1588öd
KB	1.492	0.655aB	0.0852öd	2.257a	0.783bA	0.0022**
LSD	0.3612öd	0.0005*** ²		0.2798öd	0.0006**	

1 Değerler 5 tekrerrüt ortalamasıdır.

2 Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

3 Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.10. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın EC değeri üzerine etkisi ¹

Uygulamalar	EC (dS m^{-1})	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	1.0414	0.4828
BB300	1.5416	0.5184
BB500	1.3899	0.488
LSD Uyg	0.5285öd	0.8757öd
KONTROL	1.0414	0.4828B
DB300	1.8416	0.8680A
DB500	1.6230	0.8936A
LSD Uyg	0.2797öd	0.0035**
KONTROL	1.0414	0.4828B
MB300	1.0226	0.6806A
MB500	1.6584	0.7948A
LSD Uyg	0.3960öd	0.0150*
KONTROL	1.0414	0.4828B
KB300	1.4924	0.6556A
KB500	2.2576	0.7834A
LSD Uyg	0.0821öd	0.0025*** ²

1 Değerler 5 tekrerrüt ortalamasıdır.

2 Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.9 incelendiğinde, 300°C farklı biochar uygulamalarının toprağın EC değeri üzerine etkisine bakılacak olursa farklı uygulamaların I. dönemdeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Aynı piroliz sıcaklığına ait biochar'ların II. Dönemdeki etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.001$). 300°C piroliz sıcaklık değerindeki aynı materyallerin dönemler arasındaki EC üzerine etkisi ise kontrol ve KB uygulamaları dışında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). 500°C piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarının toprağın EC değeri üzerine I. dönem deki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmazken, II. dönemdeki etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0.001$). 500°C sıcaklıktaki benzer biochar'ların EC üzerine dönemler arasındaki etkisi incelendiğinde

BB ve KB biochar'ları haricindeki tüm uygulamaların etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 4.10 incelendiğinde ise aynı materyalden 300°C ve 500°C'deki pirolizinden elde edilen biochar uygulanmalarının I. dönemdeki toprağın EC değeri üzerine etkisi hiçbir biochar uygulamasında istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır. Aynı uygulamaların II. Dönemdeki etkisinde ise bağ budama (300°C ve 500°C) uygulaması dışındaki tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. İnkübasyon (300 gün) süresi sonrasında farklı sıcaklıklara (300°C ve 500°C) maruz bırakılan ve farklı materyallerden elde edilen biochar [bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)] uygulamalarının toprak EC değeri üzerine etkisinde her iki piroliz sıcaklık değerine sahip biochar'ın I. Dönemdeki toprağın EC değerlerinde daha yüksek değerler meydana getirmiş araştırmanın II. Döneminde ise toprağın EC değerlerinde azalma gözlenmiştir. 300°C ve 500°C'deki yavaş pirolizi ile elde edilen biochar'ın toprağa uygulanması ile toprağın II. Dönemdeki EC değerlerinin I. dönemin EC değerlerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre toprağın EC değerlerine bağlı olarak tuzsuz olduğu belirlenmiştir (Soil Survey Staff 1951). Genel anlamda her iki dönemde gerçekleştirilen biochar uygulamalarıyla toprağın EC değerlerinde kontrole göre bir artış meydana geldiği ve bu sonucun Rajesh Chintala vd. (2014) tarafından yapılan çalışmayla da uyumlu olduğu belirlenmiştir.

4.3.3. Biochar uygulamaların toprağın katyon değişim kapasitesi (KDK) üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (domates atığı, muz plantasyon atığı, karanfil atığı ve bağ budama atığı) farklı sıcaklık değerlerindeki (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulanmalarının toprakların KDK üzerine dönem içindeki, dönemler arasındaki ve benzer uygulamaların dönem içindeki etkilerine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.11 ve 4.12'de 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.11. Biochar uygulamaların toprağın KDK üzerine etkisi (me 100gr⁻¹)¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değeri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	7.49B ³	7.31	0.7489öd	7.79C	7.31ABC	0.7489öd
BB	9.75aA	7.90b	0.0081**	10.07aA	7.53bAB	0.0049**
DB	9.87aA	7.50b	0.0049**	8.40aBC	6.61bBC	0.0027**
MB	8.87aA	6.81b	0.0021**	8.99aB	6.20bC	0.0004***
KB	7.51B	7.10	0.6083öd	8.90aB	8.04bA	0.0487*
LSD	0.0005*** ²	0.4784öd		0.0008***	0.0153*	

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.12. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamaların toprağın KDK değeri üzerine etkisi (me 100gr⁻¹)¹

Uygulamalar	KDK	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	7.49B ²	7.31
BB300	9.75A	7.90
BB500	10.07A	7.53
LSD Uyg	0.0019**	0.5794öd
KONTROL	7.49B	7.31
DB300	9.87A	7.50
DB500	8.40B	6.61
LSD Uyg	0.0004***	0.3610öd
KONTROL	7.49B	7.31
MB300	8.87A	6.81
MB500	8.99A	6.20
LSD Uyg	0.0221*	0.1085öd
KONTROL	7.49B	7.31
KB300	7.51B	7.098
KB500	8.904A	8.04
LSD Uyg	0.0251*	0.35110öd

1. Değerler 5 tekrerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. Öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.11 incelendiğinde, 300°C deki piroliz ile elde edilen biochar uygulamalarının I. dönemdeki toprağın KDK üzerine etkisinin istatistiksel anlamlı olduğu ($p<0.001$) görülmüştür. Aynı sıcaklığa ait II. dönem biochar uygulamalarının KDK üzerine etkisi ise istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır. Diğer taraftan aynı materyal ve piroliz sıcaklığı dikkate alındığında KDK üzerine etki bakımından her iki dönem arasında kontrol ve KB uygulamaları dışında istatistiksel anlamda önemlilik görülmektedir ($p<0.01$). 500°C deki yavaş piroliz ile elde edilen biochar uygulamalarının I. dönem deki toprağın KDK değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.001$). Benzer şekilde II. dönem biochar uygulamalarının toprağın KDK üzerine etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Dönemler arasındaki etkiler dikkate alındığında 300°C sıcaklıktaki aynı materyalin etkisi dikkate alındığında kontrol ve KB uygulama dışında tüm uygulamaların KDK üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. 500°C sıcaklık da elde edilen aynı materyallerin KDK üzerine etkisi iki dönem arasında kontrol dışında istatistiksel olarak tüm uygulamalar tarafından anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 4.12 incelendiğinde aynı materyallerin 300°C ve 500°C'deki pirolizinden elde edilen biochar'ın toprağa uygulanmasıyla I. dönem istatistiksel analiz sonucuna göre uygulanan tüm materyallerin toprak KDK'sı üzerine etkisi önemli bulunmuştur. Bunun aksine uygulamaların II. Dönemdeki etkisi ise hiçbir uygulamada istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır. İnkübasyon (300 gün) süresi sonrasında farklı sıcaklıklara (300°C ve 500°C'de) maruz bırakılan ve farklı materyallerden elde edilen biochar [(bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)] uygulamalarının toprak KDK'sı üzerine etkileri dönem içinde ve iki dönem arasında düşük kalmıştır. Her iki dönemde toprağın KDK değerleri 11 me 100gr⁻¹ altındadır. Bu sonucun denemede kullandığın toprak kilin

tipinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ancak diğer taraftan biochar'ın yüzey alanı ve gözenek yapısına bağlı olarak biochar uygulaması yapılan toprağın KDK değerlerinde rakamsal olarak ciddi artış beklenmektedir (Jeffery vd. 2001; Cheng vd. 2008). Çalışmamızda bazı uygulamalarla birlikte ikinci dönemdeki KDK değerlerinin I. dönemdeki KDK değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

300°C'deki piroliz sıcaklık değerleri dikkate alınarak iki dönem arasındaki toprak KDK değerleri incelendiğinde, en yüksek KDK değerinin DB (9.87 me 100g⁻¹) olup ve en düşük ise MB (6.81 me 100g⁻¹) uygulamalarıyla elde edildiği görülmüştür. Diğer taraftan 500°C'deki piroliz sıcaklık değeri dikkate alındığında en yüksek KDK değeri BB (10.07 me 100g⁻¹) uygulaması ile elde edilmiş olup en düşük ise MB (6.20 me 100g⁻¹) uygulaması ile elde edilmiştir.

Genel anlamda incelendiğinde 300°C ve 500°C'de elde edilen biochar'ın toprağa uygulandığında I. dönemdeki KDK değerlerinde kontrole göre bir artış sağladığı gözlenmiştir. Yapılan bir çalışmada, zeytin pirinasından elde edilen biochar'ın kumlu killi tınlı tekstüre sahip toprağa uygulanmış ve zeytin pirinasından elde edilen biochar'ın toprağın katyon değişim kapasitesi (KDK) değerinde %5'lik bir artış sağladığı ifade edilmiştir (Torun 2018). Literatürdeki benzer çalışmalarda da biochar'ın toprağa uygulamasıyla toprağın KDK'sının önemli düzeyde arttığı rapor edilmektedir (Lehmann ve Rondon 2006; Rondon vd. 2007; Peng vd. 2011).

4.3.4. Biochar uygulamalarının toprağın agregat oluşumu üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı, v karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının toprakların agregat büyüklük dağılımı üzerine dönem içindeki, dönemler arasındaki ve dönem içinde benzer uygulamalar arasındaki etkilerine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.13 ve 4.14'te 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.13. Biochar uygulamalarının toprağın agregat oluşumu üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Agregat Büyüklük Sınıfları (mm)											
	>4		4-2		2-1		1-0.5		0.5-0.25		0.25-0.050	
	I. Dönem	II. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	I. Dönem	II. Dönem
BB300	53.80A	55.82BC ³	9.89bB	13.39aB*	4.13bB	8.19aB***	5.08bB	8.81aA***	5.92B	4.99	15.41aBC	6.17bAB***
DB300	30.90bB***	49.83aC***	14.58A	15.67A	8.14bA	10.43aA*	8.58A	9.87A	9.02aA	4.72b***	19.28aA	6.19bAB***
MB300	52.14A	56.73B	9.16bB	11.40aC*	4.30bB	7.93aB**	5.73bB	8.50aA*	6.56B	5.44	16.41aABC	6.86bA***
KB300	45.60bA	57.84aB**	11.08B	11.98BC	4.22bB	7.46aB**	5.84bB	7.91aA*	7.05aAB	5.13b**	17.71aAB	6.67bA***
Kontrol	54.53bA*	67.87aA*	10.64B	9.70D	4.92B	5.39C	5.54B	5.94B	6.13aB	3.90b*	13.27aC	5.02bB***
LSD	0.0005*** ²	0.0001***	0.0005***	<.0001***	<.0001***	0.0002***	0.0017***	0.0066***	0.0324*	0.1291öd	0.0230*	0.0528*
BB500	55.25A	57.58B	10.85B	12.45AB	4.52bB	8.25aA***	5.57bB	8.58aA*	6.33B	4.89A	13.56aB	5.64bBC***
DB500	38.95BC	50.17C	14.50A	15.13A	6.24bA	9.85aA***	6.89bB	9.63aA*	8.30aAB	5.04bA*	17.84aA	7.02bA***
MB500	34.95C	55.94BC	12.41B	12.25AB	7.36A	7.92A	9.49A	8.46A	9.68aA	5.30bA***	17.78aA	6.88bA***
KB500	46.14A	55.81BC	7.68bC	12.89abA**	4.31bB	8.17aA***	5.52bB	8.31aA***	7.40AB	4.98A	20.28aA	6.63bAB***
Kontrol	54.53A	67.87A	10.64B	9.70B	4.92B	5.39B	5.54B	5.59B	6.13aB	3.90bB*	13.27aB	5.02bC***
LSD	0.0022**	0.0002**	<.0001***	0.0208*	0.0001***	0.0046***	0.0009***	0.0012***	0.0561*	0.0122*	0.0039**	0.0065**

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.14. Farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın agregat oluşumu üzerine etkisinin karşılaştırılması (%)¹

Uygulamalar	Agregat Büyüklük Sınıfları (mm)											
	>4		4-2		2-1		1-0.5		0.5-0.25		0.25-0.050	
	I. Dönem	II. Donem	I. Dönem	II. Donem	I. Dönem	II. Donem	I. Dönem	II. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	54.53	67.87A	10.64	9.70B	4.92	5.39B	5.54	5.59B	6.13	3.30	13.27	5.02
BB300	53.798	55.82B	9.89	13.39A	4.13	8.19A	5.08	8.61A	5.92	4.99	15.41	6.17
BB500	55.248	57.58B	10.85	12.45A	4.52	8.25A	5.57	5.58A	6.33	4.89	13.52	5.64
LSD	0.9636öd	0.009**	0.6424öd	0.0224*	0.4025öd	0.0167*	0.7899öd	0.0175*	0.9256öd	0.1034öd	0.3683öd	0.0984öd
KONTROL	54.53A ²	67.87A	10.64B	9.70B	4.92B	5.39B	5.54B	5.59B	6.13	3.90B	13.27B	5.02B
DB300	30.90B	49.83B	14.58A	15.67A	8.14A	10.43A	8.58A	9.87A	9.02	4.72A	19.28A	6.19AB
DB500	38.95B	50.17B	14.50A	15.12A	6.24A	9.85A	6.89AB	9.63A	8.30	5.04A	17.84A	7.02A
LSD	0.0026**	<.0001***	0.0020**	<.0001***	0.0013**	<.0001***	0.0241*	0.0005***	0.0983öd	0.0246*	0.0208*	0.0130*
KONTROL	54.53A	67.87A	10.64AB	9.70	4.92B	5.39B	5.54B	5.59B	6.13B	3.90B	13.27B	5.02B
MB300	52.14A	56.73B	9.16B	11.40	4.30B	7.93A	5.73B	8.50A	6.56B	5.44A	16.41AB	6.86A
MB500	34.95B	55.94B	12.41A	12.25	7.36A	7.94A	9.49A	8.46A	9.68A	5.30A	17.78A	6.88A
LSD	0.0064**	0.0006***	0.0222*	0.0829öd	0.0007***	0.0220*	0.0009***	0.0075**	0.0070**	0.0247*	0.0326*	0.0366*
KONTROL	54.53	67.87A	10.64A	9.70B	4.92	5.39B	5.54	5.59B	6.13	3.90B	13.27B	5.02B
KB300	54.60	57.84B	11.08A	11.98AB	4.22	7.46A	5.84	7.91A	7.05	5.13A	17.71A	6.67A
KB500	46.41	55.81B	7.68B	12.89A	4.31	8.17A	5.52	8.31A	7.40	4.98A	20.28A	6.63A
LSD	0.2481öd	0.0021**	0.0119*	0.0420*	0.5816öd	0.0084**	0.9205öd	0.0011**	0.5133öd	0.0260*	0.0110*	0.0064**

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.13 incelendiğinde, farklı sıcaklık değerlerinden (300 ve 500°C) elde edilen biochar materyallerinin toprağa uygulanmasıyla I. ve II. dönemdeki topraktaki agregat oluşumu üzerine etkisi bütün agregat boyutunda istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur

Çizelge 4.14 incelendiğinde ise aynı materyalden 300°C ve 500°C’de elde edilen biochar uygulamalarının agregat oluşumu üzerine etkisi >4mm sahip agregatlarda I. dönemde BB ve KB dışındaki tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. II. dönem uygulamalarına bakıldığında ise tüm uygulamalarda istatistiksel olarak anlamlılık bulunmuştur. Uygulamaların 4-2 mm agregat boyutu üzerine etkisinin I. dönemdeki etkisinde BB dışındaki tüm uygulamalarda istatistiksel önemlilik bulunurken, II. dönem uygulamalarına bakıldığında MB dışında tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemlilikler bulunmuştur. Uygulamaların 2-1 mm boyutlu agregatların oluşumu üzerine I. dönemdeki etkisinde BB ve KB dışındaki tüm uygulamalarda istatistiksel önemlilikler bulunmuştur. Uygulamaların II. dönem etkileri ise tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Biochar uygulamalarının 1-0.5 mm boyutlu agregatlardaki agregat oluşumu üzerine etkisi I. dönemde BB ve KB dışında tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemlilikler bulunmuştur. II. Dönemde ise tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Biochar uygulamalarının 0.5-0.25 mm boyutlu agregat üzerine etkisi I. dönemde MB dışındaki tüm uygulamalarda II. Dönemde ise BB dışındaki tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Bununla birlikte uygulamaların 0.25-0.05 mm boyutlu agregatlar üzerine etkisi her iki dönemde de BB dışında tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

Özetle 300 günlük bir inkübasyon süresi sonrasında farklı sıcaklıklara maruz bırakılan ve farklı materyallerden elde edilen biochar (bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)) uygulamalarının toprağın agregat oluşumu üzerine etkisinde özellikle makro (4-2, 2-1 mm) ve mezo (1-0.50, 0.5-0.25) boyutlu agregatlarda ikinci dönemde olmak üzere, mikro boyuta sahip agregatlarda (0.25-0.050) kontrole göre önemli düzeyde artış meydana getirmiştir.

Liu vd. (2012) farklı tekstür (Dark Loessial: siltli tın; Loessal soil ve Shahuang kumlu tın) sahip olan toprak üzerinde saksı denemesi olarak gerçekleştirdikleri çalışmada, dört farklı oranda (0, 4, 8 ve 16 g kg⁻¹) gerçekleştirilen biochar uygulamasının toprağın agregat oluşumu üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada, 11 aylık bir inkübasyon sonrasında, biochar uygulamasının sadece Dark Loessial toprağın agregat oluşumu üzerine etkili olduğu ancak Loessal soil ve Shahuang toprak tipinde agregat oluşumu üzerine önemli bir etkisinin tespit edilmediği bildirilmiştir.

Ouyang vd. (2013) tarafından süt atıklardan elde edilen biochar %2 (a/a kuru ağırlık bazında) düzeylerinde olmak üzere siltli kil ve kumlu tın tekstürlü toprağa uygulanmış ve 90 günlük bir inkübasyonun ardından kontrole göre toprağın agregat oluşumunda önemli düzeyde artış sağlandığı bildirilmiştir. Benzer çalışmada Hseu vd. (2014) 168 günlük inkübasyon süresi sonunda biochar uygulamalarının toprağın makro agregat oluşumunu arttırdığı bildirilmiştir.

Zhang vd. (2017) tarafından 16 ton ha⁻¹ oranında biochar uygulamasının Çin'in Loess Platosu'ndaki toprak makro agregatlarının (>2000 µm) oranı artırdığı bildirilmiştir. Ancak 8 ton ha⁻¹ oranında gerçekleştirilen hiçbir biochar'ın uygulamasının agregat oluşumu üzerine olumlu bir etkisinin gözlenmediği elde edilen bu sonucunda uygulanan biochar miktarına bağımlılığı olarak geliştiği bildirilmiştir. Ayrıca, biochar'ın uygulamalarının siltli kil topraklara göre kumlu topraklarda agregat stabilitesini üzerine daha etkili olduğu belirtilmiştir (Ouyang vd. 2013; Burrell vd. 2016). Blanco-Canqui (2017) tarafından, literatürde biochar uygulamalarının kuru agregat stabilitesi üzerine değişik etkileri olup, bazı toprak türlerinde kuru agregat stabilitesinde artış gösterilirken, diğer toprak kategorilerinde ise biochar'ın etkisinin olamayabileceği belirtilmiştir.

Sun vd. (2020) tarafından, yapılan bir saha deneyinde dört farklı oranda B0, B30, B60 ve B90 ton ha⁻¹ biochar toprağa uygulandığında topraktaki agregat oluşumu ve topraktaki n-SOC içeriği farklı agregat boyutlarında incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre uygulanan biochar'ın oranı artınca topraktaki agregaların (2000-1000 µm) oranında da artış sağlandığı ifade edilmiştir. Bu konuda yapılan birçok çalışmada da biochar uygulamasının toprak agregatlarının oluşumu ve agregatlarının stabilitesi üzerindeki etkisine dair farklı sonuçlar bildirilmiştir (Sun ve Lu 2014; Blanco-Canqui vd. 2017; Wang vd. 2017; Zhang vd. 2017; Baiamonte vd. 2019).

4.3.5. Biochar uygulamaların toprağın agregat stabilitesi üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının toprakların agregat stabilitesi üzerine etkilerini gösteren dönem içi, dönemler arası ve dönem içi benzer uygulamalar arasındaki istatistikî sonuçlar Çizelge 4.15 ve 4.16'da 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.15. Biochar uygulamaların toprağın agregat stabilitesi üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Agregat Büyüklük Sınıfları (mm)					
	2-1			0.25-0.050		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
BB300	12.49aBC ³	6.19b	0.0052**	87.12bB	93.21a	<.0001***
DB300	16.60aA	3.66b	<.0001***	83.08bC	95.61a	<.0001***
MB300	12.97aB	3.80b	<.0001***	86.96bB	95.30a	<.0001***
KB300	11.46aCD	5.08b	0.0002***	88.20bAB	94.79a	0.0033**
Kontrol	10.21aD	8.09b	0.0485*	89.05bA	91.32a	0.0069**
LSD	<.0001*** ²	0.0966öd		<.0001***	0.0600öd	
BB500	12.28aB	5.03bABC	0.0067**	87.68bA	94.16aBC	0.0033**
DB500	15.31aA	2.23bC	<.0001***	84.52bB	97.38aA	<.0001***
MB500	12.27aB	3.71bBC	<.0001***	87.72bA	95.52aAB	<.0001***
KB500	11.79aBC	6.63bAB	<.0001***	88.06bA	92.74aCD	0.0007***
Kontrol	10.21aC	8.09bA	0.0485*	89.05bA	91.32aD	0.0069**
LSD	<.0001***	0.0063**		0.0042**	0.0011**	

1. Değerler 5 tekerrür ortalaması.
2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli
3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.16. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamaların toprağın agregat stabilitesi üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Agregat Büyüklük Sınıfları (mm)			
	2-1		0.25-0.050	
	I. Dönem	II. Dönem	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	10.21B ²	8.09	89.05A	91.32
BB300	12.49A	6.19	87.12B	93.21
BB500	12.28A	5.03	87.68AB	94.16
LSD Uyg	0.0302*	0.3674öd	0.0410*	0.1537öd
KONTROL	10.21C	8.09A	89.05A	91.32B
DB300	16.60A	3.66B	83.08B	95.61A
DB500	15.31B	2.23B	54.54B	97.38A
LSD Uyg	<.0001***	0.0162*	0.0011**	0.0010**
KONTROL	10.21B	8.09A	89.05A	91.32B
MB300	12.97A	3.80B	86.96B	95.30A
MB500	12.27A	3.71B	87.72AB	95.52A
LSD Uyg	0.0172*	0.0005***	0.0478*	0.0032**
KONTROL	10.21B	8.09A	89.05	91.32
KB300	11.46B	5.08B	88.20	94.79
KB500	11.79A	6.63AB	88.06	92.74
LSD Uyg	0.0451*	0.0300*	0.3204öd	0.0852öd

1. Değerler 5 tekrerrüt ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.15 incelendiğinde, aynı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen farklı biochar uygulamalarının agregat stabilitesi üzerine etkisi 2-1 mm boyuta sahip agregatlarda I. dönemde tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p<0.001$). Uygulamaların II. dönem etkisi ise 300°C’de elde edilen biochar uygulamalarının etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmazken, 500°C’de elde edilen biochar uygulamalarının stabilitesi üzerine etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Aynı sıcaklık değerine sahip farklı biochar uygulamalarının 2-1 mm boyuta sahip olan agregatlardaki agregat stabilitesi üzerine etkisinde dönem arasında istatistiksel olarak tüm uygulamalarda farklı düzeylerde önemli bulunmuştur.

Benzer piroliz sıcaklık değerlerine sahip farklı biochar uygulamalarının 0.25-0.050 mm boyutlu agregatların stabilitesi üzerine etkisi I. dönemde tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda farklı düzeylerde önemli bulunmuştur. Uygulamaların II. dönemdeki etkisi ise 300°C’de elde edilen biochar’ların etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmazken, 500°C’de elde edilen biochar’ların etkisi $p<0.01$ düzeyinde istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Benzer piroliz sıcaklık değerine sahip farklı biochar uygulamalarının 0.25-0.050 mm boyutlu agregatların stabilitesi üzerine dönemler arasındaki etkisi dikkate alındığında tüm uygulamalarda farklı düzeylerde önemli bulunmuş ve uygulamaların toprağın agregat stabilitesinde II. Dönemde artış meydana getirdiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.16 incelendiğinde ise farklı piroliz sıcaklık değerlerinde (300°C ve 500°C’de) elde edilen benzer biochar uygulamalarının agregat stabilitesi üzerine etkisi 2-1 mm boyutlu agregatlarda I. dönemde istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Uygulamaların II. dönemdeki etkisine bakıldığında ise BB300 ve BB500 uygulamaları

dışındaki tüm uygulamalarda agregat stabilitesi üzerine etki bakımından istatistiksel anlamda önemlilik tespit edilmiştir. Diğer taraftan uygulamaların 0.25-0.050 mm boyutlu agregatlardaki etkisi ise KB uygulamasının her iki dönemdeki BB uygulamasının II. dönemi dışındaki tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemlilik bulunmuştur.

Çalışmanın inkübasyon (300 gün) suresi sonrasında farklı piroliz sıcaklık değerine sahip benzer biochar (bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)) uygulamalarının agregat stabilitesi üzerine etkisinde, biochar uygulamalarının I. dönem makro boyuttaki (2-1 mm) agregatların stabilitesi tüm uygulamalarda kontrole göre artış sağlanırken II. dönemde azalma meydana gelmiştir. Diğer taraftan, biochar uygulamalarının mikro boyuttaki (0.25-0.050 mm) agregatların stabilitesi üzerine I. dönemdeki etkisi tüm uygulamalarda kontrole göre artışla sonuçlanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlara benzer sonuçlar literatürde tespit edilen bazı çalışmalarda da rastlanmıştır (Peng vd. 2011; Liu vd. 2014; Sun ve Lu 2014).

Liu vd. (2012) gerçekleştirildiği çalışmada Loess Platosu'ndaki bulunan dört farklı toprak türlerine biochar uygulandığında siltli tın tekstüre sahip olan toprakların (Dark Loessial ve Lou) suya dayanıklı agregat içeriğinin arttığı bildirilmiştir. Burrell vd. (2016) saman, odun ve bağ budama biochar'larının toprağa uygulanmasıyla samandan elde edilen biochar'ın odun ve bağ budama biochar'larına göre toprak agregat stabilitesi üzerine daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Ouyang vd. (2013) tarafından, süt atıklardan elde edilen biochar %2 (a/a kuru ağırlık bazında) düzeylerinde olmak üzere siltli kil ve kumlu tın tekstürlü toprağa uygulanmış ve 90 günlük bir inkübasyonun ardından kumlu topraktaki agregat stabilitesi değerlerinin arttığı bildirilmiştir.

Diğer taraftan, Hartley vd. (2016) farklı sıcaklık derecelerinde (430-440°C) elde edilmiş biochar'ın 12 aylık inkübasyonu sonrasında kumlu tekstüre sahip toprağın makro agregat stabilitesini baskın bir şekilde etkilediğini belirtmişlerdir. Literatürdeki çok sayıdaki çalışmada biochar'ın toprağa uygulanmasıyla toprağın agregat stabilitesinin arttığı rapor edilmiştir (Enders vd. 2012; Jien ve Wang 2013; Liu vd. 2014; Zhang vd. 2015; Obia vd. 2016;).

4.3.6. Biochar uygulamalarının toprağın makro (2-1 mm) ve mikro (0.25-0.050 mm) boyuta sahip agregatların organik karbon kapsamı üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının toprakların makro ve mikro boyutlu agregatların organik karbon kapsamı üzerine dönem içi, dönemler arası ve dönem içindeki benzer uygulamalar arasındaki etkilerine ait istatistiki sonuçlar Çizelge 4.17 ve 4.18'de 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.17. Biochar uygulamalarının toprağın makro (2-1 mm) ve mikro (0.25-0.050 mm) agregatların organik karbon kapsamı üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Agregatlar											
	2-1 mm						0.25-0.050 mm					
	300°C			500°C			300°C			500°C		
	I. Dönem	II.Dönem	LSD	I. Dönem	II.Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	0.262B ³	0.292C	0.4690öd	0.262	0.292	0.4690öd	0.290a	0.248bD	0.0043**	0.290A	0.248B	0.0043**
BB	0.286bAB	0.382aBC	<.0001***	0.232b	0.336a	0.0010**	0.286b	0.482aC	<.0001***	0.226bAB	0.352aB	0.0020**
DB	0.242bB	0.440aAB	<.0001***	0.242b	0.364a	0.0238*	0.262b	0.716aAB	<.0001***	0.224bAB	0.494aA	0.0002***
MB	0.322bA	0.410aBC	0.0235*	0.260	0.328	0.0631öd	0.350b	0.650aB	<.0001***	0.254bAB	0.496aA	0.0032**
KB	0.262bB	0.568aA	0.0102*	0.196	0.294	0.1797öd	0.312b	0.740aA	<.0001***	0.178B	0.290B	0.0745öd
LSD	0.0494* ²	0.0051**		0.4682öd	0.5147öd		0.0792öd	<.0001***		0.0560*	<.0001***	

1. Değerler 5 tekrür ortalamasıdır.
2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli
3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.18. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın makro (2-1 mm) ve mikro (0.25-0.050 mm) agregatların organik karbon üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Agregatlar (mm)			
	2-1		0.25-0.050	
	I. Dönem	II. Dönem	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	0.262AB	0.292B	0.290	0.248C
BB300	0.286A	0.382A	0.286	0.482A
BB500	0.234B	0.336AB	0.226	0.352B
LSD Uyg	0.0359*	0.0485*	0.0806öd	<.0001***
KONTROL	0.262	0.292B	0.290	0.248C
DB300	0.242	0.440A	0.262	0.716A
DB500	0.242	0.364AB	0.224	0.494B
LSD Uyg	0.7941öd	0.0077**	0.1979öd	<.0001***
KONTROL	0.262	0.292B	0.290B	0.248C
MB300	0.322	0.410A	0.350A	0.650A
MB500	0.260	0.328B	0.254B	0.496B
LSD Uyg	0.1528öd	0.0164*	0.0141*	<.0001***
KONTROL	0.262	0.292B	0.290A	0.248B
KB300	0.262	0.568A	0.312A	0.740A
KB500	0.196	0.294B	0.178B	0.290B
LSD Uyg	0.1477öd	0.0150*	0.0014**	<.0001***

1. Değerler 5 tekrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli

Çizelge 4.17 incelendiğinde, 300°C lik piroliz sıcaklığında elde edilen biochar uygulamalarının makro agregatların (2-1 mm) organik karbon kapsamı üzerine etkisi I. dönemde $p<0.05$, ikinci dönem de ise $p<0.01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bununla birlikte uygulamaların dönemler arasındaki etkisinde ise kontrol dışındaki tüm uygulamalarda agregatların organik karbon üzerine etkisi istatistiksel olarak farklı düzeylerde anlamlı bulunmuştur. Diğer taraftan, aynı agregat boyutunda 500°C piroliz sıcaklığında elde edilen biochar uygulamalarının her iki dönem içindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bununla birlikte uygulamaların dönemler arası etkisine bakıldığında ise kontrol, MB ve KB dışındaki tüm uygulamalarda 2-1 mm boyutlu agregatların organik karbon kapsamında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmamıştır.

300°C lik piroliz sıcaklığında elde edilen biochar uygulamalarının mikro boyuttaki (0.25-0.050 mm) agregatların organik karbon üzerine birinci dönemdeki etkisi tüm uygulamalarda kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Aynı piroliz sıcaklığına ait biochar'ın II. dönemdeki etkisi ise tüm uygulamalarda istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.001$). Uygulamaların 0.25-0.050 mm boyutlu agregatlardaki organik karbon kapsamı üzerine dönemler arasındaki etkisi incelendiğinde tüm uygulamalarda istatistiksel olarak anlamlılık bulunmuştur.

500°C lik piroliz sıcaklığında elde edilen biochar uygulamalarının 0.25-0.050 mm boyutlu agregatların organik karbon üzerine etkisi tüm uygulamalarda I. ($p<0.05$) ve II. dönemde ($p<0.001$) kontrole göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Aynı

uygulamaların dönemler arasındaki organik karbon kapsamı üzerine etkisi dikkate alındığında KB dışındaki tüm uygulamalar ile agregatların organik karbon kapsamlarında istatistiksel anlamda önemlilik elde edilmiştir.

Çizelge 4.18 incelendiğinde ise farklı piroliz sıcaklık değerlerinde (300°C ve 500°C’de) benzer materyalden elde edilen biochar uygulamalarının 2-1 mm boyutlu makro agregatların organik karbon kapsamı üzerine etkisi I. dönemde BB dışındaki hiç bir uygulamada istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır. Uygulamaların İkinci dönemdeki etkisi ise yine aynı boyutlu agregatlarda tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemli bulunmuş ve bu etki farklı düzeylerde gerçekleşmiştir. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde (300°C ve 500°C’de) benzer materyalden elde edilen biochar uygulamalarının 0.25-0.050 mm boyutlu mikro agregatların organik karbon kapsamı üzerine etkisi BB ve DB uygulamaları dışında diğer uygulamalarda I. dönem de istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Uygulamaların ikinci dönemdeki etkisi ise tüm uygulamalarda istatistiksel anlamda önemli bulunmuş ve bu etki farklı düzeylerde gerçekleşmiştir.

Çalışmada, 300 günlük bir inkübasyon suresi sonunda farklı piroliz sıcaklık değerlerinde farklı materyallerden elde edilen biochar [(bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)] uygulamalarının toprağın makro (2-1 mm) ve mikro (0.25-0.050 mm) agregatlarındaki organik karbon miktarı üzerine etkisinde biochar uygulamalarıyla toprağın organik karbon değerleri düşük (%1 altında) kaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte her iki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar’ların her iki boyuta sahip agregatların organik karbon kapsamını ikinci dönemde arttırmıştır. Makro boyuttaki (2-1 mm) agregatların organik karbon içeriğine bakılacak olunursa en yüksek değer KB300 (%0.57) ve en düşük değer KB500 (%0.20) uygulamalarında elde edilmiştir. Mikro boyuttaki (0.25-0.050 mm) agregatların organik karbon içeriğinde ise en yüksek değer KB300 (%0.74) ve düşük değer KB500 (%0.18) uygulamalarıyla gerçekleştiği belirlenmiştir. Gerçekleştirilen uygulamalarla birlikte makro ve mikro agregatların organik karbon içeriği kıyaslandığında mikro agregatlardaki organik karbon içeriğinin makro agregatlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

300°C’deki piroliz sıcaklığında elde edilen biochar uygulamalarının I. dönem ve II. dönemdeki 2-1 mm boyutlu agregatların organik karbon içeriği üzerine etkisi (I. dönemde DB uygulaması haricinde) tüm uygulamalarda kontrole göre artış meydana getirmiştir. Aynı sıcaklığa ait I. dönemdeki biochar uygulamalarının 0.25-0.050 mm boyutlu agregatların organik karbon içeriğinde MB ve DB uygulamaları dışındaki diğer uygulamalar ile kontrole göre arttırıcı yönde olmuştur. Uygulamaların ikinci dönemdeki 0.25-0.050 mm boyutlu agregatların organik karbon kapsamında tüm biochar uygulamaları ile kontrole göre artış şeklinde gerçekleşmiştir.

500°C’deki piroliz sıcaklığında elde edilen biochar uygulamaları ile 2-1 mm boyutlu agregatların organik karbon içeriği I. dönemde tüm uygulamalarla birlikte kontrole göre azalma gösterirken, II. dönemde ise kontrole göre artış elde edilmiştir. Aynı piroliz sıcaklığında elde edilen biochar’ın 0.25-0.050 mm boyutlu agregatlardaki organik karbon içeriği üzerine etkisi I. dönemde hiçbir uygulamada kontrole göre etkili olamamış, II. dönemde ise tüm uygulamalarla birlikte organik karbon kapsamında artış

elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, biochar uygulamaları ile toprağın organik karbon içeriği artmış ve bu artış ikinci dönemde daha belirgin olmuştur.

Fungo vd. (2017) 550°C’de pirolize edilmiş Okaliptüs odun biochar’ı dört farklı agregat boyutu fraksiyonundaki [(büyük makro agregalar (LM, >1000 mm); küçük makro agregalar (SM, 250–1000 mm); mikro agregalar (M, 250–53 mm) ve Silt + Kil (S + C, <53 mm)] organik karbon üzerine etkisi incelenmiştir. Yürütülen çalışmada 2 yıllık saha deneyinden sonra, en yüksek organik karbon içeriği sırasıyla S + C fraksiyonunda (%30) ve M (25 g kg⁻¹) fraksiyonunda bulunmuştur. Ayrıca LM ve SM toprak fraksiyonlarının aynı organik karbon içeriğine (23 g kg⁻¹) sahip olduğu, iki yıllık bir inkübasyon sonunda tüm toprak fraksiyonlardaki organik karbon içeriğinin arttığı belirlenmiştir.

Literatürde yer alan çok sayıda çalışmada toprağa biochar uygulandığında toprağın toplam organik karbon içeriğinde önemli ölçüde artış sağlanabildiği bildirmiştir (Krull vd. 2006; Novak vd. 2009; Van Zwieten vd. 2010; Wang vd. 2018). Bununla birlikte topraktaki agregatlar ile organik karbon arasında yakın bir ilişki vardır. Ayrıca son zamanlarda elde edilen yeni kanıtlara göre biochar ile toprak organik karbonu (n-SOC) arasında güçlü bir etkileşimin var olduğu gösterilmiştir (Herath vd. 2014; Lu vd. 2014; Singh ve Cowie 2014; Tian vd. 2016; Wang vd. 2017; Dong vd. 2018).

Sun vd. (2020) tarafından, gerçekleştirilen bir saha deneyinde dört farklı oranda (B0, B30, B60 ve B90 t ha⁻¹) biochar toprağa uygulanmış ve topraktaki agregat oluşumu ile topraktaki n-SOC içeriğinin farklı agregat boyutlarındaki miktarı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre B30’daki n-SOC içeriği B0’ye göre %14 azalırken, B60 ve B90’da sırasıyla %18.8 ve %8.2 artmış olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, B30’daki n-SOC içeriğindeki azalma nedeninin <53 µm ve 1000–250 µm agregatların oranlarındaki azalmadan kaynaklanmış olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan B60’daki 2000-1000 µm ve 1000-250 µm agregatların oranındaki artışla birlikte n-SOC içeriği de artmış, ayrıca BB90’da da n-SOC içeriği 2000-1000 µm ve <53 µm boyutlu agregatların oranlarındaki artışla beraber artmış olduğu ifade edilmiştir.

4.3.7. Biochar uygulamalarının toprağın tarla kapasitesi üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının toprakların tarla kapasitesi üzerine etkileri dönem içinde, dönemler arası ve bir dönem içindeki benzer uygulamalar arasındaki istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.19 ve 4.20’de 5 tekerrür ortalaması verilmiştir.

Çizelge 4.19. Biochar uygulamalarının toprağın tarla kapasitesi üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değeri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	23.91bC ³	25.97aB	0.0007***	23.91bB	25.97aC	0.0007***
BB	25.11AB	27.88AB	0.0844öd	25.63bA	29.32aA	0.0002***
DB	25.84bA	29.83aA	0.0012**	26.02bA	28.97aAB	0.0004***
MB	25.22bAB	29.22aA	0.0005***	25.39bA	29.61aA	0.0002***
KB	24.35bBC	28.73aA	<.0001***	26.07bA	28.27aB	0.0004***
LSD	0.0170* ²	0.0139*		0.0064**	<.0001***	

1. Değerler 5 tekerrür ortalaması.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.01 düzeyinde önemli

3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.20. Farklı piroliz sıcaklık değerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın tarla kapasitesi üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Tarla Kapasitesi	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	23.90	25.97B
BB300	25.11	27.88AB
BB500	25.63	29.32A
LSD Uyg	0.0728öd	0.0282*
KONTROL	23.90B	25.97B
DB300	25.82A	29.83A
DB500	26.02A	28.97A
LSD Uyg	0.0005***	0.0005***
KONTROL	23.90B	25.97B
MB300	25.22AB	29.22A
MB500	25.39A	29.61A
LSD Uyg	0.0598*	<.0001***
KONTROL	23.90B	25.97B
KB300	25.83A	29.83A
KB500	26.02A	28.97A
LSD Uyg	0.0005***	0.0005***

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.19 incelendiğinde, 300°C'deki farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen biochar uygulamalarının I. dönem ve II. dönemdeki toprağın tarla kapasitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Uygulamaların dönemler arasındaki etkileri dikkate alındığında ise BB uygulaması haricindeki diğer uygulamalarda istatistiki olarak önemlilik bulunmuştur. 500°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarının toprağın tarla kapasitesi üzerine etkisi I. dönemde $p<0,01$, II. dönemde ise $p<0,001$ düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 4.20 incelendiğinde ise farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen (300°C ve 500°C'de) benzer biochar uygulamalarının I. dönemdeki toprağın tarla kapasitesi üzerine etkisi BB uygulaması haricinde istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Uygulamalarla birlikte elde edilen bu etki farklı istatistiki düzeylerde gerçekleşmiş ve toprağın tarla kapasitesindeki nem içeriğini arttırmıştır. Uygulamaların ikinci dönemdeki etkilerine bakıldığında ise tüm uygulamalarla birlikte toprağın tarla kapasitesinde farklı düzeylerde gerçekleşen istatistiksel anlamda önemli artışlar bulunmuştur.

Çalışmadaki 300 günlük bir inkübasyon süresi sonunda farklı piroliz sıcaklıklarına maruz bırakılan ve farklı materyallerden elde edilen biochar [(bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)] uygulamalarının toprağın tarla kapasitesi üzerine etkisinde her iki dönemde kontrole göre toprağın tarla kapasitesinde artış elde edilmiştir. Çalışmanın I. döneminde 300°C'de elde edilen biochar uygulamalarında DB uygulaması diğer uygulamalara göre daha yüksek tarla kapasitesi oranı (%25.84) sağlarken, KB ise en düşük artış (%24.35) meydana getirmiştir. Çalışmanın II. dönem sonuçlara bakıldığında ise DB I. dönemde olduğu gibi tarla kapasitesinde en yüksek (%29.83) artışı meydana getirirken en düşük (%27.88) artış oranı BB uygulaması ile elde edilmiştir. Diğer taraftan 500°C'de elde edilen biochar uygulamalarının I. dönemdeki toprağın tarla kapasitesindeki nem içeriği üzerine etkisinde en fazla artış KB (%26.08) uygulaması ile elde edilirken, MB uygulaması ile en düşük (%25.39) artış elde edilmiştir. Çalışmanın II. döneminde ise en yüksek artış (%29.62) DB uygulamasında, en düşük (%28.28) artış ise KB uygulamasında elde edilmiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında hem 300°C hem de 500°C'deki biochar uygulamaları ile toprağın tarla kapasitesi değerlerinde kontrole göre önemli artışlar elde edilmiştir. Ayrıca dönemsel karşılaştırma yapıldığında da uygulamaların II. dönemdeki etkisi I. döneme göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

4.3.8. Biochar uygulamalarının toprağın solma noktası üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (domates atığı, muz plantasyon atığı, karanfil atığı ve bağ budama atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının toprakların solma noktası üzerine etkilerini dönem içi, dönemler arası ve dönem içindeki benzer uygulamalar arasındaki istatistiki sonuçlar Çizelge 4.21 ve 4.22'de 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.21. Biochar uygulamalarının toprağın solma noktası üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değerleri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	14.514bB ³	21.966aB	0.0002***	14.514b	21.966a	0.0002***
BB	16.580bA	22.890aAB	0.0002***	16.288b	24.008a	<.0001***
DB	16.454bA	24.720aA	<.0001***	16.154b	22.228a	<.0001***
MB	15.346bAB	22.116aB	<.0001***	14.886b	23.364a	0.0006***
KB	16.124bA	21.840aB	0.0001***	16.154b	21.814a	<.0001***
LSD	0.0328* ²	0.0487*		0.2326öd	0.4146öd	

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli.

3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.22. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın solma noktası üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Solma noktası	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	14.51B ²	21.96
BB300	16.58A	22.89
BB500	16.28A	24.00
LSD Uyg	0.0034**	0.3278öd
KONTROL	14.51B	21.96B
DB300	16.45A	24.72A
DB500	16.15A	22.22B
LSD Uyg	0.0169*	0.0434*
KONTROL	14.51	21.96
MB300	15.34	22.11
MB500	14.88	23.36
LSD Uyg	0.7483öd	0.467öd
KONTROL	14.51B	21.96B
KB300	16.45A	24.72A
KB500	16.15A	22.22B
LSD Uyg	0.0169*	0.0434*

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; ** %1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.21 incelendiğinde, 300°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen farklı biochar uygulamalarının her iki dönemdeki toprağın solma noktası üzerine etkisi tüm uygulamalar ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Uygulamaların toprağın solma noktası üzerine etkisinde de dönemler arasında istatistiki anlamda tüm uygulamalarda önemli bulunmuştur ($p<0.001$). Diğer taraftan 500°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamaları ile toprağın solma noktası üzerine etki bakımından her iki dönemde ve hiçbir uygulamada istatistiki anlamda herhangi bir önemlilik belirlenmemiştir. Ancak gerçekleştirilen tüm uygulamalar ile dönemler arasında solma noktası üzerine etki bakımından $p<0.001$ düzeyinde istatistiki önemlilik tespit edilmiştir.

Çizelge 4.22 de farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın solma noktası üzerine etkisine ait veriler sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde iki farklı piroliz sıcaklık değerinde (300°C ve 500°C’de) elde edilen biochar uygulamalarının I. dönemdeki toprağın solma noktası üzerine etkisi MB uygulaması haricinde diğer uygulamalar ile istatistiki anlamda önemli derecede artış elde edilmiştir. Uygulamaların II. dönem etkilerine bakıldığında ise BB ve MB uygulamaları haricindeki diğer uygulamalarda istatistiki anlamda önemli etkiler bulunmuştur.

Çalışmanın inkübasyon (300 gün) suresi sonunda farklı piroliz sıcaklıklara maruz bırakılan ve farklı materyallerden elde edilen biochar [(bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)] uygulamalarının toprağın solma noktası üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre çalışmanın her iki döneminde de, 300°C ve 500°C’deki piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen biochar’ların toprağın solma noktasındaki % nem değerlerini kontrole göre arttırdığı belirlenmiştir. Çalışmanın I. döneminde 300°C’de elde edilen biochar uygulamalarında BB uygulaması diğer uygulamalara göre en yüksek solma noktasında % nem oranı (%16.58) sağlarken, MB uygulaması ise en düşük değere sahip % nemi (%15.35) sağlamıştır. Çalışmanın II. döneminde ise solma noktasındaki en yüksek % nem oranı 24.72% değerle DB uygulamasına ait olup en düşük (21.88%) % nem ise KB uygulaması ile elde edilmiştir. Bununla birlikte çalışmanın I. döneminde 500°C’deki piroliz sıcaklığında elde edilen biochar toprağa uygulamalarında BB uygulaması diğer uygulamalara göre en yüksek solma noktası %’si (%16.28) meydana getirirken, MB uygulaması ile en düşük (%14.88) solma noktası % si elde edilmiştir. Diğer taraftan çalışmanın II. döneminde ise en yüksek (%24.00) solma noktası % si DB uygulamasına ait olup en düşük (21.81%) solma noktası % si ise KB uygulamasına aittir. Genel olarak değerlendirildiğinde, 300 ve 500°C’de elde edilen biochar uygulamalarının I. ve II. dönem sonuçlarına göre KB (KB300, II. dönem %21.84 ve KB500, II. dönem %21.81) dışındaki tüm uygulamalarda kontrole göre toprağın solma noktası % sinde artış elde edilmiştir. Ayrıca dönemler arası etkiye bakıldığında da uygulamaların toprağın solma noktasındaki % nem içeriği üzerine etkisinin çalışmanın I. dönemine göre II. döneminde daha fazla artış sağladığı belirlenmiştir.

4.3.8. Biochar uygulamalarının toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulanmalarının toprakların yarayışlı su kapsamı üzerine etkilerini dönem içi, dönemler arası ve bir dönemin içindeki benzer uygulamalar arasındaki istatistiki sonuçlar Çizelge 4.23 ve 4.24’de 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.23. Biochar uygulamalarının toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değeri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	9.39a	4.00bB ³	0.0040** ²	9.39a	4.00b	0.0040**
BB	8.53a	4.99bAB	0.0085**	9.34a	5.32b	0.0020**
DB	9.38a	5.11bAB	0.0014**	9.87a	6.75b	0.0048**
MB	9.87a	7.11bA	0.0057**	10.50a	6.25b	0.0439*
KB	8.22	6.89A	0.1365öd	11.05a	6.46b	0.0112*
LSD	0.3706öd	0.0369*		0.5766öd	0.2982öd	

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli

3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.24. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar'ın toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	Yarayışlı su	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	9.39	4.00
BB300	8.53	4.99
BB500	9.34	5.32
LSD Uyg	0.5765öd	0.5784öd
KONTROL	9.39	4.00
DB300	9.38	5.11
DB500	9.87	6.75
LSD Uyg	0.8099öd	0.1153öd
KONTROL	9.39	4.00
MB300	9.87	7.11
MB500	10.50	6.52
LSD Uyg	0.7453öd	0.0796öd
KONTROL	9.39AB	4.00
KB300	8.22B	6.89
KB500	11.05A	6.46
LSD Uyg	0.0122* ²	0.1675öd

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli

Çizelge 4.23 incelendiğinde, 300°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen farklı biochar uygulamalarının I. dönemdeki toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine etkisi istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır. Çalışmanın II. döneminde ise uygulamaların toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. 300°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen farklı biochar uygulamalarının dönemler arasındaki toprağın yarayışlı su üzerine etkisinde KB uygulaması dışında diğer uygulamalar ile istatistiki anlamda önemli ($p < 0.01$) farklılıklar elde edilmiştir. Diğer taraftan 500°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarının toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine etkisi her iki dönemde de

istatistiki anlamda önemli bulunmamıştır. Uygulamaları dönemler arasındaki etkisinde ise tüm uygulamalar ile istatistiki anlamda önemli farklılıklar elde edilmiş ve uygulamaların etkileri farklı istatistiki düzeylerde gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.24 incelendiğinde ise farklı piroliz sıcaklık değerlerinde (300°C ve 500°C’de) elde edilen benzer biochar’ların toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine I. dönemdeki etkisi KB uygulaması haricinde diğer uygulamalar ile istatistiki anlamda önemli etki bulunmamıştır. Diğer taraftan çalışmanın II. döneminde ise uygulamaların hiçbirisiyle toprağın yarayışlı su kapsamında istatistiki anlamda önemlilik belirlenmemiştir.

Çalışmanın inkübasyon (300 gün) suresi sonunda farklı sıcaklıklara maruz bırakılan ve farklı materyallerden elde edilen biochar [(bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)] uygulamalarının toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine etkisinde her iki dönemde de istatistiki önemlilik bulunan uygulamalar ile toprağın yarayışlı su kapsamının kontrole göre arttığı belirlenmiştir. Ancak uygulamaların dönem arasındaki etkilerine bakıldığında ise toprağın I. dönemdeki yarayışlı su kapsamı değerlerinin II. döneme göre daha yüksek olduğu yapılan uygulamalar ile toprağın yarayışlı su kapsamı değerlerinin II. dönemde azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç literatürlerde ifade edilen birçok sonuçla uyuşmamaktadır. Nitekim literatürde toprağa biochar uygulamasının yaygın olarak bildirilen bir etkisinin, toprakta su tutma kapasitesinin iyileşmesi olarak ifade edilmektedir (Sohi vd. 2009; Verheijen vd. 2010; Abel vd. 2013).

Literatürde çok sayıdaki çalışmada toprağa biochar uygulamasının toprağın su tutma kapasitesi ve mevcut su içeriğini artırdığı rapor edilmiştir (Laird vd. 2010; Kinney vd. 2012; Novak vd. 2012; Kameyama vd. 2016; Gılab vd. 2016; Xiao vd. 2016; Lima vd. 2018). Blanco-Canqui (2017) tarafından yapılan literatür tarama çalışmasında, 29 topraktan 21’inde biochar uygulamaları ile topraktaki bitki tarafından kullanan suyun miktarında artış elde edildiği ifade edilmektedir. Ardından, 19 farklı toprak üzerinde gerçekleştirilen araştırmanın 17’sinde biochar uygulamasıyla toprağın su tutma oranının arttığı hatta biochar’ın toprağın su tutma yeteneğini %90 düzeyinde arttırdığını belirtilmiştir.

Biochar uygulamasıyla, toprağın makro gözenekliliği ve mezoporozitesi önemli ölçüde artmakta ve böylece bitki köklerinin havalandırıldığı ve mevcut su kullanılabilirliğinin artırıldığı belirlenmiştir (Herath vd. 2013). Bunun aksine Jeffery vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada ise kumlu topraklar üzerindeki biochar uygulamasının toprak su tutma kapasitesi üzerine önemli etkisi bulunmamıştır. Hardie vd. (2014) tarafından da benzer sonuçlar gözlenmiştir. Burrell vd. (2016) Farklı sıcaklıklardan ve farklı materyalden (saman ve çam ağacı) elde edilen biochar’ın üç farklı tarımsal topraklara uygulandığında bitkiye yarayışlı su kapsamı üzerine önemli bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir.

Tarnik (2019) tarafından yapılan bir saha çalışmasında, üç farklı dozdaki (2014 20 ton ha⁻¹, 2018 tekrardan 20 ton ha⁻¹ ve kontrol 0 ton ha⁻¹) biochar uygulamasıyla topraktaki mevcut suyun durumu üzerine biochar’ın etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre biochar uygulamasının toprağın yarayışlı suyunu önemli ölçüde etkilemiştir. Bir kez yapılan biochar uygulamasına nazaran tekrarlanan ikinci doz

uygulamalarının kontrole göre toprağın yarayışlı su kapsamı üzerine daha etkili olduğu ifade edilmiştir.

Tanure vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen bir sera deneyinde iki farklı partikül boyut (2.0–0.5 ve <0.5 mm) ve farklı dozlarla (0, 5, 10, 20, 40 ve 60 g kg⁻¹) kumlu silt toprağa iki farklı nem koşulu altında (kuraklık stresi olan ve olmayan) biochar uygulanmıştır. Çalışmada, biochar uygulamalarıyla toprağın su tutma oranı ile mikro ve makro gözenek oranında artış sağlandığı ifade edilmiştir.

Benzer bir çalışmada da Tokova vd. (2020) tarafından, biochar uygulamasının bazı fiziksel toprak özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada, 0, 10 ve 20 ton ha⁻¹ oranlarında gerçekleştirilen biochar uygulamalarıyla birlikte N0, N1 ve N2 seviyelerinde yıllık azotlu (N) gübre uygulanmış ve tüm N gübreleme dozlarında biochar uygulamalarının topraktaki su içeriğini arttırdığı belirtilmiştir.

4.3.9. Biochar'ın uygulamalarının toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının toprakların hacim ağırlığı üzerine etkileri dönem içi, dönemler arası ve bir dönemin içindeki benzer uygulamalar arasındaki istatistiki sonuçlar Çizelge 4.25 ve 4.26'da 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.25. Biochar uygulamalarının toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisi (g cm³)¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değeri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	1.37b	1.45aA	0.0404*	1.37bA	1.45aA	0.0404*
BB	1.31	1.27B	0.4659öd	1.32AB	1.29BC	0.1809öd
DB	1.29	1.25B	0.3060öd	1.26C	1.25C	0.8249öd
MB	1.30	1.26B	0.3251öd	1.30aBC	1.24bC	0.0496*
KB	1.34	1.29B	0.1741öd	1.28BC	1.33B	0.1821öd
LSD	0.1202öd	0.0009***		0.0028**	<.0001***	

1. Değerler 5 tekerrür ortalaması.
2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli
3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.26. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisi. 1

Uygulama	Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	1.37	1.45A
BB300	1.31	1.27B
BB500	1.32	1.29B
LSD Uyg	0.2159öd	0.0015**
KONTROL	1.37A ²	1.45A
DB300	1.29B	1.25B
DB500	1.26B	1.25B
LSD Uyg	0.0032**	0.0004***
KONTROL	1.37A	1.45A
MB300	1.30B	1.26B
MB500	1.30B	1.24B
LSD Uyg	0.0045**	0.0003***
KONTROL	1.37A	1.45A
KB300	1.34A	1.29B
KB500	1.28B	1.33B
LSD Uyg	0.0058**	0.0051**

1. Değerler 5 tekrür ortalaması.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.25 incelendiğinde, 300°C'deki farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen farklı biochar'ların I. dönemdeki toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisi istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır. Uygulamaların II. dönem etkisi ise istatistiksel olarak anlamlı (p<0.001) bulunmuş ve uygulamaların etkisi toprağın hacim ağırlığında azalma meydana getirmiştir. Uygulamaların dönemler arası etkisinde ise kontrol dışında hiçbir uygulama ile istatistiki olarak önemli bir fark elde edilmemiştir. Kontrol uygulaması ile dönemler arasında p<0.05 düzeyinde önemli fark meydana gelmiş ve çalışmanın II. döneminde kontrol toprakların hacim ağırlığı değerinin I. döneme göre arttığı belirlenmiştir. Diğer taraftan 500°C'deki piroliz sıcaklığında elde edilen biochar uygulamalarının toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisi I. dönemde p<0.01 düzeyinde II. dönemde ise p<0.001 düzeyinde olmak üzere istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Uygulamaların toprağın hacim ağırlığı üzerine dönemler arası etkisi MB uygulaması haricinde (p<0.05) diğer uygulamalar ile istatistiki anlamda önemli bir fark oluşmamıştır.

Çizelge 4.26 incelendiğinde ise farklı piroliz sıcaklık değerlerinde (300°C ve 500°C'de) elde edilen benzer biochar uygulamalarının I. dönemdeki toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisi BB uygulaması haricinde diğer uygulamalarda istatistiki anlamda önemli bulunmuştur (p<0.01). Diğer taraftan uygulamaların II. dönem etkilerine bakıldığında ise tüm uygulamaların toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve bu etki farklı istatistiki düzeylerde gerçekleşmiştir.

Çalışmadaki 300 günlük bir inkübasyon süresi sonunda farklı sıcaklıklara maruz bırakılan ve farklı materyallerden elde edilen biochar [(bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)] uygulamalarının

toprağın hacim ağırlığı üzerine etkisinde her iki dönemde 300°C ve 500°C’de elde edilen biochar uygulamalarıyla toprağın hacim ağırlığı değerlerinin kontrole göre azaldığı belirlenmiştir. I. dönemde 300°C’de elde edilmiş biochar uygulamalarıyla en düşük hacim ağırlığı değeri DB (1.29 g cm⁻³) uygulamasında elde edilmiştir. Diğer taraftan 500°C’de elde edilen biochar uygulamalarıyla toprağın hacim ağırlığı değerlerindeki en fazla azalma I. dönemde 1.26 g cm⁻³ değeriyle DB uygulaması ile II. dönemde ise 1.24 ve 1.25 g cm⁻³ değeri ile sırasıyla MB ve DB uygulamaları ile elde edilmiştir. Bununla birlikte uygulamaların dönemler arası etkilerine bakıldığında, kontrol ve MB uygulamalarında istatistiki anlamda önemli farklılıklar tespit edilmiş kontrol uygulamasında II. dönemde hacim ağırlığı değeri artarken MB uygulaması ile azalma elde edilmiştir. Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında gerçekleştirilen biochar uygulamaları ile toprağın hacim ağırlığı değerlerinde önemli düşüşler elde edilmiştir. Toprağın hacim ağırlığındaki düşüşler birkaç sebepten kaynaklanabilmektedir. Uygulanan biochar’ın özellikleri (partikül boyutu, aktif yüzey alanı, gözeneklilik) ve toprağın özellikleri bu etkide rol almış olabilir. Hacim ağırlığı düşüşlerinde biochar’ın ve toprak parçacıklarıyla etkileşime girerek toprak agregalarını geliştirmesi ve bu sayede de toprağın hacim ağırlığında azalmaya yol açabileceği ifade edilmektedir (Tokova vd. 2020).

Glab vd. (2016) tarafından, Miscanthus ve buğday samandan elde edilen biochar’ın tınlı kum bir toprakta, %0.5, %1, %2 ve %4 oranlarında uygulanması sonucu toprağın hacim ağırlığı değerlerinin kontrole göre düştüğü ortaya konulmuştur. Asai vd. (2009); Laird vd. (2010), tarafından da biochar uygulamasının toprağın hacim ağırlığı değerlerinin düşmesine neden olduğu rapor edilmiştir.

Tokova vd. (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada, tınlı tın bir toprakta, 0, 10 ve 20 ton ha⁻¹ oranlarında biochar uygulamasının toprak üzerine etkisi araştırılmıştır. Azotlu gübreleme olmadan biochar uygulama dozunun kademeli olarak artmasıyla toprağın hacim ağırlığı değerlerinde de kademeli olarak düştüğünü tespit etmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca sadece 20 ton ha⁻¹ dozundaki biochar’ın tekrarlı olarak kullanılmasıyla toprağın hacim ağırlığı değerlerinde anlamlı bir azalmanın elde edildiğini ifade etmişlerdir. Çok sayıda araştırmacı tarafından da benzer sonuçlar elde edilmiş ve rapor edilmiştir (Laird vd. 2010; Busscher vd. 2010; Novak vd. 2012; Hseu vd. 2014; Mukherjee vd. 2014; Peake vd. 2014; Obia vd. 2016; Omondi vd. 2016; Tanure vd. 2019).

4.3.10. Biochar uygulamalarının toprağın penetrometre direnci üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının toprakların penetrasyon direnci üzerine etkilerini dönem içi, dönemler arası ve bir dönemin içindeki benzer uygulamalar arasındaki istatistiki sonuçlar Çizelge 4.27 ve 4.28’de 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.27. Biochar uygulamalarının toprağın penetrasyon direnci üzerine etkisi ($N s^{-1}$)¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değeri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	168.00A ³	175.00A	0.7009öd	168.00A	175.00A	0.7009öd
BB	135.00aB	108.00bDC	0.0036**	136.00B	121.00BC	0.3768öd
DB	134.00aB	103.00bD	0.0012**	130.00aB	95.00bC	0.0091**
MB	137.00aB	124.00bBC	0.2190*	136.00B	112.00BC	0.0663öd
KB	132.00B	132.00B	1.0000öd	132.00B	129.00B	0.7497öd
LSD	0.0364* ²	<.0001***		0.0700*	<.0001***	

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.28. Farklı piroliz sıcaklık değerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının toprağın penetrasyon direnci üzerine etkisi ($N s^{-1}$)¹

UYGULAMALAR	Penetrasyon direnci	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	168.00A	175.00A
BB300	135.00B	108.00B
BB500	136.00B	121.00B
LSD Uyg	0.0524* ²	0.0017**
KONTROL	168.00A	175.00A
DB300	134.00B	103.00B
DB500	130.00B	95.00B
LSD Uyg	0.0369*	<.0001***
KONTROL	168.00	175.00A
MB300	137.00	124.00B
MB500	136.00	112.00B
LSD Uyg	0.0854öd	0.0004***
KONTROL	168.00A	175.00A
KB300	132.00B	132.00B
KB500	132.00B	129.00B
LSD Uyg	0.0451*	0.0015**

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

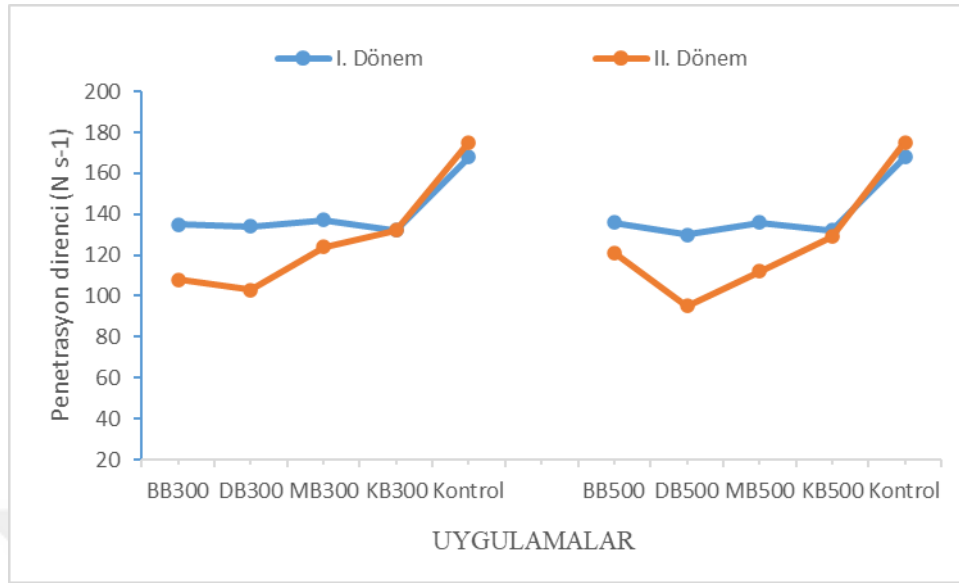
Çizelge 4.27 incelendiğinde, 300°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamaları ile toprağın penetrasyon direnci değerlerinde I. dönem de $p < 0.05$ ve II. dönemde ise $p < 0.001$ düzeyinde istatistiki anlamlılıklar meydana gelmiştir. Diğer taraftan uygulamaların dönemsel etkileri dikkate alındığında, kontrol ve KB uygulamaları haricinde diğer uygulamalar ile istatistiki anlamda önemli farklılıklar oluşmuştur. 500°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarında toprağın penetrasyon direnci değerlerinde I. dönem de $p < 0.05$, II. dönem ise $p < 0.001$ düzeyinde istatistiki anlamlılıklar elde edilmiştir. Uygulamaların dönemler arası etkileri

karşılaştırıldığında ise uygulamaların toprağın penetrasyon direnci üzerine etkisi DB haricindeki tüm uygulamalarda istatistiki anlamda önemli farklılıklar bulunmamıştır.

Çizelge 4.28 incelendiğinde farklı piroliz sıcaklık değerlerinde (300°C ve 500°C’de) elde edilen biochar uygulamalarının toprağın penetrasyon direnci üzerine etkisi çalışmanın I. döneminde MB uygulaması dışındaki tüm uygulamalarda istatistiki anlamda önemlilik elde edilmiştir. Araştırmanın II. döneminde gerçekleştirilen tüm uygulamaların toprağın penetrasyon direnci değerleri üzerine etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

Çalışmanın inkübasyon (300 gün) suresi sonunda farklı sıcaklıklara maruz bırakılan ve farklı materyallerden elde edilen biochar [(bağ budama biochar (BB), domates biochar (DB), muz biochar (MB) ve karanfil biochar (KB)] uygulamalarının toprağın hacim ağırlığı üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında her iki dönemde 300°C ve 500°C’deki piroliz sıcaklıklarıyla elde edilen biochar uygulamalarının toprağın penetrasyon direnci değerlerinde kontrole göre azalma sağladığı belirlenmiştir. Çalışmanın II. döneminde 300°C’de elde edilen biochar uygulamalarında DB uygulaması diğer uygulamalara göre en düşük penetrasyon direnci değeri (103.00 N s⁻¹) sağlayan uygulama olmuştur. Diğer taraftan 500°C’de elde edilen biochar uygulamaları ile en düşük (95.00 N s⁻¹) penetrasyon direnci değerine KB uygulaması ile çalışmanın II. döneminde elde edilmiştir. Uygulamaların dönemler arası etkileri incelendiğinde de toprağın penetrasyon direnci değerlerinde genel anlamda çalışmanın II. döneminde daha fazla azalma tespit edilmiştir. Çok sayıda araştırmacı tarafından bildirildiğine göre toprağa biochar uygulandığında toprağın penetrasyon direnci değerlerinde azalma olmaktadır (Busscher vd. 2010; Hseu vd. 2014; Mukherjee vd. 2014).

Olmo vd. (2014); Liu vd. (2017) tarafından toprağa biochar uygulamasıyla toprak sıkışmasının azaldığı rapor edilmiştir. Şekil 4.9’da I. ve II. inkübasyon dönemi için toprağa farklı materyallerden ve farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen biochar uygulandığında toprağın penetrasyon direnci üzerine etkisi görsel şekilde ifade edilmiştir.



Şekil 4.9. Biochar uygulamaları ile toprağın penetrasyon direncinde meydana gelen değişiklik

4.3.11. Biochar uygulamalarının toprak kıvam limitleri üzerine etkisi

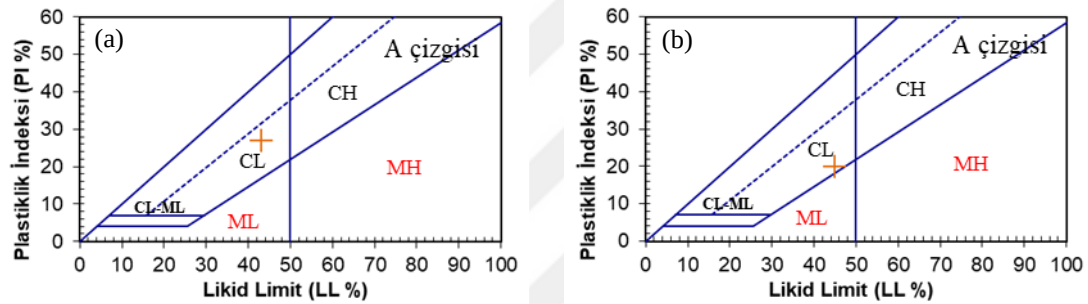
Kıvam limitleri, diğer bir ifadesi ile Atterberg limitleri, toprakların mekanik ve hidrolojik davranışlarının önemli bir göstergesidir. Likit limit, plastik limit ve plastiklik indeksi toprağın yoğunluğunu ölçmektedir. Plastiklik grafiği ile likit limit ve plastik limit değerleri kullanılarak ince taneli topraklar sınıflandırılmaktadır.

Farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300°C ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının toprakların kıvam limitleri üzerine etkilerine ilişkin sonuçlar Şekil 4.10; 4.11; 4.12; 4.13; 4.14; 4.15; 4.16; 4.17 ve 4.18’de verilmiştir. Şekillerin üzerindeki noktaya bağlı olarak, topraklar killi (C), siltli (M) veya organik (O) olduğu gösterilmiştir. Toprağın plastikliği durumuna bağlı olarak aşağıdaki gibi 3 plastiklik grup ve 5 plastiklik sınıfa ayrılmıştır:

- Düşük plastiklik $LL < \%35$;
- Ara plastiklik $\%35 < LL < \%50$;
- Yüksek plastiklik $LL > \%50$. “A” çizgisi ve $\%35$ ve $\%50$ ’ye LL’de denk gelen dikey çizgiler ile topraklar farklı sınıflara ayrılmıştır.
- CL (Lean Clay; $PI = 10-30$) : $LL < 50$ ve $PI > 7$ toprağın tipine göre gösterilen nokta “A” çizgisinin üzerinde veya üstündedir.
- ML (Silt; $PI = 0-15$) : $LL < 50$ ve toprağın tipine göre gösterilen nokta “A” çizgisinin üzerinde veya altındadır.

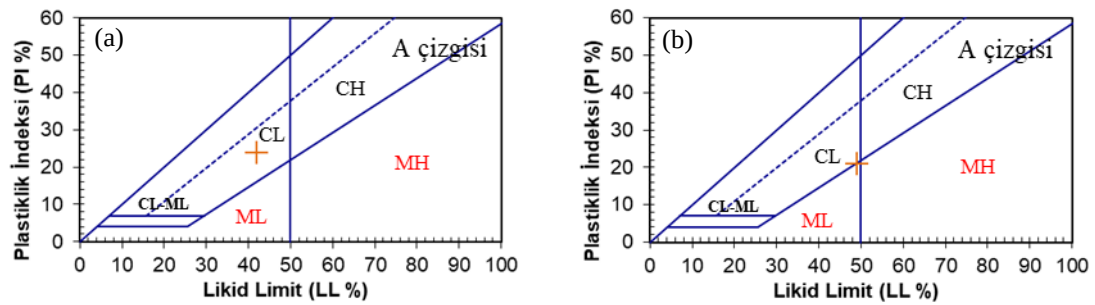
- CL- ML (Clayey Silt) : $LL < 50$ ve $PI > 4 < 7$ ve toprağın tipine göre gösterilen nokta "A" çizgisinin üzerinde veya üstündedir.
- CH (Fat Clay; $PI = 30-50$) : $LL > 50$ ve toprağın tipine göre gösterilen nokta "A" çizgisinin üzerindedir.
- MH (Elastic Silt; $PI = 5-40$) : $LL > 50$ ve toprağın tipine göre gösterilen nokta "A" çizgisinin altındadır.

Çalışmadaki 300 günlük bir inkübasyon suresi sonunda 300°C 'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen bağ budama (BB) biochar uygulamasının toprağın kıvam limitleri üzerine etkisi Şekil 4.10'da grafik edilmiştir. Çalışmanın I.ve II. dönem sonuçlarına göre 300°C 'de elde edilen BB biochar uygulamaları ile toprağın CL ($LL < 50$) sınıfa sahip olduğu gösterilmiştir. Birleşik CL sembolü, düşük sıkıştırılabilirliğe sahip olan kildir.



Şekil 4.10. 300°C deki piroliz ile elde edilen bağ budama biochar'ının (BB300) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi

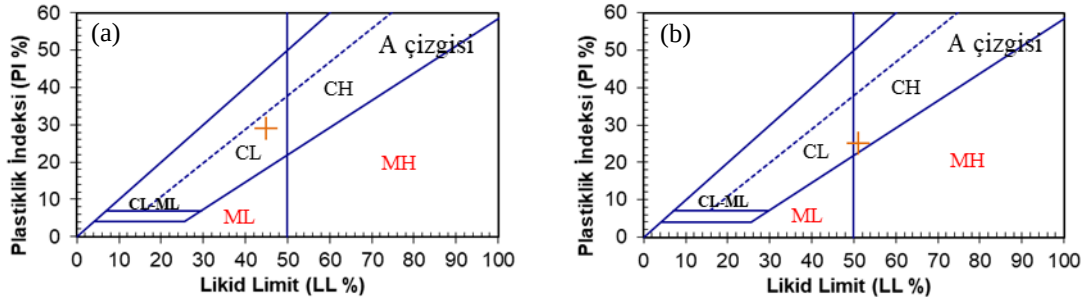
Çalışmadaki inkübasyon (300 gün) suresi sonunda 500°C 'deki piroliz ile elde edilen bağ budama biochar'ının (BB500) toprağın kıvam limitleri üzerine etkisi Şekil 4.11'de grafik edilmiştir. Çalışmanın I. ve II. dönemindeki sonuçlara göre BB500 uygulamaları ile toprağın CL ($LL < 50$) sınıfına sahip olduğu gösterilmiştir. Birleşik CL sembolü, düşük sıkıştırılabilirliğe sahip olan kildir.



Şekil 4.11. 500°C deki piroliz ile elde edilen bağ budama biochar'ının (BB500) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi

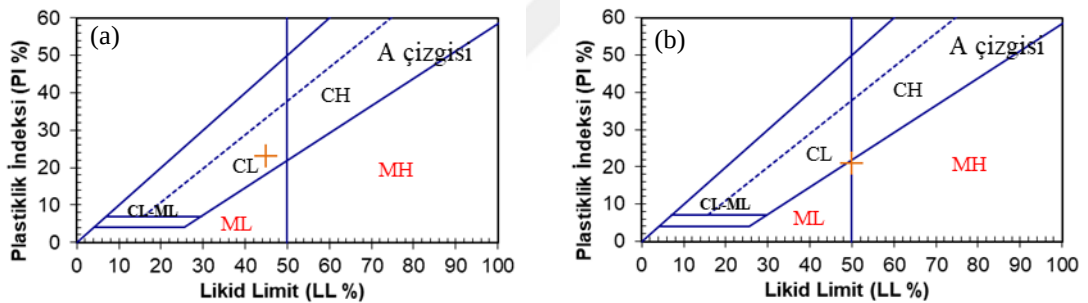
Çalışmadaki 300 günlük bir inkübasyon suresi sonunda 300°C 'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen domates biochar'ının (DB300) toprağın kıvam limitleri

üzerine etkisi Şekil 4.12’de grafik edilmiştir. Çalışmanın I. dönem sonuçlarına göre toprağa BB300 uygulamaları ile toprak CL ($LL < 50$) sınıfına dahil olup, II. dönem sonuçlara göre CH ($LL < 50$) sınıfına dahil olduğu belirlenmiştir. Birleşik CH sembolü, yüksek plastisiteli kil anlamına gelmektedir.



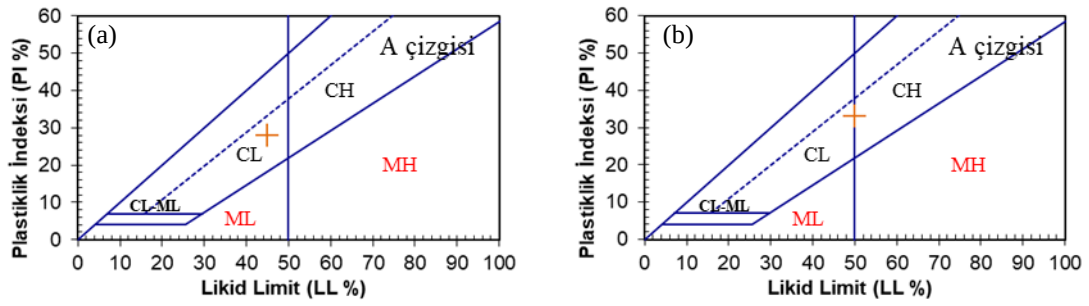
Şekil 4.12. 300°C deki piroliz ile elde edilen domates biochar’ının (DB300) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi

300 günlük bir inkübasyon süresi sonunda 500°C’deki piroliz sıcaklığında elde edilen domates biochar (DB500) uygulamalarının toprağın kıvam limitleri üzerine etkisi Şekil 4.13’te grafik edilmiştir. Çalışmanın I. ve II. döneminde elde edilen sonuçlara göre DB500 uygulamaları ile toprağın CL ($LL < 50$) sınıfına sahip olduğu belirlenmiştir. Birleşik CL sembolü, düşük sıkıştırılabilirliğe sahip olan kildir.



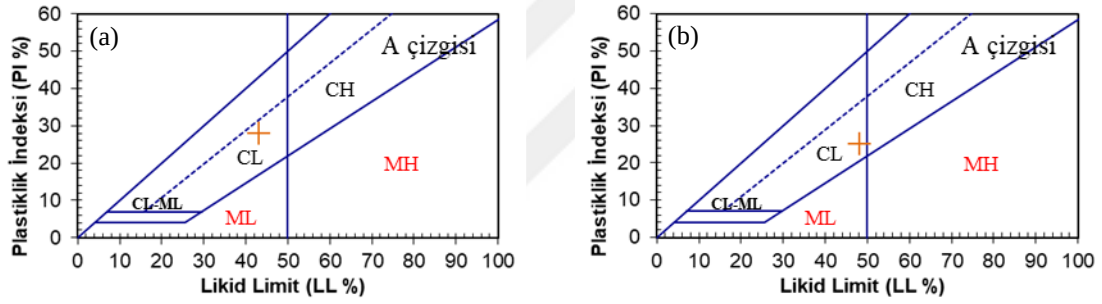
Şekil 4.13. 500°C deki piroliz ile elde edilen domates biochar’ının (DB500) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi

Çalışmadaki 300 günlük bir inkübasyon süresi sonunda 300°C’deki piroliz ile elde edilen muz biochar’ı (MB300) uygulamasının toprağın kıvam limitleri üzerine etkisi Şekil 4.14’te grafik edilmiştir. Çalışmanın I. ve II. döneminde elde edilen sonuçlara göre MB300 uygulamaları ile toprağın CL ($LL < 50$) sınıfına sahip olduğu belirlenmiştir. Birleşik CL sembolü, düşük sıkıştırılabilirliğe sahip olan kildir.



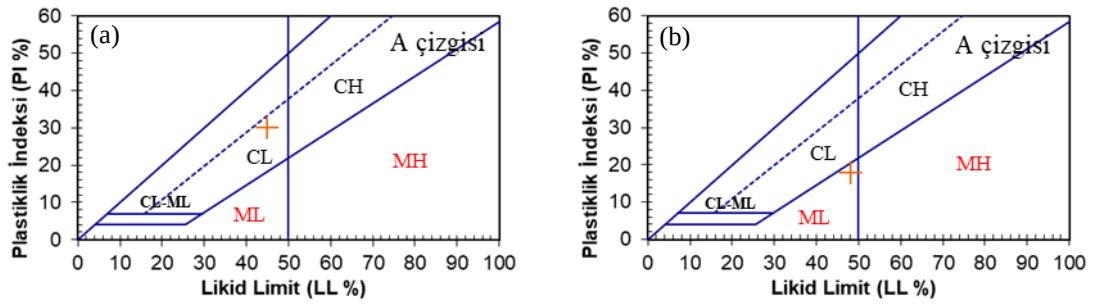
Şekil 4.14. 300°C deki piroliz ile elde edilen muz biochar'ının (MB300) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi

Çalışmanın 300 günlük bir inkübasyon suresi sonunda 500°C'deki piroliz ile elde edilen maruz bırakılan muz biochar'ı (MB500) uygulamalarının toprağın kıvam limitleri üzerine etkisi Şekil 4.15'te grafik edilmiştir. Çalışmanın I. ve II. döneminde elde edilen sonuçlara göre MB500 uygulamaları ile toprağın CL ($LL < 50$) sınıfına sahip olduğu belirlenmiştir. Birleşik CL sembolü, düşük sıkıştırılabilirliğe sahip olan kildir.



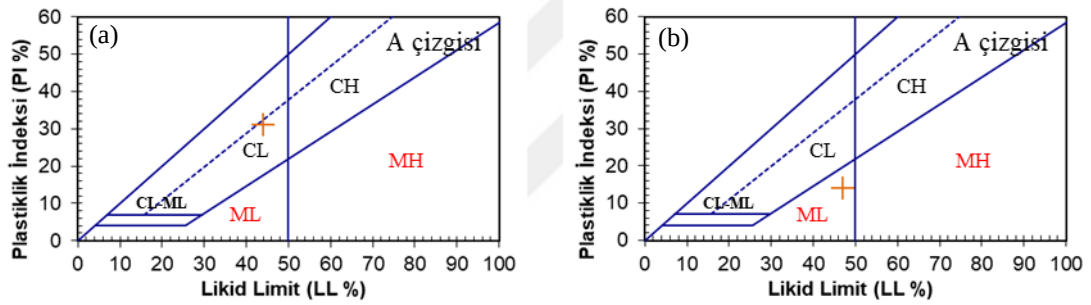
Şekil 4.15. 500°C deki piroliz ile elde edilen muz biochar'ının (MB500) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi

Çalışmadaki 300 günlük bir inkübasyon suresi sonunda 300°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen karanfil biochar'ının (KB300) toprağın kıvam limitleri üzerine etkisi Şekil 4.16'da grafik edilmiştir. Çalışmanın I. dönemde elde edilen sonuçlara göre KB300 uygulandığında, toprağın CL ($LL < 50$) sınıfına sahip olduğu, II. dönem sonuçlara göre ise ML ($LL < 50$) sınıfına sahip olduğu belirlenmiştir. Birleşik ML sembolü, düşük plastisiteli silt anlamına gelmektedir.



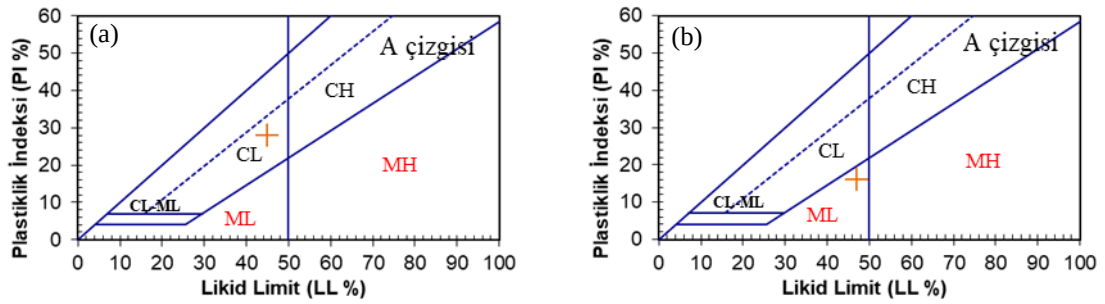
Şekil 4.16. 300°C deki piroliz ile elde edilen karanfil biochar'ının (KB300) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi

Çalışmanın inkübasyon (300 gün) suresi sonunda 500°C'deki piroliz ile elde edilen karanfil biochar'ı (KB500) uygulamalarının toprağın kıvam limitleri üzerine etkisi Şekil 4.17'de grafik edilmiştir. Çalışmanın I. dönem sonuçlarına göre KB500 uygulamaları ile toprak CL ($LL < 50$) sınıfına sahip olup, II. dönem sonuçlarına göre ise ML ($LL < 50$) sınıfına sahip olduğu belirlenmiştir. Birleşik ML sembolü, düşük plastisiteli silt anlamına gelmektedir.



Şekil 4.17. 500°C deki piroliz ile elde edilen karanfil biochar'ının (KB500) a) I. dönemdeki b) II. dönemdeki toprak kıvam limitleri üzerine etkisi

Çalışmanın inkübasyon (300 gün) suresi sonunda kontrol topraklarda (hiç bir biochar uygulamasının yapılmadığı) kıvam limitleri üzerine yapılan analiz sonuçları Şekil 4.18'de grafik edilmiştir. Çalışmanın I. dönem sonuçlarına göre, toprak CL ($LL < 50$) sınıfına sahip olup, II. dönem sonuçlarına göre kontrol toprakların ML ($LL < 50$) sınıfına sahip olduğu belirlenmiştir. Birleşik ML sembolü, düşük plastisiteli silt anlamına gelmektedir.



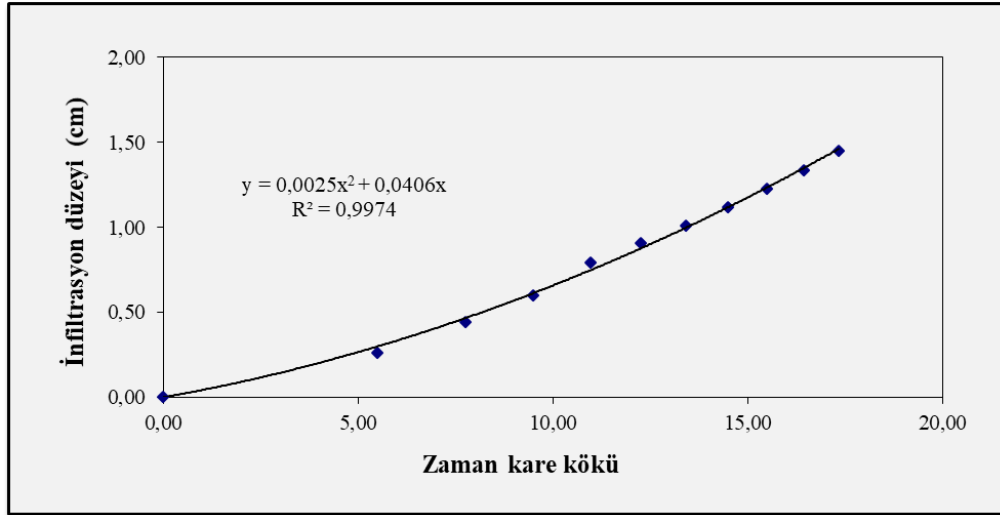
Şekil 4.18. Çalışmanın I. ve II. döneminde kontrol uygulamasının kıvam limitleri

300 ve 500°C'deki piroliz ile elde edilen biochar'ın toprağa uygulanmasıyla I. ve II. dönemin sonuçlara incelenmiş ve uygulanan biochar ile çalışmanın I. döneminde tüm uygulamalar kontrole göre LL (likit limit) ve PL (plastik limit) değerlerinde bir düşüşe sebep olurken II. dönemde ise LL ve PL değerlerinde bir artış gözlenmiştir. Farklı sıcaklık değerlerinde farklı materyalden elde edilen biochar'lar killi tın tekstüre sahip araştırma toprağına uygulanmasıyla I. ve II. dönem sonuçlarına göre tüm uygulamalar kontrole göre toprağın PI (plastiklik index) değerlerinde bir düşüşe sebep olmuştur. I. ve II. dönemin sonuçlarına göre II. dönemde DB300, DB500 ve MB300 dışındaki tüm uygulamalar ve kontrol likit limit (LL) orana göre ara plastiklik ($35\% < LL < 50\%$) sınıfına aittir. Ancak bütün uygulamaların toprağın plastiklik durumuna bakılacak olursa kontrole göre etkisinin fazla olmadığı gözlenmiştir. Zong vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, üç farklı biochar'ı kumlu tekstüre sahip olan toprağa uygulamışlar ve yapılan uygulamalar sonucunda toprağın likit limitinin ve plastiklik indeks oranının önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Ancak önemli görülmemesine rağmen plastik limit değerinin ise düşme eğiliminde olduğu bildirilmiştir. Lu vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, pirinç kabuğundan elde edilen biochar'ın killi bir toprakta uygulanmasıyla toprağın plastik limit ve likit limit değerlerinin arttığı ancak plastiklik indeksi üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı ortaya konulmuştur.

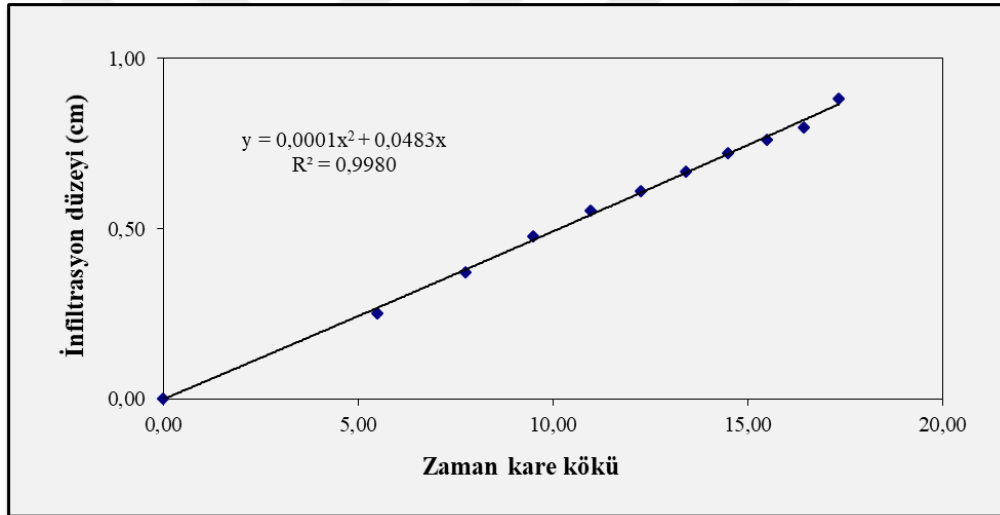
4.3.12. Biochar uygulamalarının toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300°C ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının toprakların infiltrasyon düzeyi üzerine etkilerine ilişkin sonuçlar çalışmanın I. dönemi için sırasıyla Şekil 4.19; 4.20; 4.21; 4.22; 4.23; 4.24; 4.25; 4.26 ve 4.27'de verilmiştir.

Çalışmanın inkübasyon (300 gün) suresi sonunda 300 ve 500°C'deki piroliz sıcaklığında elde edilen bağ budama biochar'ı (BB300 ve BB500) uygulamalarının toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi Şekil 4.19 ve 4.20'de gösterilmiştir. I. dönem sonuçlara göre toprağa BB300 uygulandığında toprağın infiltrasyon değeri $0.00043063 \text{ cm s}^{-1}$ olup, BB500 uygulandığında bu değer $-1.3908 \text{ cm s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. BB300 ve BB500 killi tın tekstür sahip olan deneme toprağına uygulandıktan 300 günlük inkübasyon suresi sonunda uygulamaların toprağın infiltrasyon düzeyinde kontrole göre ($K = 0.00064001 \text{ cm s}^{-1}$) bir düşüş meydana getirmiştir.

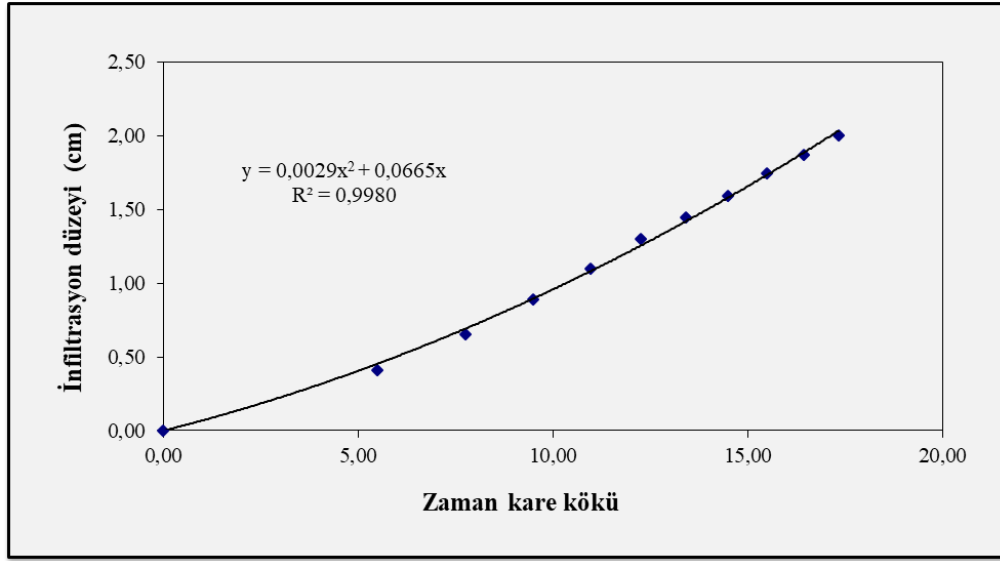


Şekil 4.19. BB300 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

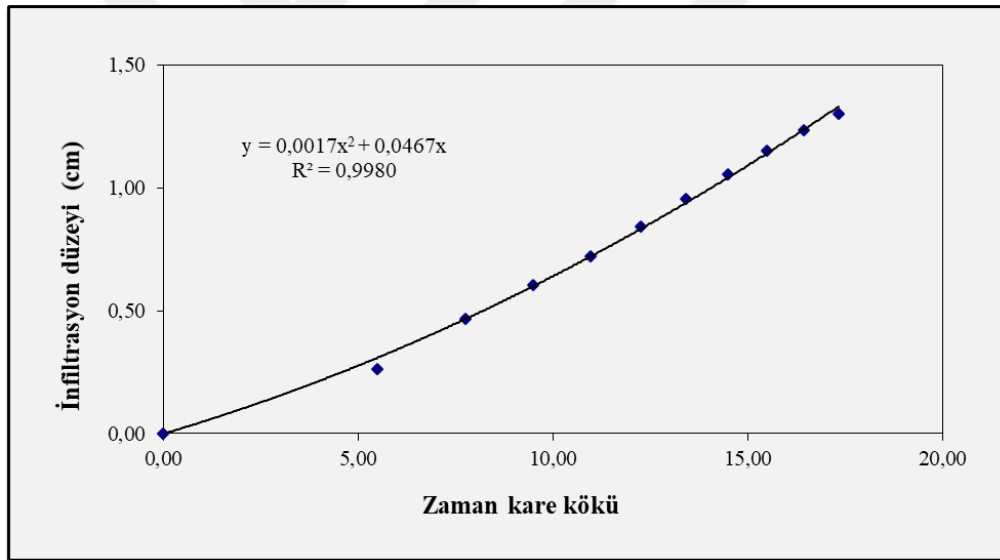


Şekil 4.20. BB500 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

Çalışmanın inkübasyon (300 gün) suresi sonunda 300 ve 500°C'deki piroliz sıcaklığında elde edilen domates biochar (DB300 ve DB500) uygulamasının toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi Şekil 4.21 ve 4.22'de gösterilmiştir. Çalışmanın I. dönem sonuçlarına göre toprağa DB300 uygulandığında toprağın infiltrasyon değeri $0.00050104 \text{ cm s}^{-1}$, DB500 uygulandığında ise bu değerin $0.00029655 \text{ cm s}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. Killi tın tekstür sahip olan toprağa DB300 ve DB500 uygulamalarından sonra toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisinin kontrole göre ($K = 0.00064001 \text{ cm s}^{-1}$) düşük olduğu belirlenmiştir.

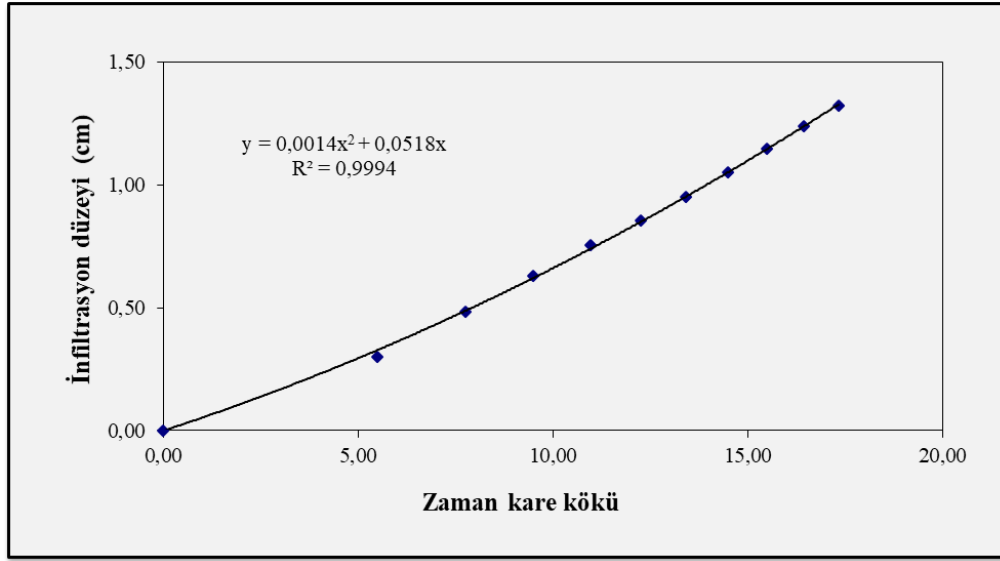


Şekil 4.21. DB300 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

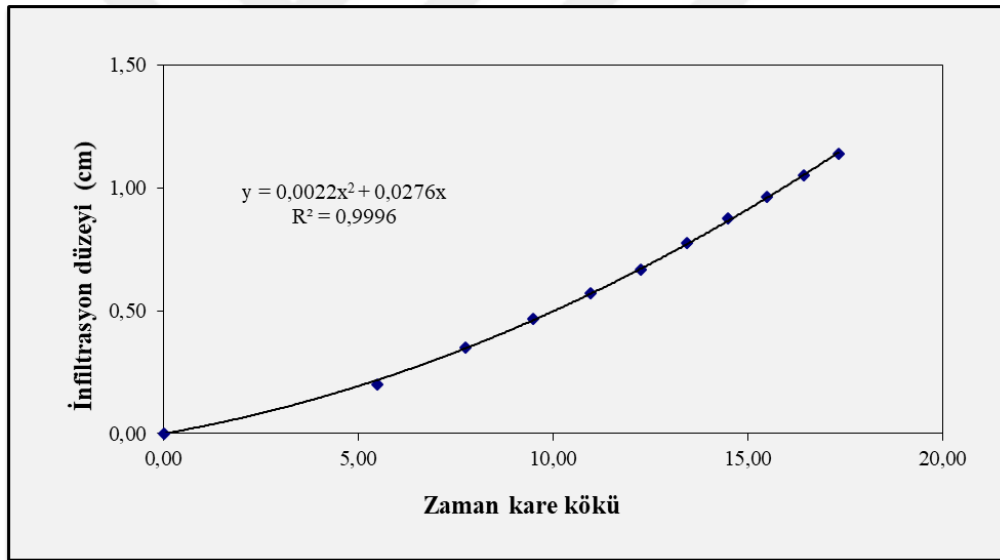


Şekil 4.22. DB500 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

300 günlük bir inkübasyon süresi sonunda 300 ve 500°C'deki piroliz sıcaklığında elde edilen muz biochar'ı (MB300 ve MB500) uygulamalarının toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi Şekil 4.23 ve 4.24'te grafik edilmiştir. Çalışmanın I. dönem sonuçlarına göre MB300 uygulamaları ile toprağın infiltrasyon değeri $0.00024392 \text{ cm s}^{-1}$, MB500 uygulamalarında ise toprağın infiltrasyon değerinin $0.00037848 \text{ cm s}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. MB300 ve MB500 uygulamaları killi tın tekstüre sahip olan toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi kontrole göre ($K = 0.00064001 \text{ cm s}^{-1}$) düşük olduğu belirlenmiştir.

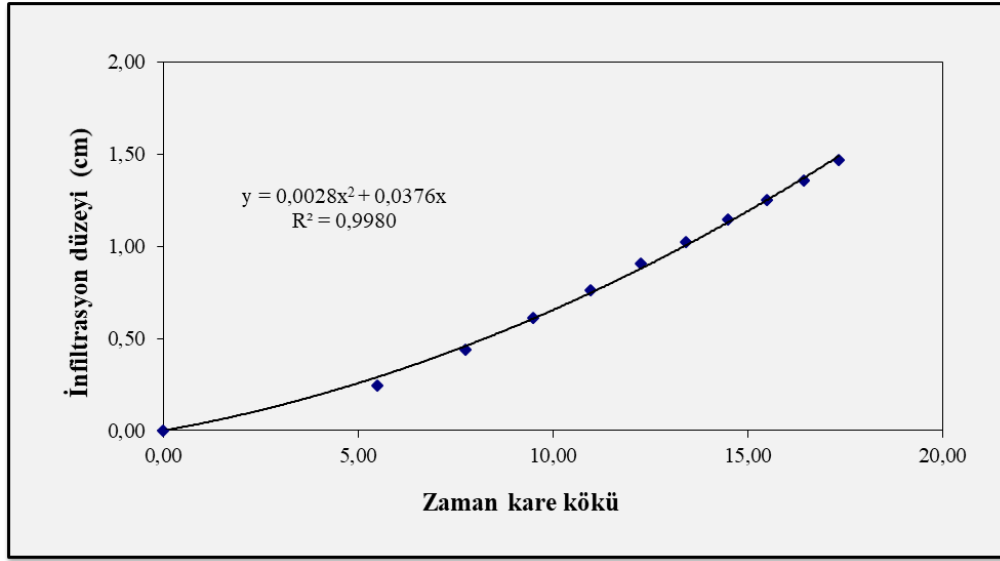


Şekil 4.23. MB300 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

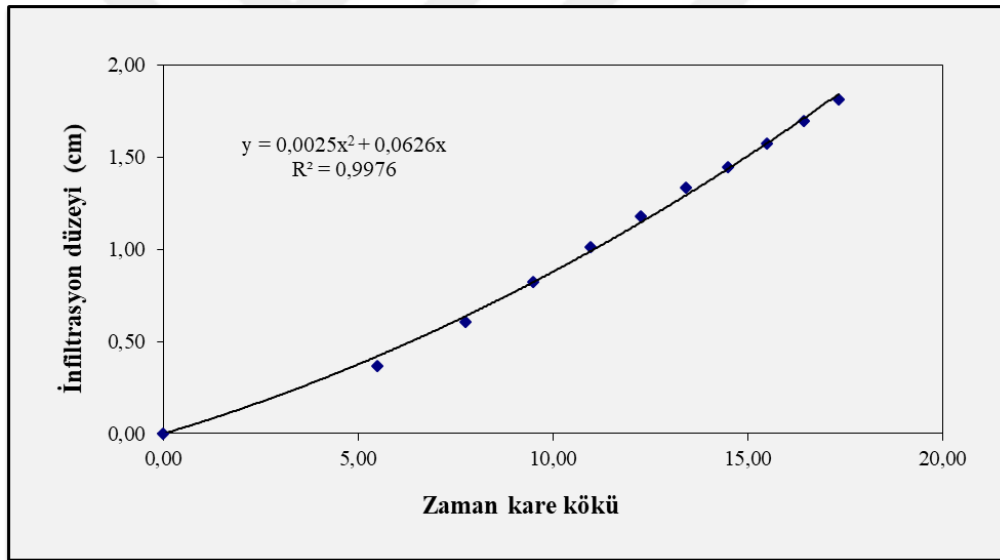


Şekil 4.24. MB500 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

Çalışmadaki 300 günlük inkübasyon süresi sonunda 300 ve 500°C'deki piroliz sıcaklığında elde edilen karanfil biochar'ının (KB300 ve KB500) toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi Şekil 4.25 ve 4.26'da grafik edilmiştir. Çalışmanın I. dönem sonuçlarına göre KB300 uygulamaları ile toprağın infiltrasyon değeri $0.00047551 \text{ cm s}^{-1}$ olurken, KB500 uygulamaları ile toprağın infiltrasyon değerinin $0.00043049 \text{ cm s}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. KB300 ve KB500 uygulamalarının killi tın tekstüre sahip olan deneme toprağına uyguladıktan 300 günlük bir inkübasyon süresi sonunda toprağın infiltrasyon düzeyinin kontrole göre ($K = 0.00064001 \text{ cm s}^{-1}$) düşük olduğu belirlenmiştir.

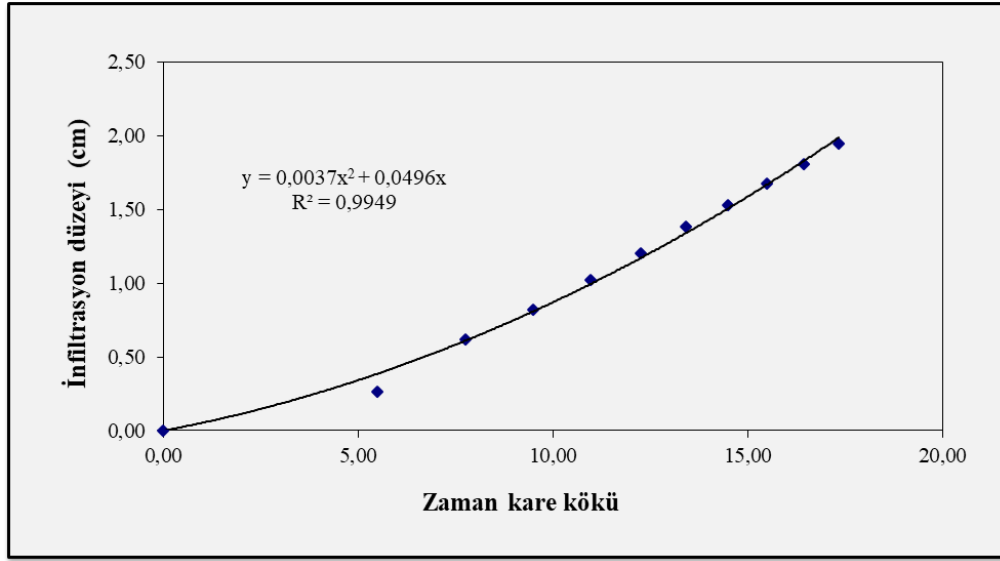


Şekil 4.25. KB300 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi



Şekil 4.26. KB500 uygulamalarının toprağın I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

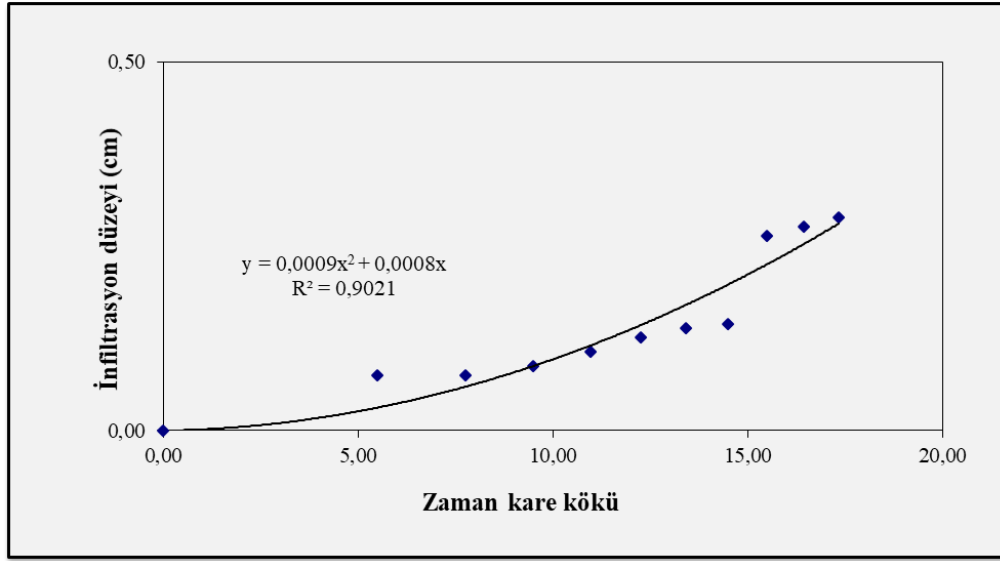
Çalışmanın inkübasyon (300 gün) suresi sonunda kontrol uygulaması olan toprağın infiltrasyon düzeyine ait ölçüm sonuçları Şekil 4.27’de grafik edilmiştir. Çalışmanın I. dönem sonuçlarına göre kontrol toprağın infiltrasyon değerinin $0.00064001 \text{ cm s}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. Kontrol uygulamasının infiltrasyon düzeyi BB500 dışında diğer uygulamalar ile karşılaştırıldığında yüksek olduğu belirlenmiştir.



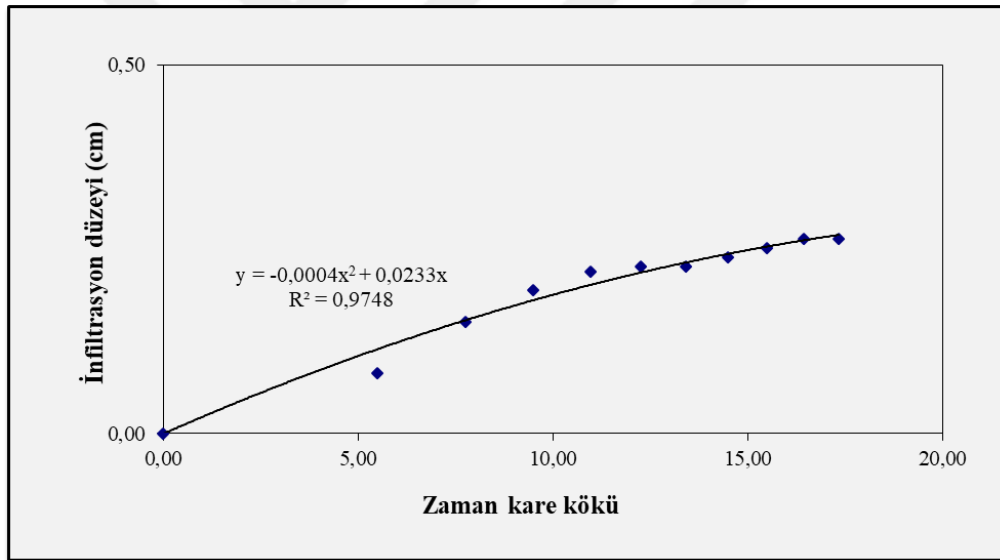
Şekil 4.27. Kontrol toprakların I. dönemdeki infiltrasyon düzeyi

Çalışmanın I. dönemindeki gibi uygulanan farklı tarımsal atıklardan (bağ budama atığı, domates atığı, muz plantasyon atığı ve karanfil atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300°C ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar'ların toprakların infiltrasyon düzeyi üzerine etkilerine ilişkin II. dönem sonuçları sırasıyla Şekil 4.28; 4.29; 4.30; 4.31; 4.32; 4.33; 4.34; 4.35 ve 4.36'da verilmiştir.

Çalışmanın inkübasyon (300 gün) süresi sonunda 300 ve 500°C'deki piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen bağ budama biochar'ının (BB300 ve BB500) toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi Şekil 4.28 ve 4.29'da grafik edilmiştir. Çalışmanın II. dönem sonuçlarına göre BB300 uygulamaları ile toprağın infiltrasyon değeri $0.00015171 \text{ cm s}^{-1}$ olurken, BB500 uygulamaları ile toprağın infiltrasyon değerinin 7.6496 cm s^{-1} olduğu belirlenmiştir. BB300 ve BB500 killi tın tekstüre sahip olan deneme toprağına uyguladıktan sonra ve inkübasyon süresi sonunda toprağın infiltrasyon düzeyinin kontrole göre ($K = 7.9198 \text{ cm s}^{-1}$) düşük olduğu belirlenmiştir.

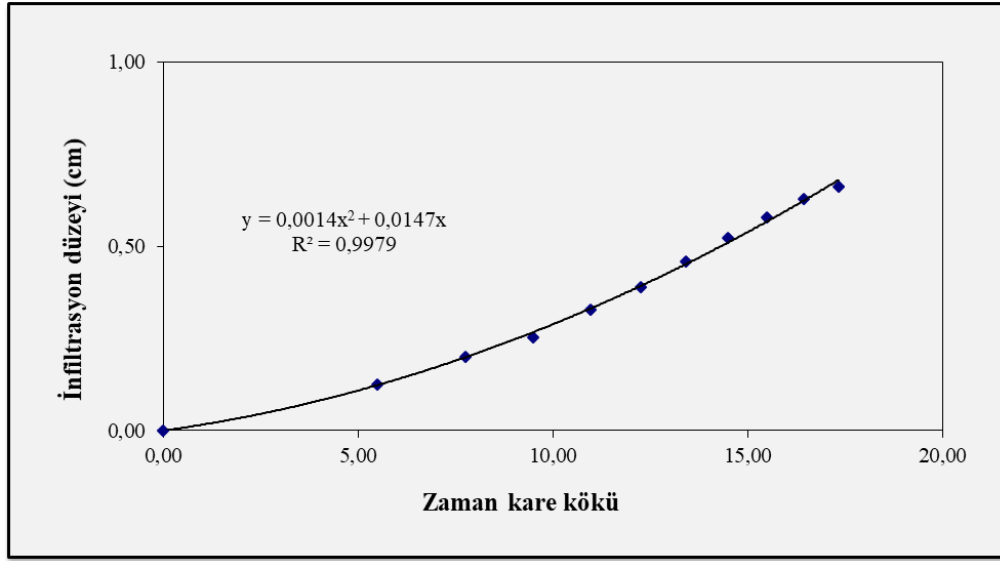


Şekil 4.28. BB300 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

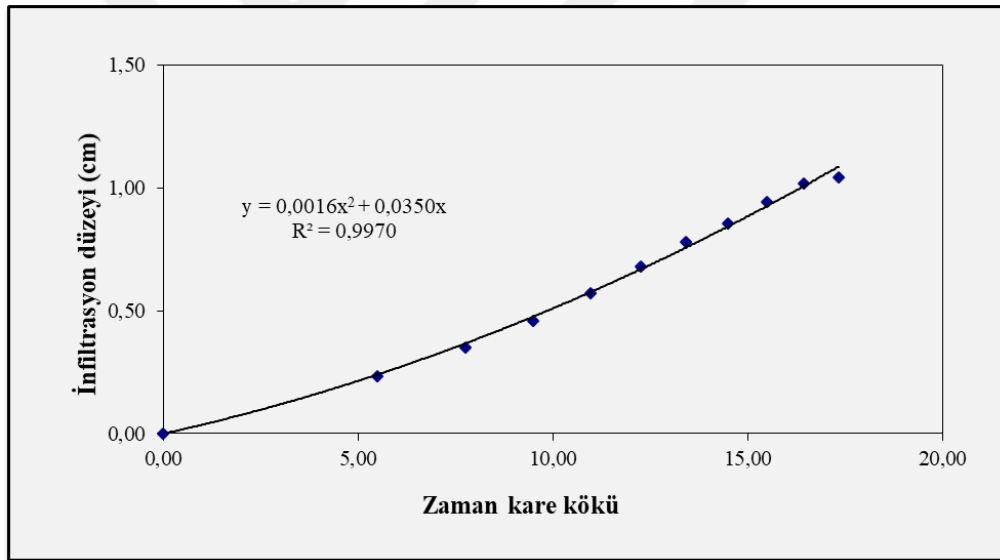


Şekil 4.29. BB500 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

Çalışmadaki 300 günlük bir inkübasyon süresi sonunda 300 ve 500°C'deki piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen domates biochar'ının (DB300 ve DB500) toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi Şekil 4.30 ve 4.31'de grafik edilmiştir. Çalışmanın II. dönemdeki sonuçlarına göre DB300 uygulamaları ile toprağın infiltrasyon değeri $0,00024145 \text{ cm s}^{-1}$ olup, DB500 uygulamalarında toprağın infiltrasyon değerinin $0,00027313 \text{ cm s}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. DB300 ve DB500 killi tın tekstüre sahip olan deneme toprağına uyguladıktan sonra toprağın infiltrasyon düzeyinin kontrole göre ($K = 7,9198 \text{ cm s}^{-1}$) düşük olduğu belirlenmiştir.

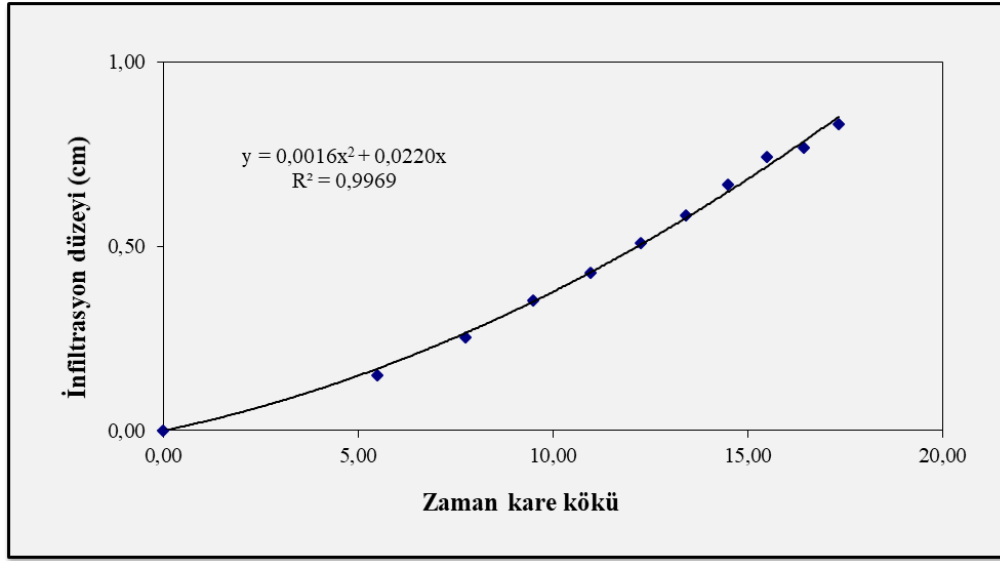


Şekil 4.30. DB300 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

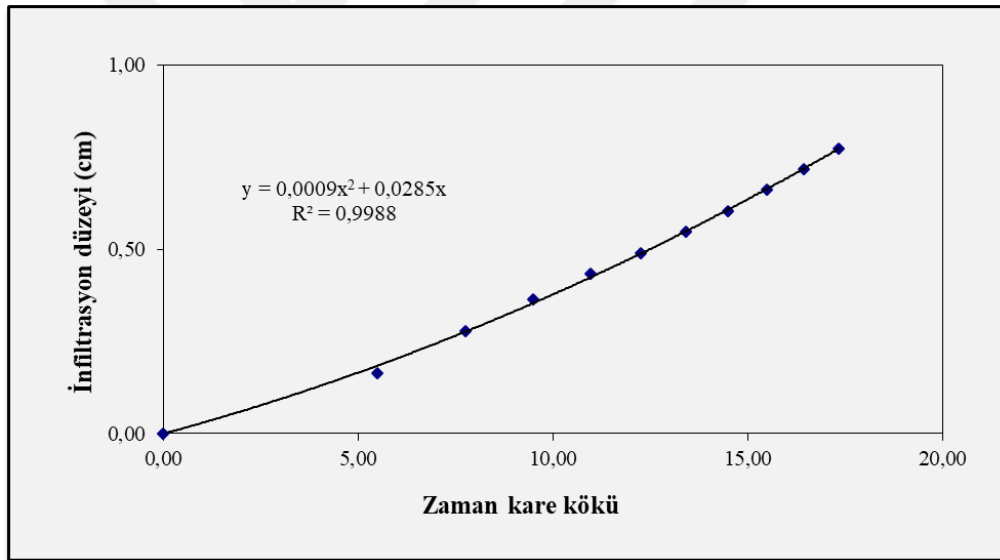


Şekil 4.31. DB500 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

Çalışmanın inkübasyon (300 gün) suresi sonunda 300 ve 500°C'deki piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen muz biochar'ının (MB300 ve MB500) toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi Şekil 4.31 ve 4.32'de grafik edilmiştir. Çalışmanın II. dönem sonuçlarına göre MB300 uygulamaları ile toprağın infiltrasyon değeri $0.00026733 \text{ cm s}^{-1}$ olurken, MB500 uygulamaları ile toprağın infiltrasyon değerinin $0.0001583 \text{ cm s}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. MB300 ve MB500 killi tın tekstüre sahip olan deneme toprağına uygulandıktan sonra toprağın infiltrasyon düzeyinin kontrole göre ($K = 7.9198 \text{ cm s}^{-1}$) düşük olduğu belirlenmiştir.

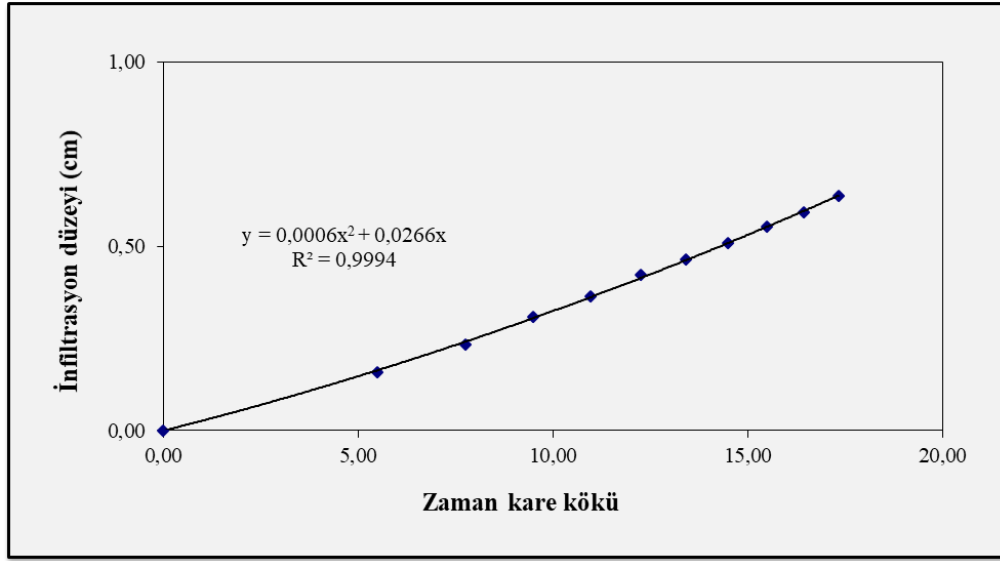


Şekil 4.32. MB300 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

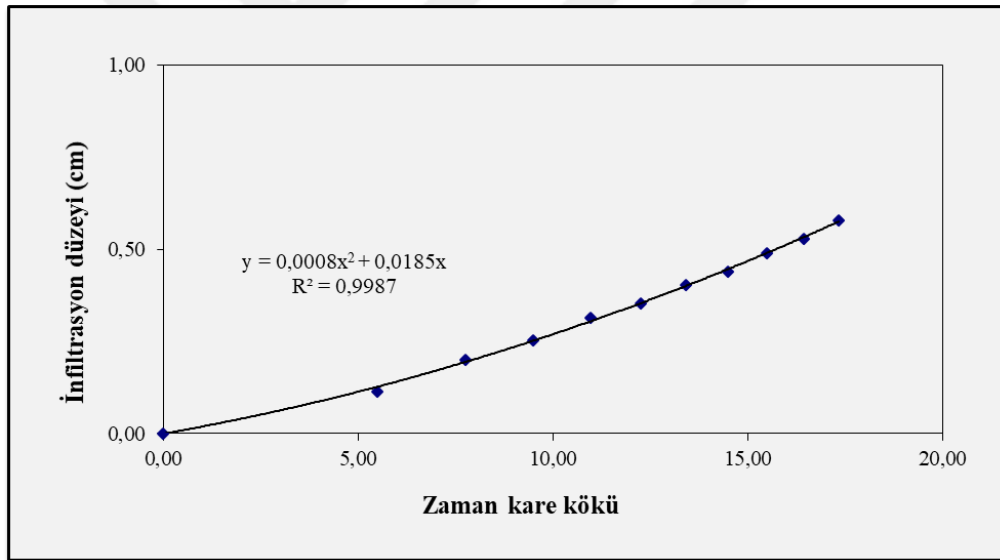


Şekil 4.33. MB500 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

Çalışmadaki 300 günlük bir inkübasyon süresi sonunda 300 ve 500°C'deki piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen karanfil biochar'ının (KB300 ve KB500) toprağın infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi Şekil 4.33 ve 4.35'te grafik edilmiştir. Çalışmanın II. dönem sonuçlarına göre KB300 uygulamaları ile toprağın infiltrasyon değeri $0,00010061 \text{ cm s}^{-1}$, KB500 uygulamaları ile toprağın infiltrasyon değerinin $0,00014456 \text{ cm s}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. KB300 ve KB500 killi tın tekstüre sahip toprağa uyguladıktan sonra toprağın infiltrasyon düzeyinin kontrole göre ($K = 7,9198 \text{ cm s}^{-1}$) düşük olduğu belirlenmiştir.

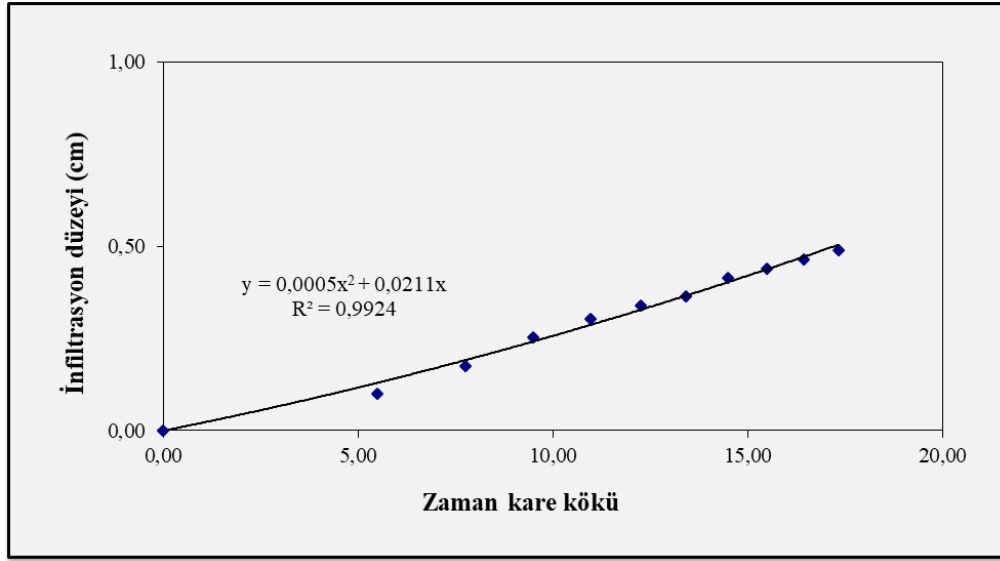


Şekil 4.34. KB300 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi



Şekil 4.35. KB500 uygulamalarının toprağın II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi üzerine etkisi

Çalışmadaki inkübasyon (300 gün) suresi sonunda kontrol toprak örneklerinin infiltrasyon düzeyi ölçüm sonuçları Şekil 4.27’de grafik edilmiştir. Çalışmanın II. dönemindeki sonuçlara göre kontrol toprağın infiltrasyon değerinin 7.9198 cm s^{-1} olduğu elde edilen bu infiltrasyon düzeyinin diğer uygulamalar ile karşılaştırıldığında yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.36. Kontrol toprakların II. dönemdeki infiltrasyon düzeyi

Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde ve farklı materyalden elde edilen biochar'ların toprağa uygulanmasıyla tüm uygulamalar ile toprağın kontrole göre infiltrasyon düzeyi azalmıştır. Genel olarak biochar uygulanması topraktaki su hareketini etkilemektedir. Biochar'ın bu etkisi toprak tipine, biochar kalitesine (örneğin partikül boyutu ve gözeneklilik) ve biochar uygulama oranına bağlıdır (Herath vd. 2013; Aslam vd.2014; Šimanský vd.2019). Küçük parçacık boyutlu (1-2 mm) biochar toprağa uygulandığında toprağın hidrolik iletkenlik (K) değerlerinde bir azalma olabilmektedir. Lehmann ve Stephen (2015) tarafından, biochar uygulamasıyla toprağın hidrolik iletkenliğinin esas olarak biochar ve toprak parçacıklarının boyutundan etkilendiğini belirtmiştir. Uygulanan biochar'a bağlı olarak granüler biochar'ın (örneğin, 0.2-10 mm) ince tekstürlü topraklara uygulanmasının toprakların infiltrasyonunu ve hidrolik iletkenliğini geliştirdiğini toz halinde uygulanan biochar'ın ise (örneğin, <0.2 mm) infiltrasyonu ve hidrolik iletkenliği azaltabileceği bildirmektedir. Ayrıca Laird vd. (2010) tarafından biochar'ın uygulanması sonucu tipik bir Orta batı tarımsal (tınlı tekstürlü) toprağın K_{sat} değerlerindeki değişimin çok az olduğu bildirilmiştir. Major vd. (2010) biochar uygulamaları ile toprağın doymuş hidrolik iletkenliğinin arttığı belirlenmiştir. Hseu vd. (2014) tarafından çeltik-sapından üretilmiş biochar siltli killi tın tekstürlü bir toprağa uygulanarak toprağın doymuş hidrolik iletkenlik değerlerinde (K_{sat}) belirgin bir artışın meydana geldiği bildirilmiştir.

Herath vd. (2013), mısır söbe'sinden elde edilen biochar'ı siltli tın tekstürlü toprağa uyguladıklarında toprağın hidrolik iletkenlik değerinde (K_{sat}) önemli düzeyde artış meydana geldiği ve toprağın drenaj yeteneğinin arttığı bildirilmiştir. Busscher vd. (2010), ceviz kabuğundan elde edilen biochar'ı tınlı kum tekstürlü bir toprağa uyguladıklarında toprağın infiltrasyon yeteneğinin arttığını belirtmişlerdir. Bu konuda elde edilen farklı sonuçlar kısmen kullanılan biochar'ların farklı özelliklerinden kaynaklanabilmektedir. Bossuyt vd. (2001) çalışmalarında kullandıkları biochar'ın C/N değerinin küçük olmasından dolayı hif salgılayabilen mantar gelişiminin olmadığı bu nedenle de hidrolik iletkenliğin etkilendiği ifade edilmektedir. Diğer taraftan toprak taneciklerinden daha büyük boyutlu biochar uygulamalarından sonra toprağın hidrolik

iletkenliği artırırken, toprak taneciklerinden daha küçük boyutlu biochar uygulamalarından sonra azalabilmektedir (Esmaeelnejad vd. 2017; Lim vd. 2016).

4.4. Biochar Uygulamalarının Marul Bitkisinin Gelişimi Üzerine Etkisi

Sera denemesinde uygulanan farklı piroliz sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) farklı tarımsal atıklardan (domates atığı, muz plantasyon atığı, karanfil atığı ve bağ budama atığı) elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinde verim ve kalite özellikleri üzerine etkileri bazı ölçümlerle belirlenmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilmiş ölçümler: bitki boyu, gövde çapı, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı ve yaprak klorofil miktarına ait bulgular aşağıda verilmiştir.

4.4.1. Biochar uygulamalarının marul bitki boyu üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (domates atığı, muz plantasyon atığı, karanfil atığı ve bağ budama atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının marul bitki boyu üzerine dönem içinde, dönemler arasında ve bir dönemin içindeki benzer uygulamalar arasındaki etkisine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.29 ve 4.30'da 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.29. Biochar'ın uygulamaların marul bitki boyu üzerine etkisi (cm)¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değerleri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	13.72b	19.70aB ³	0.0004***	13.72b	19.70a	0.0004***
BB	15.62b	20.60aB	0.0012**	14.14b	21.30a	<.0001***
DB	15.32b	22.70aA	<.0001***	11.76b	20.54a	0.0125*
MB	13.70b	21.20aB	<.0001***	16.16b	21.70a	0.0012**
KB	14.08b	20.80aB	<.0001***	14.26b	20.36b	0.0001***
LSD	0.1913öd	0.0062** ²		0.3045öd	0.1533öd	

1. Değerler 5 tekerrür ortalaması.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.30. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının marul bitki boyu üzerine etkisi.¹

Uygulamalar	Boy (cm)	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	13.72	19.70
BB300	15.62	20.60
BB500	14.14	21.30
LSD Uyg	0.2555öd	0.1007öd
KONTROL	13.72	19.70B
DB300	15.32	22.70A
DB500	11.76	20.54B
LSD Uyg	0.3482öd	0.0166*
KONTROL	13.72	19.70B
MB300	13.70	21.20AB
MB500	16.16	21.70A
LSD Uyg	0.1018öd	0.034*
KONTROL	13.72	19.70A
KB300	14.08	20.80A
KB500	14.26	20.36A
LSD Uyg	0.7949öd	0.4349*

1. Değerler 5 tekrerrüt ortalaması.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli

Çizelge 4.29 incelendiğinde, 300°C deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin boyu üzerine I. dönemdeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmazken uygulamaların II. dönemdeki etkisi $p<0.01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uygulamaların dönemler arasında etkide tüm uygulamalar ile dönemler arasında istatistiki anlamda önemli farklılıklar meydana gelmiştir. 500°Cdeki piroliz sıcaklığında elde edilen biochar uygulamalarında ise hem I. dönem hem de II. dönem de uygulamaların marul bitki boyu üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Ancak uygulamaların dönemler arasındaki etkisinde ise tüm uygulamalar ile dönemler arasında marul bitki boyu üzerine etki bakımından farklı istatistiki önemlilik düzeylerinde anlamlı farklılıklar elde edilmiştir.

Çizelge 4.30 incelendiğinde ise 300°C ve 500°C'deki piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamaları ile çalışmanın I. döneminde marul bitki boyu üzerine etki bakımından hiçbir uygulama ile istatistiki anlamda önemlilik bulunmamıştır. Çalışmanın II. döneminde ise BB300 ve BB500 uygulamaları dışındaki tüm uygulamalar marul bitki boyu üzerine etki bakımından istatistiki anlamda önemli etki meydana getirmiştir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, gerçekleştirilen biochar uygulamalarının her iki dönemdeki dönem içi etkileri karşılaştırıldığında yalnızca 300°C deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar'ların çalışmanın II. döneminde istatistiki anlamda etkili olduğu ve burada da marul bitki boyunda en etkili olan uygulamanın DB300 (22.70 cm) uygulamalarının olduğu görülmektedir. Biochar uygulamalarının dönemler arası etkisinde de tüm biochar uygulamaları ile marul bitki boyu üzerine etki

bakımından istatistiki anlamda önemli farklılıklar bulunmuş ve uygulamalar ile marul bitki boyunda çalışmanın II. döneminde daha fazla artış sağlandığı belirlenmiştir. .

4.4.2. Biochar uygulamalarının marul bitkisinin gövde çapı üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (domates atığı, muz plantasyon atığı, karanfil atığı ve bağ budama atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin gövde çapı üzerine dönem içi, dönemler arası ve bir dönemin içindeki benzer uygulamalar arasındaki etkilerine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.31 ve 4.32’de 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.31. Biochar uygulamalarının marul bitkisinin gövde çapı üzerine etkisi (mm)¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değeri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	19.52b ²	23.20a	0.0014**	19.52b	23.20a	0.0014**
BB	18.58b	24.80a	0.0016**	17.68b	25.40a	0.0003***
DB	17.56b	22.60a	0.0326*	19.76b	26.06a	0.0015**
MB	18.52b	25.00a	0.0004***	17.92b	24.58a	0.0013**
KB	19.02a	26.00a	<.0001***	18.68b	23.70a	0.0043**
LSD	0.4100öd	0.1950öd		0.3259öd	0.1919öd	

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.32. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin gövde çapı üzerine etkisi. ¹

UYGULAMALAR	Gövde Çapı(mm)	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	19.52	32.20
BB300	18.58	24.80
BB500	17.68	25.40
LSD Uyg	0.1818öd	0.2805öd
KONTROL	19.52	23.20
DB300	17.56	22.60
DB500	19.76	26.06
LSD Uyg	0.1699öd	0.1222öd
KONTROL	19.52	23.20
MB300	18.52	25.00
MB500	17.92	24.58
LSD Uyg	0.3815öd	0.2671öd
KONTROL	19.52	23.20
KB300	19.02	26.00
KB500	18.68	23.70
LSD Uyg	0.6005öd	0.0800öd

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil

Çizelge 4.31 incelendiğinde, 300°C'deki piroliz sıcaklığında elde edilen biochar uygulamalarının I. ve II. dönemdeki marul bitkisinin gövde çapı üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Diğer taraftan uygulamaların dönemler arası etkilerine bakıldığında ise uygulamalar ile marul bitkisinin gövde çapında istatistiki anlamda önemli farklılıklar bulunmuş ve bu önemlilik farklı düzeylerde gerçekleşmiştir. Benzer şekilde 500°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin gövde çapı üzerine etkisi her iki dönemde istatistiki anlamda önemli bulunmazken uygulamaların dönemler arası etkisinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Her iki piroliz sıcaklık değerine sahip farklı biochar uygulamalarının marul bitkisinin gövde çapını I. döneme göre II. dönemde daha fazla artış sağlamıştır.

Çizelge 4.32 incelendiğinde ise 300°C ve 500°C'deki piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının marul bitkisinin gövde çapı üzerine etkisi her iki dönemde istatistiki anlamda önemli bulunmamıştır.

4.4.3. Biochar uygulamalarının marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (domates atığı, muz plantasyon atığı, karanfil atığı ve bağ budama atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine dönem içi, dönemler arası ve bir dönemin içindeki benzer uygulamalar arasındaki etkilerine ait istatistiki sonuçlar Çizelge 4.33 ve 4.34'de 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.33. Biochar'ın uygulamaların marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine etkisi¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değeri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	30.82aAB ³	21.80bB	0.0035**	30.82a	21.80b	0.0035**
BB	33.90AB	27.06A	0.0852öd	33.54a	25.38b	0.0498*
DB	35.10aA	27.18bA	0.0087**	33.82a	26.62b	0.0358*
MB	30.74aAB	23.40bB	0.0111*	31.58	26.08	0.2372öd
KB	27.24B	24.18AB	0.0522öd	31.42a	24.76b	0.0117*
LSD	0.0132* ²	0.0056**		0.9100öd	0.2028öd	

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli

3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.34. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine etkisi¹

UYGULAMALAR	Klorofil miktarı	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	30.82	21.80B
BB300	33.90	27.06A
BB500	33.54	25.38AB
LSD Uyg	0.7128öd	0.0403* ²
KONTROL	30.82	21.80B
DB300	35.10	27.18A
DB500	33.82	26.62A
LSD Uyg	0.3937öd	0.0116*
KONTROL	30.82	21.80
MB300	30.74	23.40
MB500	31.58	26.08
LSD Uyg	0.9714öd	0.1486öd
KONTROL	30.82	21.80B
KB300	27.24	24.18AB
KB500	31.42	24.76A
LSD Uyg	0.2071öd	0.0819*

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli

Çizelge 4.33 incelendiğinde, 300°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine etkisi I. dönemde $p < 0.05$, II. dönemde ise $p < 0.01$ düzeyinde istatistiki anlamda önemli bulunmuştur. Uygulamaların dönem arasındaki etkisinde ise BB300 ve KB300 dışındaki diğer uygulamalar ile marul bitkisinin klorofil miktarında istatistiksel anlamda önemli farklılıklar bulunmuştur. Diğer taraftan 500°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarında ise her iki dönemde de istatistiki anlamda marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine etkisi bakımından önemlilik bulunmamıştır. Uygulamaların dönemler arası etkilerinde ise MB500 uygulaması dışındaki diğer uygulamalar ile istatistiki anlamda dönemler arasında önemli farklılıklar meydana gelmiştir.

Çizelge 4.34 incelendiğinde ise 300°C ve 500°C piroliz sıcaklığında elde edilen benzer biochar uygulamalarının marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine etkisi I: dönemde istatistiki anlamda önemli bulunmamıştır. Uygulamaların II. dönemdeki etkisine bakıldığında ise MB300 ve MB500 uygulamaları dışındaki diğer uygulamalar marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine önemli derecede etkisinin var olduğu belirlenmiştir. İnkübasyon (300 gün) süresi sonrasında farklı piroliz sıcaklık değerlerindeki benzer biochar uygulamaların marul bitkisinin klorofil miktarı üzerine etkisinde çalışmanın II. döneminde kontrole kıyaslandığında marul bitkisinin klorofil miktarında istatistiki anlamda önemli artışlar meydana gelmiştir.

4.4.4. Biochar uygulamalarının marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (domates atığı, muz plantasyon atığı, karanfil atığı ve bağ budama atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine dönem içi, dönemler arası ve dönem içindeki benzer uygulamalar arasındaki etkilerine ait istatistiki sonuçlar Çizelge 4.35 ve 4.36’da 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.35. Biochar’ın uygulamaların marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkisi (g bitki⁻¹)¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değerleri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	94.48b	173.97aC ³	0.0006***	94.49b	173.97a	0.0006***
BB	92.32b	187.34aBC	<.0001***	67.92b	190.49a	0.0024**
DB	81.70b	221.03aA	<.0001***	101.16b	201.02a	0.0007***
MB	89.51b	205.99aAB	<.0001***	93.58b	217.01a	<.0001***
KB	92.32b	221.73aA	<.0001***	82.12b	188.49a	<.0001***
LSD	0.6620öd	0.0102* ²		0.0986öd	0.4868öd	

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.
2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli; *** %0.1 düzeyinde önemli
3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.36. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkisi ¹

UYGULAMALAR	Yaş ağırlık (g bitki ⁻¹)	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	94.49	173.97
BB300	92.32	187.34
BB500	67.92	190.49
LSD Uyg	0.1041öd	0.7770öd
KONTROL	94.488	173.97B
DB300	81.708	221.03A
DB500	101.158	201.02AB
LSD Uyg	0.0878öd	0.0101* ²
KONTROL	94.49	173.97B
MB300	89.51	205.99AB
MB500	93.58	217.01A
LSD Uyg	0.9144öd	0.0354*
KONTROL	94.488	173.97B
KB300	92.32	221.73A
KB500	82.118	188.49AB
LSD Uyg	0.1798öd	0.0548*

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.
2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli

Çizelge 4.35 incelendiğinde, 300°C'deki piroliz sıcaklığında elde edilen farklı biochar uygulamalarının I. dönemdeki marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Ancak uygulamaların II. dönem marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkisi ise istatistiki anlamda $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuş ve uygulamalar ile bitki yaş ağırlığında ciddi artışlar kaydedilmiştir. Aynı uygulamaların marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine dönemler arası etkisi incelendiğinde tüm uygulamalar marul bitkisinin yaş ağırlığında istatistiki anlamda $p < 0.001$ düzeyinde önemli farklar meydana getirmiştir. Farklı biyokütlelerden 500°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkisi her iki dönemde de istatistiki anlamda önemli olmamıştır. Ancak uygulamaların dönemler arası marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkileri ise tüm uygulamalarla istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

Çizelge 4.36 incelendiğinde 300°C ve 500°C'deki piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen biochar uygulamaları ile çalışmanın I. döneminde istatistiki anlamda herhangi bir önemlilik belirlenmezken uygulamaların çalışmanın II. dönemindeki marul bitkisinin yaş ağırlığı üzerine etkisi BB300 ve BB50 uygulamaları dışındaki tüm uygulamalarda $p < 0.05$ düzeyinde istatistiki önemlilik tespit edilmiştir. Genel bir değerlendirme yapılacak olunursa 300 ve 500°C'deki piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen biochar uygulamaları özellikle çalışmanın II. döneminde marul bitkisinin yaş ağırlığında ciddi artış meydana getirmiştir.

4.4.5. Biochar uygulamalarının marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisi

Farklı tarımsal atıklardan (domates atığı, muz plantasyon atığı, karanfil atığı ve bağ budama atığı) farklı sıcaklık değerlerinde (300 ve 500°C) yavaş piroliz yoluyla elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine dönem içi, dönemler arası ve dönem içi benzer uygulamalar arasındaki etkilerine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.37 ve 4.38'de 5 tekerrür ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 4.37. Biochar'ın uygulamaların marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisi¹

Uygulamalar	Piroliz Sıcaklık Değeri					
	300°C			500°C		
	I. Dönem	II. Dönem	LSD	I. Dönem	II. Dönem	LSD
KONTROL	10.73a	7.07bB ³	0.0097**	10.73a	7.078b	0.0097**
BB	9.52	9.450A	0.9273öd	9.53	9.95	0.5616öd
DB	9.98	10.096A	0.8796öd	11.43a	8.52b	0.0322*
MB	11.65	9.654A	0.1826öd	10.81	9.06	0.2301öd
KB	10.59	9.95A	0.5590öd	9.41	8.62	0.4725öd
LSD	0.5253öd	0.0021**2		0.4143öd	0.0682öd	

1. Değerler 5 tekerrür ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli

3. Küçük harflendirme dönemler arası, büyük harflendirme dönem içi farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 4.38. Farklı piroliz sıcaklık değerlerinde elde edilen benzer biochar uygulamalarının marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisi¹

UYGULAMALAR	Kuru ağırlık (g bitki ⁻¹)	
	I. Dönem	II. Dönem
KONTROL	10.73	7.07B
BB300	9.52	9.45A
BB500	9.53	9.95A
LSD Uyg	0.3820öd	0.0052**2
KONTROL	10.73	7.07B
DB300	9.98	10.09A
DB500	11.43	8.52A
LSD Uyg	0.4201öd	0.0198*
KONTROL	10.73	7.07B
MB300	11.65	9.65A
MB500	10.81	9.06A
LSD Uyg	0.8233öd	0.0174*
KONTROL	10.73	7.070B
KB300	10.59	9.95A
KB500	9.41	8.62AB
LSD Uyg	0.5001öd	0.0233*

1. Değerler 5 tekrerr ortalamasıdır.

2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar %5 düzeyinde önemlidir. öd: önemli değil; *: %5 düzeyinde önemli; **: %1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.37 incelendiğinde, 300°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisi I. dönemde istatistiki anlamda önemli bulunmazken uygulamaların II. dönem etkisi $p<0.01$ düzeyinde istatistiki anlamda önemli bulunmuştur. Aynı uygulamaların marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine dönem arasındaki etkisi ise kontrol uygulaması ($p<0.01$) dışında diğer uygulamalar ile önemli bir fark meydana gelmemiş, kontrol uygulamasında çalışmanın II. döneminde bitki kuru ağırlığı değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Farklı biyokütlelerden 500°C'deki piroliz sıcaklık değerinde elde edilen biochar uygulamalarının marul bitki kuru ağırlığı üzerine etkisi her iki dönemde de istatistiki anlamda önemli bulunmamıştır. Aynı uygulamaların dönemler arasındaki marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisinde ise DB ($p<0.05$) ve kontrol ($p<0.01$) uygulamalarında istatistiki önemli farklılıklar meydana gelirken diğer uygulamalar ile istatistiki herhangi bir önemlilik tespit edilmemiştir.

Çizelge 4.38 incelendiğinde ise benzer biyokütlelerden 300°C ve 500°C'deki piroliz sıcaklığında elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine I. dönem etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Uygulamaların II. dönem marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisi ise önemli olmuş ve bu etki bitki kuru ağırlık miktarında artışa neden olmuştur. Genel olarak, 300 ve 500°C'de elde edilen biochar uygulamalarının marul bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisinin I. döneme göre II. dönemde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Ensarioğlu (2016) tarafından yürütülen çalışmada, farklı dozlardaki (%5, %10 ve %20) biochar'ı Akdeniz kırmızı toprağı [(*Terra rosa*): A toprağı] ve Namnam Çayı yatağı kıyısından toplanmış dere toprağına (B toprağı) uygulayarak buğday bitkisi

üzerine etkisini incelemiştir. Çalışma sonuçlarına göre, biochar uygulamalarının buğdayın vejetatif (sürgün boyu, sürgün yaş ağırlığı ve kuru ağırlığı) gelişimi üzerine etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Hagner vd. (2016) tarafından, farklı piroliz sıcaklık değerlerinde (300°C, 375°C, 475°C) elde edilen huş ağacı biochar'ının marul (*Lactuca sativa*), turp (*Raphanus sativus*), arpa (*Hordeum vulgare*) ve ryegrass'ın (*Lolium perenne*) bitki büyümesi üzerine etkilerinin paralel olduğu ve var olan farklılıkların çoğunlukla hafif ve kısa vadeli olduğu bildirilmektedir. Carter vd. (2013) tarafından, pirinç kabuğundan üretilmiş biochar uygulamasıyla marul (*Lactuca sativa*) ve Çin lahanası (*Brassica chinensis*) gelişimi üzerindeki etkisinin oldukça olumlu olduğu bulunmuştur. Artiola vd. (2012) tarafından yürütülen çalışmada da, çam orman atıklardan yavaş piroliz (450-500°C) yoluyla elde edilen biochar'ların toprağa uygulanmasıyla kontrole göre önemli ölçüde daha yüksek marul verimi alınabileceği rapor edilmiştir.

Hartley vd. (2016) biochar'ın uygulamasının buğday tane verimi üzerine etkisiz olduğu bildirilmiştir. Ayrıca bu konuda yapılan başka çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre biochar uygulamalarının bitkisel verim üzerine etkisinin bulunmadığı veya olumsuz yönde bir etkisinin bulunduğu bildirilmektedir (Borchard vd. 2014; Butnan vd. 2015; Foster vd. 2016; Liu vd. 2017)

Mohamoud (2019) tarafında gerçekleştirilen bir çalışmada, fertigasyon sistemi kullanarak 9 farklı su stresi koşullarında biochar uygulamalarının Kıvırcık (*Lactuca sativa* var. *crispa*) ve Göbekli (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) marul gelişimi üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan uygulama sonunda Campania kıvırcık ve Bitez göbekli marul çeşitlerinde bazı verim kalite (baş boyu, kök boğazı çapı ve yaprak sayısı) üzerine etkili olduğu bulunmuştur.

Mounirou (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, iki farklı lokasyondaki (Ayaş ve Ankara) saha denemesinde keçi gübresi, keçi gübresinden üretilmiş biyokömür ve inorganik gübreler toprağa uygulanarak marul bitki verimleri incelenmiştir. Ankara'daki deneme alanında, biyokömürün tek başına uygulanmasıyla bitki baş ağırlığının kontrollere göre önemli düzeyde azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde biyokömür ve keçi gübresi uygulamaları ile marul klorofil miktarı ve nispi klorofil miktarının önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir. Biyokömür ve keçi gübresi uygulamalarıyla marul yaprak yaş ağırlığının kontrole göre artış gösterdiği, yaprak kuru ağırlığının ise biyokömür uygulaması ile kontrole göre azaldığı belirtilmiştir.

Literatür de farklı üretim koşullar altında, toprağın özellikleri ve uygulanan biochar'ın özellikleri bağlı olarak biochar uygulamalarının bitki verim kalite üzerine etkilerinin genellikle olumlu olduğu belirlenmiştir (Chan vd. 2007; Asai vd. 2009; Lin vd. 2015; Liu vd. 2017). Öte yandan biochar'ın uygulaması yapılan bazı çalışmalarda ise biochar'ın bitki verim kalite üzerine etkisinin önemsiz olduğu bildirilmektedir (Gaskin vd. 2010; Nelissen vd. 2015; Lin vd. 2015; Nelissen vd. 2015; Subedi vd. 2016).

5. SONUÇLAR

Antalya’da yapılan yoğun tarımsal üretim süreçlerinde oldukça çeşitli ve yüksek miktarlarda tarımsal atık meydana gelmektedir. Ancak bölgemiz ve/veya ülkemiz ölçeğinde bu atıklar genellikle ya çevreye terk edilmekte veya yakılarak heba edilmektedir. Çevreye terk edilen veya yakılan bu atıklar çevresel açıdan önemli bir kirlilik etmeni olmakla birlikte insan ve diğer canlılar açısından da bir tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yeterince değerlendirilemediği düşünülen ve Antalya’da gerçekleştirilen tarımsal üretim sonucu meydana gelen bazı tarımsal atıkların yavaş piroliz yöntemiyle biochar’a dönüştürülerek toprağa uygulanması sonucu biochar’ın toprak verimlilik özellikleri ile marul gelişimi üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma sonunda, farklı biyokütlelerden (bağ budama, domates, muz ve karanfil), farklı piroliz sıcaklıklarında (300°C ve 500°C) elde edilen biochar uygulamalarının toprağın kimyasal özelliklerinden pH, EC, KDK ve toprağın farklı agregat boyutlarındaki organik karbon içeriği üzerindeki etkilerinin olumlu olduğu tespit edilmiştir. Uygulamaların pH üzerine etkinliğinde birçok uygulamada istatistiksel önemlilik bulunmamakla birlikte (BB300 dışında) pH da bir azalmanın meydana geldiği özellikle alkali reaksiyona sahip topraklar için bu sonucun önemli olacağı anlaşılmaktadır. Biochar uygulamalarının toprağın EC değeri üzerine etkisi EC değerini arttırıcı yönde olmakla beraber uygulamalarla birlikte toprağın EC değerlerinin çalışmanın II. döneminde daha düşük olarak kendini göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre toprak EC değerlerindeki artışın daha çok biyokütle farklılıklarına bağlı olarak gerçekleştiği piroliz sıcaklık değerlerindeki farklılığın burada çok fazla önemli olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca toprak EC değerlerinde edilen bu sonuçlar ise bitki gelişimini tehdit edecek boyutta değildir. Biochar uygulamaları ile toprağın KDK değerlerinde önemli artışlar elde edilmiştir. KDK da elde edilen sonuçlarda biyokütle farklılığının ve piroliz sıcaklık değerlerindeki farklılığın ayrıca materyalin inkübasyon süresinin de önemli olduğu görülmüştür. Özellikle KB de 500°C DB de ise 300°Cdeki piroliz sıcaklık değerlerinin KDK da daha etkili olduğu diğer materyallerde ise etkilerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Biochar uygulamaları ile elde edilen bu artışlar sonucu toprakta gerçekleşen birçok kimyasal ve biyokimyasal olayların pozitif anlamda etkileneceği, bu sayede de toprak verimlilik düzeyinin geliştirilebileceği anlaşılmaktadır. Biochar uygulamalarıyla makro ve mikro boyutlu agregatların organik karbon kapsamalarında hem dönemlerin kendi içinde hem de çalışmanın II. döneminde ciddi artışların tespit edilmesi karbon korunumu ve topraktaki biyokimyasal reaksiyonlar açısından oldukça önemli olabileceğini bize göstermektedir. Bununla birlikte farklı piroliz sıcaklık değerlerinde aynı biyokütleden elde edilen benzer biochar’ların hem makro hem de mikro agregatların organik karbon içeriği üzerine etkisinde özellikle 300°C’de elde edilen biochar’ların daha etkili olduğu belirlenmiş ve bu sıcaklık değerindeki biochar’ların karbon agregatların kapsamı üzerine daha etkili olabileceğini bize göstermektedir.

Biochar uygulamalarının toprağın makro ve mikro agregatlar oluşumu üzerine etkileri göz önüne alındığında, biochar uygulamaları ile özellikle çalışmanın I. döneminde olmak üzere >4 mm boyutlu makro boyuta sahip agregatların oluşumunda azalma gözlenirken <4mm olmak üzere mezo boyuta sahip agregat miktarında ve mikro agregat miktarında artışların varlığı toprak içindeki fiziksel birçok parametrenin buna

bağlı olarak iyileşebileceğini göstermektedir. Benzer şekilde biochar uygulamalarının özellikle çalışmanın I. döneminde olmak üzere 2-1 mm boyutlu makro agregatların ve çalışmanın II. döneminde olmak üzere 0.25-0.050 mm boyutlu mikro boyuta sahip agregatların stabilitesinde artış sağlaması strüktürel devamlılığın korunması adına oldukça önemlidir. Diğer taraftan agregat stabilitesinde elde edilen sonuçlarda bazı uygulamalar haricinde piroliz sıcaklık değerindeki farklılığın fazla önemli olmadığı görülmüştür.

Çalışmada, biochar uygulamalarının özellikle çalışmanın II. döneminde olmak üzere tarla kapasitesi ve solma noktasındaki toprağın nem içeriğinde ayrıca I. dönemde olmak üzere topraktaki yarıyışlı su depolanması gibi etkilerine bakıldığında toprağın su bütçesini geliştirme potansiyeline sahip olduklarını göstermektedir. Diğer taraftan deneme toprağının hacim ağırlığı ve penetrometre direnci değerlerinde biochar uygulamalarıyla önemli düşüşler elde edilmiştir. Bu sonuç bize uygulanan biochar'lar ile toprağın hava su dengesi ile dağılımı ayrıca toprak işlenebilirliğinde pozitif faydalar getireceğini göstermektedir. Biochar uygulamalarının toprakların kıvam limitleri değeri açısından çok etkili olmadığı bulunmuştur. Bununla birlikte biochar uygulamalarının toprakta suyun infiltrasyonu üzerine etkisinin olumsuz olduğu burada elde edilen etkide kullanılan biochar'ların boyutlarının küçük olmasından kaynaklanarak toprağın mevcut gözeneklilik yapısında bir tıkanmaya neden olarak bu etkinin elde edildiği düşünülmektedir. Bazı toprak verimlilik parametrelerinde 300°C'de üretilmiş biochar'ların, bazı toprak verimlilik parametrelerinde ise 500°C'de elde edilen biochar'ların daha etkili olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan uygulamaların inkübasyon süresi içindeki farklı dönemlerdeki etkisinde birçok toprak verimlilik parametresinde özellikle II. dönemdeki etkilerin daha belirgin olduğu anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, tarımsal atık olarak ortaya çıkmış farklı biyokütlelerin (bağ budama, domates, muz, karanfil) farklı sıcaklıklarda (300 ve 500°C) yavaş pirolizinden elde edilen biochar örneklerinin toprak verimlilik parametrelerinin çoğu üzerinde meydana getirdikleri pozitif etkileri ile marul verim ve kalite parametrelerinde sağladığı gelişmeler dikkate alındığında, bu atıkların piroliz edilerek biochar formunda rahatlıkla ve güvenle kullanılabilmesi, tarımsal üretim, toprak koruma ve çevre açısından birçok fayda sağlayacağı söylenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., & Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202, 183-191.
- Agegehu, G., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2016). Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil and Tillage Research*, 160, 1-13.
- Ahmad, M., Lee, S.S., Dou, X., et al. 2012. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover- and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. *Bioresource Technology* 118: 536–544.
- American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke”, ASTM Standarts D3173-03.
- American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal”, ASTM Standarts D3174-02.
- American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke”, ASTM Standarts D3175-07.
- American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood”, ASTM Standarts D1107-96.
- American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood.” ASTM Standarts D1106-96.
- American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels” ASTM Standarts E872-82.
- Amonette JE, Joseph S (2009) Characteristics of biochar: microchemical properties. Chapter 3. In: Lehmann J, Joseph S (eds) Biochar for environmental management science and technology. Earthscan, London, pp 33–52
- Amutio, M., Lopez, G., Aguado, R., Bilbao, J., & Olazar, M. (2012). Biomass oxidative flash pyrolysis: autothermal operation, yields and product properties. *Energy & Fuels*, 26(2), 1353-1362.
- Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Mitchell, J. P. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems & environment*, 90(1), 25-45.
- Angin, D., & Şensöz, S. (2014). Effect of pyrolysis temperature on chemical and surface properties of biochar of rapeseed (*Brassica napus* L.). *International Journal of phytoremediation*, 16(7-8), 684-693.
- Antal, M. J., & Grønli, M. (2003). The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(8), 1619-1640.
- Antunes, E., Schumann, J., Brodie, G., Jacob, M. V., & Schneider, P. A. (2017). Biochar produced from biosolids using a single-mode microwave: Characterisation and its potential for phosphorus removal. *Journal of environmental management*, 196, 119-126.

- Artiola, J. F., Rasmussen, C., & Freitas, R. (2012). Effects of a biochar-amended alkaline soil on the growth of romaine lettuce and bermudagrass. *Soil Science*, 177(9), 561-570.
- Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Horie T (2009) Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Res* 111(1): 81-84.
- Aslam, Z., Khalid, M., & Aon, M. (2014). Impact of biochar on soil physical properties. *Scholarly Journal of Agricultural Science*, 4(5), 280-284.
- Awad, Y.M., Blagodatskaya, E., Ok, Y.S., et al. 2012. Effects of polyacrylamide, biopolymer, and biochar on decomposition of soil organic matter and plant residues as determined by ¹⁴C and enzyme activities. *European Journal of Soil Biology* 48: 1–10.
- Baiamonte, G., Crescimanno, G., Parrino, F., & De Pasquale, C. (2019). Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. *Catena*, 175, 294-303.
- Balat, M., Balat, M., Kırtay, E., & Balat, H. (2009). Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems. *Energy Conversion and Management*, 50(12), 3147-3157.
- Baldock, J. A., & Smernik, R. J. (2002). Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry*, 33(9), 1093-1109.
- Basso, A. S., Miguez, F. E., Laird, D. A., Horton, R., & Westgate, M. (2013). Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *Gcb Bioenergy*, 5(2), 132-143.
- Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gomez-Eyles, J.L., et al. 2011. A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental Pollution* 159: 3269–3282.
- Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB bioenergy*, 5(2), 202-214. *Biomass and Bioenergy*, 38, pp. 68–94.
- Black, C.A. 1957. *Soil-Plant Relationships*. John Wiley and Sons Inc., New York, 332 p.
- Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and Soil Physical Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 687–711.
- Bolan, N.S., Kunhikrishnan, A., Choppala, G.K., et al. 2012. Stabilization of carbon in composts and biochars in relation to carbon sequestration and soil fertility. *Science of The Total Environment* 424: 264–270.
- Borchard, N., Siemens, J., Ladd, B., Möller, A., & Amelung, W. (2014). Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. *Soil and Tillage Research*, 144, 184-194.

- Bouyoucos, G.J. 1955. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of the Soils, *Agronomy Journal* 4 (9): 434.
- Brady, N. C., Weil, R. R., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils* (Vol. 13, pp. 662-710). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Braga R.M., T. R. Costa, J. C. O. Freitas, J. M. F. Barros D. M. A. Melo, M. A. F. Melo. 2014 Pyrolysis kinetics of elephant grass pretreated biomasses, *J Therm Anal Calorim* (2014) 117 :1341-1348.
- Brassard, P., Godbout, S., & Raghavan, V. (2016). Soil biochar amendment as a climate change mitigation tool: key parameters and mechanisms involved. *Journal of environmental management*, 181, 484-497.
- Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen Methods of Soil Analysis'. Part 2. Chemical and Microbiological Properties'. Ed. C. A. Black.Amer. Soc.of Agron. Inc. Pub. Agron.Series. No: 9, Madison, Wisconsin, U.S.A., 1149-1178
- Brewer, C. E., Unger, R., Schmidt-Rohr, K., & Brown, R. C. (2011). Criteria to select biochars for field studies based on biochar chemical properties. *Bioenergy Research*, 4(4), 312-323.
- Bridgwater, A. V., Meier, D., & Radlein, D. (1999). An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic geochemistry*, 30(12), 1479-1493.
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading.
- Brown, R. (2009). Biochar production technology. *Biochar for environmental management: Science and technology*, 127-146.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., ... & Pulleman, M. (2018). Soil quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125.
- Burrell, L. D., Zehetner, F., Rampazzo, N., Wimmer, B., & Soja, G. (2016). Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma*, 282, 96-102.
- Busscher, W. J., Novak, J. M., Evans, D. E., Watts, D. W., Niandou, M. A. S., & Ahmedna, M. (2010). Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand. *Soil Science*, 175(1), 10-14.
- Butnan, S., Deenik, J. L., Toomsan, B., Antal, M. J., & Vityakon, P. (2015). Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. *Geoderma*, 237, 105-116.
- Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M., & Ro, K. S. (2012). Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource technology*, 107, 419-428.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R.W., Sharpley, A. N. and Smith, V. H. (1998) 'Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen', *Ecological Applications*, vol 8, pp559–568.
- Carter, M. R., Gregorich, E. G., Anderson, D. W., Doran, J. W., Janzen, H. H., & Pierce, F. J. (1997). Concepts of soil quality and their significance.

- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. B., & Haefele, S. (2013). The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3(2), 404-418.
- Chan KY, Dorahy C, Tyler S (2007) Determining the agronomic value of composts produced from garden organics from metropolitan areas of New South Wales, Australia. *Animal Production Science* 47(11): 1377-1382.
- Chapman, H.D., Pratt, P.F and Parker, F. 1961. Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. Univ. of Calif. Div. of Agri. Sci., Riverside, U.S.A., 309 p.
- Cheng, C-H, Lehmann, J., Thies, J.E., Burton, S.D., Engelhard, M.H. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry*, 37, 1477-1488.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., & Engelhard, M. H. (2008). Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(6), 1598-1610.
- Chepil, W.S. 1962. A Compact Rotary Sieve and the Importance of Dry Sieving in Physical Soil Analysis. *Soil Science Society of America Proc.*, 26: 4-6.
- Chia, C. H., Downie, A., & Munroe, P. (2015). Characteristics of biochar: physical and structural properties. *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation*, 89-109.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., & Julson, J. L. (2014). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(3), 393-404.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., & Julson, J. L. (2014). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(3), 393-404.
- Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G. D., Rutherford, D. W., ... & Mulder, J. (2013). Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. *Agronomy*, 3(2), 256-274.
- Czernik, S. and Bridgwater, A. V. (2004). Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. *Energy & Fuels*, 18, pp. 590-598.
- Davidson, D. A. (2000). Soil quality assessment: recent advances and controversies. *Progress in Environmental Science*, 2(4), 342-350.
- De Wild, P. J. (2015). Biomass pyrolysis for hybrid biorefineries. In *Industrial Biorefineries & White Biotechnology* (pp. 341-368). Elsevier.
- Demiralay, İ. 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. *Atatürk Üni. Yayınları* No: 143, ss. 90-95, Erzurum.
- Demirbas, A., & Arin, G. (2002). An overview of biomass pyrolysis. *Energy sources*, 24(5), 471-482.
- Demirbas, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related

- environmental issues. *Progress in energy and combustion science*, 31(2), 171-192.
- Demirbas, M. F., & Balat, M. (2007). Biomass pyrolysis for liquid fuels and chemicals: A review.
- Dempster, D.N., D.B. Gleeson, Z.M. Solaiman, D.L. Jones, and D.V. Murphy. 2012. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralization with eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. *Plant Soil* 354:311–324.
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., ... & Zheng, B. (2016). Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36(2), 36.
- Dong, X., Guan, T., Li, G., Lin, Q., & Zhao, X. (2016). Long-term effects of biochar amount on the content and composition of organic matter in soil aggregates under field conditions. *Journal of soils and sediments*, 16(5), 1481-1497.
- Dong, X., Singh, B. P., Li, G., Lin, Q., & Zhao, X. (2018). Biochar application constrained native soil organic carbon accumulation from wheat residue inputs in a long-term wheat-maize cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 252, 200-207.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1997). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *Methods for assessing soil quality*, 49, 25-37.
- Eastman, C.M. 2011. Soil physical characteristics of an Aeris Ochraqualf amended with biochar. M.S. thesis. Ohio State University, Columbus.
- Enders, A., Hanley, K., Whitman, T., Joseph, S., & Lehmann, J. (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource technology*, 114, 644-653.
- Ertuğrul, H. ve M. Apan, 1979. Sulama Sistemlerinin Projelenmesi. *Atatürk Üni. Zir. Fak. Yay. No: 252*, 1-179.
- Evlğya, H. 1960. Kültür Bitkilerinin Beslenmesi. Ankara Üni. Ziraat Fak. Yayınları: 36, Ders Kitabı: 17, Ankara, 656 s.
- FAO. 2016. <http://www.fao.org/news/story/fr/item/357221/icode/> Accessed.10/10/2018.
- FAO. 2020. <http://www.fao.org/sustainability/fr/> Accessed. 21/05/2020
- Fitzer, E., Kochling, K. H., Boehm, H. P., & Marsh, H. (1995). Recommended terminology for the description of carbon as a solid (IUPAC Recommendations 1995). *Pure and applied chemistry*, 67(3), 473-506.
- Fungo, B., Lehmann, J., Kalbitz, K., Thiongo, M., Okeyo, I., Tenywa, M., & Neufeldt, H. (2017). Aggregate size distribution in a biochar-amended tropical Ultisol under conventional hand-hoe tillage. *Soil and Tillage Research*, 165, 190–197.
- Gaskin, J.W., C. Steiner, K. Harris, K.C. Das and B. Bibens. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Trans. ASABE* 51:2061– 2069.
- Gaskin JW, Speir RA, Harris K, Das KC, Lee RD, Morris LA, Fisher DS (2010) Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal* 102(2): 623-633.

- Gaunt, J. L., & Lehmann, J. (2008). Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Environmental science & technology*, 42(11), 4152-4158.
- Głąb, T., J. Palmowska, T. Zaleski, and K. Gondek. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma* 281:11–20.
- Glaser, B., Balashov, E., Haumaier, L., et al. 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry* 31: 669–678.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., & Zech, W. (2001). The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88(1), 37-41.
- Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with bio-char – a review. *Biology and Fertility of Soils* 35, 219–230.
- Gorling M, Larsson M, Alvfors P. Bioemethane via fast pyrolysis of biomass. *Applied Energy* 2013;112:440e7.
- Gugino, B. K., Abawi, G. S., Idowu, O. J., Schindelbeck, R. R., Smith, L. L., Thies, J. E., ... & Van Es, H. M. (2009). *Cornell soil health assessment training manual*. Cornell University College of Agriculture and Life Sciences.
- Gundale, M. J., & DeLuca, T. H. (2007). Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/Douglas-fir ecosystem. *Biology and Fertility of soils*, 43(3), 303-311.
- Guo, M. (2016). Application of biochar for soil physical improvement. *Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers*, 63, 101-122.
- Hagner, M., Kemppainen, R., Jauhiainen, L., Tiilikka, K., & Setälä, H. (2016). The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth. *Soil and tillage Research*, 163, 224-234.
- Hammes, K., Smernik, R. J., Skjemstad, J. O., Herzog, A., Vogt, U. F., & Schmidt, M. W. (2006). Synthesis and characterisation of laboratory-charred grass straw (*Oryza sativa*) and chestnut wood (*Castanea sativa*) as reference materials for black carbon quantification. *Organic Geochemistry*, 37(11), 1629-1633.
- Hardie, M., B. Clothier, S. Bound, G. Oliver, and D. Close. 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? *Plant Soil* 376:347–361. doi:10.1007/s11104-013-1980-x.
- Harel, Y. M., Kolton, M., Cytryn, E., & Silber, A. (2010). Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertilized soilless media. *Plant Soil*, 337, 481-496.
- Harris, R. F., & Bezdicsek, D. F. (1994). Descriptive aspects of soil quality/health. *Defining soil quality for a sustainable environment*, 35, 23-35.

- Hartley, W., Riby, P., & Waterson, J. (2016). Effects of three different biochars on aggregate stability, organic carbon mobility and micronutrient bioavailability. *Journal of Environmental Management*, 181, 770–778.
- He, X., Liu, Z., Niu, W., Yang, L., Zhou, T., Qin, D., ... & Yuan, Q. (2018). Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of gas and biochar obtained from pyrolysis of crop residues. *Energy*, 143, 746-756.
- Herath, H. M. S. K., Camps-Arbestain, M., & Hedley, M. (2013). Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209, 188-197.
- Herath, H. M. S. K., Camps-Arbestain, M., Hedley, M., Van Hale, R., & Kaal, J. (2014). Fate of biochar in chemically-and physically-defined soil organic carbon pools. *Organic geochemistry*, 73, 35-46.
- Hlavsová, A., Corsaro, A., Raclavská, H., Vallová, S., & Juchelková, D. (2016). The effect of feedstock composition and taxonomy on the products distribution from pyrolysis of nine herbaceous plants. *Fuel Processing Technology*, 144, 27-36.
- Holmgren GGS, Juve RL, Geschwender RC (1977) A mechanically controlled variable rate leaching device. *Soil Science Society of America Journal* 41, 1207–1208.
- Hosoya, T., Kawamoto, H., & Saka, S. (2007). Pyrolysis behaviors of wood and its constituent polymers at gasification temperature. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 78(2), 328-336.
- Hseu, Z. Y., Jien, S. H., Chien, W. H., & Liou, R. C. (2014). Impacts of biochar on physical properties and erosion potential of a mudstone slopeland soil. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Iliffe, R. (2009). Is the biochar produced by an anila stove likely to be a beneficial soil additive. *MSc Diss. UK Biochar Research Centre Working Paper*, 4.
- International Biochar Initiative. (2012). Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. *IBI biochar standards*.
- Iswaran, V., K. S. Jauhri, and A. Sen. "Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moong, soybean and pea." *Soil Biology & Biochemistry* 12.2 (1980): 191-192.
- Jackson, M.L. 1967. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi, 498 p.
- Jeffery, S., Meinders, M. B., Stoof, C. R., Bezemer, T. M., van de Voorde, T. F., Mommer, L., & van Groenigen, J. W. (2015). Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. *Geoderma*, 251, 47-54.
- Jien, S. H., & Wang, C. S. (2013). Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110, 225-233.
- Jindo, K., Mizumoto, H., Sawada, Y., Sanchez-Monedero, M. A., & Sonoki, T. (2014). Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, 11(23), 6613-6621.

- Jones, D. L., Rousk, J., Edwards-jones, G., Deluca, T. H., & Murphy, D. V. (2012). Soil Biology & Biochemistry Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry*, 45, 113–124.
- Kacar, B. 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III. Toprak Analizleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No: 3, 255 s.
- Kambo, H. S., & Dutta, A. (2015). A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359-378.
- Kameyama, K., Miyamoto, T., Iwata, Y., & Shiono, T. (2016). Effects of biochar produced from sugarcane bagasse at different pyrolysis temperatures on water retention of a calcareous dark red soil. *Soil Science*, 181(1), 20-28.
- Kan, T., Strezov, V., & Evans, T. J. (2016). Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1126-1140.
- Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., & Regina, K. (2011). Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity—Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, ecosystems & environment*, 140(1-2), 309-313.
- Kellog, C.E. 1952. Our Garden Soils. The Macmillan Company, New York, 232 p.
- Kemper, W.D. and Koch, E.J. 1966. Aggregate Stability of Soils from the Western Portions of The United States and Canada. U.S. Dep. Agric. Tech. Bull., 1355 p.
- Kinney, T.J., C.A. Masiello, B. Dugan, W.C. Hockaday, M.R. Dean, K. Zygourakis, and R.T. Barnes. 2012. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. *Biomass Bioenergy* 41:34–43.
- Kishimoto, S. (1985). Charcoal as a soil conditioner. In *Symposium on Forest Product Research, International Achievements for the Future, 1985* (Vol. 5, pp. 12-23).
- Kolb, S.E., Fermanich, K.J., Dornbush, M.E., 2009. Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Science Society of America Journal* 73, 1173-1181.
- Krull, E. S., Swanston, C. W., Skjemstad, J. O., & McGowan, J. A. (2006). Importance of charcoal in determining the age and chemistry of organic carbon in surface soils. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 111(G4).
- Kurschner, K., Hoffer, A., 1969. Cellulose and cellulose derivative: *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*. 92(3): 145-154.
- Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B., & Karlen, D. L. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4), 443-449.
- Lee, J., Yang, X., Cho, S. H., Kim, J. K., Lee, S. S., Tsang, D. C., ... & Kwon, E. E. (2017). Pyrolysis process of agricultural waste using CO₂ for waste

- management, energy recovery, and biochar fabrication. *Applied energy*, 185, 214-222.
- Lehmann, J., DA Silva JR., J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B., 2003, "Nutrient Availability and Leaching in An Archaeological Anthrosol and A Ferralsol of The Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure and Charcoal Amendments", *Plant and Soil* 249: 343–357. .
- Lehmann, J., Rondon, M., 2006. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: Uphoff, N., Ball, A.S., Palm, C., Fernandes, E., Pretty, J., Herren, H., Sanchez, P., Husson, O., Sanginga, N., Laing, M., Thies, J. (Eds.), *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 517–530.
- Lehmann, J., 2007. A Handful of Carbon. *Nature*, 447:143-144.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: an introduction. *Biochar for environmental management: Science and technology*, 1, 1-12.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge.
- Lewandowski, A. M., & Zumwinkle, M. (1999). *Assessing the soil system: a review of soil quality literature*. Minnesota Department of Agriculture. pp. 1-63.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., ... & Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1719-1730.
- Lima, J. R. de S., de Moraes Silva, W., de Medeiros, E. V., Duda, G. P., Corrêa, M. M., Martins Filho, A. P., Clermont-Dauphin, C., Antonino, A. C. D., & Hammecker, C. (2018). Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. *Geoderma*, 319(December 2017), 14–23.
- Lin XW, Zie ZB, Zheng JY, Liu Q, Bei QC, Zhu JG, (2015) Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. *European Journal of Soil Science* 66:329–338.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of A DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Sci. Amer. Jour.*, 42(3): 421-428.
- Liu Q, Liu B, Zhang Y, Lin Z, Zhu T, Sun R, ... Lin X (2017) Can biochar alleviate soil compaction stress on wheat growth and mitigate soil N₂O emissions? *Soil Biology and Biochemistry* 104: 8-17.
- Liu, Y., Lu, H., Yang, S., & Wang, Y. (2016). Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy for two crop seasons. *Field crops research*, 191, 161-167.
- Liu, Z., Chen, X., Jing, Y., Li, Q., Zhang, J., & Huang, Q. (2014). Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. *Catena*, 123, 45-51.

- Lorenz, K., & Lal, R. (2014). Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(5), 651-670.
- Loue, A. 1968. Diagnostis Petiolaire de Prospection. Etudes Sur la Nutrition et al Fertilisation Potassiques de la Vigne. Societe Commerciale des Potasses d'Alsace Services Agronomiques, pp. 31-41.
- Lu, Q., Li, W. Z., & Zhu, X. F. (2009). Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils. *Energy Conversion and Management*, 50(5), 1376-1383.
- Lu, S., F. Sun, and Y. Zong. 2014. Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (vertisol). *Catena* 114:37–44.
- Lu, W., Ding, W., Zhang, J., Li, Y., Luo, J., Bolan, N., & Xie, Z. (2014). Biochar suppressed the decomposition of organic carbon in a cultivated sandy loam soil: a negative priming effect. *Soil Biology and Biochemistry*, 76, 12-21.
- Lua, A. C., & Yang, T. (2004). Effects of vacuum pyrolysis conditions on the characteristics of activated carbons derived from pistachio-nut shells. *Journal of colloid and interface science*, 276(2), 364-372.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J. ve Lehmann, J. (2010) Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol, *Plant Soil*, 333: 117-128.
- Martinsen, V., Mulder, J., Shitumbanuma, V., Sparrevik, M., Børresen, T., & Cornelissen, G. (2014). Farmer-led maize biochar trials: Effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(5), 681-695.
- Masek, O., Brownsort, P., Cross, A. and Sohi, S. (2013). Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. *Fuel*, 103, pp. 151–155.
- Matsubara, Y., Hasegawa, N., & Fukui, H. (2002). Incidence of Fusarium root rot in asparagus seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus as affected by several soil amendments. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 71(3), 370-374.
- Matteson, G. C. and Jenkins, B. M. (2007) 'Food and processing residues in California: Resource assessment and potential for power generation', *Bioresource Technology*, vol 98, pp3098–3105.
- Mcbeath, A. V, Wurster, C. M. Bird, M. I., 2015, "ScienceDirect Influence of Feedstock Properties and Pyrolysis Conditions on Biochar Carbon Stability as Determined by Hydrogen Pyrolysis" *Biomass and Bioenergy*, Vol. 73, pp.155–173.
- Mohamoud, S.S. 2019. Farkli Su Stresi Koşullarının Bazi Kivircik ve Göbekli Marul Çeşitlerinde Verim ve Kalite Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 64 s.
- Mohan, D., Pittman, C. U. and Steel, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy & Fuels*, 20, pp. 848–889.

- Mori, S. "Marjenah (1994) Effect of charcoaled rice husks on the growth of Dipterocarpaceae seedlings in East Kalimantan with special reference to ectomycorrhiza formation." *J Jap Forestry Soc* 76: 462-464.
- Mounirou, M.M. 2019. Biyokömür ve Organik Gübre Uygulamalarının Kırıkcık Salata ve Soğan Bitkilerinin Gelişimi ve Kimyasal Gübreden Yararlanma Oranına Etkileri. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 159 s.
- Mukherjee, A., Zimmerman, A. R., & Harris, W. (2011). Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, 163(3-4), 247-255.
- Mukherjee, A., & Lal, R. (2013). Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, 3(2), 313-339.
- Mukherjee, A., & Lal, R. (2014). The biochar dilemma. *Soil Research*, 52(3), 217-230.
- Mukherjee, A., & Lal, R. (2017). Biochar and soil characteristics. In *Encyclopedia of soil science* (pp. 184-188). CRC Press.
- Nelissen, V., Saha, B. K., Ruysschaert, G., & Boeckx, P. (2014). Effect of different biochar and fertilizer types on N₂O and NO emissions. *Soil Biology and Biochemistry*, 70, 244-255.
- Nelissen V, Ruysschaert G, Manka'Abusi D, D'Hose T, De Beuf K, Al-Barri B, Boeckx P (2015) Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment. *European Journal of Agronomy* 62: 65-78.
- Nelson, D.W. and Sommer, L.E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney D.R. (Editors), *Methods of Soil Analysis*. 2nd Ed. ASA Monogr. 9(2). Amer. Soc. Agron., pp. 539-579, Madison, WI.
- Ni M., Leung, D.Y.C., Leung, M.K.H., Sumathy K. 2006. An Overview Of Hydrogen Production From Biomass. *Fuel Processing Technology*, 87:461-472.
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Watts, D. W., Amonette, J. E., Ippolito, J. A., Lima, I. M., ... & Rehrh, D. (2012). Biochars impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. *Soil Science*, 177(5), 310-320.
- Novak, J. M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K. C., ... & Schomberg, H. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*. Sci. 3:195–206.
- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., & Børresen, T. (2016). In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 35–44.
- Oguntunde, P.G., B.J. Abiodun, A.E. Ajayi, and N. van de Giesen. 2008. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171:591–596. doi:10.1002/ jpln.200625185.
- Olmo M, Albuquerque JA, Barrón V, Del Campillo MC, Gallardo A, Fuentes M, Villar R (2014) Wheat growth and yield responses to biochar addition under

- Mediterranean climate conditions. *Biology and Fertility of Soils* 50(8): 1177-1187.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E. 1982. Phosphorus Soluble in Sodium Bicarbonate. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney D.R. (Editors), *Methods of Soil Analysis*. 2nd Ed. *Amer. Soc. Agron., ASA Monogr.* 9(2), pp. 403-430, Madison, WI.
- Omondi, M. O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K., & Pan, G. (2016). Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma*, 274, 28-34.
- Ouyang, L., Wang, F., Tang, J., Yu, L., & Zhang, R. (2013). Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(4), 991-1002.
- Panpatte, D. G., & Jhala, Y. K. (2019). Soil fertility management for sustainable development. In *Soil Fertility Management for Sustainable Development*. Springer
- Peake, L. R., Reid, B. J., & Tang, X. (2014). Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. *Geoderma*, 235, 182-190.
- Peng, X. Y. L. L., Ye, L. L., Wang, C. H., Zhou, H., & Sun, B. (2011). Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil and Tillage Research*, 112(2), 159-166.
- Petter, F. A., Madari, B. E., Silva, M. A. S. D., Carneiro, M. A. C., Carvalho, M. T. D. M., Marimon Júnior, B. H., & Pacheco, L. P. (2012). Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(5), 699-706.
- Pizer, N.H. 1967. Some Advisory Aspect of Soil Potassium and Magnesium. Tech. Bull. No:14, 184 p.
- Pratt, P. F. 1965. Potassium. *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilnb), 1022-1030.
- Qian, K., Kumar, A., Zhang, H., Bellmer, D. and Huhnke, R. (2015). Recent advances in utilization of biochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, pp. 1055–1064.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* No.60.
- Rondon, M.A., lehmann, J., Ramirez, J., and Hurtado, M., 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils*, 43: 699-708.
- Ronsse, F. (2016). Biochar production. *Biochar: a regional supply chain approach in view of climate change mitigation*, 199-226.
- Rosas, J. G., Gómez, N., Cara, J., Ubalde, J., Sort, X., & Sánchez, M. E. (2015). Assessment of sustainable biochar production for carbon abatement from vineyard residues. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 113, 239-247.

- Sensoy, S., Demğrcan, M., Ulupınar, Y. Ve Balta, İ. 2008. Türkiye İklimi. *Çevre ve İnsan Dergisi*, 74(3): 18-22.
- Shackley, S., Carter, S., Knowles, T., Middelink, E., Haefele, S., Sohi, S., ... & Haszeldine, S. (2012). Sustainable gasification–biochar systems? A case-study of rice-husk gasification in Cambodia, Part I: Context, chemical properties, environmental and health and safety issues. *Energy Policy*, 42, 49-58.
- Shenbagavalli, S., & Mahimairaja, S. (2012). Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. *International journal of advanced biological research*, 2(2), 249-255.
- Šimanský, V., Šrank, D., Jonczak, J., & Juriga, M. (2019). Fertilization and Application of Different Biochar Types and their Mutual Interactions Influencing Changes of Soil Characteristics in Soils of Different Textures. *Journal of Ecological Engineering*, 20, 149–164.
- Singh, B. P., & Cowie, A. L. (2014). Long-term influence of biochar on native organic carbon mineralisation in a low-carbon clayey soil. *Scientific reports*, 4, 3687.
- Smith, N.J.H. 1980. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. *Annals of the Association of American Geographers* 70: 553–566.
- Sohi, S., Loez-Capel, E., Krull, E., & Bol, R. (2009). Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs. *CSIRO Land and Water Science Report*, 5(09), 1-57.
- Soil Survey Staff. 1951. Soil Survey Manual. Agricultural Research Administration, U.S. Dept. of Agriculture Handbook No:18, Washington D.C., 503 p.
- Sojka, R. E., & Upchurch, D. R. (1999). Reservations regarding the soil quality concept. *Soil Science Society of America Journal*, 63(5), 1039-1054.
- Sojka, R. E., Upchurch, D. R., & Borlaug, N. E. (2003). Quality soil management or soil quality management: performance versus semantics.
- Stefanidis, S. D., Kalogiannis, K. G., Iliopoulou, E. F., Michailof, C. M., Pilavachi, P. A., & Lappas, A. A. (2014). A study of lignocellulosic biomass pyrolysis via the pyrolysis of cellulose, hemicellulose and lignin. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 105, 143-150.
- Streubel, J. D., Collins, H. P., Garcia-Perez, M., Tarara, J., Granatstein, D., & Kruger, C. E. (2011). Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rates of application. *Soil Science Society of America Journal*, 75(4), 1402-1413.
- Subedi R, Taupe N, Pelissetti S, Petruzzelli L, Bertora C, Leahy JJ, Grignani C (2016) Greenhouse gas emissions and soil properties following amendment with manure-derived biochars: influence of pyrolysis temperature and feedstock type. *Journal of Environmental Management* 166: 73-83.
- Sümer, S. K., Kavdır, Y., & Çiçek, G. (2016). Türkiye’de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. *Tarım ve Doğa Dergisi*, 19(4), 379.

- Sun, F., & Lu, S. (2014). Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 26-33.
- Sun, Y., Gao, B., Yao, Y., Fang, J., Zhang, M., Zhou, Y., ... & Yang, L. (2014). Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. *Chemical Engineering Journal*, 240, 574-578.
- Sun, Z., Zhang, Z., Zhu, K., Wang, Z., Zhao, X., Lin, Q., & Li, G. (2020). Biochar altered native soil organic carbon by changing soil aggregate size distribution and native SOC in aggregates based on an 8-year field experiment. *Science of The Total Environment*, 708, 134829.
- Tahir M. H., Z. Zhao, J. Renc, T. Rasool, S. Raza Naqvi. 2019. Thermo-kinetics and gaseous product analysis of banana peel pyrolysis for its bioenergy potential, *Biomass and Bioenergy*, 122, 193–201.
- Tanure, M. M. C., da Costa, L. M., Huiz, H. A., Fernandes, R. B. A., Cecon, P. R., Junior, J. D. P., & da Luz, J. M. R. (2019). Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*, 192, 164-173.
- Tarnik, A. (2019, September). Impact of Biochar Reapplication on Physical Soil Properties. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 603, No. 2, p. 022068). IOP Publishing.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Thies, J. E., & Rillig, M. C. (2009). Characteristics of biochar: biological properties. *Biochar for environmental management: Science and technology*, 1, 85-105.
- Thun, R., Hermann, R. and Knickman, E. 1955. Die Untersuchung Von Boden. Neuman Verlag, Radelbeul und Berlin, 48 p.
- Tian, J., Wang, J., Dippold, M., Gao, Y., Blagodatskaya, E., & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar affects soil organic matter cycling and microbial functions but does not alter microbial community structure in a paddy soil. *Science of the Total Environment*, 556, 89-97.
- Toková, L., Igaz, D., Horák, J., & Aydin, E. (2020). Effect of Biochar Application and Re-Application on Soil Bulk Density, Porosity, Saturated Hydraulic Conductivity, Water Content and Soil Water Availability in a Silty Loam Haplic Luvisol. *Agronomy*, 10(7), 1005.
- Torun, S. 2018. Farklı karakteristiğe sahip zeytin pırnası uygulamalarının bazı toprak verimlilik parametreleri üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 57 s.
- 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.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (2016). Konularına Göre İstatikler. TÜİK. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategorist/>.

- Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Zahoor, A., & Nishihara, E. (2011). Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(3/4 part 2), 1137-1143.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., ... & Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*, 327(1-2), 235-246.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., Van der Velde, M., & Dias, I. (2010). Biochar application to soils. *A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions*. EUR, 24099, 162.
- Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R. J., And Smith, C.J. 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94(1-4): 23-38.
- Wang, D., Fonte, S. J., Parikh, S. J., Six, J., & Scow, K. M. (2017). Biochar additions can enhance soil structure and the physical stabilization of C in aggregates. *Geoderma*, 303, 110-117.
- Wang, C., Liu, J., Shen, J., Chen, D., Li, Y., Jiang, B., & Wu, J. (2018). Effects of biochar amendment on net greenhouse gas emissions and soil fertility in a double rice cropping system: A 4-year field experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 262, 83-96.
- White, J. E., Catallo, W. J., & Legendre, B. L. (2011). Biomass pyrolysis kinetics: a comparative critical review with relevant agricultural residue case studies. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 91(1), 1-33.
- Winsley, P. (2007). Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review*, 64(1), 5-10.
- Worasuwannarak, N., Sonobe, T., & Tanthapanichakoon, W. (2007). Pyrolysis behaviors of rice straw, rice husk, and corncob by TG-MS technique. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 78(2), 265-271.
- Xiang-Hong, L., Feng-Peng, H., & Xing-Chang, Z. (2012). Effect of biochar on soil aggregates in the Loess Plateau: results from incubation experiments. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14(6).
- Xiao, Q., Zhu, L. X., Zhang, H. P., Li, X. Y., Shen, Y. F., & Li, S. Q. (2016). Soil amendment with biochar increases maize yields in a semi-arid region by improving soil quality and root growth. *Crop and Pasture Science*, 67(5), 495-507.
- Xie, T., Reddy, K. R., Wang, C., Yargicoglu, E., Spokas, K., 2014, "Characteristics and Applications of Biochar for Environmental Remediation: A Review", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, pp. 45, 939–969
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshiori, S., Ogawa, M., 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition* 52, 489–495.

- Yang, X., Zeng, Y., Ma, F., Zhang, X., & Yu, H. (2010). Effect of biopretreatment on thermogravimetric and chemical characteristics of corn stover by different white-rot fungi. *Bioresource technology*, 101(14), 5475-5479.
- Yargicoglu, E. N., Sadasivam, B. Y., Reddy, K. R., & Spokas, K. (2015). Physical and chemical characterization of waste wood derived biochars. *Waste management*, 36, 256-268.
- Yu, F., Steele, P. H., & Ruan, R. (2010). Microwave pyrolysis of corn cob and characteristics of the pyrolytic chars. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(5), 475-484.
- Yuan, J. H., & Xu, R. K. (2011). The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. *Soil Use and Management*, 27(1), 110-115.
- Zhang, Q., Du, Z., Lou, Y., & He, X. (2015). A one-year short-term biochar application improved carbon accumulation in large macroaggregate fractions. *Catena*, 127, 26-31.
- Zhang, M., Cheng, G., Feng, H., Sun, B., Zhao, Y., Chen, H., ... & Zhang, A. (2017). Effects of straw and biochar amendments on aggregate stability, soil organic carbon, and enzyme activities in the Loess Plateau, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(11), 10108-10120.
- Zong, Y., Xiao, Q., & Lu, S. (2016). Acidity, water retention, and mechanical physical quality of a strongly acidic Ultisol amended with biochars derived from different feedstocks. *Journal of Soils and Sediments*, 16(1), 177-190.

7. EKLER



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
Env. Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
 ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
 Acces on line : <http://revues.imist.ma/?journal=ewash-ti/>



Section : *Environmental and Water Sciences*
 Publication type : *Full Paper*

Edapho-floristic characterization of different types of dune environment located near the oasis basins in Gouré (South-East Niger)

Caractérisation édapho-floristique des différents types d'édifices dunaires situés à proximité des cuvettes oasiennes de Gouré (Sud-Est Nigérien)

Received 22 Jul. 2020
Accepted 30 Aug. 2020
On line 30 Sep. 2020

MOUSTAPHA MAHAMANE GALADIMA¹, ADAMOU DIDIER TIDJANI², BACHIROU SEYNI BODO³, AMADOU ABDOU BAGNA⁴, & KARIMOU JEAN-MARIE AMBOUTA²

(1) *Soil Science and Plant Nutrition Department Akdeniz University Agricultural Faculty Antalya, Turkey*
 Email : moustaphagaladima@gmail.com
 (2) *Department of Soils Sciences Faculty of Agronomy University Abdou Moumouni/ Niamey, Niger*
 Email : dideria@yahoo.fr
 (3) *Department of Geography / Ecole Normale Supérieure Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger*
 Email : amadoubagna@gmail.com

KEY WORDS
 Dunes, Soils, Vegetation; oasis basins, Rainfall gradient Gouré-Niger.

Abstract The vegetation degradation in the dune environments of the southeastern zone of Niger is the leading factor of sand particles mobility, burying the cultivated land base on which populations derive most of their means of subsistence. The present study concerned three states of degradation (Mobile dunes: MD, Partially-fixed dunes: PFD and Fixed dunes: FD) of the dune environment commonly observed in the Manga dunes positioned in the immediate vicinity of the basins of Woro, Kilakina and Iskour following the North-South rainfall gradient. This study aims to characterize the vegetation and soils of dune environment subjected to humans and animals pressure due to their proximity to the basins in order to contribute to the elaboration of development plans for dune restoration and fixation. The results showed that the MD are devoid of vegetation, while PFD, and FD are covered by an herbaceous vegetation composed of 10 species, divided into 3 families with dominance of poaceae and woody species slightly diversified, consisting of 3 species distributed in 3 families and dominated by *Leptadenia pyrotecnica*. In term of decreasing order from FD to PFD, and from South to North, biomass production is most significant. Its values around 624.4 kg/ha of Iskour's (South) fixed. FD of Kilakina (middle), has a biomass production of 383.2 kg/ha. This proportion is relatively low on FD of Woro, which is located further north of Kilakina, with 276 kg/ha. On the PFD values are ranged around 302,4 Kg/ha, 119,6 Kg/ha and 108,8 Kg/ha respectively for Iskour, Kilakina and Woro. The cover rate and the woody vegetation are decreasing from South to North and from FD to PFD. Therefore, these results indicate the level of environmental degradation of these areas which should be taken into consideration in combating desertification (silt-up) projects in order to improve its ecosystems resilience.

M. M. GALADIMA & al

460



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
 Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
 Env. Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
 ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
 Acces on line : <http://revues.imist.ma/2/journal-ewash-ti/>



MOTS CLES

Dunes, Sol, Végétation,
 Cuvettes oasiennes,
 Gouré-Niger, Gradient
 pluviométrique.

Résumé La dégradation de la végétation des milieux dunaires dans le sud-est Nigérien est à l'origine de la mobilité des particules de sable ensevelissant les terres de culture à partir desquelles les populations tirent l'essentiel de leurs moyens de subsistances. L'étude a concerné trois états de dégradation (dunes vives : DV, dunes semi-fixées : DSF et fixées : DF) couramment observés au niveau des dunes du Manga positionnées aux environs immédiats des cuvettes de Woro, Kilakina et Iskour suivant le gradient pluviométrique Nord-Sud. Cette étude vise à caractériser la végétation et les sols des édifices dunaires soumis aux pressions des hommes et des animaux du fait de leur proximité avec les cuvettes afin de contribuer à l'élaboration des plans d'aménagements, de restaurations et de fixations de ces dunes. Les DV sont dépourvues de végétation, les DSF et DF portent une couverture végétale de composition et de production diversifiée pour un même type et entre types d'états de dégradation selon le gradient pluviométrique. La végétation herbacée est composée de 10 espèces réparties en 5 familles avec dominance des Poaceae. Les ligneux, composés de 3 espèces regroupées dans 3 familles à dominance de *Leptadenia pyrotechnica*. La production en biomasse est plus importante par ordre décroissant des DF au DSF et du Sud vers le Nord. Elle est de 624,4 Kg/ha, 383,2 Kg/ha et 276 Kg/ha sur les DF et de 502,4 Kg/ha, 119,6 Kg/ha et 108,8 Kg/ha sur les DSF de Iskour, Kilakina et Woro respectivement. Le taux de recouvrement et la végétation ligneuse diminuent par ordre décroissant du Sud vers le nord, des DF aux DSF. Ces résultats dénotent du niveau de dégradation de la végétation de ces milieux qui doivent être pris en compte dans les programmes de lutte contre l'ensablement de la zone afin d'augmenter la résilience de ses écosystèmes.

1. Introduction

Les pays sahéliers sont soumis à des difficultés majeures, liées pour l'essentiel à la variabilité climatique et à la forte pression anthropique [1]. Cette perturbation se manifeste par la grande variabilité spatio-temporelle des précipitations, la fréquence des événements pluvieux extrêmes et la hausse des températures [2], [3], [1]. Depuis la fin des années 1960, la région sahélienne est touchée par des sécheresses qui surviennent chaque trois ans pour la période avant 1990 et chaque cinq ans pour la période actuelle. La période 1982-1987 a eu pour conséquence un assèchement progressif du climat qui se traduit notamment par la diminution de la pluviosité et l'accentuation de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie [2], [4]. Cette perturbation climatique combinée à la pression démographique a eu pour conséquence une accélération de la dégradation des terres à l'échelle du Sahel. Au Niger, et plus précisément dans le système oasien du Manga, cette dégradation s'est traduite par l'apparition des dunes vives mobiles, ensablant les cuvettes oasiennes et les infrastructures socioéconomiques [5], [6], [7]. La population connaît une croissance assez rapide et est passée de 114.089 habitants en 1977, à environ 341.089 habitants en 2014 [8]. La mise en culture, le surpâturage, la destruction de la végétation pérenne et les couloirs de passage pour l'accès des animaux aux cuvettes sont autant de causes de la remobilisation des sables des édifices dunaires des abords

vers l'intérieur des cuvettes et leur accumulation [9], [10]. Dans le département de Gouré (Sud-est du Niger), la situation se traduit par une forte dégradation du couvert végétal et du potentiel édaphique. Au vu du niveau de dégradation des ressources naturelles dans ce contexte agroécologique particulier, une caractérisation du sol et de la végétation est plus que nécessaire. Selon [11] la connaissance de la végétation d'un milieu est un outil efficace pour accompagner les politiques de développement durable. De ce fait, cette étude, a pour objectif de caractériser la végétation et l'horizon de surface des sols des édifices dunaires suivant l'état de dégradation autour de trois cuvettes positionnées suivant un gradient pluviométrique Nord-Sud. Il s'agit des cuvettes de Woro, de Kilakina et de Iskour dans le département de Gouré. Elle permettra d'adopter des stratégies de gestion durable des terres dans cet écosystème oasien fragilisé par la piérioration climatique et la pression sur ses ressources par l'Homme.

2. Matériel et méthodes

2.1. Les sites d'étude

Les sites d'étude sont localisés dans le département de Gouré = région de Zinder (entre 13°8' et 17°30' de latitude Nord et 9°20' et 12° de longitude Est). Le climat de Gouré est de type sahélo-saharien avec des isohyètes comprises entre 150 et 500mm [4]. Le régime



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
Env. Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
Acces on line : <http://revues.imist.ma/?journal=ewash-ti/>



pluviométrique est caractérisé par une forte variabilité interannuelle. Pour l'année 2013, année de la conduite de cette étude, un cumul pluviométrique de 415,2 mm/an a été enregistré à la station de Gouré. Au Sahel, l'évolution de la pluviométrie suit le gradient pluviométrique Nord-Sud. De ce fait, les sites de Woro (relativement au Nord) reçoit moins de pluie que Kilakina (relativement en position médiane). Le site de Iskour (relativement plus au Sud) a une pluviométrie plus importante que les deux sites précédents.

2.2. Présentation du système ossien dans les secteurs de Woro, Kilakina et Iskour

Les trois sites (Cf. Fig. 1) choisis pour la conduite de cette étude suivant le gradient pluviométrique Nord-sud, sont représentatifs de l'état de dégradation des différents types des systèmes rencontrés dans la zone de Gouré.

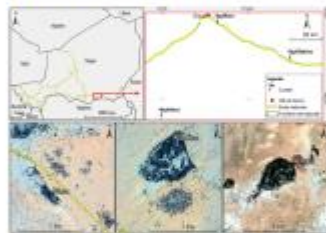


Fig. 1 : Localisation des sites de Woro, Kilakina et Iskour dans le département de Gouré

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs

Ainsi les entités identifiées sur la base de l'état de dégradation de chacun des sites (Woro, Kilakina, Iskour) sont :

- Les dunes vives (DV) : entités des édifices situées le plus en bordure immédiate des cuvettes et soumises à une forte pression de l'homme et de son bétail, sont dépourvues de couvert herbacé et ne présentent que par endroits des reliques de ligneux épars fichés dans le sable moule de la dune (Cf. Fig. 2).



Fig. 2 : Aperçu d'une dune vive

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs

M. M. GALADIMA & al

- Les dunes semi-fixées (DSF) : entités souvent plus éloignées des abords immédiats des cuvettes, sont couvertes partiellement par une steppe arbustive à *Leptadenia pyrotechnica* et à poacées. Les plages nues sont occupées par des croûtes d'érosion et des accumulations sableuses meubles (Cf. Fig. 3) ;



Fig. 3 : Aperçu d'une dune semi-fixée

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs

- Les dunes fixées (DF) : entités assez éloignées des cuvettes sont couvertes par une steppe arbustive à fort recouvrement de *Leptadenia pyrotechnica* et de poacées (Cf. Fig. 4).



Fig. 4 : Aperçu d'une dune fixée

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs

2.3. Collecte des données

Les données ont été collectées en septembre de la saison hivernale 2013, qui correspond à la période de maturité des herbacées au Sahel [12]. Sur chaque site et sur chaque type d'état de dégradation, du fait de l'homogénéité des surfaces correspondantes, il a été adopté la méthode d'installation d'une placette de 2500 m² (50m x 50m), correspondant aux surfaces minimales pour l'agroforesterie et la végétation des steppes [13].

2.3.1. Caractérisation de la couche de surface des sols des entités des sites d'étude

Pour la caractérisation de la couche de surface du sol, les échantillonnages ont été réalisés de façon aléatoire à l'intérieur des placettes. Au sein de chaque entité, un échantillon composite est constitué sur la base de dix prélèvements effectués de façon aléatoire sur la surface



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
Env. Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
Acces on line : <http://revues.imist.ma/?journal=ewash-ti/>



de la placette. Au total 9 échantillons composites ont été collectés soit 3 échantillons correspondant à chaque type d'état de dégradation par site d'étude. Les analyses physico-chimiques sont faites au laboratoire du Département des Sciences du sol de la faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger). Les paramètres concernés sont la granulométrie, le pH eau, le carbone organique total (COT), l'azote total (Ntotal), le phosphore assimilable (P), les bases échangeables et la capacité d'échange cationique (CEC). Les analyses granulométriques ont été réalisées suivant la méthode de [14]. Le diamètre moyen de chaque échantillon de sol est calculé sur la base de l'équation 1.

$$D_m = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^M M \cdot \ln(\text{diamètre}_i)}{100} \right) \quad (\text{Eq. 1})$$

Avec D_m = diamètre moyen, M = masse. La mesure du pH_{eau} (1/2,5) a été faite à l'aide d'un pH-mètre à électrode (norme NF ISO 10390) [15]. La teneur en COT a été mesurée par la méthode de Walkley-Black (norme NF ISO 10594) [15], en Ntotal par la méthode de Kjeldahl modifiée (norme NF ISO 11260) [15]. La teneur en P a été mesurée par la méthode (Bray II). La CEC a été déterminée par la méthode de Metson (norme AFNOR NF X 31-130) [15] et enfin les bases échangeables par la méthode de l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7. Les quatre cations échangeables sont déterminés dans le percolât (NF 31-108) [15].

2.3.2. Caractérisation de la végétation herbacée des entités d'état de dégradation des édifices dunaires

La caractérisation de la végétation herbacée a été faite au niveau de chaque placette disposée sur chaque type d'état de dégradation des édifices dunaires des 3 sites retenus. Deux méthodes normalisées et complémentaires ont été utilisées pour l'évaluation du tapis herbacé :

La technique des points quadrats alignés [16]

Elle permet de recenser la présence des espèces herbacées à la verticale des points disposés régulièrement le long d'un double décimètre de 10m de longueur, tendu entre deux piquets au-dessus du tapis herbacé. Des mesures sont régulièrement effectuées tous les 10 cm à l'aide d'une fine tige métallique et sont enregistrées toutes les espèces herbacées dont l'appareil aérien touche la tige métallique. Pour évaluer la richesse floristique des sites d'études, plusieurs paramètres ont été calculés :

- La Fréquence Spécifique de l'espèce (FS_i) représentant le nombre de points où l'espèce a été rencontrée lors du recensement.

- La Contribution Spécifique d'une espèce (CS_i) qui est le rapport entre la fréquence spécifique et la somme des fréquences spécifiques de toutes les espèces (n) recensées :

$$CS_i (\%) = \frac{FS_i}{\sum_{i=1}^n FS_i} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

- Le recouvrement d'une espèce végétale représente l'aire qu'occuperait l'espèce si celle-ci est projetée à la surface du sol. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$TR_{\text{sol au}} (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{sol au}_i}{\text{Nombre de points de lecture}} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

La technique de la récolte intégrale de phytomasse [17]

Elle consiste à poser un cadran métallique de 1m² le long d'une diagonale de façon systématique tous les 10 m et à faucher l'herbe au ras du sol à l'intérieur des placeaux avec des ciseaux. La phytomasse prélevée est aussitôt mesurée (poids frais) à l'aide d'un peson. Elle est repesée après séchage à l'étuve pendant 24 heures à 80°C pour mesurer le poids sec. Pour déterminer le poids humide, le poids sec moyen les équations 4 et 5 sont utilisées.

Poids humide moyen (g / m²) :

$$P_h = \frac{\sum_{i=1}^N Ph_i}{N} \quad (\text{Eq.4})$$

Avec :

Ph : Poids vert et N : Nombre de répétition.

Poids sec moyen (g / m²) :

$$P_s = \frac{\sum_{i=1}^N Ps_i}{N} \quad (\text{Eq.5})$$

Avec :

Ps : Poids à l'état sec et N=nombre de répétition.

Variabilité de la biomasse en fonction des entités d'état de dégradation :

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{is} - P_i)}{P_i} \quad (\text{Eq. 6})$$

Avec :

V : Variabilité de la biomasse, p : biomasse végétale ;

is : Site de l'échantillon choisi comme site référence ;

i : Fait référence aux sites de Kilakina et Woro.

2.3.3. Caractérisation de la végétation ligneuse des entités d'état de dégradation des édifices dunaires

Pour la végétation ligneuse, des mesures dendrométriques ont servi à leur caractérisation. Pour chaque pied recensé dans les placettes, la hauteur a été mesurée à l'aide des jalons superposables de 1m de



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
Env. Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
Accès en ligne : <http://revues.imist.ma/?journal=ewash-ti/>



hauteur, le diamètre du tronc a été mesuré à l'aide d'un compas forestier et la mesure des diamètres du houppier sur les 2 axes perpendiculaires suivant la direction Est-ouest et Nord-sud a été effectuée avec un mètre ruban. Pour déterminer la composition floristique des espèces, les équations 7, 8, 9, 10, et 11 sont utilisées :

- Densité des espèces (Ds) : est le nombre d'individus d'une espèce par unité de surface spécifiée.

$$Ds = \frac{\text{Nombre total d'individus}}{\text{Superficie totale des parcelles}} \quad (\text{Eq. 7})$$

- Densité relative des espèces (Dr) : est le pourcentage de densité d'une espèce par rapport à la densité totale de toutes les espèces recensées.

$$(Dr \%) = \frac{\text{Densité de l'espèce}}{\text{Densité totale}} \times 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

- Fréquence des espèces (Fa) : est le degré d'uniformité dans la distribution spatiale des espèces.

$$(Fa \%) = \frac{\text{Nombre de parcelle}}{\text{Nombre total des parcelles}} \times 100 \quad (\text{Eq. 9})$$

- Fréquence relative des espèces (Fr) : est le niveau de dispersion d'une espèce particulière dans une zone par rapport aux autres espèces présentes.

$$(Fr \%) = \frac{\text{Nombre de parcelle}}{\text{Nombre total des parcelles}} \times 100 \quad (\text{Eq. 10})$$

- Indice de valeur d'importance d'une espèce (IVI) : est la mesure de la contribution relative (en densité et en fréquence) d'une espèce à l'ensemble de la communauté. Il détermine l'importance de chaque espèce dans une population donnée.

$$IVI (\%) = \frac{\text{Densité relative} + \text{Fréquence relative}}{2} \quad (\text{Eq. 11})$$

- Le taux de recouvrement (%):

$$R = \frac{r}{s} \times 100 \quad \text{avec} \quad r = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (\text{Eq. 12})$$

Avec :

r : Recouvrement de l'ensemble des individus de la placette (m^2);

d_i : Diamètre moyen du houppier de l'individu i (m);

s : Superficie de la placette (m^2).

Le tableur Excel a servi à faire tous les calculs pour le traitement des données.

3. Résultats et Discussion

3.1. Caractéristiques physiques et chimiques des sols des différents types d'état de dégradation des édifices dunaires de Gouré

Le tableau 1 montre les textures des horizons de surface des sols par type d'état de dégradation et par site. Tous les sols sont de texture sableuse. Les proportions de sables fins dominent sur les sites de Kilakina et Iskour

alors que sur le site de Woro ce sont plutôt les sables grossiers qui dominent. Les teneurs en particules fines (argiles et limons) sont inférieures à 5%, hormis pour la dune finie de Iskour.

Tab. 1 : Texture des sols des différents types d'état de dégradation des édifices dunaires des sites de Woro, de Kilakina et de Iskour

Sites	Etat	Classe granulométrique (%)							
		Argil	LF	LG	SF	SM	SG	STG	STG
		4-6	2-6	2-6	2-6	2-6	2-6	2-6	2-6
Woro	D V	2,80	0,26	1,88	22,87	68,89	2,78	0,01	
	D SF	0,12	0,01	0,81	29,79	68,89	2,80	0,01	
	D F	0,11	0,06	1,12	27,87	68,81	0,02	0,01	
Kilakina	D V	0,08	0,05	1,18	60,88	37,87	0,08	0,01	
	D SF	0,17	0,05	1,17	67,18	18,78	0,11	0,01	
	D F	1,17	0,08	0,16	61,89	32,88	1,18	0,18	
Iskour	D V	0,08	0,01	1,07	66,18	32,78	0,09	0,01	
	D SF	0,15	0,05	0,11	61,89	32,87	0,18	0,01	
	D F	0,18	0,01	1,10	61,81	28,80	0,15	0,01	

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs

LF : limons fins ; LG : limons grossiers ; SF : sables fins ; SM : sables moyens ; SG : sables grossiers ; STG : sables très grossiers ; DV : dune vive ; DSF : dune semi-finie ; DF : dune finie

Les résultats des caractéristiques granulométriques révèlent des sols à texture sableuse (> 90%) sur l'ensemble des unités caractérisées. Ces résultats sont en accord avec des études antérieures réalisées sur des unités similaires au Niger [18 ; 19]. Cette catégorie de sol de l'Est Nigérien appartient à la classe des sols à texture grossière [20] et est sujette à l'érosion éolienne [21], [22]. Les travaux de [23] ont montré que les sols en zone dunaire sont connus pour leur texture sableuse. Leur diamètre moyen, les classent dans la catégorie des sols fortement sensibles à l'érosion éolienne [21]. D'où la nécessité de ne pas les dégarmer de leur couvert végétal pour les préserver.

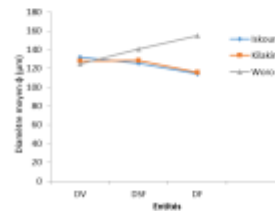


Fig. 5 : Evolution du diamètre moyen des particules par type d'état de dégradation à Woro, Kilakina, Iskour

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
Env. Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
Access on line : <http://revues.imist.ma/2journal-ewash-ti/>



La figure 5 montre la variation des diamètres moyens au sein des trois catégories des états de dégradation des secteurs étudiés. Les résultats indiquent que la texture de ces sols appartient à la catégorie des sables moyens. Les diamètres moyens des sables des sols de Kilakina et de Iskour sont semblables alors que ceux de Woro sont relativement plus grossiers sauf au niveau de la dune vive. Pour ce dernier site, la dégradation du sol dunaire semble rimer avec une réduction des teneurs en particules fines, tandis que pour les sites de Kilakina et Iskour, on observe l'inverse avec une plus faible amplitude. En effet à Woro la fréquentation intensive des dunes pour l'abreuvement du bétail au sein des cuvettes explique le détachement des particules fines et leur transport sous forme de poussière, d'où la forte proportion des particules grossières au niveau des dunes vives. Quant à Iskour et Kilakina où la fréquentation animale des cuvettes est fortement réduite, la fixation des dunes dégradées favoriserait le piégeage des particules plus fines. De ce fait, ces dernières restent longtemps présentes au niveau des sols dunaires.

Les tableaux 2.a et 2.b présentent les caractéristiques chimiques des sols des différents types d'état de dégradation des édifices dunaires des sites d'étude. Ces résultats montrent que sur l'ensemble des sites, les sols des entités de surface sont acides (pH variant de 5,70-5,45), les taux de carbone organique total et d'azote total (inférieur au seul de 0,05%) [20] sont faibles et varient d'une entité à une autre. De même, les teneurs en phosphore assimilable sont très faibles < 5ppm (Brayl) sur toutes les entités exceptées la DSF de Woro, Kilakina et la DV de Iskour qui ont des valeurs > 5ppm. Les valeurs de la somme des bases échangeables sont aussi faibles sur toutes les entités hormis les DF de Woro, Kilakina et DSF, DF de Iskour qui ont une S comprise entre 6 et 12meq/100g. La capacité d'échange cationique oscille entre 5 ; 7 et 10 respectivement pour les DV et DSF de Woro et Kilakina et est de l'ordre de 7 ; 7 et 10 sur les entités de Iskour. Ces valeurs restent faibles (< 12 meq/100g au niveau de toutes les entités) [20]. Le rapport C/N indique la matière organique est fortement minéralisée. Le cortège ionique, bien que faible est dominé principalement par le Ca et secondairement par Mg, ce qui selon les normes de [20] confère à ces sols le statut de sol à niveau élevé et très élevé en Ca et Mg respectivement. Le complexe absorbant est proche de la saturation pour tous les sols, est moins garni au niveau des sols de Kilakina. Cependant, les dunes vives de Iskour et de Kilakina ont des complexes absorbants plus chargés que ceux des dunes fixées et semi-fixées. Au niveau de Woro, la dégradation des dunes conduit à l'appauvrissement ionique du complexe absorbant. De ce fait, on peut conclure que les sols dunaires dégradés ou non, ont des niveaux de fertilités faibles. Leur dégradation impacte faiblement leur niveau de fertilité.

Tab. 2.a : Caractéristiques chimiques de la couche de surface des sols des entités de Woro, Kilakina et Iskour (département de Gouré)

Sites	Entités	pH (eau)	C (%)	N (%)	C/N	P (ppm)
Woro	D V	6,33	0,18	0,02	10,58	3,41
	D SF	6,45	0,20	0,02	10,51	5,61
	D F	6,41	0,06	0,01	12,10	2,88
Kilakina	D V	5,96	0,06	0,01	12,17	3,23
	D SF	5,90	0,18	0,02	10,58	3,81
	D F	6,08	0,38	0,04	10,27	6,37
Iskour	D V	5,82	0,07	0,01	11,56	5,38
	D SF	6,05	0,10	0,01	11,13	3,70
	D F	5,70	0,07	0,01	11,56	2,77

Tab. 2.b : Caractéristiques chimiques de la couche de surface des sols des entités de Woro, Kilakina et Iskour (département de Gouré)

Sites	Entités	Ca meq/100g	Mg meq/100g	K meq/100g	Na meq/100g	(S) (%)	(T) meq/100g	(T) (%)
Woro	D V	2,82	1,10	0,01	0,01	4,16	5,90	77,3
	D SF	3,10	1,40	0,01	0,01	4,56	7,20	79,4
	D F	3,10	3,40	0,01	0,01	6,56	10,20	89,5
Kilakina	D V	3,10	1,40	0,01	0,01	4,56	5,90	89,4
	D SF	2,82	1,10	0,01	0,01	4,16	7,20	84,4
	D F	6,00	2,00	0,01	0,01	8,07	10,20	60,7
Iskour	D V	5,12	1,96	0,01	0,01	6,91	7,20	83,2
	D SF	6,10	1,40	0,01	0,01	8,2	7,20	81,7
	D F	3,10	1,40	0,01	0,01	4,57	10,20	79,7

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs
(S) : Somme des bases échangeables ; T : capacité d'échange cationique ; S/T : Taux de Saturation en bases

Les résultats de l'analyse chimique dénotent des sols pauvres aux propriétés chimiques marginales intrinsèquement liés à l'origine de ces types de sols, d'où leur vocation pastorale. Ceci expliquerait le couvert herbacé peu dense et peu diversifié au niveau des dunes considérées comme non dégradées. Dans le département de Goudoumaria (région de Ouffa) les sols des dunes restaurées et témoins (dégradées et non dégradées) affichent sensiblement les mêmes propriétés chimiques [19]. Les sols dunaires restaurés et témoins des sites de Kilakina, Koubli Doki et Guelkila (département de Gouiré-région de Zinder) ont pareillement les mêmes propriétés chimiques [18]. Bien que les résultats des analyses chimiques des sols dunaires révèlent des sols aux propriétés chimiques marginales on constate une amélioration des caractéristiques chimiques des sols sur les dunes fixées et semi-fixées relativement aux dunes vives. [18] est également parvenu à la conclusion d'une tendance à l'amélioration des propriétés chimiques des sols des dunes restaurées par rapport au dune témoin. Cependant, l'une des conséquences de la croissance démographique dans ce contexte est l'avancée du front de culture sur ce type de sol non adapté à la culture pluviale du fait de son faible niveau de fertilité.



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
Env. Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
Access on line : <http://eues.imist.ma/?journal=ewash-ti/>



3.2. Caractéristiques de la végétation herbacée des entités d'état de dégradation des édifices dunaires

Le tableau 3 présente les résultats de l'inventaire de la végétation herbacée à travers la richesse floristique, la contribution et la fréquence spécifique ainsi que le taux de recouvrement des herbacées des entités d'état de dégradation des sites d'études. La végétation herbacée est faiblement diversifiée au niveau de toutes les dunes présentant un couvert végétal. Elle est quasiment inexistante sur les DV et plus importante par ordre décroissant de la DF à la DSF.

Les espèces comme *Chloris virgata* et *Digitaria horizontalis* sont caractéristiques des dunes du Sud en l'occurrence Iskour (DF). La présence de *Digitaria horizontalis* sur ces dunes est en étroite relation avec l'appartenance d'un début de dégradation, c'est-à-dire les dunes semi fixées (DSF). *Eragrostis tremula*, *Alysicarpus ovalifolius* et *Commelina forskalei* sont caractéristiques des DF en position médiane (Kilakina). Les DSF ce sont caractérisées par *Aristida mutabilis*, *Fimbristylis hirsutula* et *Brachiaria ramosa*. Sur les édifices dunaires du Nord (Woro) *Cenchrus biflorus* et *Pergularia tomentosa* sont caractéristiques des dunes fixes (DF). *Pergularia tomentosa* et *Aristida mutabilis* caractérisent les DSF.

Suivant le gradient pluviométrique Nord-sud, l'espèce *Digitaria horizontalis* est dominante sur les DF et DSF du sud avec des contributions spécifiques (CS) de 95% et 100% respectivement. *Aristida mutabilis* (CS= 61,64%) et *Alysicarpus ovalifolius* (CS= 34,24%) sont les espèces dominantes sur les DF du centre, et sur les DSF *Cenchrus biflorus*, *Brachiaria ramosa* et *Aristida mutabilis* sont les espèces dominantes avec de 25,74%, 19,80% et 24,75% de contribution spécifique respectivement. *Pergularia tomentosa* (CS= 93,33%) et *Cenchrus biflorus* (CS= 64,70%) sont les espèces dominantes sur les DF du Nord, les DSF sont dominées par *Pergularia tomentosa* (CS= 93,33%). *Aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus*, et *Eragrostis tremula* sont des espèces très communes dans les zones sahéliennes, et sont caractéristiques des sols sableux dunaires [24]. Les Poaceae sont les espèces les plus représentées, suivies des Papilionaceae, des Commelinaceae et des Cyperaceae sur les différents types d'état de dégradation caractérisées. Sur les champs de dunes partiellement fixées et sur les dunes isolées partiellement fixées du sud-est nigérien, les Poacées sont plus dominantes suivies des Cyperacées et des Papilionacées [25]. Sur les aires de pâturage des zones du Centre et Sud Gouré, ce sont les Poaceae et les Cyperaceae qui sont les mieux représentées [26]. Malgré que les dunes de Iskour, Kilakina et Woro soient naturellement fixées par la végétation, d'autres résultats similaires ont été obtenus sur des sites restaurés de différents âges se trouvant sur la même latitude que nos

sites d'études [27]. Les analyses croisées des espèces inventoriées sur les trois sites étudiés montrent que le site de Iskour présente un niveau de dégradation moindre sur les différents types d'états de dégradation (DF, DSF) avec respectivement 59% et 48% de taux de recouvrement relativement aux sites de Kilakina (39% et 22% de taux de recouvrement) et Woro (19% et 14% respectivement sur les DF et DSF). Cette tendance s'explique par le fait que Iskour du fait de sa position sud reçoit plus de précipitation relativement à Kilakina qui occupe une position médiane et Woro, situé au Nord. Cependant, la richesse floristique obtenue par [26] indique une plus grande diversité et un meilleur recouvrement au niveau des dunes du même secteur situé loin des cuvettes.

Tab. 3 : Contributions et fréquences spécifiques, les taux de recouvrements des espèces par type d'état de dégradation des sols sur les sites étudiés

	Entités	Spécies	Familles	FS	CS %	FR (%)
Iskour	DS	<i>Digitaria horizontalis</i>	Poaceae	3,7	95	59
		<i>Chloris virgata</i>	Poaceae	3	3	
	Total	2	2	60	100	
	DSF	<i>Digitaria horizontalis</i>	Poaceae	61	100	
	Total	2	2	61	100	
Kilakina	DS	<i>Aristida mutabilis</i>	Poaceae	49	61,64	39
		<i>Eragrostis tremula</i>	Poaceae	2	1,75	
		<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	Papilionaceae	25	31,24	
		<i>Commelina forskalei</i>	Commelinaceae	1	1,25	
	Total	3	3	71	100	
	DSF	<i>Cenchrus biflorus</i>	Poaceae	26	25,74	22
		<i>Eragrostis tremula</i>	Poaceae	8	8,81	
		<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	Papilionaceae	9	9,81	
		<i>Brachiaria ramosa</i>	Poaceae	20	19,80	
		<i>Digitaria horizontalis</i>	Poaceae	22	22,22	
		<i>Fimbristylis hirsutula</i>	Cyperaceae	2	1,88	
	Total	<i>Aristida mutabilis</i>	Poaceae	25	25,75	
		Total	2	3	102	100
Woro		DS	<i>Cenchrus biflorus</i>	Poaceae	21	64,70
	<i>Pergularia tomentosa</i>		Asclepiadaceae	6	18,79	
	Total	2	2	27	100	
	DSF	<i>Pergularia tomentosa</i>	Asclepiadaceae	24	93,33	14
	<i>Aristida mutabilis</i>	Poaceae	2	6,66		
Total	2	2	26	100		

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs

Le tableau 4 présente la production et la variabilité de la biomasse en fonction de la position des sites et des types d'états de dégradation des dunes. La biomasse produite sur ces sols dunaires aux alentours des cuvettes et bas-



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
Env. Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
Access on line : <http://www.imist.ma/?journal=ewash-ti/>



fonds diminue du Sud vers le Nord. Elle est respectivement de 624,4 Kg/ha, 383,2 Kg/ha et 276 Kg/ha sur les DF de Iskour, Kilakina et Woro. Sur les DFS la production en biomasse est beaucoup moindre relativement au premier état de dégradation (DF), elle est de 502,4 Kg/ha à Iskour, 119,6 Kg/ha à Kilakina et 108,8 Kg/ha à Woro. Ces résultats montrent clairement que la production herbacée suit le gradient pluviométrique (Nord-sud) donc décroît du Sud vers le Nord, et suivant le type d'état de dégradation. Ces résultats sont en accord avec ceux du Projet de Lutte contre l'Enlèvement des Cuvettes Oasiennes [28] qui ont montré que dans le site de Gassala (situé au sud), la quantité de biomasse sèche à l'hectare d'une placette à une autre varie de 250 à 625 Kg/ha à Woro, la quantité de biomasse sèche à l'hectare d'une placette à une autre varie de 37,5 Kg/ha à 850 kg/ha et une moyenne de 302 Kg/ha. Au niveau des sites restaurés du cordon dunaire de Namaro et de Yonezé Koiri (Sud-ouest du Niger), la production en biomasse est de 593,8 Kg/ha et 653,3 Kg/ha respectivement [29]. Les résultats obtenus par [26] au niveau des aires de pâturages considérées comme dégradées loin des cuvettes oasiennes est proche de la production au niveau des dunes considérées dans cette étude. Cependant, au sein des aires de pâturages non dégradées situées sur les sols dunaires et loin des cuvettes la production des milieux dunaires est au-delà de 1,5 tonnes à l'hectare [26]. Ces résultats montrent qu'à proximité des cuvettes, la forte pression anthropique induit une faible production herbacée.

Dans la détermination de la variabilité de la biomasse, Iskour a été considéré comme entité de référence du fait de sa position Sud. Ainsi sur les entités DF, la variabilité de la biomasse sèche est plus importante entre les dunes de Iskour (sud) et Woro (nord) et est de 55,67%, alors que celle entre les entités de Iskour et Kilakina (centre) est de 38,63%. Sur les entités DSF la variabilité de biomasse sèche entre Iskour-Kilakina, Iskour-Woro est respectivement 76,19% et 78,34%. Ceci confirme que la biomasse herbacée évolue de façon décroissante le Sud vers le Nord suivant le gradient pluviométrique sur tous les types d'état de dégradation (DF, DSF) présentant un couvert herbacé.

Tab. 4 : Production et variabilité de la biomasse herbacée par type d'état de dégradation de dunes

Entités	Production biomasse (Kg/ha)	Entités	Variabilité biomasse (%)
Iskour (DF)	624,4	Iskour-Kilakina (DF)	38,63
Kilakina (DF)	383,2	Iskour-Woro (DF)	55,67
Woro (DF)	276,8		
Iskour (DSF)	502,4	Iskour-Kilakina (DSF)	76,19
Kilakina (DSF)	119,6	Iskour-Woro (DSF)	78,34
Woro (DSF)	108,8		

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs

M. M. GALADIMA & al

3.3. Caractéristiques de la végétation ligneuse des entités d'état de dégradation des édifices dunaires

La végétation ligneuse est très faiblement diversifiée avec seulement 3 espèces (*Leptadenia pyrotechnica*, *Acacia senegal* et *Prosopis juliflora*) réparties en 3 familles inventoriées au niveau de toutes les entités d'état de dégradation étudiées (cf. Table 5). La végétation ligneuse est inexistante sur les DV et les DSF de Woro, elle est plus abondante par ordre décroissant du Sud vers le Nord et de la DF à la DSF. Le tableau 6 présente les densités, fréquences et indice de valeur d'importance des espèces en fonction des entités et des types d'état de dégradation. L'espèce *Leptadenia pyrotechnica* est quasi dominante sur toutes les entités de surface présentant un couvert végétal. La densité des espèces est plus abondante sur les dunes du Sud avec une densité de 470 individus/ha à Iskour. Kilakina qui occupe une position médiane a une densité de 260 individus par hectare, elle est de l'ordre de 8 individus/ha à Woro qui est à une position Nord. Sur l'ensemble des 3 sites d'études l'espèce *Leptadenia pyrotechnica* a le taux de distribution le plus important avec une fréquence relative de 71,44% et un indice de valeur d'importance moyen (IVI) de 84,92% comparativement aux autres espèces *Acacia senegal* et *Prosopis juliflora* qui ont une fréquence relative de 14,29% chacune et un IVI de 7,41% et 7,68% respectivement. Ce qui fait d'elle, l'espèce majoritaire en termes d'abondance et de dominance sur tous les types de dune quel que soit le secteur.

Tab. 5 : Nombre d'espèces et taux de recouvrements des espèces ligneuses en fonction des entités de surface du sol sur les sites étudiés

Sites	Entités	Espèces	Familles	Nombre d'individus	R (%)
Woro	DV	-	-	0	0,00
	DSF	-	-	0	0,00
	DF	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	<i>Asclepiadaceae</i>	2	0,45
	Total	1	1	2	
Kilakina	DV	-	-	0	0,00
	DSF	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	<i>Asclepiadaceae</i>	17	0,81
	DF	<i>Leptadenia pyrotechnica</i> <i>Acacia senegal</i>	<i>Asclepiadaceae</i> <i>Simarubaceae</i>	08 1	1,42
	Total	2	2	68	
Iskour	DV	-	-	0	0,00
	DSF	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	<i>Asclepiadaceae</i>	68	0,87
	DF	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	<i>Asclepiadaceae</i>	72	0,82
	Total	2	2	117	

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
Env. Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
Acces en ligne : <http://revues.imist.ma/?journal=ewash-ti/>

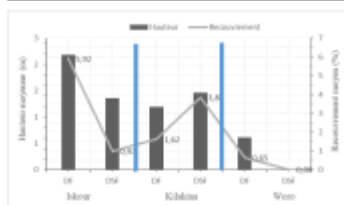


Fig. 6 : Hauteurs et taux de recouvrement de la végétation ligneuse par type d'état de dégradation des sites d'Ikour, Kilakina et Worro

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs

Tab. 6 : Densité, fréquence et indice de valeur d'importance des espèces en fonction des entités d'état de dégradation

Sites	Espèces	Entités			Total	Paramètres					
		D	DS	F		D	DS	F	H	I	IV
Worro	Acacia senegal	0	0	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	Leptodermis	0	0	2	2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	Prosopis juliflora	0	0	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total Worro	0	0	2	2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	0	0	2	2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
Kilakina	Acacia senegal	0	0	1	1	0,00	1,62	0,0	0,0	0,0	0,0
	Leptodermis	0	17	0	17	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	Prosopis juliflora	0	0	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total Kilakina	0	17	1	18	0,00	1,62	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	0	17	2	19	0,00	1,62	0,0	0,0	0,0	0,0
Ikour	Acacia senegal	0	0	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	Leptodermis	0	18	2	20	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	Prosopis juliflora	0	0	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total Ikour	0	18	2	20	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	0	18	4	22	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0

Source : Données personnelles collectées par les deux premiers auteurs

La figure 6 montre la hauteur moyenne et le taux de recouvrement moyen des ligneux en fonction des entités de surface du sol sur les sites de Ikour, Kilakina et Worro. Les valeurs de hauteurs moyennes et de taux de recouvrement moyen sont globalement faibles sur les entités dune fixée et dune semi-fixée. Le taux de recouvrement est proportionnel à la hauteur des ligneux pour le site de Kilakina. La dune semi fixée de Worro ne comporte de ligneux.

Le site de Ikour présente les hauteurs et les taux de recouvrement les plus importants, tandis que Worro présente les hauteurs et les taux de recouvrement les plus faibles du fait de la position de ces sites qui suit le gradient pluviométrique Nord-sud. Au niveau du site de Kilakina on remarque que la hauteur des arbres ainsi que le recouvrement sont plus importants, sur la DSF que sur la DF. Sur la DF, les espèces font l'objet de coupe, alors que sur la DSF on favorise la régénération des espèces. Les faibles hauteurs des espèces au niveau des dunes de toutes les entités s'expliquent par la nature des espèces qui y sont recensées essentiellement du *Leptodermis pyrotecnica* [30], [31]. L'état du couvert végétal et de la qualité des sols des dunes proches des cuvettes oasiennes (ressources fortement pressurisée) sont fortement différents de ceux des dunes qui en sont loin du fait de la pression continue que les premières gèrent. De ce fait les plans de gestion des milieux dunaires doivent être contextualisés. En effet, la faible diversification et le faible recouvrement spécifique et spatiaux des espèces herbacées et ligneuses est en lien avec la nature des sols sur lesquels poussent cette végétation.

4. Conclusion

L'étude floristique et édaphique de l'état de dégradation des édifices dunaires aux alentours des cuvettes oasiennes de Worro, Kilakina et Ikour, a montré que la dynamique de la végétation dans ces entités décroît du Sud vers le nord et de la dune fixée vers la dune semi-fixée suivant le gradient pluviométrique Nord-sud. La végétation herbacée est faiblement diversifiée composée de 10 espèces végétales réparties en 5 familles avec dominance des poacées. Les ligneux sont également faiblement diversifiés avec seulement 3 espèces regroupées en 3 différentes familles, à dominance de *Leptodermis pyrotecnica*. La production en biomasse herbacée et le taux de recouvrement suivent la même tendance d'évolution graduelle du Nord vers le Sud et de la dune semi-fixée à la dune fixée suivant le gradient pluviométrique et sont plus importants du nord vers le sud (Worro, Kilakina, Ikour). Les sols supportant cette végétation sont pauvres et ont une texture appartenant aux sables moyens fortement sensible à l'érosion éolienne. Ce travail fait ressortir que la réduction la diversité et la productivité végétale au niveau d'un site sont l'indicateur de la dégradation des sols. Sur le plan physicochimique, du fait que les sols soient intrinsèquement pauvres, la dégradation perceptible au niveau du végétal ne se fait pas sentir au niveau édaphique. Il constitue un bon outil d'aide à la décision du fait qu'il met à disposition des valeurs pour permettre de préciser si un site est dégradé ou semi dégradé en milieu dunaire à proximité des cuvettes oasiennes. La restauration des dunes dégradées doit combiner des actions tendant à fixer mécaniquement le sol pour une



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
Env. Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
Access on line : <http://www.imist.ma/?journal=ewash-ti/>



meilleure revégénéralisation du site. Cette dernière doit avoir pour finalité une restauration du couvert herbacé et ligneux adaptés aux zones semi-arides. A terme, le milieu sera écologiquement stable. La promotion des poacées et des légumineuses serait l'idéal pour la restauration durable des sols.

Contribution des auteurs

Moustapha Mahamane Galadima : Conceptualisation ; collecte des données ; méthodologies ; analyses ; rédaction premier draft.

Adamou Didier Tidjani : ressources financement, collecte des données, méthodologies, administration du projet, supervision, validation visualisation des résultats.

Karimou Jean-Marie Ambouta : ressources financement, méthodologies, validation visualisation des résultats.

Bachirou Seyni Bado : lecture (review editing)

Amadou Abdou Bagna : lecture (review editing)

Remerciement

Les auteurs remercient le Projet PIC-REC pour le soutien financier et les populations des trois villages pour leur collaboration.

Références bibliographiques

- [1] Ali, A., & Lebel, T. (2009). The Sahelian standardized rainfall index revisited. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(12), 1705-1714.
- [2] Ozer, P., Manzo, L., Tidjani, A. D., Djaby, B., & De Longueville, F. (2017). Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). *Geo-Eco-Trop : Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Ecologie Tropicales*, 42(3), 375-384.
- [3] Al Hamdou, D., & Requier-Desjardins, M. (2008). Variabilité climatique, désertification et biodiversité en Afrique : s'adapter, une approche intégrée. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 8(1).
- [4] Ozer, P., Bodart, C., & Tychon, B. (2005). Analyse climatique de la région de Gauri, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux. *CyberGeo: European Journal of Geography*.
- [5] Toudjani, Z., & Guero, M. (2006). Analyse diagnostique détaillée de la zone d'intervention du PLECO. Cartographie de la situation d'ensablement. Division des statistiques et de la cartographie forestière, Ministère de l'environnement et de la lutte contre la désertification, PNUD-PECO, 66.
- [6] Karimou Barké, M. S. (2017). Caractérisation et élaboration d'un outil de surveillance des cuvettes oasiennes et de leurs alentours par télédétection et

système d'information (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique).

- [7] Kado, K. A. K., Manzo, D. L., Guimbo, L. D., Karim, S., Habou, R., & Paul, R. (2017). Diversité floristique et structure de la végétation dans la zone dunaire du sud-est du Niger: Cas de Mainé soroa. *Journal of Applied Biosciences*, 120, 12053-12066.
- [8] INS, 2015. Le Niger en chiffre. Institut national des statistiques, Niger : 84.
- [9] Tidjani, A. D., Ambouta, K., & Bielders, C. (2009). Réhabilitation d'une dune vive par fixation mécanique: flux éoliens, fertilité du sol et biodiversité des herbacées. *Geo-Eco-Trop*, 33, 81-98.
- [10] Tidjani, A. D., Bielders, C. L., & Ambouta, K. J. M. (2009). Dynamique saisonnière des paramètres déterminant l'érosion éolienne sur les pâturages dunaires du Niger oriental. *Geo-Eco-Trop*, 33, 39-56.
- [11] Melom, S., Mbayngame, E., Bechir, A. B., Ratnan, N., & Mapongmetsem, P. M. (2015). Caractéristiques floristique et écologique des formations végétales de Massena au Tchad (Afrique centrale). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(1), 3799-3813.
- [12] Saadou, M. (1990). La végétation des milieux drainés nigériens à l'est du fleuve Niger. Thèse de doctorat, Université Niamey, Niger.
- [13] Mahamane, A., & Saadou, M. (2008). Méthodes d'étude et d'analyse de la flore et de la végétation tropicales. *Actes de l'atelier sur l'harmonisation des méthodes. Sustainable Use of Natural vegetation in West Africa*. 78pp.
- [14] Rouiller, J., Souchier, B., Bruckert, S., Feller, C., Toutain, E., & Védry, J. C. (1994). Méthodes d'analyses des sols.
- [15] Eimberck, M., Baize, D., Beaudou, A., Girard, M. C., Jabiol, B., & Rossignol, J. P. (2007, April). *Référentiel Pédologique : une 3ème version en 2008*. In 9. *Journées Nationales de l'Etude des Sols*.
- [16] Daget, P., & Poissonnet, J. (1971). Principes d'une technique d'analyse quantitative de la végétation des formations herbacées. *Doc. CEPE-CNRS*, 55, 85-100.
- [17] Daget, P. (1995). "FLOTROP", une base de données agropastorales sur l'Afrique tropicale au CIRAD-EMVT. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 48(3), 281-282.
- [18] Hannarou, S. (2012). Degré de dégradation des terres dunaires et efficacité des mesures antiérosives correctives [Cas des amas dunaires du secteur Kikina/Gouril]. Mémoire d'Ingénieur Agronome (DESS), Université Abdou Moumouni, Niamey (Niger), 99 p.
- [19] Aboubacar, M. M. (2018). Effets de la fixation des dunes sur la restauration écologique des dunes de Kosséri (Goudoumaria). Mémoire de Master2 (GISE), Université Abdou Moumouni, Niamey (Niger), 67 p.
- [20] FAO, 1992. Guide Pour l'interprétation des Analyses du Sol, Dakar : 80.



EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Page 460-470
 Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence
 Env.Wat. Sci. pub. H. Ter. Int. J.
 ISSN Electronic Edition : 2509 - 1069
 Acces on line : <http://revue.imist.ma/?journal=ewash-ti/>



- [21] Shao, Y. (2000). Physics and Modelling of wind erosion. Atmospheric and Oceanographic sciences. Library. Kluwer academic publisher, 128.
- [22] Christian V., 2013. « Toute évolution statistique significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persiste pendant une période ». Séminaire sur le changement climatique au Sahel, IFITC, Niamey le 18 Juin 2013.
- [23] Tidjani, A. D. (2008). Erosion éolienne dans le Damagaram Est (Sud-Est du Niger): paramétrisation, quantification et moyens de lutte/Wind erosion in the eastern Damagaram (South-East of Niger): parametrization, quantification and control (Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain).
- [24] Pollecat, P. (1999). Les Poaceae du Niger : description, illustration, écologie, utilisations. UIICN.
- [25] Assane, M. M. (2018). Characterization of degraded dune vegetation in south-eastern Niger. Caractérisation de la végétation des dunes dégradées du sud-est du Niger. *Environmental and Water Sciences, public Health and Territorial Intelligence Journal*, 2(4), 83-94.
- [26] Ilo Loko, I. (2015) - Caractérisation de douze (12) aires pastorales des départements de Gouré et de Tesker. Mémoire de Master en Productions et Biotechnologies Animales, Université Abdou Moumouni, Niamey (Niger), 90 p.
- [27] Souley, M. L. (2015) - Caractérisation de la végétation et des états de surfaces des sites de fixation de dunes du département de Gouré (Niger-est). Mémoire de Master en Gestion Intégrée des Sols et des Eaux, Université Abdou Moumouni, Niamey (Niger), 92 p.
- [28] PLECO. Projet de Lutte contre l'Ensemblement des Cuvettes Oasiennes (2013) : Rapport provisoire de la mission d'évaluation à mi-parcours : 122.
- [29] Yacouba Y. M., 2014. Analyse de la résilience Environnementale dans les systèmes de production des milieux dunaires de Namoro et Bitinkodji. Mémoire de DESS-CRESA, FA/UAM, 84p.
- [30] Karimou Barké M. (2005) - Caractérisation morpho-pédologique des cuvettes de Tchago et Worro (dans le Département de Gouré). Mémoire d'Ingénieur des Eaux et Forêts, Université Abdou Moumouni, Niamey (Niger), 87 p.
- [31] Barké, M. K., Ousseini, I., Biélers, C., Ambouta, K. I., & Tyhon, B. (2017). Caractérisation morphologique des cuvettes oasiennes du Centre-Est du Niger. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 11), 255-276.



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2015-2020	Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye.
Yüksek Lisans 2013-2014	Abdou Moumouni Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi Bölümü, Niamey, Nijer.
Lisans 2007-2011	Abdou Moumouni Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ziraat Mühendisliği Bölümü, Niamey - Niger

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1. GALADIMA, M. M., Tidjani, A. D., BODO, B. S., BAGNA, A. A., & Ambouta, J. M. K. (2020). The characterization of the dune environments according to the nature of degradation and North-South rainfall gradient of the vegetation and soil of the oasis system in Gouré (South-East Niger). *Environmental and Water Sciences, public Health and Territorial Intelligence Journal*, 4(3), 460-470.