



**PİROLİZ SICAKLIĞININ BİYOÇARLARIN BAZI  
FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ  
ÜZERİNE ETKİLERİ**

**BURHAN AKKURT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME  
ANABİLİM DALI**

**DOÇ. DR. HALİL ERDEM**

**Haziran - 2019**

**Her hakkı saklıdır**

T.C.  
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PIROLİZ SICAKLIĞININ BİYOÇARLARIN BAZI FİZİKSEL VE  
KİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

BURHAN AKKURT

TOKAT  
Haziran - 2019

Her hakkı saklıdır

Burhan AKKURT tarafından hazırlanan “Piroliz Sıcaklığının Biyoçarların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkileri” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 20 HAZİRAN 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Doç. Dr. Halil ERDEM  
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi  
Üye  
Prof.Dr. Hakan Mete DOĞAN  
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi  
Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DEMİRBAŞ  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

  
.....  
  
.....  
  
.....

ONAY

.....  
Prof. Dr. Cetin ÇEKİŞ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



## TEZ BEYANI

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

**Burhan AKKURT**

**20 Haziran 2019**



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### PIROLİZ SICAKLIĞININ BİYOÇARLARIN BAZI FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

BURHAN AKKURT

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. HALİL ERDEM)

Bu tez çalışmasında, yedi farklı hammaddeden 3 farklı sıcaklıkta (300, 400 ve 600 °C) piroliz ile elde edilen biyoçarların çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada, bölgede kolaylıkla temin edilebilen domates atıkları (sap, gövde ve yaprakları), kavak talaşı, buğday samanı, mısır koçanı, fasulye atıkları, çeltik kavuzu ve büyükbaş hayvan gübresi hammadde olarak kullanılmıştır. Üretilen biyoçarların, verimi, spesifik yüzey alanları (SYA), tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN) ve yarayışlı su içerikleri (YSİ), pH, elektriksel iletkenlik (EC), kation değişim kapasitesi (KDK), toplam karbon (C) ve azot (N), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), potasyum (K), çinko (Zn), demir (Fe), bakır (Cu) ve mangan (Mn) konsantrasyonları belirlenmiştir. Piroliz sıcaklığının 300 °C'den 600 °C'ye çıkarılması tüm biyoçar çeşitlerinde üretilen biyoçar miktarında ve SYA'nda azalmaya neden olmuştur. SYA'daki en belirgin azalma 300 °C'de 758.3 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> olan yüzey alanı 600 °C'de 250.8 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>'e düşen kavak talaşı olmuştur. Piroliz sıcaklığının artışı TK, SN ve YSİ'nde istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte artışa neden olmuştur. Nem içeriklerinde olduğu gibi, piroliz sıcaklığının artışı tüm biyoçar çeşitlerinin pH değerlerinin istatistiksel olarak önemli düzeyde artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte EC değerleri sıcaklık artışından önemli düzeyde etkilenmemiştir. Biyoçar çeşidine bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösteren KDK değerleri 300 °C'lik piroliz sıcaklığında 33.47 cmolc kg<sup>-1</sup>'den 88.16 cmolc kg<sup>-1</sup>'a, 400 °C'de 41.87 cmolc kg<sup>-1</sup>'den 78.68 cmolc kg<sup>-1</sup>'e ve 600 °C'de ise 23.27 cmolc kg<sup>-1</sup>'den 68.03 cmolc kg<sup>-1</sup>'e kadar değişkenlik göstermiştir. Sıcaklık artışı ile büyükbaş hayvan gübresinden üretilen biyoçarın toplam karbon içeriği azalırken fasulye biyoçarında bir değişim olmamış ancak diğer beş biyoçarın karbon içeriği artmıştır. Sıcaklık artışı özellikle 400 °C'den sonra toplam N içeriğinin önemli düzeyde azalmasına yol açmıştır. Tüm biyoçar çeşitlerinde piroliz sıcaklığının 300 °C'den 600 °C'ye çıkarılması P ve K içeriklerinin artışına yol açmıştır. Sonuçlar, biyoçarların verimlerinin ve özelliklerinin piroliz sıcaklığına bağlı olarak önemli oranda değiştiğini göstermiştir. Yüksek sıcaklıkta (600 °C) üretilen biyoçarların çoğunlukla daha yüksek pH ve EC değerlerine ve mikro (Cu, Fe, Zn ve Mn) ve makro (P, K, Ca ve Mg) konsantrasyonlarına sahip olduğu belirlenmiştir.

2019, 38 Sayfa

**ANAHTAR KELİMELER:** Biyoçar, sıcaklık, piroliz, tarımsal atık, karbon

## **ABSTRACT**

### **MASTER THESIS**

#### **EFFECTS OF PYROLYSES TEMPERATURE ON SOME OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIOCHARS**

**BURHAN AKKURT**

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. HALIL ERDEM)**

In this study, various physical and chemical properties of biochars produced by slow pyrolysis at 3 different temperatures (300, 400 and 600 °C) from seven different feedstocks were determined and compared. Tomato wastes (stem, roots and leaves), poplar sawdust, wheat straw, corncob, bean plant wastes, rice husk and cattle manure were used as raw materials. Yield, specific surface area (SSA), field capacity (FC), wilting point (WP) and available water contents (AWC), pH, electrical conductivity (EC), cation exchange capacity (CEC), total carbon (TC) and nitrogen (TN), calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), zinc (Zn), iron (Fe), copper (Cu) and manganese (Mn) concentrations of biochars produced were determined. Increasing the pyrolysis temperature from 300 °C to 600 °C resulted in a decrease in yield and SSA of all biochar types. The most significant decrease in SSA was observed in sawdust in which the surface area at 300 °C was reduced from 758.3 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> to 250.8 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> at 600 °C. The increase in pyrolysis temperature although not statistically significant caused an increase in FC, WP and AWC. Similar to the moisture contents, the increase in the pyrolysis temperature caused a statistically significant increase in the pH values of all biochar types. However, EC values were not significantly affected by temperature rise. The CEC values significantly varied depending on the biochar types. The CEC value at 300 °C pyrolysis temperature was between 33.47 and 88.16 cmolc kg<sup>-1</sup>, while it was between 41.87 and 78.68 cmolc kg<sup>-1</sup> at 400 °C, and between 23.27 and 68.03 cmolc kg<sup>-1</sup> at 600 °C. The TC content of the biochar produced from bovine manure decreased with the increase in temperature, no change was observed in the bean biochar, but the TC content of the other five biochars increased. The increase in temperature led to a significant decrease in the TN content, especially after 400 °C. Increasing the pyrolysis temperature from 300 to 600 °C in all biochar types led to an increase in P and K contents. The results indicated that the yields and properties of biochars strongly depended on the pyrolysis temperature. High temperature (600 °C) produced biochar having high pH and EC values and micro (Cu, Fe, Zn and Mn) and macro (P, K, Ca and Mg) concentrations.

2019, 38 Pages

**KEYWORDS:** Biochar, temperature, pyrolysis, agricultural waste, carbon

## ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca desteklerini ve emeklerini hiç esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Halil ERDEM'e ve Prof. Dr. Hikmet GÜNAL'a sonsuz teşekkürler ederim.

Aynı zamanda laboratuvar çalışmalarında yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Dr. Elif Günal'a, Zir. Müh. Ali Kaplan'a, Zir. Müh. Ahmet Çağlayan'a, Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesinden Zir. Yük Müh. Yusuf Tutuş'a ve mesai arkadaşım Murat BAL'a ve aileme sonsuz teşekkürler ederim.

**BURHAN AKKURT**

**20 Haziran 2019**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>4</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1. Materyal</b> .....	<b>9</b>
<b>3.2. Yöntem</b> .....	<b>9</b>
3.2.1. Biyoçar üretilmesi .....	9
3.2.2. Biyoçarların karakterizasyonu .....	9
3.2.3. Verilrin değerlendirmesi .....	10
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>11</b>
<b>4.1. Biyoçarların Fiziksel Özellikleri</b> .....	<b>11</b>
4.1.1. Biyoçar verimi .....	11
4.1.2. Biyoçarların spesifik yüzey alanları .....	12
4.1.3. Biyoçarların su tutma kapasiteleri .....	13
<b>4.2. Biyoçarların Kimyasal Özellikleri</b> .....	<b>15</b>
4.2.1. Biyoçarların pH ve elektriksel iletkenlik değerleri.....	15
4.2.2. Biyoçarların katyon değişim kapasiteleri .....	19
<b>4.3. Biyoçarların Besin Elementi Kapsamları</b> .....	<b>20</b>
4.3.1. Biyoçarların toplam karbon ve azot konsantrasyonları ile C/N oranı .....	20
4.3.2. Biyoçarların fosfor ve potasyum konsantrasyonları .....	22
4.3.3. Biyoçarların kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonları.....	24
4.3.4. Biyoçarların kükürt ve sodyum konsantrasyonları .....	25
4.3.5. Biyoçarların demir, mangan, bakır ve çinko konsantrasyonları .....	27
<b>4.4. Biyoçarların Çeşitli Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Arasındaki İlişkiler</b> .....	<b>29</b>
<b>5. SONUÇ</b> .....	<b>32</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>34</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>38</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>Simge</b>	<b>Açıklama</b>
%	Yüzde
<	Küçüktür
>	Büyüktür
°C	Santigrat derece
dS	Desisimens
g	Gram
kg	Kilogram
mg	Miligram
ppm	Milyonda bir parça

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
KDK	Kasyon Değişim Kapasitesi
me	Miliekivalen
HNO <sub>3</sub>	Nitrik asit
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen peroksit
TK	Tarla Kapasitesi
SYA	Spesifik Yüzey Alanı
SN	Solma Noktası
YSİ	Yarayışlı Su İçeriği
C	Karbon
Fe	Demir
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
Fe	Demir
Zn	Çinko
Mn	Mangan
Cu	Bakır
N	Azot

## ŞEKİL LİSTESİ

### Şekil

### Sayfa

- Şekil 1.1. Antalya-Demre’de 2015 yılı üretim sezonu sonunda çevreye çürümeye terk edilen ve yakılan domates atıkları..... 3
- Şekil 1.2. Buğday hasat atıklarının yeni ekim sezonu öncesinde yakılması (Eylül-2015, Alaca-Çorum)..... 3



## ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Küspenin kömürleştirilmesi ile elde edilen biyoçarın özellikleri.....	7
Çizelge 4.1. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların verimleri .....	12
Çizelge 4.2. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların verimlerinin karşılaştırılması ....	12
Çizelge 4.3. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların spesifik yüzey alanları ( $m^2 g^{-1}$ ). 13	
Çizelge 4.4. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların spesifik yüzey alanlarının karşılaştırılması .....	13
Çizelge 4.5. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su içerikleri .....	14
Çizelge 4.6. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su içerikleri karşılaştırılması.....	15
Çizelge 4.7. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların pH ve elektriksel iletkenlik değerleri.....	17
Çizelge 4.8. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması .....	17
Çizelge 4.9. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların katyon değişim kapasiteleri ( $cmolc kg^{-1}$ ) .....	19
Çizelge 4.10. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların katyon değişim kapasitelerinin karşılaştırılması .....	19
Çizelge 4.11. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların toplam karbon ve azot konsantrasyonları ile C/N oranı.....	21
Çizelge 4.12. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların toplam karbon, azot ve karbon/azot oranlarının karşılaştırılması .....	22
Çizelge 4.13. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların fosfor ve potasyum konsantrasyonları .....	23
Çizelge 4.14. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların fosfor ve potasyum konsantrasyonlarının karşılaştırılması .....	23
Çizelge 4.15. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonları .....	24
Çizelge 4.16. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	25

Çizelge 4.17. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların kükürt ve sodyum konsantrasyonları .....	26
Çizelge 4.18. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların kükürt ve sodyum konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	27
Çizelge 4.19. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların demir, mangan, bakır ve çinko konsantrasyonları .....	29
Çizelge 4.20. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların demir, mangan, bakır ve çinko konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	29
Çizelge 4.21. Biyoçarların çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki korelasyonlar.....	32



## 1. GİRİŞ

Karbon, hidrojen, oksijen ve azot içeren karbonhidratlı her materyal biyoçar üretiminde biyokütle kaynağı olarak kullanılabilir. Biyokütle kaynakları odunsu ve otsu türler, odun atıkları, enerji ürünleri, küspe, tarımsal ve endüstriyel atıklar, atık kağıtlar, katı şehir atıkları, talaş, biyo-katılar, çimler, ürün işleme atıkları, hayvan atıkları, su bitkileri ve algler gibi çeşitli doğal ve doğal ürünlerden elde edilmiş materyallerdir (Yaman, 2004).

Biyokütlenin çok az oksijenin bulunduğu veya oksijenin hiç olmadığı kapalı bir ortamda ısıtılması ile elde edilen karbon bakımından zengin olan materyallere biyoçar adı verilmektedir. Daha teknik anlamda, kısıtlı miktarda oksijenin olduğu ve göreceli olarak düşük sıcaklıklarda (<700°C) organik materyallerin sıcaklıkla değişimi/pirolizi ile üretilen materyal biyoçar olarak adlandırılmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009). Tarımsal atıklar, ormancılık atıkları ve arıtma çamuru gibi pek çok tür biyokütle biyoçar üretmek için kullanılabilir (Xu ve ark., 2019; Banik ve ark., 2018; Li ve ark., 2017). Orta düzeyde yüksek sıcaklık altında kapalı bir ortamda biyokütle içerisindeki karbonhidratların yapısı karbonca daha zengin olan katılara dönüşmektedir. Biyoçar adı verilen bu değerli ürün toprak kalitesinin iyileştirilmesi, kirliliğin giderilmesi başta olmak üzere çok farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Biyoçarların kullanılması, aktif karbon kullanımına kıyasla nispeten düşük maliyetlidir (Tarpeh ve ark., 2017). Yüksek miktarda karbon içerdiğinden dolayı kömür gibi materyallerden çok daha yüksek enerji düzeyine sahiptir. Piroliz işlemi esnasında oluşan çok sayıda mikro gözeneklerden dolayı büyük miktarda yüzey alanına da sahip olabilmektedir. Mikro gözeneklerinin yüksek olması kirleticilerin filtre edilmesi ve adsorpsiyonunda kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır (Lee ve ark., 2013). Üretim koşullarına bağlı olarak büyük değişkenlik gösteren biyoçarın özellikleri, biyoçarın kullanım etkinliğini önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Farklı biyoçarların potansiyel adsorpsiyon kapasiteleri, biyoçar üretiminde kullanılan hammaddenin spesifik özelliklerine bağlı olarak da büyük oranda değişkenlik göstermektedir (Yin ve ark., 2018).

Biyoçar ayrışmaya karşı dayanıklılığının yüksek olması, alkali doğası, yüksek besin içeriği, gözenekli yapı, bitkilere besin sağlama yeteneği ve bitkilerin azot kullanımının verimliliğini artırmaya yardımcı olması gibi spesifik özellikleri nedeniyle toprak katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmaya devam etmektedir (Kammann ve ark.,

2011). Biyoçarı özel kılan bu özellikler, pirolizin sıcaklığının değiştirilmesi ile farklılaştırılabilir (Wu ve ark., 2012). Biyoçarın pH'sı, karbon ve bazik fonksiyonel gruplarının miktarı piroliz sıcaklığındaki artışla değiştirilebilir, genel olarak üretilen biyoçarın verimi ve özellikle de asidik fonksiyonel grupların miktarı sıcaklık artışı ile azaldığı bildirilmiştir (Sun ve ark., 2017).

Organik karbon açısından oldukça zengin olan biyoçarın aksine, biyokütlenin oksijenli bir ortamda yakılması ile organik materyal çoğunlukla kalsiyum, magnezyum ve inorganik karbonatlardan oluşan bir kül halini alır. Oldukça farklı materyallerden farklı koşullar altında biyoçar üretildiğinden dolayı kimyasal olarak biyoçarın tanımının yapılması oldukça güçtür. Biyoçarın genel olarak tanımlanabilen ortak özelliği oksijen ve hidrojen olmadan altı karbon atomunun oluşturmuş olduğu aromatik yapısındaki yüksek karbon içerikli bir materyal olmasıdır (Lehmann ve Joseph, 2009).

Küresel olarak yıllık tarımsal atık üretiminin 2009 yılında 988 milyon ton olduğu tahmin edilmiştir (Agamuthu, 2009). Tarımsal atıkların açıkta yakılması veya arazide yığılarak çürümeye terk edilmesi çeşitli çevresel sorunlara neden olmaktadır (Mahawar ve ark., 2015). Ekonomisinde tarımsal üretimin oldukça önemli payı olan ülkemizde de tarımsal üretim atıklarının bir kısmı yakacak ve yem endüstrisinde kullanılmakta, ancak önemli bir kısmı ise çevreye zarar verecek şekilde çürümeye terk edilmekte veya yakılarak yok edilmektedir (Şekil 1.1 ve 1.2).



Şekil 1.1. Antalya-Demre’de 2015 yılı üretim sezonu sonunda çevreye çürümeye terk edilen ve yakılan domates atıkları



Şekil 1.2. Buğday hasat atıklarının yeni ekim sezonu öncesinde yakılması (Eylül-2015, Alaca-Çorum)

Bu tez çalışmasının amacı, yedi farklı biyokütlenin 3 farklı sıcaklıkta (300, 400 ve 600 °C) pirolizi ile elde edilen biyoçarların çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve karşılaştırılmasının yapılmasıdır. Çalışmada, öncelikle bölgeden temin edilen ve bol miktarda üretilebilen domates atıkları (sap, gövde ve yaprakları), kavak talaşı, buğday samanı, mısır koçanı, fasulye atıkları, çeltik kavuzu ve büyükbaş hayvan gübresi kullanılmıştır. Biyoçarın çeşitli kullanımlardaki etkinliği, iyonik kirleticileri adsorbe etme gibi biyoçarın yüzey kimyası ile yakından ilişkilidir (Banik ve ark., 2018). Bu nedenle; tarımsal üretimde ve diğer alanlarda potansiyel kullanımları için yol gösterici bilgilerin elde edileceği bu çalışma sonuçları, sonradan yapılacak uygulamalı araştırmalar için önemli bir altlık görevi görecektir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Son yıllarda toprak kalitesinin sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesi ve karbon tutumu gibi konularından dolayı, biyoçarın toprağa uygulanması ile ilgili araştırmalar önemli miktarda artmıştır (Woolf ve ark., 2010; Sohi, 2012; Sizmur ve ark., 2015). Biyoçar üretimi, özellikle biyolojik atıkların bol miktarda üretildiği ülkemizde, toprak verimliliği ile ilgili sorunların sürdürülebilir bir şekilde düzeltilmesine yardımcı olacak önemli bir katkı maddesi olarak düşünülebilir (Günel, 2018). Biyoçarın toprak kalitesinin korunması ve iyileştirilmesinde, su tutma kapasitesini ve katyon değişim kapasitesini optimize etmesinin yanı sıra toprağın erozyona duyarlılığını azaltması da önemlidir (Joseph ve ark., 2010). Ayrıca, biyoçar, azot (N), karbon (C) ve fosfor (P) gibi temel besin elementlerinin miktarını artırarak ve ağır metallerin biyo yararılılığını azaltarak da toprağın kalitesinin sürdürülebilirliğine katkı yapmaktadır (Zhang ve ark., 2016; Sarfraz ve ark., 2017).

Tarımsal uygulamalar ile ilgili yapılan araştırmalarda, biyoçarın toprakta su ve besin elementlerini tutma kapasitelerini arttırdığı ve gübre gereksinimini azalttığı rapor edilmektedir (Lee ve ark., 2013). Sera ve arazi çalışmalarında toprak ile karıştırılan biyoçarın bitki gelişimini ve toprağın üretkenliğini önemli miktarda arttırdığı da belirtilmektedir. Biyoçar toprağın özelliklerinin iyileşmesine katkı sağlayan farklı bir kompost veya hayvan gübresi benzeri materyal olmanın yanında toprağın kalitesinin artırılması adına diğer organik katkı maddelerinin tamamından daha etkin bir katkı materyalidir. Bu özelliğinin nedeni yüksek yük yoğunluğu (Liang ve ark., 2006) ve buna bağlı yüksek besin elementi tutma kapasitesi (Lehman ve ark., 2003) ve spesifik kimyasal (Baldock ve Smemik, 2002) ve koloidal yapısından (Lehmann ve ark., 2005) dolayı diğer organik materyallere göre mikrobiyal parçalanmaya karşı olan direnci (Cheng ve ark., 2000) gibi sahip olduğu spesifik fiziksel ve kimyasal özelliklerden dolayıdır. Biyoçar toprak verimliliğini, bir dizi toprak özelliğinin değişimi, mekânsal ve zamansal olarak dinamik olan kompleks biyotik ve abiyotik reaksiyonların yer aldığı olaylardan dolayı etkilemektedir. Toprağa biyoçar ilavesi toprak özelliklerine de bağlı olmakla birlikte su ve besin elementi tutumu veya mikrobiyal aktivite (Atkinson ve ark., 2010; Lehmann ve ark., 2011) gibi özelliklere de doğrudan etki etmektedir.

Bu olumlu etkilerin aksine biyoçarın toprakta kaliteyi ve bitkisel üretimi arttıramayacağını rapor eden araştırmacılar da bulunmaktadır. Jeffrey ve ark. (2015),



kumlu bir toprakta hidrolojik özelliklere biyoçarın etkisini araştırırken, toprağa uygulanan biyoçar parçalarının gözeneklerinin %99'undan fazlasının yüzeye kadar uzandığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu durumun biyoçarların toprağın su tutma kapasitesinin artırılmasında önemli olduğunu vurgulamışlardır. Ancak, biyoçar materyallerinin oldukça hidrofobik karakterde olmasının suyun gözeneklerin içerisine infiltre olmasını engellediğini ve bu nedenle toprağın su tutma kapasitesini arttıramayacağını bildirmişlerdir.

Piroliz, oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıkta organik maddenin termo-kimyasal bozunması işlemidir. Ortamda oksijenin bulunmaması materyalin yanıp küle dönüşmesini engellemektedir. Piroliz olayı hem kimyasal hem de fiziksel durumun geri dönüşümsüz olarak değişmesine neden olur. Biyokütlenin termal bozunması işlemi ile katı kömürleşmiş materyal (biyoçar), sıvı biyo-yağlar, katran ve gaz halindeki singazlar (yanabilen sentetik gazlar) ortaya çıkmaktadır (Winsley, 2007). Piroliz koşulları ve ham madde türleri, biyoçarın özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Tarin ve ark., 2018). Üretilen materyalin niteliği uygulanan sıcaklığa göre değişmektedir. Piroliz sıcaklığının kademeli olarak artışı ile birlikte, biyokütlenin temel bileşenleri olan polisakkaritler, toprağın stabilitesine katkıda bulunan, biyoçarın karakteristik aromatik C yapılarına dönüştürülür (Wiedner ve ark., 2013). Nispeten daha düşük olan 400-500 °C gibi sıcaklıklarda daha fazla biyoçar üretilirken daha yüksek sıcaklıklarda >700 °C ise daha fazla sıvı ve gaz ürünler üretilmektedir. Bu ürünlerin tipik oluşum oranları %60 biyo-yağ, %20 biyoçar ve %20 gaz şeklindedir. Yavaş piroliz işleminde ise üretilen biyoçar miktarı %50 civarındadır (Winsley, 2007). Piroliz sıcaklığının artışının biyoçarın içerdiği besin elementlerinin konsantrasyonunu arttırdığı ve biyoçarın özellikle C yüzdesinin yükseldiği bildirilmektedir.

Biyoçar uygulamalarının çevre amenajmanı, toprağın iyileştirilmesi (üretimin artırılması ve aynı zamanda kirliliğin azaltılması için), atık amenajmanı, iklim değişimi ile mücadele ve enerji üretimi şeklinde dört hedefe yönelik yapılmaktadır. Bu uygulama amaçlarının her biri veya birden fazlasının sosyal veya ekonomik veya hem sosyal hem de ekonomik faydasının olması beklenmektedir (Lehman ve Joseph, 2009). Ojeda ve ark. (2015)'da toprağa uygulanan biyoçarın toprağın besin elementini serbest bırakması, su ve karbon depolaması gibi üç farklı fonksiyonunu etkilediğini belirtmektedir. Biyokütlenin yakılması, doğal yollar ile ayrıştırılması (parçalanması) ve özellikle tarımsal atıklar atmosfere oldukça büyük miktarda CO<sub>2</sub> salınımına neden olmaktadır.

Daha kararlı ve sağlam olan biyoçar içerisindeki karbon ve diğer sera gazları ise yüzlerce yıl toprakta parçalanmadan kalabilmektedir. Bu durum uzun vadede atmosferdeki sera gazı miktarının sabitlenmesine ve zamanla azaltılmasına neden olabilecektir (Laird, 2008). Son yıllarda atmosferik karbondioksitin (CO<sub>2</sub>) azaltılması ile ilgili yapılan çalışmalarda, önemli miktarda biyoçar uygulamasına rastlanılmaktadır. Spokas ve Reicosky (2009) atmosferden fotosentez yolu ile bitkilerde depolanan CO<sub>2</sub>'in piroliz yolu ile daha kararlı bir karbon formu olan biyoçar şeklinde depolamanın oldukça önemli olduğunu vurgulamaktadırlar.

Biyoçar üretiminin temel amacı, biyokütlede çeşitli formlarda depolanmış olan besin elementlerinin geri dönüşümü, tarımsal ve endüstriyel biyolojik kökenli atığın azaltılması ve faydalı biyo atıkların çevrede karbon bakımından zengin ürünlere dönüştürülmesine katkıda bulunmaktır (Safraz ve ark., 2017). Safraz ve ark. (2017), piroliz koşulları ve hammaddenin üretilen biyoçarın özellikleri üzerine etkilerini sistematik olarak değerlendirmişlerdir. Araştırma sonuçları, mantar üretim atıklarının besin elementi durumunun üretilen biyoçarın uygulandığı toprağın besin elementi durumunu ve toprak kalitesini yükseltebileceğini ortaya koymuştur.

Toprak fonksiyonları üzerine biyoçarın etkisi, biyoçar üretiminde kullanılan biyokütlenin çeşidine ve pirolizin yapıldığı koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Ojeda ve ark., 2015). Üretilen biyoçarın fiziksel ve kimyasal özellikleri önemli miktarda tercih edilen hammaddeye piroliz işleminin gerçekleştirildiği koşullara (temel olarak sıcaklık ve süre) bağlı olarak büyük değişkenlikler göstermektedir (Çizelge 2.1). Çeltik samanı, Phragmites communis, talaş tozu ve yumurta kabuğunun 300, 500 ve 700 °C'de pirolizi ile elde ettikleri biyoçarların karakterizasyonunu ve amonyum adsorpsiyonun kapasitesine etkilerini araştıran Xu ve ark. (2019), piroliz sıcaklığının özellikle spesifik yüzey alanı, pH ve zeta potansiyeli gibi bir kısım fiziko kimyasal özellikler üzerine oldukça etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bunun bir sonucu olarak, farklı piroliz sıcaklıklarında üretilen biyoçarların amonyumu adsorbe etme kapasitelerinin de farklılaştığı görülmüştür. En yüksek amonyum adsorpsiyonu 500 °C'de üretilen çeltik samanı (4.2 mg/g) ve talaş tozu (3.3 mg/g) biyoçarlardan elde edilirken, 300 °C'de üretilen biyoçarların amonyum adsorpsiyon kapasitelerinin daha düşük olduğu rapor edilmiştir.

Çizelge 2.1. Küspenin kömürleştirilmesi ile elde edilen biyoçarın özellikleri (Ueno ve ark., 2007)

Parametre veya Özellik	Biyοçar				Hammadde
Ortalama Sıcaklık (°C)	490	690	740	830	
Spesifik Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)	Nd	270	322	273	Nd
EC (mS/m)	7.78	7.15	6.95	7.83	Nd
pH	7.46	7.59	7.68	7.89	Nd
Toplam N (%)	0.58	0.45	0.32	0.44	0.19
Toplam C (%)	70.5	71.0	65.2	73.9	46.1
Mineral (mg/ 100 g)	3361	4601	5359	4363	841

Nd: Belirlenmedi

Biyοçar üretiminde kullanılan hammaddenin tipi, piroliz sıcaklığı, reaksiyon ortamının pH'sı ve piroliz öncesi AlCl<sub>3</sub> ile muamelenin biyoçarın anyon değişim kapasitesi, kation değişim kapasitesi, net sıfır yük noktası ve sıfır tuz etki noktası üzerine etkilerini araştıran Banik ve ark. (2018), ≤500 °C'de üretilen biyoçarın, karboksil ve fenol gruplarının baskın olmasından kaynaklanan negatif yüzey yükü nedeni ile daha yüksek kation değişim kapasitesi, daha düşük anyon değişim kapasitesi, net sıfır yük noktası ve sıfır tuz etki noktasına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bunun aksine ≥700 °C'de üretilen biyoçarın ise bu koşullardaki hidroliz olmayan oksanyum köprüsü nedeni ile daha yüksek miktarda pozitif yüzey yüke sahip olduğunu bildirilmiştir. Sun ve ark. (2017), düşük enerjili C-H bağlarının sürekli bölünmesi, hidrojen moleküllerinin iyonlaşması ve biyokütle bileşenlerinin termal olarak çatlaması nedeniyle uçucu madde kaybının olması yüksek sıcaklıkta üretilen biyoçarın daha yüksek C/H oranı, daha büyük aromatik halka demetleri ve daha yüksek yüzey alanına sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Hammadde, biyoçarın özelliklerini etkileyen bir başka kritik faktördür. Örneğin, şehir atıkları ve kümes hayvanlarının altlıklarından üretilen biyoçar, düşük aromatik C içeriğine, ancak odunsu malzemelerden üretilenlere kıyasla daha yüksek kül içeriğine sahip oldukları görülmüştür (Brewer, 2012). Büyük ve küçük baş hayvanlar ile ve kümes hayvanlarının gübrelerinden elde edilen biyoçarların yüksek besin içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir (Cantrell ve ark., 2012). Bunun aksine, şeker kamışı küspesi ve odun atıklarının pirolizinden sonra elde edilen biyoçarların ise düşük besin değerine,

bunun yanında yüksek lignin ve selüloz içeriğine sahip oldukları belirtilmektedir (Domingues ve ark., 2017).

Bu tez çalışmasında, tarımsal faaliyetler ile ortaya çıkan atıklardan bir kısmının farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların temel fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Günümüzde oldukça geniş bir yelpazede yer alan araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiş olan biyoçar konusunda en önemli eksikliklerden bir tanesi, farklı biyokütle ve farklı piroliz ortamlarında elde edilen biyoçarın özelliklerinin belirlenmemiş olmasıdır. Toprakta maksimum etkinliği sağlayacak tarımsal atıklardan üretilen biyoçarın üretiminde kullanılacak optimum piroliz sıcaklığın belirlenmesi çalışmanın ana hedefidir. Bu nedenle, üretilen biyoçarların çeşitli kullanımlara uygunlukları konusunda bir altlık olma özelliği taşıyan bu çalışma sonuçları, yeni projelerin üretilmesi için önemli bilgiler sağlama potansiyeline sahiptir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Çalışmada, bölgede temin edilme potansiyeli yüksek olan tarımsal atıklardan domates hasat atıkları, fasulye hasat atıkları, mısır koçanı, saman, çeltik kavuzu, büyük baş hayvan gübresi ve kavak ağacı talaşı hammadde olarak kullanılmıştır.

#### 3.2. Yöntem

Yöntem biyoçar üretilmesi, hammadde ve biyoçarların özelliklerinin belirlenmesi ve veri değerlendirmesi şeklinde üç kısımdan oluşmaktadır.

##### 3.2.1. Biyoçar üretilmesi

Hammaddeler oda sıcaklığında kurutulmuş ve bir öğütücüde öğütüldükten sonra piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Biyoçarların yanma haznesi geniş olan kül fırını kullanılmıştır. Öğütülmüş ve oda sıcaklığında kurutulmuş olan hammaddeler biyoçar üretim için kromdan yapılmış 2 litre hacimli kaplara doldurulmuş ve bu kaplar kül fırınına yerleştirilmiştir. Biyoçarlar yavaş piroliz işlemi 300, 400 ve 600 °C sıcaklıklarda üretilmiştir. Biyoçar üretimi esnasında ortaya çıkan katran ve singazlar depolanmamıştır. Biyoçar üretimi esnasında sıcaklık artışı 10 °C/dakika olacak şekilde ayarlanmış, piroliz gazı çıkışı tamamlanana kadar beklenmiştir. Pirolizi tamamlanan örnekler kül fırını içerisinde kapalı kaplara tutulmuş ve tam soğuma gerçekleşikten sonra çıkarılmıştır. Biyoçarlar 1 mm'lik elekten geçirilmiş ve saklama kaplarına alınarak laboratuvar analizleri için muhafaza edilmiştir.

##### 3.2.2. Biyoçarların karakterizasyonu

Elde edilen biyoçarların bir kısım fiziksel ve kimyasal özellikleri standart yöntemler ile belirlenmiştir. Her örnek 3 paralel şekilde analiz edilmiştir. Bu çalışmada belirlenen özellikler ve kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

Biyoçarın verimi ( $ym$ ), karbonize edilen ürünün kütlesinin ( $mcarb$ ) ham biyokütlenin kütlesine ( $mbiom$ ) oranıdır (Webber ve Quicker, 2018). Böylece orijinal kütlenin ne kadarının pirolizin katı tortusunda kaldığı anlaşılabilir.

$$ym = \frac{mcarb}{mbiom} * 100$$

Biyoçar verimi, piroliz öncesi ve sonrası krom kaplarda konulan hammadde ve biyoçarın ağırlıkları belirlenmiş ve biyoçarın hammaddeye oranı biyoçar verimi olarak kayıt edilmiştir.

Spesifik yüzey alanı, Etilen Glikol Monoetilen Eter (EGME) yöntemine göre yapılmıştır (Cerato ve Lutenegeger, 2002). Yarayırlı su içeriği veya su tutma kapasitesi, tarla kapasitesinde tutulan nem içeriğinden solma noktasındaki nem içeriğinin çıkarılması ile hesaplanmıştır (Klute, 1986).

Biyoçarın pH ve EC'si 1/2 (biyoçar/saf su) oranındaki karışımda McLean (1982) tarafından toprak örnekleri için tavsiye edilen standart yönteme uygun bir şekilde taşınabilir bir pH/EC metre kullanılarak belirlenmiştir. Katyon değişim kapasitesi, amonyum asetat yöntemine göre yapılmış ve sodyum konsantrasyonları fleym fotometrede belirlenmiştir (Sumner ve Miller, 1996). Toplam karbon ve azot içerikleri, kuru yakma yöntemiyle Elementel Analiz Cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Tabatabai, 1994).

Biyoçar rneklerinin toplam fosfor, kalsiyum, magnezyum, potasyum, kükürt, sodyum, çinko, demir, bakır ve mangan konsantrasyonları için örnekler agat değirminde öğütülmüş, her birinden 0.2 g tartılmış ve sonrasında mikro dalgada yaş yakma metoduna göre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-HNO<sub>3</sub> asit karışımı ile yakılmıştır. Yanma sonrası elde edilen szklerdeki konsantrasyonlar ICO-OES cihazında belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

### **3.2.3. Verilerin değerlendirmesi**

Her bir biyoçar materyalinin belirlenen özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik parametreleri belirlenmiştir. Biyoçarların zellikleri açısından benzerlik ve farklılıklarını ortaya koyabilmek amacı ile tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA sonrasında, istatistiksel olarak farklılıkları bulunmayan biyoçarların gruplandırılması homojenlik testi olan DUNCAN gruplaması ile yapılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Biyoçarların Fiziksel Özellikleri

#### 4.1.1. Biyoçar verimi

Belirli bir biyokütlenin pirolizinden elde edilebilecek ürün miktarı, piroliz işleminin gerçekleştiği ortamın şartlarına, pirolizin gerçekleştiği sıcaklığa ve materyalin piroliz ünitesinde kalma süresine bağlı olarak değişmektedir (Webber ve Quicker, 2018). Üç farklı sıcaklıkta üretilen biyoçarların verimlerine ait değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Piroliz sıcaklığının 300 °C’den 600 °C’ye çıkarılması tüm biyoçar çeşitlerinde üretilen biyoçar miktarında düşüşe neden olmuştur. Biyoçar verimi 300 °C’de %35.2 ile %53.9, 400 °C’de %21.8 ile %46.1 ve 600 °C’de ise %18.4 ile %42.6 arasında değişmiştir (Çizelge 4.1). Biyoçar veriminin yüksek olabilmesi için daha yüksek lignin içeren biyokütlenin kullanılması gerekmektedir. Hemiselülozların ve selülozun düşük yapısal stabiliteleri, bu bileşenlerin sıcaklıkla birlikte daha erken bozulmasına yol açar. Bu bileşenler parçalanarak yoğunlaşabilir gazlara dönüşürken, daha kararlı olan lignin biyoçarın verimine katkıda bulunur (Pereira ve ark., 2013). Bu durumda, biyoçar üretiminde kullanılan hammaddelerden çeltik kavuzunun lignin içeriğinin, aksine kavak talaşının ise hemiselüloz ve selüloz içeriğinin yüksek olduğu söylenebilir.

Piroliz sıcaklığındaki artışla birlikte meşe, çam, şeker kamışı ve yarfıstığı kabuğundan üretilen biyoçarların veriminde önemli düzeyde düşüş olduğuna dair araştırmalar yayınlanmıştır (Zhang ve ark., 2016). Yakın zamanda yayınlanan bir başka araştırmada da Chandra ve Bhattacharya (2019) çeltik sapının piroliz sıcaklığının 400 °C’den 700 °C’ye çıkarılması ile biyoçar veriminin %45’den %34’e düştüğünü belirtmişlerdir. Biyoçar verimlerinin sıcaklık artışıyla azalması, piroliz işlemi esnasında biyoçarın temel birincil yapısının bozulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Düşük piroliz sıcaklığında, hammadde kısmen yandığından dolayı, daha yüksek verim elde edilmektedir. Ancak yüksek sıcaklık biyokütlenin çok daha fazla yanmasına yol açtığından elde edilen biyoçarın verimi de düşmektedir (Joseph ve ark., 2010; Angin, 2013). Safraz ve ark. (2017)’da mantar hasat atıklarından üretilen biyoçar veriminin ve bir kısım özelliklerinin temel olarak sıcaklıkla birlikte değiştiğini bildirmişlerdir. Sıcaklık artışı ile biyoçar verimindeki azalmanın en fazla olduğu biyoçar çeşidi %53.2 ile kavak talaşı iken en düşük orandaki azalma %19.5 ile fasulye bitkisinin atıklarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların verimleri

Sıcaklık °C	Büyük Baş	Çeltik	Domates	Fasulye	Kavak Talaş	Mısır Koçan	Buğday Samanı	Genel Ort.*
	%							
300	44.9	53.9	45.5	39.9	39.4	35.2	39.4	42.6a
400	36.0	46.1	38.9	33.3	21.8	31.9	33.3	34.5ab
600	32.2	42.6	32.4	32.1	18.4	26.2	28.0	29.9b
%Fark (300-600)	-28.2	-20.9	-28.8	-19.5	-53.2	-25.7	-29.1	

\* Duncan gruplamasında farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında  $P < 0.05$  düzeyinde önemli farklılık bulunmaktadır.

Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların verimlerinin karşılaştırıldığı ANOVA testi, farklılığın istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P < 0.05$ ) olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.2). Biyoçarların farklı piroliz sıcaklıkları altındaki genel ortalamalarına bakıldığında verimin 300 °C’de %41.3’den, 400 °C’de %34.3 ve 600 °C’de ise %29.9’a düştüğü görülmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.2. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların verimlerinin karşılaştırılması

	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Karesi	F	Önem
<b>Gruplar Arası</b>	0.046	2	0.023	4.34	0.02*
<b>Grup İçi</b>	0.088	18	0.005		

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

#### 4.1.2. Biyoçarların spesifik yüzey alanları

Farklı piroliz sıcaklığında 7 adet hammaddeden üretilen biyoçarların spesifik yüzey alanlarına (SYA) ait değerler Çizelge 4.3’te verilmiştir. Hammaddenin 400 °C civarında pirolizi esnasında uçucu maddenin uzaklaşmaya başlaması ile mikro gözenek sayısının önemli ölçüde arttığı bildirilmektedir (Chen ve ark., 2014). Bu durumun biyoçarın gözenek hacminde ve yüzey alanında bir artışa neden olacağı rapor edilmiştir. Çeltik, fasulye atıkları ve buğday samanı biyoçarının yüzey alanlarında 300 °C ve 400 °C piroliz sıcaklıkları arasındaki farklılığın da uçucu gazların uzaklaşması ile meydana gelen yüzey alanı artışı olduğu düşünülmektedir (Çizelge 4.3). Daha yüksek sıcaklıklarda ise yapısal düzende değişiklik, komşu gözeneklerin genişlemesi ve birleştirilmesi yüzey alanında bir azalmaya yol açmaktadır. Ayrıca, biyoçardaki gözenekler, sıkıştırılma, yumuşatılma, erime, birleşme ve kömürleşme işlemleri



enasında da daralmaktadır (Chen ve ark., 2014). Bu tez çalışmasında üretilen 7 biyoçar çeşidinde de piroliz sıcaklığının 400 °C'den 600 °C'ye çıkarılması SYA'nın önemli düzeyde azalmasına yol açmıştır.

Çizelge 4.3. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların spesifik yüzey alanları ( $m^2 g^{-1}$ )

Sıcaklık (°C)	Büyük Baş	Çeltik	Domates	Fasulye	Kavak Talaş	Mısır Koçan	Buğday Samanı	Genel Ort.*
300	510.1	439.8	680.0	611.8	758.3	752.3	625.7	625.4a
400	418.6	688.4	426.9	682.5	713.7	651.3	644.5	450.1a
600	219.8	204.3	273.4	237.3	250.8	325.4	345.0	252.2b
%Fark (300-600)	-56.9	-53.6	-59.8	-61.2	-66.9	-56.7	-44.9	

\* Duncan gruplamasında farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında  $P < 0.05$  düzeyinde önemli farklılık bulunmaktadır.

Piroliz sıcaklığı biyoçarların SYA üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki etmiş ve farklılaşmalarına neden olmuştur (Çizelge 4.4). Özellikle 400 °C'den 600 °C'ye çıkarılan piroliz sıcaklığı SYA'nın  $450.1 m^2 g^{-1}$ 'den  $252.2 m^2 g^{-1}$ 'ye düşmesine neden olmuştur (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.4. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların spesifik yüzey alanlarının karşılaştırılması

	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Karesi	F	Önem
Gruplar Arası	177736.9	2	88868.5	12.23	0.00*
Grup İçi	130757.5	18	7264.3		

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

#### 4.1.3. Biyoçarların su tutma kapasiteleri

Bir malzemenin su tutma kabiliyetini gösteren su tutma kapasitesi gözenekliliğe ve gözeneklerin birbirine bağlı olmasına bağlıdır. Bu nedenle, yüksek sıcaklıkta üretilen biyoçarların gözenekli yapılarında daha fazla su tutması beklenebilir (Gray ve ark., 2014). Düşük sıcaklıkta üretilen biyoçarlar da gözenekli bir yapıya sahip olsalar da daha küçük gözenek boyutu, daha az birbirine bağlı olma ve gözenekleri tıkayan katran bileşenleri nedeniyle kolayca erişilebilir olmayabilir (Das ve Sarmah, 2015). Piroliz sırasında gerçekleşen fonksiyonel grupların miktarındaki azalma materyalin suya afinitesini değiştirir. Yine piroliz esnasında gözeneklilikte meydana gelen artış, adsorbe

edilebilecek su miktarının değişmesine neden olur (Weber ve Quicker, 2018). Üretilen biyoçarların tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su içerikleri büyük baş hayvan gübresinden üretilen biyoçar haricinde sıcaklık artışı ile birlikte artmıştır (Çizelge 4.5). Nem içeriklerindeki artışın en yüksek olduğu biyoçar tipi ise kavak talaşı olmuştur.

Biyoçalarda görülen hidrofobiklik, yüzey fonksiyonel gruplarının bir sonucudur, diğer yandan su tutma kapasitesi biyoçarın gözenekliliğine bağlıdır. Bu özellikler biyoçarın su tutması ile ilgili olarak birbirleri ile çelişen etkilere neden olurlar ve çoğu zaman açıkça birbirinden ayırt edilemezler (Weber ve Quicker, 2018).

Çizelge 4.5. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçalrın tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su içerikleri

Sıcaklık (°C)	Büyük Baş	Çeltik	Domates	Fasulye	Kavak Talaş	Mısır Koçan	Buğday Samanı	Genel Ort.*
	<b>Tarla Kapasitesi (%)</b>							
300	48.2	21.3	80.3	80.6	24	56.7	59.9	53.0a
400	61.5	68.4	62.8	43.2	33.8	73.7	73.8	59.6a
600	43.4	39.7	73.5	91.99	111.2	65.5	99.2	75.0a
%Fark (300-600)	-10.0	86.4	-8.5	14.1	363.3	15.5	65.6	
	<b>Solma Noktası (%)</b>							
300	24.4	14.4	27.5	25.2	12.7	28.2	29.3	23.1a
400	21.9	26.3	21.6	32.7	11.9	34.5	28.3	25.3a
600	19.9	21.2	26.6	29.9	26.8	30.7	45.1	28.6a
%Fark (300-600)	-18.4	47.2	-3.3	18.7	111.0	8.9	53.9	
	<b>Yarayışlı Su İçeriği (%)</b>							
300	23.8	6.9	52.8	55.4	11.3	28.5	30.6	29.9a
400	39.6	42.1	41.2	10.5	21.9	39.2	45.5	34.3a
600	23.5	18.5	46.9	62.09	84.4	34.8	54.1	46.3a
%Fark (300-600)	-1.3	168.1	-11.2	12.1	646.9	22.1	76.8	

\* Duncan gruplamasında farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında P<0.05 düzeyinde önemli farklılık bulunmaktadır.

Piroliz sıcaklığının artışı üç nem içeriğinde de istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte artışa neden olmuştur (Çizelge 4.5 ve 4.6). Tarla kapasitesi olarak tanımlanan 1/3 atmosfer basınç altında tutulan nem miktarında 300 °C'den 600 °C'ye çıkarılan sıcaklık tutulan nem miktarının %41.5 oranında artışına (büyükbaş ve domates hariç) yol açmıştır. Bu durum yarayışlı suyunda %54.9 oranında artışına neden olmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.6. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su içerikleri karşılaştırılması

	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>SD</b>	<b>Ortalama Karesi</b>	<b>F</b>	<b>Önem</b>
<b>Tarla Kapasitesi</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	1772.7	2	886.37	1.70	0.21 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	9385.5	18	521.42		
<b>Solma Noktası</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	107.5	2	53.77	0.93	0.41 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	1043.7	18	57.98		
<b>Yarayışlı Su</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	1012.5	2	506.27	1.45	0.26 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	6281.7	18	348.98		

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

## 4.2. Biyoçarların Kimyasal Özellikleri

### 4.2.1. Biyoçarların pH ve elektriksel iletkenlik değerleri

Biyoçar toprak katkı maddesi olarak kullanıldığında pH değeri tarımsal uygulamalar için önemli bir özelliktir. Ayrıca, pH piroliz ile üretilen biyokömürün hidrotermal karbonizasyon yoluyla üretilen kömürlerden önemli düzeyde farklı kılan özelliklerden biridir. Hidrotermal karbonizasyon yoluyla üretilen hidroçarda organik asitler bulunur, bu da hidroçarın asidik hale gelmesine neden olur. Piroliz edilmemiş biyokütlenin pH değerleri tipik olarak 5 ila 7.5 arasında değişir (Weber ve Quicker, 2018). Piroliz sırasında yapıdan ağırlıklı olarak karboksil, hidroksil veya formil grupları gibi asidik karakterli fonksiyonel gruplar ayrılırlar. Geride kalan katı kısımda ise daha işlevsel

gruplar serbest bırakılır. Aynı zamanda külün oransal içeriği de piroliz işlemi sırasında artar. Dolayısıyla, karbonlaşma derecesi arttıkça materyalin pH değeri de artar (Ahmad ve ark., 2012; Ippolito ve ark. 2015).

Biyoçarın pH değeri üzerinde en etkili faktör olduğu belirtilen, piroliz sıcaklığının artışı tüm biyoçar çeşitlerinde pH'nın artmasına yol açmıştır. Bu durum, asidik reaksiyona giren fonksiyonel grupların çoğunun, karbonizasyon işleminde oldukça erken salındığının bir göstergesidir (Weer ve Quicker, 2018). Bu artışın en yüksek olduğu biyoçar tipi çeltik (%34.6 artış) iken en düşük olduğu biyoçar çeşidi mısır koçanı (%13.3 artış) olmuştur. En düşük pH değerleri 300, 400 ve 600 °C sıcaklıklarda sırası ile 8.34 (kavak talaşı), 8.79 (mısır koçanı) ve 9.76 (kavak talaşı)'dır. Belirtilen piroliz sıcaklıklarında en yüksek pH değerlerine sahip biyoçar tipleri ise büyük baş hayvan gübresi (9.97), fasulye atıkları (10.58) ve yine fasulye atıkları (12.09)'dır (Çizelge 4.7). Düşük sıcaklıkta üretilen biyoçar genellikle daha asidik özellikte iken daha yüksek sıcaklıklarda alkali hale geldiği diğer birçok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir (Sun ve ark., 2017).

Bu çalışmada belirlenen pH aralıkları yüksek piroliz sıcaklığında şeker pancarı atıklarından, atık çamurundan ve şeker kamışı atıklarından üretilen biyoçar için bildirilen değerlere benzemektedir (Inyang ve Dickenson, 2015; Yuan ve ark., 2011). Piroliz sıcaklığının pH üzerindeki etkisi (1) artan sıcaklıkla birlikte, karbonatlar, oksitler ve hidroksit gibi alkali türlerle ilişkili olabilecek küllerde bazik katyonların zenginleşmesi (Yuan ve ark., 2011; Singh ve Joseph, 2011) ve (2) asidik yüzey fonksiyonel gruplarının konsantrasyonunda bir azalmanın meydana gelmesi (Singh ve Joseph, 2011) ile ilişkilendirilmektedir. Zhang ve ark. (2017)'da piroliz sıcaklığının 350 °C'den 900 °C'ye artışı biyokütlenin sıcaklıkla birlikte çatlaması esnasında hidrojen iyonlarının salınımının pH'nın artmasına yol açtığını bildirmişler ve pH'nın %35.41 oranında arttığını rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.7. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların pH ve elektriksel iletkenlik değerleri

Sıcaklık (°C)	Büyük Baş	Çeltik	Domates	Fasulye	Kavak Talaş	Mısır Koçan	Buğday Samanı	Genel Ort.*
<b>pH</b>								
300	9.97	8.32	9.31	9.52	8.34	8.97	9.1	9.08a
400	10.52	9.21	10.18	10.58	9.26	8.79	9.94	9.78a
600	11.86	11.2	12	12.09	9.76	10.16	10.7	11.11b
% Fark (300-600)	19.0	34.6	28.9	27.0	17.0	13.3	17.6	
<b>Elektriksel İletkenlik (dS m<sup>-1</sup>)</b>								
300	2.71	0.387	5.94	6.43	0.2	1.382	0.845	2.56a
400	3.79	0.409	4.33	4.53	0.17	2.44	1.086	2.39a
600	4.0	1.171	4.17	4.73	0.808	4.38	2.74	3.14a
% Fark (300-600)	47.6	202.6	-29.8	-26.4	304.0	216.9	224.3	

\* Duncan gruplamasında farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında P<0.05 düzeyinde önemli farklılık bulunmaktadır.

Piroliz sıcaklığındaki artış biyoçarın pH değerlerinde önemli düzeyde (P<0.01) farklılaşmaya neden olurken, EC değerlerinde istatistiksel olarak önemli olmayan bir farklılaşmaya yol açmıştır (Çizelge 4.8). Piroliz sıcaklığı 300 °C olduğunda ortalama 9.08 olan pH değeri, sıcaklık 600 °C'ye çıkarıldığında ortalama 11.11'e yükselmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.8. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması

	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Karesi	F	Önem
<b>pH</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	14.9	2	7.5	13.0	0.00**
<b>Grup İçi</b>	10.3	18	0.6		
<b>Elektriksel İletkenlik</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	2.2	2	1.1	0.3	0.78 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	77.2	18	4.3		

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

#### 4.2.2. Biyoçarların katyon değişim kapasiteleri

Katyon değişim kapasitesi (KDK), çoğunlukla malzemenin yük yoğunluğuna ve sulu çözeltideki değiştirilebilir iyonların bolluğuna bağlıdır (Brady ve Weil, 1999). Biyoçar çeşidine bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösteren KDK değerleri 300 °C'lik piroliz sıcaklığında 33.47 cmolc kg<sup>-1</sup>'den 88.16 cmolc kg<sup>-1</sup>'a, 400 °C'de 41.87 cmolc kg<sup>-1</sup>'den 78.68 cmolc kg<sup>-1</sup>'e ve 600 °C'de ise 23.27 cmolc kg<sup>-1</sup>'den 68.03 cmolc kg<sup>-1</sup>'e kadar değişkenlik göstermiştir (Çizelge 4.9). Piroliz sıcaklığının artışı buğday samanı biyoçarı haricindeki tüm biyoçarların KDK'sının azalmasına neden olmuştur. Yüklü yüzey fonksiyonel grupların ve yüzey alanının bir birleşimi olan KDK'nın, nispeten düşük piroliz sıcaklıklarda üretilen biyoçalarda daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Düşük sıcaklıklarda biyoçarın yüzey alanı hammaddeye kıyasla çok daha yüksek hale gelirken, negatif yük sağlayacak olan yeterli miktarda fonksiyonel grubun yapı içerisinde kaldığı belirtilmiştir (Weber ve Quicker, 2018). Mukherjee ve ark. (2011), farklı pH seviyelerine sahip (1.5-7.5) meşe, çam ve ot gibi hammaddelerden 250 °C'lik piroliz sıcaklığında üretilen biyoçarların ortalama KDK'sinin 51.9±15.3 cmolc kg<sup>-1</sup> olduğunu ve piroliz sıcaklığının 400 °C ve 650 °C'ye yükseltilmesi ile biyoçarların ortalama KDK'lerinin sırasıyla 16.2±6.0 ve 21.0±17.2 cmolc kg<sup>-1</sup> olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Safraz ve ark. (2017)'da mantar hasat atıklarından üretilen biyoçarın KDK'nin sıcaklığın 400 °C'den 700 °C'ye çıkarılması ile 32.24 cmolc kg<sup>-1</sup>'den 22.70 cmolc kg<sup>-1</sup>'a düştüğünü ve KDK'yı etkileyen en önemli faktörlerin piroliz sıcaklığı ve hammadde tipi olduğunu rapor etmişlerdir. Asidik fonksiyonel gruplarla ilişkili aromatik C yapılarının doğası biyoçarın KDK'si ve adsorpsiyon kapasitesini etkileyebileceği belirtilmiştir (Kloss ve ark., 2012).

Çizelge 4.9. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların katyon değişim kapasiteleri (cmolc kg<sup>-1</sup>)

Sıcaklık (°C)	Büyük baş	Çeltik	Domates	Fasulye	Kavak Talaş	Mısır Koçan	Buğday Samanı	Genel Ort.*
300	76.32	33.47	78.21	88.16	35.99	41.97	48.93	57.6a
400	66.20	43.53	78.68	53.44	41.87	50.56	51.55	55.1a
600	42.51	31.98	52.73	39.56	23.27	40.06	68.03	42.6b
% Fark (300-600)	-44.3	-4.4	-32.6	-55.1	-35.3	-4.5	39.0	

\* Duncan gruplamasında farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında P<0.05 düzeyinde önemli farklılık bulunmaktadır.

Piroliz sıcaklığı biyoçarların ortalama KDK değerleri üzerine önemli bir etki yapmamıştır (Çizelge 4.10). Piroliz sıcaklığı 300 °C olduğunda ortalama 32.6 cmolc kg<sup>-1</sup> olan KDK değeri, 400 °C'lik piroliz sıcaklığında 45.4 cmolc kg<sup>-1</sup>'a yükselmiş, ancak sıcaklığın 600 °C'ye çıkarılması ile daha fazla artış olmamıştır. Tam aksine KDK değeri 41.5 cmolc kg<sup>-1</sup> olmuştur (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.10. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların katyon değişim kapasitelerinin karşılaştırılması

	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>SD</b>	<b>Ortalama Karesi</b>	<b>F</b>	<b>Önem</b>
<b>Gruplar Arası</b>	608.0	2	304.0	1.40	0.27 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	3921.5	18	217.9		

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Piroliz sıcaklığının artışı ile KDK'sinin azalması uçucu organik bileşikler ve asit fonksiyonel gruplardaki negatif yüzey yükü ile ilişkili olan parçalanma ile açıklanmaktadır (Singh ve ark., 2011; Uchimiya ve Hiradate, 2014). Bulgularımızın aksine, üretilen biyoçarların pH'larının yükselmesiyle birlikte, biyoçarların yüzeylerindeki negatif yüklü bölgeler artacağı, bunun da biyoçarın bazik katyonları elektrostatik çekim kuvveti ile tutmasını ve diğer iyonlarla değişebilirliğinin arttırmasını sağlayacağı bildirilmiştir. Ayrıca, biyoçarların EC değerlerinin artmasının sulu çözeltilerdeki yarayışlı iyonların konsantrasyonlarının artmasına neden olacağı ve bunun da üretilen biyoçarların değişim kapasitesini arttıracığı ifade edilmiştir (Chandra ve Bhattacharya, 2019).

Buğday samanı biyoçarında ise 300 °C'de 48.93 me 100 g<sup>-1</sup> olarak belirlenen KDK değerinin 600 °C'de 68.03 me 100 g<sup>-1</sup>'e çıktığı görülmektedir (Çizelge 4.9). Büyükbaş hayvan gübresi, domates ve fasulye bitkilerinin atıkları ile kavak talaşından üretilen biyoçarlarda sıcaklık artışı ile KDK önemli miktarda azalma gösterirken, çeltik kavuzu ve mısır koçanından üretilen biyoçarların KDK değerlerindeki azalma %4 civarında kalmıştır.

### 4.3. Biyoçarların Besin Elementi Kapsamları

#### 4.3.1. Biyoçarların toplam karbon ve azot konsantrasyonları ile C/N oranı

Topraktaki en önemli besin elementleri olan C ve N'un döngüsü biyoçarın piroliz sıcaklığından büyük ölçüde etkilenmektedir. Daha yüksek sıcaklıkta karbonlaşma oranının artması nedeni ile üretilen biyoçarların aromatikliğinin daha fazla olması beklenmektedir (Novak ve ark., 2009). Bu tip biyoçarların doğada parçalanmadan çok uzun süre kalabilecek olması, sera gazı emisyonlarını dengelemek üzere topraklarda C zenginleşmesini sağlamak için önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir (Brunn ve ark., 2017). Sıcaklık artışı ile büyükbaş hayvan gübresinden üretilen biyoçarın toplam karbon içeriği azalırken fasulye biyoçarında bir değişim olmamış ancak diğer beş biyoçarın karbon içeriği artmıştır (Çizelge 4.11). Artışın en yüksek olduğu biyoçar çeşidi ise domates atıklarından elde edilen biyoçar çeşidi olmuştur.

Genel olarak, yüksek N içeriğine sahip olan biyoçarların toprağa önemli düzeyde besin elementi sağlayacağı ve ürün verimliliğini arttıracığı ifade edilmektedir. Sıcaklık artışı özellikle 400 °C'den sonra toplam N içeriğinin önemli düzeyde azalmasına yol açmıştır. Üretilen biyoçarların çoğunluğunda sıcaklığın 300 °C'den 400 °C'ye çıkarılması ile toplam N içeriğinin artışı söz konusu olmuştur (Çizelge 4.11). Özellikle çeltik kavuzu, fasulye atıkları, kavak talaşı, mısır koçanı ve buğday samanı biyoçarlarında bu artış çok belirgin olmuştur. Sert odun tipi hammaddelerin pirolizinden elde edilen biyoçar, yumuşak odun tipi bitkilerine kıyasla daha yüksek sıcaklıkta dahi yüksek N içeriğine sahip olma eğiliminde oldukları bildirilmiş (Al-Wabel ve ark., 2013) olmasına rağmen, kavak talaşı biyoçarından üretilen biyoçarın toplam N içeriği 600 °C'deki piroliz sonrası çok büyük oranda azalmıştır. Chandra ve Bhattacharya (2019)'da piroliz sıcaklığının 400 °C'den 700 °C'ye yükseltilmesinde çeltik sapı biyoçarının azot içeriğinin % 64.95 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Azot içeriğindeki azalma, düşük sıcaklıkta amin fonksiyonel grubunda ve yüksek sıcaklıkta ise piridin grubunda bulunan NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N gibi uçucu özellikteki azot gruplarının kaybı ile ilişkilendirilmiştir (Khanmoahammadi ve ark., 2015).

Sıcaklığın 400 °C'den 600 °C'ye çıkarılması ile birlikte tüm biyoçar çeşitlerinin toplam C/toplam N oranları önemli düzeyde artış göstermiştir. Kavak talaşı biyoçarının C/N oranı 400 °C'de 15.3 iken 600 °C'de 907.5 olmuş ve %5834.4 oranında artmıştır.



Çizelge 4.11. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların toplam karbon ve azot konsantrasyonları ile C/N oranı

Sıcaklık (°C)	Büyük Baş	Çeltik	Domates	Fasulye	Kavak Talaş	Mısır Koçan	Buğday Samanı	Genel Ort.*
<b>Toplam Karbon (%)</b>								
300	41.7	54.6	56.6	67.9	80.4	84.9	70.0	65.1a
400	39.4	54.1	56.2	68.0	88.6	89.5	71.7	66.8a
600	37.0	57.4	65.6	67.7	99.8	93.1	77.7	71.2a
% Fark (300-600)	-11.1	5.2	15.9	-0.4	24.1	9.6	10.9	
% Fark (400-600)	-5.9	6.0	16.6	-0.5	12.6	4.0	8.3	
<b>Toplam Azot (%)</b>								
300	3	0.16	2.54	0.61	0.08	0.18	0.2	0.97a
400	2.82	2.92	3.01	4.24	5.8	4.25	1.74	3.54b
600	0.28	0.41	0.32	0.41	0.11	0.24	2.43	0.60a
% Fark (300-600)	-90.7	156.3	-87.4	-32.8	37.5	33.3	1115.0	
% Fark (400-600)	-90.1	-86.0	-89.4	-90.3	-98.1	-94.4	39.7	
<b>Karbon/Azot</b>								
300	13.9	340.9	22.3	111.3	1005.1	471.7	13.9	282.2a
400	14.0	18.5	18.7	16.0	15.3	21.1	14.0	16.8b
600	132.3	140.0	204.8	165.0	907.5	387.8	132.3	295.4a
% Fark (300-600)	852.4	-58.9	819.9	48.3	-9.7	-17.8	852.4	
% Fark (400-600)	847.5	655.2	996.9	928.8	5838.4	1741.3	847.5	

\* Duncan gruplamasında farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında P<0.05 düzeyinde önemli farklılık bulunmaktadır.

Biyoçar piroliz sıcaklığının değişimi toplam karbon ve karbon/azot oranı üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki etmez iken, toplam azot içeriği üzerine önemli düzeyde (P<0.01) etki yapmıştır (Çizelge 4.12). Ortalama toplam karbon içeriği 300 °C'de %65.1 iken, 400 °C'de %66.8'e ve 600 °C'de ise %71.2'ye yükselmiştir. Ortalama toplam azot içeriği ise, sıcaklığın 300 °C'den 400 °C'ye çıkarılması ile %0.97'den %3.43'e yükselmiş, ancak sıcaklığın 600 °C'ye çıkarılması ile hızlıca kaybolarak %0.60'a inmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.12. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların toplam karbon, azot ve karbon/azot oranlarının karşılaştırılması

	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>SD</b>	<b>Ortalama Karesi</b>	<b>F</b>	<b>Önem</b>
<b>Toplam Karbon</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	135.6	2	67.8	0.198	0.82 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	6178.8	18	343.3		
<b>Toplam Azot</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	35.9	2	18.0	13.542	0.00**
<b>Grup İçi</b>	23.9	18	1.3		
<b>Karbon/Azot</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	96499.4	2	48249.7	0.564	0.578 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	1538569.4	18	85476.1		

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

#### 4.3.2. Biyoçarların fosfor ve potasyum konsantrasyonları

Tüm biyoçar çeşitlerinde piroliz sıcaklığının 300 °C'den 600 °C'ye çıkarılması P içeriğinin artışına yol açmıştır. Safraz ve ark. (2019)'da daha yüksek sıcaklıklarda (600 °C ve 700 °C) piroliz ile üretilen mantar atığı biyoçarının yüksek kül, P ve K içeriğine sahip olduğunu bildirilmiştir. Piroliz sıcaklığının artışı, potasyum içeriğinde fosfora kıyasla çok daha belirgin bir artışa neden olmuştur. Bu artış, fasulye atıklarından elde edilen biyoçarda %111.7 düzeyinde olmuştur. Üretilen biyoçarların 300, 400 ve 600 °C'de en yüksek potasyum içerikleri sırası ile 39.2, 52.0 ve 65.2 g kg<sup>-1</sup> ile domates atıklarından elde edilen biyoçarlarda olmuştur (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların fosfor ve potasyum konsantrasyonları

Sıcaklık (°C)	Büyük Baş	Çeltik	Domates	Fasulye	Kavak Talaş	Mısır Koçan	Buğday Samanı	Genel Ort.*
<b>Fosfor (g kg<sup>-1</sup>)</b>								
300	19.0	4.3	8.4	7.3	3.2	4.9	4.3	7.3a
400	21.9	4.2	10.2	8.1	3.7	5.4	4.4	8.3a
600	22.9	4.7	9.3	10.5	3.7	5.5	4.5	8.7a
%Fark (300-600)	20.8	10.7	11.4	43.7	15.3	11.0	5.1	
<b>Potasyum (g kg<sup>-1</sup>)</b>								
300	9.8	35.0	39.2	3.7	15.6	17.7	9.8	18.7ab
400	10.9	44.6	52.0	6.4	23.1	19.7	10.9	24.0a
600	12.7	45.5	65.2	7.9	27.3	25.8	12.7	28.1a
%Fark (300-600)	29.3	29.9	66.3	111.7	75.0	45.6	29.3	

\* Duncan gruplamasında farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında P<0.05 düzeyinde önemli farklılık bulunmaktadır.

Makro besin elementi olan fosfor ve potasyum içerikleri, piroliz sıcaklığının değişiminden önemli düzeyde etkilenmemiştir (Çizelge 4.14). Biyoçarların ortalama fosfor ve potasyum içerikleri sıcaklık artışı ile istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte artmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.14. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların fosfor ve potasyum konsantrasyonlarının karşılaştırılması

	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kare	F	Önem
<b>Fosfor</b>					
Gruplar Arası	7.0	2	3.5	0.089	0.915 <sup>ÖD</sup>
Grup İçi	703.0	18	39.1		
<b>Potasyum</b>					
Gruplar Arası	423.2	2	211.6	0.601	0.559 <sup>ÖD</sup>
Grup İçi	6333.6	18	351.9		

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

### 4.3.3. Biyoçarların kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonları

Elde edilen veriler mısır koçanı ve buğday samanı biyoçarlarında Ca ve Mg konsantrasyonlarının artan piroliz sıcaklığı ile azaldığını; büyükbaş hayvan gübresi, domates atıkları ve kavak talaşından üretilen biyoçarda ise arttığını göstermiştir (Çizelge 8). Çeltik biyoçarında ise sıcaklık artışı ile Ca miktarı azalırken, Mg miktarının artışı söz konusu olmuştur. Mantar atıklarından hazırlanan biyoçarın Ca, Mg, Fe ve Zn gibi çok sayıda yararlı makro ve mikro besin elementi içeriğinin piroliz sıcaklığındaki artışla pozitif olarak korele olduğu gözlenmiştir (Safraz ve ark., 2019). Bu durum, alkali elementlerin sıcaklık artışı ile biyoçardan uzaklaşmaması ve hammaddeki konsantrasyonları ile ilişkilendirilmiştir (Novak ve ark., 2009). Bu nedenle, alkalik elementlerin uygunluğu, yüksek sıcaklıklarda pirolize edilmiş biyoçarın kireçleme potansiyelinden sorumlu olduğu düşünülmektedir (Novak ve ark., 2009). Chandra ve Bhattacharya (2019)'da çeltik sapının piroliz sıcaklığının 400 °C'den 700 °C'ye çıkarılması ile değişebilir Ca ve Mg konsantrasyonlarının sırası ile %5.04 ve %23.29 oranında arttığını bildirmişlerdir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonları

Sıcaklık (°C)	Büyük Baş	Çeltik	Domates	Fasulye	Kavak Talaş	Mısır Koçan	Buğday Samanı	Genel Ort.*
<b>Kalsiyum (g kg<sup>-1</sup>)</b>								
300	57.6	28.7	70.6	42.2	10.1	4.6	12.8	32.4a
400	65.0	18.1	88.5	49.6	16.3	3.8	14.7	36.6a
600	69.6	24.9	78.5	62.5	16.4	4.4	11.9	38.3a
% Fark (300-600)	20.8	-13.2	11.3	48.3	61.9	-4.2	-7.1	
<b>Magnezyum (g kg<sup>-1</sup>)</b>								
300	15.7	2.1	25.1	16.4	1.9	3.2	3.6	9.7a
400	18.0	2.0	30.7	19.5	2.3	2.0	4.1	11.2a
600	19.2	2.4	24.8	24.0	2.5	2.1	3.3	11.2a
% Fark (300-600)	22.2	12.8	-1.3	46.5	35.0	-34.2	-8.6	

\* Duncan gruplamasında farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında P<0.05 düzeyinde önemli farklılık bulunmaktadır.

Piroliz sıcaklığının değişimi biyoçarların alkali elementleri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır (Çizelge 4.16). Ortalama kalsiyum içeriği 300 °C’de 32.4 g kg<sup>-1</sup> iken 400 ve 600 °C’lik piroliz sıcaklıklarında sırası ile 36.6 ve 38.3 g kg<sup>-1</sup>’a yükselmiştir. Ortalama magnezyum içeriği ise sırası ile 9.7, 11.2 ve 11.2 g kg<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.16. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonlarının karşılaştırılması

	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>SD</b>	<b>Ortalama Karesi</b>	<b>F</b>	<b>Önem</b>
<b>Kalsiyum</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	130.7	2	65.3	0.076	0.927 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	15523.9	18	862.4		
<b>Magnezyum</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	10.4	2	5.2	0.046	0.955 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	2021.5	18	112.3		

#### 4.3.4. Biyoçarların kükürt ve sodyum konsantrasyonları

Büyük baş hayvan gübresi, çeltik kavuzu ve kavak talaşından üretilen biyoçarların kükürt (S) içeriği piroliz sıcaklığının 300 °C’den 600 °C’ye artması ile sırası ile %13.0, %42.1 ve %70.2 oranında azalmıştır. Bunun aksine domates atıkları, fasulye atıkları, mısır koçanı ve buğday samanından üretilen biyoçarların S içerikleri sıcaklık artışı ile sırası ile %7.4, %44.3, %79.6 ve %44.7 oranında artmıştır (Çizelge 4.17).

Biyoçarların sodyum (Na) konsantrasyonları ise çeltik ve buğday samanında önemli düzeyde değişmez iken, diğer beş biyoçarda büyük oranda artmıştır. Özellikle mısır koçanından elde edilen biyoçarın Na içeriği 184.9 oranında artmıştır (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların kükürt ve sodyum konsantrasyonları

Sıcaklık (°C)	Büyük Baş	Çeltik	Domates	Fasulye	Kavak Talaş	Mısır Koçan	Buğday Samanı	Genel Ort.
<b>Kükürt (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
300	3714.0	510.6	6755.1	2199.4	980.5	516.5	1195.1	2267.3a
400	3587.4	443.6	8629.8	2426.8	564.2	1673.3	1328.7	2664.8a
600	3232.3	295.8	7256.3	3174.7	292.3	927.4	1729.2	2415.4a
%Fark (300-600)	-13.0	-42.1	7.4	44.3	-70.2	79.6	44.7	
<b>Sodyum (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
300	6521.9	2083.2	3051.7	2285.6	1630.1	2082.3	1976.4	2804.5a
400	7234.1	2124.0	3240.2	2294.7	2045.6	3096.1	1894.0	3132.7a
600	7986.0	2577.7	3181.7	2861.0	2041.4	5932.0	1892.8	3781.8a
%Fark (300-600)	22.4	23.7	4.3	25.2	25.2	184.9	-4.2	

\* Duncan gruplamasında farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında P<0.05 düzeyinde önemli farklılık bulunmaktadır.

Biyoçarların fosfor ve kükürt içerikleri piroliz sıcaklığının değişiminden önemli düzeyde etkilenmemiştir (Çizelge 4.18). Ortalama kükürt içeriği sıcaklığın 400 °C'ye çıkarılması ile 2267.3 mg kg<sup>-1</sup>'den 2664.8 mg kg<sup>-1</sup>'a yükselmiş, ancak sıcaklığın 600 °C'ye çıkarılması ile 2415.4 mg kg<sup>-1</sup>'a düşmüştür (Çizelge 4.17). Kükürt içeriğinin aksine ortalama sodyum içeriği istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte sırası ile 2804.5, 3132.7 ve 3781.8 mg kg<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.18. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların kükürt ve sodyum konsantrasyonlarının karşılaştırılması

	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>SD</b>	<b>Ortalama Karesi</b>	<b>F</b>	<b>Önem</b>
<b>Kükürt</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	565025	2	282512	0.04	0.96 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	116162489	18	6453472		
<b>Sodyum</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	3463378	2	1731689	0.44	0.65 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	70079915	18	3893329		

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

#### 4.3.5. Biyoçarların demir, mangan, bakır ve çinko konsantrasyonları

Piroliz sıcaklığının artışı üretilen biyoçarların mikro besin elementi konsantrasyonlarının çoğunlukla artışına neden olmuştur. Bununla birlikte, özellikle Fe konsantrasyonu çeltik (%8.9 azalma), mısır koçanı (%23.7 azalma) ve buğday samanı (%51.7 azalma) biyoçarları piroliz sıcaklığının 300 °C'den 600 °C'ye artışı ile azalmıştır (Çizelge 4.19). Sıcaklık artışı ile mikro besin elementlerinin konsantrasyonlarında önemli düzeyde farklılaşma olduğunu belirten Chandra ve Bhattacharya (2019), sıcaklığın 400 °C'den 500 °C'ye çıkartılması ile Ni, Cu, Co ve Cr konsantrasyonlarının sırası ile %21.7, 74.9, 67.0 ve 78.7 oranında arttığını belirtmişlerdir. Ancak, sıcaklığında 500'den 700 °C'ye çıkarılması ile belirtilen elementlerin konsantrasyonlarının sırası ile %69.8, 93.4, 80.1 ve 88.0 oranında azaldığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Fe ve Zn konsantrasyonlarının da 400 °C'den 700 °C'ye çıkarılması ile konsantrasyonlarının %12.1 ve %83 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Piroliz sıcaklığının artışı ile konsantrasyonu artan tek mikro besin elementinin ise Mn olduğu bildirilmiştir (Çizelge 19).

Çizelge 4.19. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların demir, mangan, bakır ve çinko konsantrasyonları

Sıcaklık (°C)	Büyük Baş	Çeltik	Domates	Fasulye	Kavak Talaş	Mısır Koçan	Buğday Samanı	Genel Ort.
<b>Demir (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
300	14800.8	1664.9	2369.4	4268.3	1363.5	978.0	1332.3	3825.3a
400	17081.2	1075.0	4464.8	5785.99	1039.7	1120.3	1369.1	4562.3a
600	18405.7	1516.7	4645.8	9247.37	658.9	990.0	1016.7	5211.6a
%Fark (300-600)	24.4	-8.9	96.1	116.7	1.2	-23.7	-51.7	
<b>Mangan (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
300	563.4	290.4	159.1	201.7	34.4	51.8	128.4	204.2a
400	649.9	309.0	231.8	263.1	34.2	47.9	141.1	239.6a
600	683.2	361.7	227.7	350.2	31.3	46.5	129.8	261.5a
%Fark (300-600)	21.3	24.6	43.2	73.6	-10.2	1.1	-9.2	
<b>Bakır (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
300	58.4	9.4	1150.5	76.2	35.8	12.9	9.6	193.3a
400	59.5	5.8	1505.1	88.2	41.3	32.7	41.0	253.4a
600	70.4	8.7	1435.0	105.3	60.4	15.0	31.5	246.6a
%Fark (300-600)	20.4	-7.6	24.7	38.2	68.7	16.0	229.5	
<b>Çinko (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
300	182.3	34.0	173.6	51.8	51.8	70.8	32.8	85.3b
400	217.5	33.1	202.1	66.3	91.4	91.8	68.9	110.1a
600	216.5	41.3	195.4	92.0	119.8	100.3	38.9	114.9a
%Fark (300-600)	18.8	21.3	12.6	77.7	120.2	41.6	18.6	

\* Duncan gruplamasında farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında P<0.05 düzeyinde önemli farklılık bulunmaktadır.



Piroliz sıcaklığındaki değişim mikro besin elementlerinin hiçbirinde istatistiksel olarak önemli bir farklılaşmaya neden olmamıştır (Çizelge 4.20). Sıcaklık artışı ile mikro besin elementlerinin içerikleri istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte artmıştır.

Çizelge 4.20. Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların demir, mangan, bakır ve çinko konsantrasyonlarının karşılaştırılması

	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>SD</b>	<b>Ortalama Karesi</b>	<b>F</b>	<b>Önem</b>
<b>Demir</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	6735257.2	2	3367628.6	0.10	0.91 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	613162585.3	18	34064588.1		
<b>Mangan</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	11715.9	2	5858.0	0.14	0.87 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	772193.8	18	42899.7		
<b>Bakır</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	15179.2	2	7589.6	0.03	0.97 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	4559266.6	18	253292.6		
<b>Çinko</b>					
<b>Gruplar Arası</b>	2608.5	2	1304.2	0.29	0.76 <sup>ÖD</sup>
<b>Grup İçi</b>	82369.0	18	4576.1		

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

#### 4.4. Biyoçarların Çeşitli Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların analizleri yapılan tüm özellikleri arasındaki ilişkileri tespit edebilmek amacı ile korelasyon testi yapılmıştır. Korelasyon testine ait sonuçlar Çizelge 4.21'de verilmiştir. Üretilen biyoçarların verimleri ile TC içerikleri arasında önemli düzeyde negatif bir korelasyon ( $r = -0.620$ ,  $P < 0.01$ ) olduğu görülmektedir. Bu ilişki, artan sıcaklıkla birlikte biyoçar veriminin azalması ile TC içeriğinin arttığını göstermektedir. Biyoçarların pH değerleri ile TK ( $r = 0.459$ ), Fe ( $r = 0.516$ ), Mn ( $r = 0.471$ ), Zn ( $r = 0.469$ ), Ca ( $r = 0.574$ ), Mg ( $r = 0.532$ ), K ( $r = 0.631$ ) ve P ( $r = 0.487$ ) konsantrasyonları arasında önemli düzeyde pozitif ilişki olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık artışı ile biyoçarların pH değerleri artarken, belirtilen besin elementi konsantrasyonlarının da arttığı anlaşılmaktadır. Diğer birçok özelliğin aksine TC içeriği,

mikro ve makro (K ve S hariç) besin elementi konsantrasyonları ile negatif korelasyona sahiptir. Sıcaklık artışı ile birlikte, biyoçarların çoğunlukla TC içeriği artarken, besin elementi konsantrasyonlarının azaldığı görülmektedir. Biyoçarların SYA, sadece biyoçarın pH'sı ile önemli bir korelasyona ( $r = -0.606$ ) sahiptir. Sıcaklıkla birlikte SYA'nı önemli düzeyde azalırken, pH değerlerinin artışı söz konusu olmuştur.



Çizelge 4.21. Biyoçarların çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki korelasyonlar

	Verim	pH	EC	N	C	TK	SN	YS	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca	Mg	Na	K	P	S	SYA	KDK
<b>Verim</b>	1.00																			
<b>pH</b>	-0.30	1.00																		
<b>EC</b>	-0.01	0.481*	1.00																	
<b>N</b>	-0.15	-0.15	0.02	1.00																
<b>C</b>	<b>-0.620**</b>	-0.32	-0.27	-0.03	1.00															
<b>TK</b>	-0.24	<b>0.459*</b>	-0.05	0.04	-0.16	1.00														
<b>SN</b>	-0.456*	0.41	0.04	0.10	-0.14	<b>0.700**</b>	1.00													
<b>YS</b>	-0.12	0.40	-0.07	0.01	-0.15	<b>0.959**</b>	<b>0.468*</b>	1.00												
<b>Cu</b>	0.14	0.25	<b>0.463*</b>	0.07	-0.20	0.15	0.22	0.09	1.00											
<b>Fe</b>	0.02	<b>0.516*</b>	0.40	0.04	<b>-0.713**</b>	0.21	<b>0.461*</b>	0.08	-0.01	1.00										
<b>Mn</b>	0.29	<b>0.471*</b>	0.31	0.01	<b>-0.829**</b>	0.17	0.25	0.11	-0.03	0.900**	1.00									
<b>Zn</b>	-0.10	<b>0.469*</b>	0.40	0.16	<b>-0.541*</b>	<b>0.437*</b>	<b>0.663**</b>	0.28	<b>0.563**</b>	<b>0.668**</b>	<b>0.473*</b>	1.00								
<b>Ca</b>	0.26	<b>0.574**</b>	<b>0.723**</b>	0.06	<b>-0.698**</b>	0.13	0.29	0.04	<b>0.687**</b>	<b>0.649**</b>	<b>0.624**</b>	<b>0.734**</b>	1.00							
<b>Mg</b>	0.13	<b>0.532*</b>	<b>0.799**</b>	0.10	<b>-0.514*</b>	0.06	0.29	-0.04	<b>0.709**</b>	<b>0.559**</b>	<b>0.465*</b>	<b>0.673**</b>	<b>0.957**</b>	1.00						
<b>Na</b>	-0.20	0.39	0.17	0.02	<b>-0.502*</b>	0.34	<b>0.621**</b>	0.17	0.00	<b>0.836**</b>	<b>0.731**</b>	<b>0.702**</b>	<b>0.447*</b>	0.36	1.00					
<b>K</b>	-0.16	<b>0.631**</b>	<b>0.732**</b>	0.08	-0.38	0.04	0.36	-0.09	0.34	<b>0.729**</b>	<b>0.604**</b>	<b>0.543*</b>	<b>0.795**</b>	<b>0.859**</b>	<b>0.552**</b>	1.00				
<b>P</b>	0.01	<b>0.487*</b>	0.43	0.08	<b>-0.714**</b>	0.25	<b>0.533*</b>	0.10	0.12	<b>0.980**</b>	<b>0.879**</b>	<b>0.759**</b>	<b>0.697**</b>	<b>0.609**</b>	<b>0.884**</b>	<b>0.735**</b>	1.00			
<b>S</b>	0.09	0.37	<b>0.647**</b>	0.15	-0.38	0.12	0.35	0.01	<b>0.906**</b>	0.36	0.28	<b>0.727**</b>	<b>0.871**</b>	<b>0.898**</b>	0.29	<b>0.651**</b>	<b>0.467*</b>	1.00		
<b>SYA</b>	0.03	<b>-0.606**</b>	-0.17	0.42	0.30	-0.21	-0.07	-0.23	-0.05	-0.28	-0.41	-0.20	-0.26	-0.10	-0.34	-0.16	-0.26	-0.08	1.00	
<b>KDK</b>	-0.07	0.36	0.03	0.23	-0.35	0.33	0.27	0.31	0.10	0.36	0.26	0.506*	0.28	0.18	0.26	0.10	0.33	0.16	-0.26	1.00

EC: Elektriksel İletkenlik; N: Toplam Azot, C: Toplam Karbon; TK: Tarla Kapasitesi; SN: Solma Noktası; YS: Yarayırlı Su; Cu: Bakır, Fe: Demir, Mn: Mangan; Zn: Çinko; Ca: Kalsiyum, MG: Magnezyum; NA: Sodyum, K: Potasyum; P: Fosfor; S: Kükürt; SYA: Spesifik Yüzey Alanı; KDK: Katyon Değişim Kapasitesi

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışması, pirolizin sıcaklığının yedi farklı hammaddeden üretilen biyoçarların verimi ve bir kısım fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak amacı ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar, biyoçarların çalışılan tüm özellikleri üzerine piroliz sıcaklığının etki ettiğini, ancak etkinin boyutunun biyoçar üretiminde kullanılan hammaddenin özelliklerine bağlı olarak önemli düzeyde değiştiğini göstermiştir.

Bu çalışmada üretilen biyoçarın pH değerlerinin yüksek olması, toprakta Fe, Zn, Mn ve Cu gibi mikro besin elementlerinin yararışlılığını azaltabilecek bir özellik olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu durum toprağın KDK'sini artırabilecek alkali kimyasal türlerin varlığını da göstermektedir. Alkali kimyasal türlerin varlığı, toprakta P'un çökmesini ve adsorpsiyonunu azaltabilecek ve ayrıca Ca ve K gibi besin elementlerinin bitkilere yararışlılığını arttırabilecektir. Biyoçar ilave edilmiş toprakta P yararışlılığı, başlangıçta hayvan gübresi ilave edilmiş toprağa kıyasla daha düşük olacaktır, ancak hayvan gübresi ilave edilmiş toprakta yararışlılık kademeli olarak azalacak olmasına rağmen, uzun süreli denemelerde biyoçar ilave edilmiş toprakta P'un yararışlılığının zamanla arttığı bildirilmiştir. Bu nedenle, uygulama sonrası hemen fosfora ihtiyaç duyan ürünler için nispeten daha düşük piroliz sıcaklıklarında üretilen ve daha yüksek konsantrasyonda fosfor içeren biyoçarlar kullanılmalıdır.

Tüm biyoçar çeşitlerinde artan sıcaklıkla birlikte C içeriğinin önemli düzeyde artışı söz konusu olmuştur. Bu durum, üretilen biyoçarın ayrışmaya karşı daha dayanıklı bir hal almasına neden olurken, C/N oranının artması nedeni ile azotun yararışlılığının azalmasına da yol açacaktır. Yüksek C/N oranına sahip materyallerin toprağa uygulanması, belirli bir dönem bitkilerin N noksanlığı yaşamalarına neden olabilir. Bu nedenle, ilave N kullanımı gerekebilir.

Sıcaklık artışı ile SYA'ları azalsa da üretilen biyoçarların SYA değerleri şişme büzülme potansiyeli yüksek olan simektit grubu kil minerallerine yakındır. SYA değerlerinin yüksek olması, bu yüzeylerde daha fazla su ve besin elementi tutumunun olabileceğine işaret etmektedir. Bu durum, o yüzeylerde daha fazla mikroorganizmanın barınabileceğini ve beslenebileceğini de anlatmaktadır. Özellikle kum içeriği yüksek olan toprakların yüzey alanlarında bir artışa neden olması, biyoçarın topraktaki biyo çeşitliliğe de olumlu katkı yapması anlamına gelecektir.

Besin elementlerinin bir kısmı sıcaklık artışı ile azalırken, diğere bir kısmı (K gibi) sıcaklık artışı ile birlikte biyoçarda daha yoğun hale gelmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda buharlaşarak uzaklaştığı bilenen N ve S gibi besin elementlerinin uzaklaşması, yüksek sıcaklıklarda üretilen biyoçarların gübre görevi görmesini engelleyecek bir durumdur. Bu durumda, yüksek sıcaklıkta üretilen biyoçarlar, gübre olmaktan çok toprağın fiziksel özelliklerini düzeltecek birer katkı maddesi olarak düşünölmeleri gerekir. Toprağın fiziksel özelliklerinin düzelmesi de gübre etkisi gibi bitki gelişimini olumlu etkileyecek, dahası toprağın kalitesinin ve bitkisel üretimin sürdürülebilirliğinin gelişmesini de sağlayacaktır.



## 6. KAYNAKLAR

- Agamuthu, P. 2009. Challenges ve Opportunities in Agro-waste Management: An Asian Perspective, in: Inaugural Meeting of First Regional 3R Meeting in Asia, Tokyo, Japan.
- Ahmad M, Lee SS, Dou X, Mohan D, Sung J-K ve Yang JE, 2012. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover- ve peanut shell-derived biochar properties ve TCE adsorption in water. *Bioresour Technology*, 118:536–44.
- Al-Wabel, M. I., Al-Omran, A., El-Naggar, A. H., Nadeem, M., ve Usman, A. R. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics ve chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. *Bioresource technology*, 131, 374-379.
- Angin, D. 2013. Effect of pyrolysis temperature ve heating rate on biochar obtained from pyrolysis of safflower seed press cake. *Bioresour. Technol.* 128: 593–597.
- Atkinson, C., J. Fitzgerald, ve N. Higgs. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biyoçar application to temperate soils: A review. *Plant Soil* 337:1–18.
- Baldock, J. A. ve Smernik, R. J. 2002. Chemical composition ve bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood', *Organic Geochemistry*, vol 33, pp1093–1109
- Banik, C., Lawrinenko, M., Bakshi, S. ve Laird, D.A. 2018. Impact of pyrolysis temperature ve feedstock on surface charge ve functional group chemistry of biochars. *Journal of environmental quality*. 47:452–461.
- Brady, N. C., ve Weil, R. R. 1999. Soil organic matter. *The nature ve properties of soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 446-490.
- Brewer, C.E. 2012. Biochar characterization ve engineering. Doctorl Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa, USA. Doktora Tezi. No: 12284.
- Bruun, S., Harmer, S.L., Bekiaris, G., Christel, W., Zuin, L., Hu, Y., Jensen, L.S. ve Lombi, E. 2017. The effect of different pyrolysis temperatures on the speciation ve availability in soil of P in biochar produced from the solid fraction of manure. *Chemosphere*, 169: 377–386
- Cantrell, K.B., Hunt, P.G., Uchimiya, M., Novak, J.M. ve Ro, K.S. 2012. Impact of pyrolysis temperature ve manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresour. Technol.*, 107: 419–428.
- Cerato, A. ve Lutenegeger, A. 2002. Determination of surface area of fine-grained soils by the ethylene glycol monoethyl ether (EGME) method. *Geotechnical Testing Journal*. 25(3), 1-7.
- Chvera, S. ve Bhattacharya, J. 2019. Influence of temperature ve duration of pyrolysis on the property heterogeneity of rice straw biochar ve optimization of pyrolysis conditions for its application in soils. *Journal of Cleaner Production*, 215: 1123-1139.
- Chen, F.S., Yavitt, J. ve Hu, X.F. 2014. Phosphorus enrichment helps increase soil carbon mineralization in vegetation along an urban-to-rural gradient, Nanchang, China. *Appl. Soil Ecol.*, 75: 181–188.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E. ve Burton, S.D. 2000. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient', *Journal of Geophysical Research*, vol 113, G02027
- Das, O. ve Sarmah, A.K. 2015. The love-hate relationship of pyrolysis biochar ve water: a perspective. *Sci Total Environ.*, 682(5): 512–513.

- Domingues, R.R., Trugilho, P.F., Silva, C.A., De Melo, I.C.N.A., Melo, L.C.A., Magriotis, Z.M. ve Sánchez-Monedero, M.A. 2017. Properties of biochar derived from wood ve high-nutrient biomasses with the aim of agronomic ve environmental benefits. PLoS ONE, 12, e0176884.
- Gray M., Johnson M.G., Dragila M.I. ve Kleber, M. 2014. Water uptake in biochars: the roles of porosity ve hydrophobicity. Biomass Bioenergy, 61:196–205.
- Günel, E. 2018. Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçarların Ekmeklik Buğdayın Gelişimi, Besin Elementi Alımı ve Toprak Kalitesine Etkileri. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme. Doktora Tezi. s. 345.
- Jeffery, S., Meinders, M. B., Stoof, C. R., Bezemer, T. M., van de Voorde, T. F., Mommer, L. ve van Groenigen, J. W. 2015. Biyoçar application does not improve the soil hydrological function of a svey soil. Geoderma, 251, 47-54.
- Joseph, S.D. Camps-Arbestain, M. Lin, Y. Munroe, P. Chia, C.H. Hook, J. Van Zwieten, L. Kimber, S. Cowie, A. Ve Singh, B.P. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. Soil Research. 48: 501–515.
- Inyang, M. ve Dickenson, E. 2015. The potential role of biochar in the removal of organic ve microbial contaminants from potable ve reuse water: A review. Chemosphere, 34: 232–240.
- Ippolito J, Spokas K, Novak J, Lentz R. ve Cantrell K. 2015. Biochar elemental composition ve factors influencing nutrient retention. In: Lehman J, Joseph S, editors. Biochar Environ Management, New York.
- Jeffery, S., Meinders, M.B., Stoof, C.R., Bezemer, T.M., van de Voorde, T.F., Mommer, L. ve van Groenigen, J.W. 2015. Biochar application does not improve the soil hydrological function of a svey soil. Geoderma, 251, 47-54.
- Kacar, B. ve İnal, A. 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayın No:1241, 892 s.
- Kammann, C.I., Linsel, S., Gößling, J.W. ve Koyro, H.W. 2011. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd ve on soil-plant relations. Plant Soil 345: 195–210.
- Khanmohammadi, Z., Afyuni, M. ve Mosaddeghi, M.R. 2015. Effect of pyrolysis temperature on chemical ve physical properties of sewage sludge biochar. Waste Manag. Res. 33: 275– 283.
- Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, R., Ottner, F., Liedtke, V., Schwanninger, M. Gerzabek, M.H. ve Soja, G. 2012. Characterization of Slow Pyrolysis Biochars: Effects of Feedstocks ve Pyrolysis Temperature on Biochar Properties. J. Environ. Qual., 41: 990–1000.
- Klute, A., 1986. Water Retention: Laboratory Methods. Methods of Soil Analysis. Part1. 2nd Ed. Agronomy 9. Am. Soc. Agron., 635-660, Madison.
- Laird, D. A. 2008. The charcoal vision: a win–win–win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil ve water quality. Agronomy Journal, 100(1), 178-181.
- Lee, Y., Park, J., Ryu, C., Gang, K. S., Yang, W., Park, Y. K. ve Hyun, S. 2013. Comparison of biyoçar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500 C. Bioresource technology, 148, 196-201.
- Lehmann, J., da Silva, Jr., J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. ve Glaser, B. 2003. Nutrient availability ve leaching in an archaeological Anthrosol ve a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure ve charcoal amendments', Plant ve Soil, vol 249, pp343–357.
- Lehmann, J., Liang, B., Solomon, D., Lerotic, M., Luizão, F., Kinyangi, F., Schäfer, T., Wirick, S. ve Jacobsen, C. 2005. 'Near-edge X-ray absorption fine

- structure (NEXAFS) spectroscopy for mapping nano-scale distribution of organic carbon forms in soil: Application to black carbon particles', *Global Biogeochemical Cycles*, vol 19, pGB1013
- Lehmann, J. ve Joseph, S. 2009. Biyoçar for Environmental Management: An Introduction. Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.). *Biyoçar for environmental management: science ve technology*. Earthscan. pp. 1-12.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Kockaday, W.C. ve Crowley, D., 2011. Biochar effects on soil biota – a review. *Soil Biol. Biochem.* 43, 1812–1836.
- Li, H.B., Dong, X.L., Evvero, B.S., Letuzia, M.O., Chen, Y.S. ve Lena, Q.M., 2017. Mechanisms of metal sorption by biochars: biochar characteristics ve modifications. *Chemosphere* 178: 466–478.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J. ve Neves, E. G. 2006 'Black carbon increases cation exchange capacity in soils', *Soil Science Society of America Journal*, vol 70, pp1719–1730.
- Mahawar, N., Goyal, P., Lakhiwal, S. ve Jain, S., 2015. Agro Waste: A New Eco-Friendly Energy Resource. *Int. Res. J. Environ. Sci.* 4, 47-49.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH ve lime requirement. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical ve microbiological properties*, (methodsofsoilan2), 199-224.
- Mukherjee, A., Zimmerman, A. R., ve Harris, W. 2011. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, 163(3-4), 247-255.
- Novak, J., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrh, D., Watts, D.W. ve Busscher, W.J. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures ve their effects on a loamy sve. *Ann. Environ. Sci.*, 3: 195–206.
- Ojeda, G., Mattana, S., Àvila, A., Alcañiz, J. M., Volkmann, M. ve Bachmann, J. 2015. Are soil–water functions affected by biyoçar application?. *Geoderma*, 249, 1-11.
- Pereira, B.L.C., Carneiro, A., Carvalho, A.M.M.L., Colodette, J.L., Oliveira, A.C. ve Fontes, M.P.F. 2013. Influence of chemical composition of eucalyptus wood on gravimetric yield ve charcoal properties. *BioResources* 8:4574–92.
- Sarfraz, R., Shakoor, A., Abdullah, M., Arooj, A., Hussain, A. ve Xing, S. 2017. Impact of integrated application of biochar ve nitrogen fertilizers on maize growth ve nitrogen recovery in alkaline calcareous soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 63: 488–498.
- Singh, B.P. ve Joseph, S. 2011. The mean residence time of biochar-mineral complexes in soil. In *Proceedings of the Asia Pacific Biochar Conference 2011, Kyoto, Japan, 15–18 September 2011; Volume 2119*.
- Sizmur, T., Quilliam, R., Puga, A. P., Moreno-Jiménez, E., Beesley, L., ve Gomez-Eyles, J. L. 2015. Application of Biyoçar for Soil Remediation. *Agricultural ve Environmental Applications of Biyoçar: Advances ve Barriers*, (sssaspecpub63)
- Sohi, S.P., 2012. Carbon storage with benefits. *Science* 338, 1034–1035.
- Spokas, K. A. ve Reicosky, D. C. 2009. Impacts Of Sixteen Different Biyoçars On Soil Greenhouse Gas Production. *Annals Of Environmental Science*, 3(1), 4.
- Sumner, M.E. ve W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity, ve exchange coefficients. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical properties* (3rd ed.). ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI.
- Sun, J., He, F., Pan, Y. ve Zhang, Z. 2017. Effects of pyrolysis temperature ve residence time on physicochemical properties of different biochar types. *Acta Agric. Scve. Sect. B Soil Plant Sci.* 67: 12–22.



- Tabatabai, M. A. 1994. Soil enzymes. Pages 775-833 in R.W. Weaver, S. Angle, P. Bottomley, D. Bezdicek, S. Smith, A. Tabatabai, ve A. Wollum, editors. Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological ve biochemical properties. Soil Sci. Society of America, Segoe, Wisconsin, USA.
- Tarpeh, W.A., Udert, K.M. ve Nelson, K.L., 2017. Comparing ion exchange adsorbents for nitrogen recovery from Source-Separated urine. *Environ. Sci. Technol.* 51, 2373–2381.
- Tarin, M.W.K., Fan, L., Tayyab, M., Sarfraz, R., Chen, L., He, T., Rong, J., Chen, L. ve Zheng, Y. 2018. Effects of bamboo biochar amendment on the growth ve physiological characteristics of *Fokienia hodginsii*. *Appl. Ecol. Env. Res.* 16: 8055–8074
- Uchimiya, M. ve Hiradate, S. 2014. Pyrolysis temperature-dependent changes in dissolved phosphorus speciation of plant ve manure biochars. *J. Agric. Food Chem.*, 62: 1802–1809.
- Ueno, M., Kawamitsu, Y., Komiya, Y. ve Sun, L. 2007. Carbonisation ve gasification of bagasse for effective utilisation of sugarcane biomass. *International Sugar Journal* 110, 22-26.
- Xu, D., Cao, J., Li, Y., Howard, A. ve Yu, K. 2019. Effect of pyrolysis temperature on characteristics of biochars derived from different feedstocks: A case study on ammonium adsorption capacity. *Waste Management*, 87, 652-660.
- Yaman S. 2004. Pyrolysis Of Biomass To Produce Fuels Ve Chemical Feedstocks. *Energy Convers Manag* 45:651–71.
- Yin, Q.Q., Wang, R.K. ve Zhao, Z.H., 2018. Application of Mg-Al-modified biochar for simultaneous removal of ammonium, nitrate, ve phosphate from eutrophic water. *J. Clean Prod.* 176, 230–240.
- Yuan, J.H., Xu, R.K. ve Zhang, H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresour. Technol.* 102: 3488–3497.
- Wiedner, K., Rumpel, C., Steiner, C., Pozzi, A., Maas, R. ve Glaser, B. 2013. Chemical evaluation of chars produced by thermochemical conversion (gasification, pyrolysis ve hydrothermal carbonization) of agro-industrial biomass on a commercial scale. *Biomass Bioenergy*, 59: 264–278.
- Winsley, P. 2007. Biyoçar ve Bioenergy Production for Climate Change Mitigation. *New Zealand Science Review* 64.
- Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J. ve Joseph, S. 2010. Sustainable biyoçar to mitigate global climate change. *Nat. Commun.* 1. Article Number 56.
- Wu, W., Yang, M., Feng, Q., McGrouther, K., Wang, H., Lu, H. ve Chen, Y., 2012. Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment. *Biomass ve Bioenergy* 47, 268–276.
- Zhang, H., Chen, C., Gray, E.M., Boyd, S.E., Yang, H. ve Zhang, D. 2016. Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: A phosphate adsorbent ve a source of available phosphorus. *Geoderma* 2016, 276, 1–6.
- Zhang, H., Yu, X., Jin, Z., Zheng, W., Zhai, B. ve Li, . 2017 Improving grain yield ve water use efficiency of winter wheat through a combination of manure ve chemical nitrogen fertilizer on the Loess plateau, China. *Journal of Soil Science ve Plant Nutrition*, 17(2): 461-474.

## 7. ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Burhan AKKURT  
Doğum Tarihi ve Yeri : Amasya 1964  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
Telefon : 0505 261 7824  
E-mail : b.akkurt-05@hotmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi/Ziraat Fakültesi/Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü	2013
Yüksek Lisans	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı	2019

### İş Deneyimi

Yılı	Yer	Görev
1985	Tarım Bakanlığı	Ziraat Teknisyeni
2019	Tokat OKGK Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	Ziraat Mühendisi