



**FARKLI TARIMSAL ATIKLARDAN ÜRETİLEN
BİYOÇARLARIN ÇEŞİTLİ
FİZİKSEL VE KİMYASAL
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

ÖMER BAYRAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI
Prof. Dr. Hikmet GÜNAL**

**Aralık - 2015
Her hakkı saklıdır**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI TARIMSAL ATIKLARDAN ÜRETİLEN
BİYOÇARLARIN ÇEŞİTLİ FİZİKSEL VE KİMYASAL
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

ÖMER BAYRAM

**TOKAT
Aralık - 2015**

Her hakkı saklıdır

Bu tez çalışması;

**Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel ve Araştırma Komisyonu tarafından 2015/79
nolu proje ile desteklenmiştir.**

Ömer BAYRAM tarafından hazırlanan "FARKLI TARIMSAL ATIKLARDAN ÜRETİLEN BİYOÇARLARIN ÇEŞİTLİ FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 25 ARALIK 2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof.Dr. Hikmet GÜNAL
Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Üye
Doç.Dr. Halil ERDEM
Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Üye
Yrd.Doç.Dr. Nurullah ACİR
Ahi Evran Üniversitesi

Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY

Prof. Dr. Mehmet Ali SAKİN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

13.01/2016

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.

Ömer BAYRAM

25 Aralık 2015

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI TARIMSAL ATIKLARDAN ÜRETİLEN BİYOCHARLARIN ÇEŞİTLİ FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖMER BAYRAM

GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. HİKMET GÜNAL)

Biyöçar yüksek katyon değişim kapasitesi (KDK), spesifik yüzey alanı (SYA), su tutma kapasitesi ve zengin besin elementi içeriğinden dolayı toprakların çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirir. Bu çalışmanın amaçları; çoğunluğu lokal olarak bulunabilen 22 farklı biyokütlenin tarımsal potansiyel faydalarını araştırmak için yavaş pirolizleri ile üretilmiş biyöçarlarının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek ve karşılaştırmaktır. Biyöçarlar 500 °C de kül fırını içerisine yerleştirilen ağız kapalı kaplarda üretilmiştir. Biyöçarlar SYA, tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN), bitkiye yararlı su içeriği (YSI), pH, elektriksel iletkenlik (EC), KDK, toplam karbon (TC), toplam azot (TN), bitkiye yararlı fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn) ve mangan (Mn) konsantrasyonları bakımından analiz edilmişlerdir. Biyöçarlar karakterize edilen özellikler açısından önemli düzeyde farklılıklar göstermişlerdir. En yüksek değeri (%91.9) çam talaşında olan toplam C, biyöçarlar arasında en yüksek değişkenliğe sahip olan özelliktir. Hammadde içeriğinde bulunan P ve K'un önemli bir kısmı biyöçarda konsantre olmuştur ve biyöçardaki konsantrasyonu hammaddeden 2 ile 4 kat daha fazladır. Biyöçarların KDK değerleri 79.5 cmol kg⁻¹ (biber atığı biyöçarı) ile 5.77 cmol kg⁻¹ (çam talaşı) arasında değişmiştir. Biyöçarların KDK ve SYA değerleri birbirleri ile istatistiksel olarak önemli düzeyde negatif korelasyon göstermiştir (P<0.01, r= -0.70). Bu durumun piroliz esnasında kaybolan fonksiyonel gruplar ile ilişkili olma olasılığı yüksektir. Çalışma sonunda elde edilen veriler hammaddeye bağlı olmakla birlikte üretilen bir kısım biyöçarların besin elementi kaynağı olma ve aynı zamanda toprağın kalitesini artırma potansiyeli olduğunu göstermiştir. KDK değeri yüksek olan biyöçarlar özellikle kumlu, düşük KDK değerine ve organik madde içeriğine sahip topraklarda kullanılabilirler.

2015, 46 SAYFA

ANAHTAR KELİMELELER: Tarımsal atıklar, biyöçar, piroliz, katyon değişim kapasitesi, tarımsal fayda, besin elementi

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION OF VARIOUS PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BİYOÇARS PRODUCED FROM DIFFERENT AGRICULTURAL WASTES

ÖMER BAYRAM

GAZIOSMANPASA UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION

(SUPERVISOR:.) PROF.DR. HIKMET GUNAL

Biochar improves many physical, chemical and biological characteristics of soils due to its high cation exchange capacity (CEC), specific surface area (SSA), water holding capacity and rich plant nutrient content. The purposes of this study were to characterize and compare some physical and chemical properties of twenty two biyoçars produced by slow pyrolysis of several feedstocks mainly locally available agricultural residues to elucidate their potential agronomic benefits. Biyoçars were produced at 500 °C in an ingeniously developed reactor. The biyoçars were characterized for SSA, field capacity (FC), wilting point (WP), plant available water content (AW), pH, electrical conductivity (EC), CEC, total carbon (C), total nitrogen (N), plant available phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn) and manganese (Mn) concentrations. The characteristics determined were varied considerably among biyoçars. Total C contents were highly variable with values up to 91.9% for pine sawdust. Phosphorus and K in feedstocks were concentrated in the biyoçars and were two to four times higher in the biyoçars. The CEC of biyoçars varied from 79.5 cmol kg⁻¹ (pepper plant residues) to 5.77 cmol kg⁻¹ (poplar sawdust). The CEC and SSA of biyoçars had significant negative correlation (P<0.01, r= -0.70) that probably be attributed to the loss of functional groups during pyrolysis of feedstocks. The results revealed that depending on feedstock, some biyoçars have potential to serve as nutrient sources as well as additive to improve soil quality. The biyoçars with high CEC can be used in sandy soils with low CEC and organic matter contents.

2015, 46 PAGE

KEYWORDS: Agricultural residues, biyoçar, pyrolysis, cation exchange capacity, agronomic benefit, plant nutrition

ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca destekleriyle yanımda olan danışman hocam Prof.Dr. Hikmet GÜNAL'a teşekkür ederek başlamak istiyorum. Bu uzun çalışma sürecinde hem materyal temininde hem de laboratuvar işlerinde yanımda olup bana destek olan başta Atilla POLAT ve Emre MATUR olmak üzere tüm arkadaşlarıma desteklerinden dolayı minnettarlığımı belirtmek isterim. Ayrıca bu süreçte hemen hemen her konuda yardımını esirgemeyen Doç.Dr. Halil ERDEM'e de sonsuz teşekkür ederim.

Ömer BAYRAM

Aralık,2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
ÇİZELGELER LİSTESİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. Materyal	9
3.2. Yöntem	9
3.2.1. Biyoçar Üretilmesi	9
3.2.2. Hammadde ve Biyoçarların Karakterizasyonu	11
3.2.2.1. Fiziksel Analizler	11
3.2.2.2. Kimyasal Analizler	12
3.2.3. Veri Değerlendirmesi	13
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	14
4.1. Biyoçarların Fiziksel Özellikleri	14
4.2. Biyoçarların Kimyasal Özellikleri	17
4.3. Biyoçar Gruplarının Özellikleri	29
5. SONUÇLAR	40
6. KAYNAKLAR	42
7. ÖZGEÇMİŞ	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Kazova'da 2014 yılı üretim sezonu sonunda çevreye çürümeye terk edilen tarımsal atıklar	8
Şekil 3.1. Biyoçar üretiminde kullanılan piroliz ünitesinin gösterimi	10
Şekil 3.2. Biyoçar üretimi için kullanılan kül fırını	10
Şekil 3.3. Biyoçar üretimi için kullanılan sefer taslarının kül fırını içerisindeki görüntüsü	11

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. KÜSPENİN KÖMÜRLEŞTİRİLMESİ İLE ELDE EDİLEN BİYOÇARIN ÖZELLİKLERİ	6
Çizelge 4.1. ÇALIŞMADA ELDE EDİLEN BİYOÇAR MATERYALLERİNİN BİR KISIM FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	14
Çizelge 4.2. ELDE EDİLEN BİYOÇAR MATERYALLERİNİN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ..	15
Çizelge 4.3. BİYOKÜTLENİN HAMMADDE VE BİYOÇAR HALLERİNİN BAZI KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	18
Çizelge 4.4. BİYOÇARLARIN TOPLAM KARBON, TOPLAM AZOT VE KARBON/AZOT ORANLARI	19
Çizelge 4.5. HAMMADDE VE BİYOÇARLARIN pH VE EC DEĞERLERİ	22
Çizelge 4.6. ELDE EDİLEN BİYOÇARLARIN BELİRLENEN BİR KISIM ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİYİ GÖSTEREN KORELASYON ANALİZİ SONUÇLARI	24
Çizelge 4.7. BİYOKÜTLENİN HAMMADDE VE BİYOÇAR HALLERİNİN MAKRO BESİN ELEMENTİ KONSANTRASYONLARI	25
Çizelge 4.8. HAMMADDE VE BİYOÇARLARIN MAKRO BESİN ELEMENTİ KONSANTRASYONLARI	26
Çizelge 4.9. BİYOKÜTLENİN HAMMADDE VE BİYOÇAR HALLERİNİN MİKRO BESİN ELEMENTİ KONSANTRASYONLARI	28
Çizelge 4.10. HAMMADDE VE BİYOÇARLARIN MİKRO BESİN ELEMENTİ KONSANTRASYONLARI	29
Çizelge 4.11. ÇEŞİTLİ BİYOKÜTLELERDEN HAZIRLANMIŞ BİYOÇARLARIN ÇEŞİTLİ FİZİKSEL ÖZELLİKLER AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI AMACI İLE YAPILAN TEK YÖNLÜ VARYANS ANALİZİ	30
Çizelge 4.12. ÇALIŞMADA ELDE EDİLEN BİYOÇAR MATERYALLERİNİN ÜRÜN GRUPLARINA GÖRE BİR KISIM FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	31
Çizelge 4.13. ÇEŞİTLİ BİYOKÜTLELERİN HAMMADDE VE BİYOÇAR HALLERİNİN BAZI KİMYASAL ÖZELLİKLER AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI AMACI İLE YAPILAN TEK YÖNLÜ VARYANS ANALİZİ	32
Çizelge 4.14. ÇALIŞMADA ELDE EDİLEN BİYOÇAR MATERYALLERİNİN ÜRÜN GRUPLARINA GÖRE BİR KISIM KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	33
Çizelge 4.15. ÇEŞİTLİ BİYOKÜTLELERDEN ELDE EDİLEN BİYOÇAR MATERYALİNİN MAKRO BESİN ELEMENTİ KONSANTRASYONLARI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI AMACI İLE YAPILAN TEK YÖNLÜ VARYANS ANALİZİ ..	34
Çizelge 4.16. ÇALIŞMADA ELDE EDİLEN BİYOÇAR MATERYALLERİNİN ÜRÜN GRUPLARINA GÖRE BİR KISIM MAKRO BESİN ELEMENTİ KONSANTRASYONLARI	36
Çizelge 4.17. ÇEŞİTLİ BİYOKÜTLELERDEN ELDE EDİLEN BİYOÇAR MATERYALİNİN MİKRO BESİN ELEMENTİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI AMACI İLE YAPILAN TEK YÖNLÜ VARYANS ANALİZİ	37

Çizelge 4.18.	Çalışmada elde edilen biyoçar materyallerinin ürün gruplarına göre bir kısım mikro besin elementi konsantrasyonları	38
Çizelge 4.19.	Hammadde ve biyoçar özellikleri arasında gerçekleştirilen eşleştirilmiş t-testi sonuçları	39

1. GİRİŞ

Odun, hayvan gübresi ve yapraklar gibi çeşitli 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 materyale biyoçar denilmektedir (Lehmann ve Joseph, 2009).

Biokütle kaynakları odunsu ve otsu türler, odun atıkları, enerji ürünleri, küspe, tarımsal ve endüstriyel atıklar, atık kâğıtlar, 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). Karbon, hidrojen, oksijen ve azot içeren karbonhidratlı her materyal biyokütle kaynağı olarak kullanılabilir. Bununla beraber bir kısım biyokütle çeşitlerinin önemli miktarlarda inorganik bileşenler içerdiği de rapor edilmiştir. Odunsu bitkilerde inorganik maddenin miktarı %1 gibi düşük düzeylerde iken, bu oranın tarımsal atıklarda ve otsu biyokütlerde %15'ler civarında olduğu rapor edilmiştir (Yaman, 2004). Biyokütle içerisinde önemli miktarda selüloz, hemi-selüloz ve lignin gibi organik bileşenler yer almaktadır (Klass, 1998).

İklim, topografya, toprak özellikleri ve vejetasyon bakımından oldukça geniş bir yelpazeye sahip olan Türkiye'nin tarımsal potansiyeli oldukça yüksektir. İklimin müsait olduğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde yılın tamamında tarımsal üretim yapmak mümkündür. Diğer birçok bölgemizde ise, yoğun bir rotasyon ile tarım arazilerinden büyük miktarlarda biyokütle kaldırılmaktadır. Ozcimen ve Mericboyu (2010)'e göre Türkiye'deki en önemli biyomass kaynağı gıda üretimi yapan endüstrilerdir. Kayısı çekirdeği ve fındık kabuğu Türkiye'de üretilen önem biyokütlerden olup buldukları bölgede önemli birer enerji kaynağı olarak işlev görmektedirler. Bu ürünler, genelde fırınlarda veya evlerde direk yakılmak sureti ile enerjiye dönüştürülmektedir. Bu şekilde tüketimleri ekonomik olmadığından farklı dönüşüm teknolojilerinin kullanımı ile daha katma değerleri ürünlere dönüştürülmeleri hem bölge hem de ülke ekonomisi açısından yararlar sağlayacaktır.

Organik karbon açısından oldukça zengin olan biyoçarın aksine, biyokütlenin bir oksijenli ortamda yakılması ile organik materyal çoğunlukla kalsiyum, magnezyum ve inorganik karbonatlardan oluşan bir kül halini alır. Birçok yangında, oksijenin kısıtlı olduğu durumlarda materyalin küçük bir kısmının kömürleştiği görülmektedir. Oldukça farklı materyallerden farklı koşullarda 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).

Bu tez çalışması, geçit iklim kuşağında yer alan, Yeşilırmak ve Kelkit gibi iki önemli su kaynağından dolayı düz ve düze yakın tarımsal arazilerinin hemen hemen tamamı sulanabilen Tokat ilinde üretilen tarımsal ürünler başta olmak üzere çeşitli tarımsal atıkların biyoçar olarak kullanılma potansiyellerine ışık tutması amacı ile tasarlanmıştır. Çalışmada, öncelikle bölgede temin edilen ve bol miktarda üretilebilen tarımsal atıkların biyoçar haline dönüştürülmesi ve elde edilen biyoçarların çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Toprakta potansiyel kullanımları için yol gösterici bilgilerin elde edildiği bu çalışmanın sonuçları, sonradan yapılacak uygulamalı araştırmalar için önemli bir altlık görevi görecektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Biyočar terimi toprak amenajmanı ve karbon (C) zenginleşmesi konuları ile ilişkili olarak ortaya çıkan nispeten yeni bir terimdir. (Lehmann ve ark., 2006). Biyoçar tanımları yapılırken kullanılan piroliz işlemi ise, 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. Üretilen materyalin niteliği uygulanan sıcaklığa göre değişmektedir. 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). Kuru biyokütlenin hızlı piroliz işlemi gerçekleştirmek için gerekli olan enerji bu sistemden kazanılan enerjinin sadece %15'ine denk gelmektedir. Modern sistemler piroliz ünitesinden üretilen singazın, piroliz sistemi için gerekli olan tüm enerjiyi üretmesini sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır (Laird, 2008).

Literatürde yer alan kömür (charcoal) ile biyoçar anlam olarak farklılık göstermektedir. Biyoçar, toprak özelliklerinin iyileştirilmesi amacı ile kullanılırken kömür ısıtma için yakıt, demir üretiminde bir filtreleyici olarak veya bir indirgeyici olarak veya endüstride renklendirici materyal olarak kullanılmaktadır. Tarımsal kömür (agrichar) ile biyoçar ifadeleri ise birbirine benzerlik göstermektedir. Ancak birçok araştırmacı, tarımsal kömür ifadesinden ziyade biyoçar ifadesini kullanmayı tercih etmektedirler. Araştırmacıların tercih ettiği kömürleştirilen organik madde olan biyoçar tarımın dışında toprak ıslahının etkinleştirilmesinde ve diğer birçok çevre servislerinde kullanılabilir. Biyoçar kelimesi aynı zamanda biyolojik kökeni ifade ettiğinden, kömürleştirilen plastik ve biyolojik olmayan diğer materyallerden farklılaşmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009). "Aktif karbon" terimi de biyoçar ve aynı zamanda kömür benzeri bir terimdir. Aktif karbon buhar veya çeşitli kimyasallar ile yüksek sıcaklıklarda

(>700°C) aktifleştirilmektedir (Boehm, 1994). Burada amaç endüstride özellikle filtrelemede kullanılmak üzere yüzey alanının artırılmasıdır (Lehmann ve Joseph, 2009).

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 (Lehmann ve ark., 2003) ve spesifik kimyasal (Baldock ve Smemik, 2002) ve kolloidal yapısından (Lehmann ve ark., 2005) dolayı diğer organik materyallere göre mikrobiyal parçalanmaya karşı olan direnci (Cheng ve ark., 2008) gibi sahip olduğu spesifik fiziksel ve kimyasal özelliklerden dolayıdır.

Biyoçar uygulamalarının çevre amenajmanı, toprağın iyileştirilmesi (üretim 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 ya da hem sosyal hem de ekonomik faydasının olması beklenmektedir (Lehmann ve Joseph, 2009).

Çoğu toprak için biyoçar uygulamaları toprak kalitesinin iyileşmesine ve ürün veriminin artmasına neden olmakta, ancak çok nadir durumlarda herhangi bir etkisi olmamaktadır. Bununla birlikte aşağıda belirtilen üç koşulda biyoçar uygulamasının olumsuz etkileri görülebilir. Bunlarda birincisi biyoçar uygulamasının pH etkisidir. Özellikle pH'nın çok alkali olduğu yani pH değeri 10.0 civarında olan yüksek kül içeriğine sahip biyoçarlar kullanıldığında bu durum ortaya çıkabilir. Biyoçar uygulaması toprağın pH'sını çok fazla yükseltirse, besin döngüsünde ve demir gibi belirli mikro besin elementlerinin bitkiye yarayışlılığına etki eden belirli mikroorganizma popülasyonları olumsuz etkilenebilir. İkinci durum, arsenik, kadmiyum ve kurşun benzeri zararlı ağır metalleri içeren şehir atıkları gibi uygun olmayan hammaddelerin kullanılması ile üretilen biyoçarların uygulanmasından dolayı ağır metaller ve diğer toksinler toprağa bulaşabilir. Bu sorundan kaçınmak için uygun olan yol, ham maddenin biyoçar yapılmadan önce analiz edilmesidir. Üçüncü durum ise karbon oranı oldukça yüksek olan biyoçarların uygulanmasıyla ortaya çıkan azot immobilizasyonu problemi ile ilgilidir. Mikroorganizmalar aktif gelişim süreçlerinde her 5 ila 10 karbon için yaklaşık 1 mol azota gereksinim duyarlar. Eğer toprağa

uygulanan karbon kaynağı yeterli miktarda azot içermiyor ise, bu durumda mikroorganizmalar toprakta var olan azotu tüketmeye başlarlar. Bu durumda, toprakta yetişen bitki kendi gereksinimi için yeterli azotu tüketemez ve gelişimi geri kalır. Genel olarak azotun immobilize olmaması için C:N oranı 30'dan yüksek olmamalıdır. Çoğunlukla karbondan oluşan biyoçarların C:N oranları oldukça yüksektir. Ancak burada iyi olan durum, biyoçar içerisindeki karbonun tamamının mikroorganizmalar için yararlı formda olmadığından etkin C:N oranının çok daha düşük olmasıdır. Eğer biyoçar yeterince piroliz edilmez ise, bu durumda C:N oranı çok yükselir ve azot immobilize olur (Brewer, 2012).

Biyokütlenin yakılması, doğal yollar ile ayrıştırılması (parçalanması) ve özellikle tarımsal atıklar atmosfere oldukça büyük miktarda CO₂ 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. Biyoçarın toprakta var olması suyun kalitesinin iyileşmesine, toprak verimliliğinin artmasına, tarımsal üretimin yükselmesine (Laird, 2008) ve tarım arazileri üzerindeki baskıların azaltılmasına neden olacaktır.

Son yıllarda atmosferik karbondioksitin (CO₂) azaltılması ile ilgili yapılan çalışmalarda, önemli miktarda biyoçar uygulamasına rastlanılmaktadır. Spokas ve Reicosky (2009) de atmosferden fotosentez yolu ile bitkilerde depolanan CO₂'in piroliz yolu ile daha kararlı bir karbon formu olan biyoçar şeklinde depolamanın oldukça önemli olduğunu vurgulamaktadırlar. Biyoçar toprak verimliliğini, bir dizi toprak özelliğinin değişimi, mekansal 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 mikrobiyel aktivite (Atkinson ve ark., 2010; Lehmann ve ark., 2011) gibi özelliklere de doğrudan etki etmektedir.

Üretilen biyoçarın önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri tercih edilen hammadde (ürün atığı, enerji bitkisi, kereste atığı, şehir atığı, hayvan gübresi vd) ve piroliz işleminin gerçekleştirildiği koşullara (temel olarak sıcaklık ve süre) bağlı olarak büyük değişkenlikler göstermektedir (Çizelge 2.1). Bu koşullar biyoçarın uygulandığı ortamdaki etkinliğini ve topraktaki sorunu etkileyen önemli özelliklerdir. Günümüzde

farklı koşullar altında ve farklı materyallerden üretilen biyoçarların karşılaştırmalarını yapacak veya bunları gruplayabilecek hızlı bir teknoloji bulunmamaktadır (Sohi ve ark., 2009).

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

Parametre veya Özellik	Biyočar				Hammadde
Ortalama Sıcaklık (°C)	490	690	740	830	
Spesifik Yüzey Alanı (m ² /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
TN	0.58	0.45	0.32	0.44	0.19
TC	70.5	71.0	65.2	73.9	46.1
Mineral (mg/ 100 g)	3361	4601	5359	4363	841

Nd: belirlenmedi

Biyočarın toprağın su tutma kapasitesine ve adsorpsiyon kapasitesine etkisini değerlendiren araştırmacılar, elektron mikroskobu ile yaptıkları inceleme neticesinde bu etkilerin biyoçarın oldukça gözenekli olan yapısından kaynaklandığını rapor etmişlerdir (Ogawa ve ark., 2006; Yu ve ark., 2006).

Son 20 yıl içerisinde biyoçar konusunda oldukça fazla miktarda çalışmalar yapılmış ve yayınlanmıştır. Çok farklı disiplinlerden bilim insanları çeşitli biyo atıklardan farklı koşullarda ürettikleri biyoçarları kullanarak toprak ve su kalitesi, sera gazları emisyonlarına etkisi, bitkisel üretimdeki etkinlikleri ve çeşitli çevresel etkileri araştırmak amacı ile yaptıkları çalışmaları yayınlamışlardır. Örneğin Free ve ark. (2010), Yeni Zelanda'da biyo-katılar, okaliptüs, mısır koçanı, taze çam ve söğüt kullanarak 550 C'de ürettikleri biyoçarı ince kumlu ve ince tınlı iki toprakta mısırın çimlenmesi üzerine etkilerini görmek üzere kullanmışlardır. Uygulamada 20 cm derinliğe verilecek şekilde hesaplanan 0, 2.5, 5.0 ve 10 ton/ha düzeyindeki biyoçarı kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışma sonunda, farklı biyoçarların ve dozlarının mısır tohumunun çimlenmesine kontrole göre önemli düzeyde etki ettiğini belirtmiş ve biyoçarın toprakta karbonun depolanması ve toprağın kalitesinin artırılması adına oldukça önemli etkileri olduğunu rapor etmişlerdir. Amerika'nın güney doğusunda yer

alan organik madde içeriği ve verimliliği düşük Ultisol'lere (Kandiudults) uygulanan fıstık kabuğu ve am atıklarından üretilen biyoçarın, topraktaki besin elementi içeriğine, mısırın (*Zea Mays* L.) beslenme durumuna ve verimine etkilerini Gaskin ve ark. (2010) tarafından iki yetiştirme sezonu boyunca araştırılmıştır. Araştırmacılar biyoçar dozlarını 0, 11 ve 22 Mg/ha olacak şekilde düzenleyerek biyoçarı azotla ve azot olmadan uygulamışlardır. Bu çalışmada, artan am biyoçarının toprağın pH'sını düşürdüğü ve kalsiyumun yarayışlılığını arttırdığı bildirilmiştir. Araştırmanın ilk yılında artan am biyoçarı dozu ile mısır veriminin azaldığı grlmştr. Fıstık kabuğu uygulamasının toprağın ilk 15 cm derinliğindeki Ca, Mg ve K seviyesini arttırdığı bildirilirken en yüksek biyoçar dozunda ise verimde azalma olduğu rapor edilmiştir.

Ülkemizde biyoçar konusunda çalışmalar son yıllarda çok yaygın olmamakla birlikte başlamış ve artarak devam etmektedir. Ekonomisinde tarımsal üretim oldukça önemli payı olan ülkemizde 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 2.1).



Şekil 2.1. Kazova'da 2014 yılı üretim sezonu sonunda çevreye çürümeye terk edilen tarımsal atıklar

Bu tez çalışmasında, temin edilen çok çeşitli tarımsal atıkların hammadde ve biyoçar olarak özellikleri belirlenmiştir. Bu ürünlerin çeşitli kullanımlara uygunlukları konusunda bir altlık olma özelliği olan çalışma sonuçları, yeni projelerin üretilmesi için önemli bilgiler sağlama potansiyeline sahiptir. Özellikle domates atıkları gibi bölgemizde önemli miktarda kirliliğe neden olan ve büyük miktarda var olan tarımsal atıkların çevreye dost ürünlere dönüştürülme potansiyeli nedeni ile çalışma sonunda elde edilecek çıktıların bölge ekonomisine önemli katkılar yapması beklenmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Çalışmada bölgede temin edilme potansiyeli yüksek olan tarımsal atıkların yanında kendi imkanlarımız ile temin edebildiğimiz diğer bir kısım biyokütle hammadde olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan hammaddeler; domates hasat artığı, biber hasat artığı , patlıcan hasat artığı, lahana üretim atıkları, altın çilek hasat artığı, barbunya üretim atıkları, çam ağacı yaprakları, çınar-at kestanesi ve çam ağacı gibi iğne ve geniş yapraklı ağaçların yaprakları, portakal ve mandalina kabukları, mısır sapı ve koçanı, buğday sapı, çeltik kavuzu, tavuk gübresi, koyun gübresi, büyük baş hayvan gübresi, çam ağacı talaşı, kavak ağacı talaşı, kuş burnu çekirdeği, mahlep çekirdek kabuğu, fasulye hasat artığı, karnabahar üretim atıkları ve ceviz kabuğudur.

3.2. Yöntem

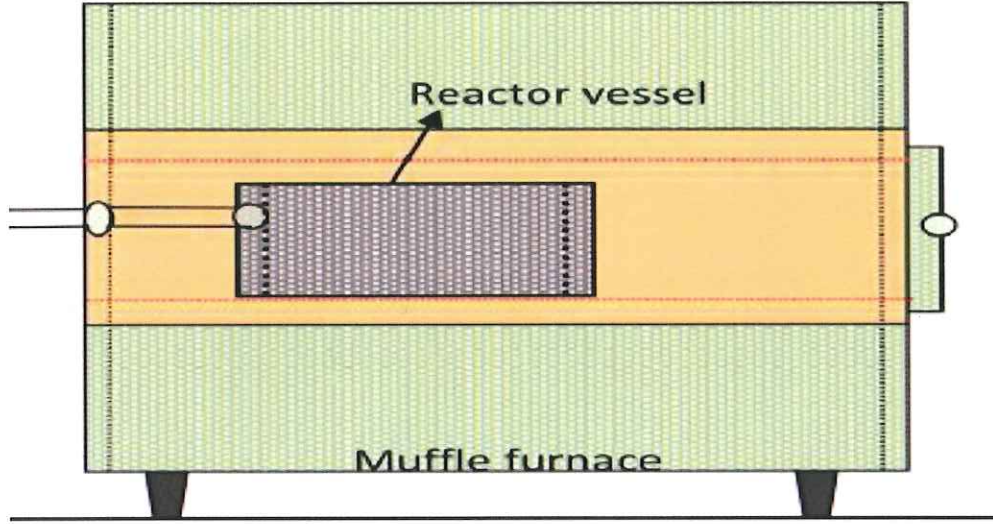
Yöntem biyoçar üretilmesi, hammadde ve biyoçarların özelliklerinin belirlenmesi ve veri değerlendirmesi şeklinde üç kısımdan oluşmaktadır.

3.2.1. Biyoçar Üretilmesi

Biyoçarlar yavaş piroliz işlemi ile 500 °C sıcaklıkta üretilmiştir. Biyoçar üretimi esnasında ortaya çıkan katran ve singazlar depolanmamıştır.

Farklı tarımsal üretim atıkları ile birlikte toplanan çeşitli bitkisel materyaller öncelikle etüvde kurutulmuş ve bitki öğütme cihazında öğütülmüşlerdir. Biyoçar üretimi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünde yer alan kül fırınında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1 ve 3.2). Bu farklı atıklardan biyoçar üretimi, biyokütlenin oksijensiz ortamda ısıtılması adı verilen yavaş piroliz işlemi ile elde edilmiştir. Biyoçar üretiminde kül fırını sıcaklığı kademeli olarak

arttırılarak 500 °C'ye getirilmiş ve ortalama 2 saat içerisinde tamamlanmıştır. Biyoçar üretimi için kapağı sağlamca kapatılabilen metal bir sefer taşı kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.1. Biyoçar üretiminde kullanılan piroliz ünitesinin gösterimi



Şekil 3.2. Biyoçar üretimi için kullanılan kül fırını



Şekil 3.3. Biyoçar üretimi için kullanılan sefer taslarının kıl fırını içerisindeki görüntüsü

3.2.2. Hammadde ve Biyoçarların Karakterizasyonu

Elde edilen biyoçar materyalinin çeşitli fiziksel ve kimyasal analizlerinin yapılmadan önce biyoçar materyalleri bitki öğütme cihazında öğütülmüştür. Kullanılan her hammaddenin biyoçar yapılmadan ve biyoçar yapıldıktan sonraki bir kısım fiziksel ve kimyasal özellikleri standart yöntemler ile belirlenmiştir. Her örnek 3 tekerrür olarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada belirlenen özellikler ve kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

3.2.2.1. Fiziksel Analizler

Spesifik Yüzey Alanı: Etilen Glikol Monoetilen Eter (EGME) yöntemine göre yapılmıştır (Cerato ve Lutenegeer, 2002). Bu yöntem için bir gece etüvde kurutulan biyoçar materyallerinden yaklaşık 1'er gram tartılarak kaplara konulmuştur. Kapağa konulan örneklerin üzerlerine 3'er ml Etilen Glikol Monoetilen Eter (EGME) eklenerek

homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Ayrıca 100 gram fırın kuru CaCl₂'ye 20 ml EGME ilave edilerek karıştırılmıştır. Sonrasında kaplar hazırlanan EGME-CaCl₂ karışımı ile birlikte desikatör içerisine kapakları bir miktar açık kalacak şekilde dizilmiştir. 20 dakika kadar denge haline geldikten sonra vakum işlemi başlatılmıştır. Yaklaşık 6-8 saat kaplar vakum işlemine tabi tutulduktan sonra kapaksız bir şekilde tartılmıştır. Bu işlem ağırlık değişimi 0,00x gram olana kadar devam etmiştir. Son ağırlık kayıt edilmiş ve hesaplama için kullanılmıştır.

Su Tutma Kapasitesi: Tarla kapasitesinden nem içeriğinden solma noktasındaki nem içeriğinin çıkarılması ile bulunmuştur (Klute, 1986). Bu yöntem için halkalara biyoçar örnekleri konmuştur. Örnekler 3 gün boyunca suyla doyurulmuştur. Sonrasında halkalar seramik levha üzerine dizilerek tarla kapasitesi tayin cihazına dizilmiştir. pF eğri cihazı hava basıncı 1/3 atmosfere ayarlanmış ve bürettedeki su seviyesi sabit kalıncaya kadar yaklaşık 1 hafta boyunca cihazda işleme tabi tutulmuştur. Bu işlem sonucunda cihazdan çıkarılan örnekler darası alınmış alüminyum kaplarda tartılmıştır. Daha sonra ise 105°C etüve konmuş ve yaklaşık 24 saat sonra kuru ağırlıkları tartılmıştır. Solma noktasının bulunması amacıyla yukarıdaki işlemler pF eğri cihazı hava basıncı 15 atmosfer olarak ayarlanmış ve tüm biyoçar örnekleri için bu işlem yapılmıştır. Daha sonra ise tarla kapasitesi nem içeriğinden solma noktasındaki nem içeriği çıkarılmış ve yarayırlı su içeriği bulunmuştur.

3.2.2.2. Kimyasal Analizler

pH: 1/5 (materyal/su) oranındaki karışımdan pH metre ile belirlenmiştir. Her bir biyoçar materyalinden kaplara 4'er gram konulmuştur ve üzerine 20ml miktar saf su eklenmiştir. Daha sonra karıştırılmış ve biyoçarın dibe çökmesi beklenmiştir. Biyoçar dibe çöktükten sonra pH probu yukarıda kalan suyun içine girecek şekilde örnek kabına batırılarak okuma yapılmıştır.

Elektriksel İletkenlik (EC): 1/5 (biyoçar/su) oranındaki karışımdan EC metre ile belirlenmiştir. Her bir biyoçar materyalinden kaplara 4'er gram konulmuştur ve üzerine 20 ml miktar saf su eklenmiştir. Daha sonra karıştırılmış ve biyoçarın dibe çökmesi beklenmiştir. Biyoçar dibe çöktükten sonra EC probu yukarıda kalan suyun içine girecek şekilde örnek kabına batırılarak okuma yapılmıştır.

Kasyon Değişim Kapasitesi: Amonyum Asetat yöntemine göre yapılmıştır (Sumner ve Miller, 1996). Bu yöntem için her bir biyoçar örneğinden 2'şer gram tartılarak 50ml'lik beherlere konulmuştur. Sonrasında üzerlerine 33ml amonyum asetat konulmuş ve çalkalayıcı yardımıyla 5 dakika 220 devirde karıştırılmıştır. Daha sonra kaba filtre kâğıdı kullanılarak vakum makinasıyla örneklerdeki amonyum asetat uzaklaştırılmıştır. Bu işlem 3 kez tekrar edilmiştir ve sonrasında 3 kez 33ml alkol, 3 kez de 33ml sodyum asetat örneklere uygulanarak bu işlemler tekrar edilmiştir. Bu işlemler sonrasında örnekler 100ml'lik balon jöjelere süzük alınmış ve okumaya hazır hale getirilmiştir.

Toplam Karbon: Kuru yakma yöntemiyle Elementel Analiz Cihazı (Costech ECS 4010) kullanılarak yapılmıştır (Tabatabai, 1994).

Toplam Azot: Kjeldahl destilasyon yöntemiyle yapılmıştır (Bremner, 1965).

Toplam Fosfor, Kalsiyum, Magnezyum, Potasyum, Çinko, Demir, Bakır ve Manganez: Örnekler agat değirmeninde öğütülmüş ve 0.2 g tartılmıştır. Sonrasında mikro dalgada yaş yakma metoduna göre H₂O₂-HNO₃ asit karışımı ile yakılacak ve ICP-OES cihazında okunmuştur (Kacar ve İnal, 2008).

3.2.3. Veri Değerlendirmesi

Her bir biyoçar materyalinin belirlenen özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik parametreleri belirlenmiştir. Biyoçar hammaddelerinin doğası dikkate alınarak 5 farklı gruba ayrılmışlardır. Bu gruplardan sebze atıklarında; altın çilek, barbunya, biber, domates, fasulye, karnabahar, lahana ve patlıcan, ağaçsı yapıdakiler; çam talaşı, kavak talaşı, ceviz kabuğu, kuşburnu çekirdeği ve mahlep çekirdeği kabuğu, orman ürünleri yaprakları; çam yaprağı, karışık yaprak ve mandalina yaprağı ve kabuğu, tarla bitkileri grubu; çeltik kavuzu, mısır koçanı ve buğday samanı, hayvan gübresi atıkları grubu; tavuk, büyük baş ve koyun gübresinden oluşmaktadır. Bu grupların özellikleri açısından benzerlik ve farklılıklarını ortaya koyabilmek amacı ile tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA sonrasında, istatistiksel olarak farklılıkları ortaya koyabilmek için biyoçarların gruplandırılması homojenlik testi olan DUNCAN gruplaması ile yapılmıştır. Kullanılan hammaddeler ile biyoçar durumları arasındaki farklılık eşleştirilmiş t-testi ile belirlenerek rapor edilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Biyoçarın Fiziksel Özellikleri

Çeşitli biyokütlelerden elde edilen biyoçar materyallerinin bir kısım fiziksel özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik parametreleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada elde edilen biyoçar materyallerinin bir kısım fiziksel özellikleri

N=22	Birim	En		Ortalama	Std.	VK*	Yatıklık
		Küçük	Yüksek				
Verim	%	19.68	62.99	33.48	7.69	22.97	2.40
Yüzey Alanı	m ² g ⁻¹	39.17	456.94	222.48	98.65	44.34	0.30
TarlaKapasitesi	%	16.89	168.10	79.85	39.46	49.41	0.36
Solma Noktası	%	15.81	163.03	72.00	41.59	57.76	0.45
Yarayışlı Su	%	0.01	41.80	9.25	9.51	102.82	1.83

*VK: Varyasyon Katsayısı

Biyoçarın besin elementi olarak toprağa katkı yapması veya toprağın fiziksel özelliklerini düzelterek bitkisel üretimde verimliliği artırması vartapetyan gibi faydaları kullanılan biyoçarın özellikleri ile yakın ilişkilidir. Buna göre hammadde olarak kullanılan biyokütlelerden 500 °C’de elde edilen biyoçar verimleri %19.68 (kavak talaşı) ile %62.99 (büyükbaş yanmış hayvan gübresi) arasında değişmiş ve ortalama verim %33.48 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Çalışmada elde edilen biyoçar materyallerinin bazı fiziksel özellikleri

Materyal	Biyοçar Verimi (%)	Tarla Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)	Yarayışlı Su İçeriği (%)	Spesifik Yüzey Alanı m ² g ⁻¹
Altın Çilek	32,09	131,57	96,47	35,09	179,71
Barbunya	30,62	132,80	97,16	35,64	286,61
Biber	34,09	136,14	121,44	14,70	133,61
Domates	33,08	108,47	99,98	8,48	208,89
Fasulye	30,40	126,92	109,51	17,41	117,93
Karnabahar	37,68	96,95	58,44	38,51	46,54
Lahana	34,19	91,99	76,42	15,57	78,07
Patlıcan	33,02	132,47	126,77	5,70	174,20
Ortalama	33,15	119,66	98,27	21,39	153,20
Çam Talaşı	25,27	58,16	18,37	39,79	267,15
Kavak Talaşı	19,68	36,66	27,97	8,69	391,64
Ceviz Kabuğu	31,23	45,32	41,33	3,99	318,77
Kuşburnu Çekirdeği	32,65	17,41	16,29	1,12	278,03
Mahlep Çekirdeği	34,04	56,91	45,67	11,24	289,61
Ortalama	28,57	42,89	29,92	12,97	309,04
Çam Yapradı	32,82	30,58	18,19	12,40	253,83
Karışık Yaprak	37,07	61,66	55,66	6,00	123,05
Mandalina Kabuğu	30,86	59,88	55,96	3,92	375,57
Ortalama	33,58	50,71	43,27	7,44	250,82
Çeltik Kavuzu	37,83	63,29	61,87	1,42	211,84
Mısır Koçanı	27,12	117,21	107,86	9,35	397,55
Saman	31,18	167,81	161,90	5,91	214,81
Ortalama	32,04	116,10	110,54	5,56	274,73
Tavuk Gübresi	31,83	78,67	56,10	22,57	192,88
Koyun Gübresi	36,80	73,26	57,69	15,57	161,34
Büyükbaş Gübre	62,99	32,79	29,73	3,06	163,73
Ortalama	43,87	61,57	47,84	13,73	172,66

Biyοçarın en önemli fiziksel özelliklerinden bir tanesi, biyoçar ile toprak ortamı arasındaki etkileşimin boyutunu birinci derecede etkileyen yüzey alanıdır. Üretildiği hammaddenin doğasına bağlı olarak büyük miktarda değişkenlik gösteren yüzey alanları 39.17 m² g⁻¹ ile 456.94 m² g⁻¹ arasındadır. Farklı sıcaklıklarda (415 °C ile 850 °C arasında) piroliz edilerek elde edilmiş 16 biyoçarın çeşitli fiziksel özelliklerini rapor eden Spokas ve Reicosky (2009), yüzey alanlarının 0.1 ile 286.0 m² g⁻¹ arasında değiştiğini rapor etmiştir. Downie ve ark (2009) biyokütlenin piroliz sıcaklığının artması ile birlikte volatilize olan organik bileşiklerin miktarının artmasına paralel olarak biyoçarın yüzey alanının arttığı rapor etmişlerdir. Organik bileşiklerin kaybolması biyoçarın yapısında gözeneklerin oluşmasına neden olmaktadır. Biyoçar ve

hidrocharların su tutma özelliklerini inceleyen Abel ve ark. (2013) ise mısırdan elde edilen biyoçarın yüzey alanını $217 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ve mısır slajından elde edilen hidrocharın yüzey alanını ise $6.3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ olarak bildirmiştir. Yüksek yüzey alanı, biyoçarın toprak kalitesinin sürdürülebilirliğinin sağlanması adına uygun bir katkı maddesi olmasını sağlamaktadır. Özellikle suyun daha kısıtlı olduğu bölgelerde toprakta suyu uzun süre tutabilen katkı maddelerinin kullanımı bitkisel üretimde sürdürülebilirliği sağlayacak önemli bir unsurdur.

Vartapetyan ve Voloshchuk (1995), çeşitli materyallerden elde edilen kömürlerin bünyelerinde tuttıkları ancak bitkiye yarayışlı olmayan suyun yüksek yüzey alanına sahip bir kısım kömürlerde oluşan büyük miktardaki gözeneklilikle beraber gelişen yüksek su adsorbe etme kapasitesine bağlı olduğunu açıklamışlardır. Biyoçarın elde edildiği materyalin doğasına bağlı olarak yüzey alanının $3000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ kadar yüksek olabileceği belirtilmiştir (Guo ve ark., 2002). Genellikle büyük miktardaki mikro gözenekliliğe atfedilen yüksek yüzey alanı değerleri için Laine ve ark. (1991), yüzey alanının %90'nının 15 \AA 'dan daha küçük genişliğe sahip gözeneklerden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Bununla beraber hidrochar olarak tanımlanan bir kısım materyallerin yüzey alanının genelde $50 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 'dan daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Titirici ve Antonietti, 2009). Bu çalışmada elde edilen biyoçarlardan en yüksek yüzey alanına sahip olan mısır biyoçarının kimyasal reaksiyonlarda da en aktif madde olması, daha fazla besin elementi tutması beklenebilir. Biyoçarların ortalama yüzey alanı olan $222.48 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ değeri dahi toprakta var olan birçok kil mineralinin yüzey alanının da çok daha yüksektir. Benzer şekilde Lee ve ark. (2013) da odun gövdesi, şeker kamışı küspesi ve palmye kabuklarından üretilen biyoçarların yüzey alanlarının $190 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 'dan daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Hammaddeye bağlı olarak biyoçar ve hidrochar materyallerinin yüzeylerinin suyu adsorbe edebilen veya suyu uzaklaştıran özelliklere sahip olabileceği belirtilmiştir (Baccile ve ark., 2009; Chun ve ark., 2004; Sharma ve ark., 2004). Fiziksel özellikleri içerisinde en yüksek varyasyon katsayısına sahip olan özelliğin yarayışlı su içeriği olduğu görülmüştür. Yarayışlı su içeriği 0.01 ile 41.80 arasında değişmiş ve veri içindeki değişkenliğin önemli bir göstergesi kabul edilen ortalama varyasyon katsayısı %102.82 olarak hesaplanmıştır. Gray ve ark. (2014) biyoçarların su tutma kapasiteleri atık maddenin gözenekliliğini kontrol eden biyokütlenin çeşidi ile ilişkili olduğunu

açıklamışlardır. Saturasyon noktasında tutulan suyun serbest bir şekilde drene olduktan sonraki kalan kısmı “tarla kapasitesi” nem içeriği olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle bu nem içeriği bitkiler için yararlı olan su içeriği olarak kabul edilmektedir (Kinney ve ark., 2012). Kuşburnu çekirdeğinden elde edilen biyoçarın tarla kapasitesi değeri sadece %17.4 iken buğday sapından elde edilen biyoçarın tarla kapasitesi nem içeriğinin %161.9 olduğu görülmüştür. Bu çalışmada tarla kapasitesi olarak en uygun veya en arzu edilen biyoçarın buğday sapından elde edildiği söylenebilir. Bununla birlikte buğday sapından elde edilen biyoçarın tarla kapasitesinde tuttuğu suyun önemli bir kısmının aynı zamanda solma noktasında da tutulduğu belirlenmiştir. Bu büyük miktardaki suyun sadece %5.6 gibi küçük bir kısmı bitkilerin yararlanabileceği yararlı su formunda bulunmaktadır. Çizelge 4.2’de de görüldüğü gibi tarla kapasitesinde yüksek miktarda su tutabilen biyoçarlar aynı zamanda solma noktasında da yüksek miktarda su tutmaktadırlar. Elde edilen biyoçarların hepsinin ortalama YSI miktarı sadece %9.25 iken çam talaşından elde edilen biyoçarın (YSI= %39.8) diğer biyoçarların tamamından daha yüksek yararlı su tutabildiği görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen yüksek miktarda su tutabilen biyoçarların aksine, Jeffery ve ark. (2015) kendi çalışmalarında elde ettikleri biyoçarların çok yüksek miktarda hidrofobik olmasından dolayı suyun biyoçar içerisine penetre olamadığını bildirmişlerdir. Higroskopik olmanın etkisi ile de biyoçar materyallerinin su tutma kapasitenin düşük olduğu ifade edilmiştir. Mesic Typic Hapludoll topraklar üzerinde kurdukları bir araştırmada, Laird ve ark. (2010) biyoçar ilavesi ile çeşitli basınçlar altında tutulan su miktarlarının artış gösterdiğini rapor etmişlerdir.

4.2. Biyoçarın Kimyasal Özellikleri

Toprakta biyoçarın parçalanması ile taze biyokütlenin parçalanması arasındaki farklılıkları termo-kimyasal işlem esnasında meydana gelen başlangıçtaki karbon kaybı ve daha sonra “kararlı halde” geriye kalan karbon miktarını düşünerek açıklamak gerekmektedir. Biyokütle ile biyoçar karşılaştırıldığında; biyoküttele var olan karbonun tamamı biyokütle ile toprağa uygulanıyor iken, biyoçar halinde biyokütledeki karbonun sadece %50’si toprağa uygulanabilmektedir. Zira piroliz esnasında karbonun yaklaşık

%50'si kaybolmaktadır. Buna karşılık muamele edilmemiş biyokütle içerisindeki karbonun büyük bir kısmı toprağa uygulandıktan sonraki kısa bir süre içerisinde mikroorganizmalar tarafından parçalandığından kaybolmaktadır. Belirli bir zaman sonra ayrışma stabil bir hale geçer ve başlangıçta biyokütle içerisinde var olan karbonun sadece küçük bir kısmı toprakta kalabilir. Bunun tam aksine, biyoçar içerisindeki karbon ayrışmaya karşı oldukça dirençlidir ve uzun dönemde toprakta biyokütle uygulamasına göre daha yüksek miktarda karbon depolanmaktadır (Brewer, 2012). Bu tez çalışmasında da yerel olarak bulunabilen 22 farklı biyokütleden elde edilen biyoçarların karbon içeriklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3). Biyoçarlar toplam C konsantrasyonu açısından birbirlerinden önemli düzeyde farklılık göstermektedirler. Piroliz işlemi ile oldukça yüksek karbon içeriğine sahip olan biyoçarların toplam karbon içeriği %35.90 (büyükbaş hayvan gübresi) ile %91,90 (çam talaşı) arasında değişirken toplam karbonun biyoçardaki toplam azota olan oranı da 42.6 (lahana) ile 345.4 (mahlep çekirdeği) arasında değişmiştir. Bir materyaldeki karbonun azota olan oranı (C:N) toprak ile karıştırıldığında organik materyalin toprağa mineral madde serbestleme yeteneğini göstermektedir. Biyokütlenin başlangıç özelliklerine bağlı olarak C/N oranı da büyük değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Biyokütlenin hammadde ve biyoçar hallerinin bazı kimyasal özellikleri

N=22	Birim	En Küçük	En Yüksek	Ortalama	Std. Spma	VK*	Yatık
Ham pH		4.49	9.13	6.721	1.157	17.21	0.002
Biyo pH		7.89	12.42	10.68	1.268	11.87	-0.698
Ham EC	dS m ⁻¹	1.58	13.67	6.97	3.429	49.19	0.398
Biyo EC	dS m ⁻¹	0.83	18.24	7.04	4.980	70.79	0.913
Biyo KDK	me100g ⁻¹	5.03	80.08	35.32	22.82	64.62	0.554
Biyo-C	%	35.90	91.90	68.15	15.71	23.06	-0.50
Biyo-N	%	0.22	1.17	0.62	0.28	46.06	0.10
Biyo-C:N		42.60	354.40	150.77	102.88	68.24	0.87

*VK: Varyasyon Katsayısı

Genel olarak odunsu materyallerden elde edilen biyoçarların C:N oranı sebze atıklarından elde edilen biyoçarların C:N oranına göre daha yüksektir (Çizelge 4.4). Karbon içeriğinin oldukça yüksek olması, toprağa uygulanan biyoçarın da çok uzun yıllar bozulmadan kalmasına katkı sağlamaktadır. Piroliz ile karbonca zenginleşen biyoçar materyalinde oluşan yapının mikroorganizmalar tarafından parçalanamayacak kadar yüksek bir hal aldığı belirtilmiştir (Vaccari ve ark., 2011). Brewer (2012), yapılan birçok çalışmayı esas alarak biyoçarın üretildiği koşullar ve uygulanan toprağa bağlı olarak yüzlerce yıl toprakta kalabileceğini bildirmektedir. Biyoçarın uzun yıllar parçalanmadan toprakta kalabiliyor olması birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve küresel iklim değişikliği ile ilgili çalışmalara konu edinmiştir. Lehmann ve ark. (2006) da tarım ve orman atıkları veya şehir atıklarından dolayı yıllık ortalama 0.16 Pg C/yıl depolanabileceğini belirtmişlerdir.

Çizelge 4.4. Biyoçarların toplam karbon, toplam azot ve karbon/azot oranları

Materyal	Karbon %	Azot %	C/N	KDK m.e. NA/100
Altın Çilek	52,21	0,65	80,98	78,20
Barbunya	75,8	0,75	101,32	28,79
Biber	67,36	0,49	138,93	79,50
Domates	65,11	0,42	155,11	49,50
Fasulye	78,96	0,71	111,30	74,69
Karnabahar	42,28	0,84	50,38	50,93
Lahana	39,4	0,92	42,62	43,40
Patlıcan	67,68	1,17	57,83	42,91
Ortalama	61,10	0,74	92,31	55,99
Çam Talaşı	91,89	0,26	354,61	13,87
Kavak Talaşı	83,62	0,38	222,58	5,77
Ceviz Kabuğu	85,43	0,32	267,20	20,62
Kuşburnu Çekirdeği	87,18	1,01	86,17	6,77
Mahlep Çekirdeği	79,39	0,22	362,18	33,66
Ortalama	85,50	0,44	258,55	16,14
Çam Yaprağı	70,47	0,23	306,39	11,78
Karışık Yaprak	61,75	0,32	191,61	22,78
Mandalina Kabuğu	75,67	0,86	88,00	15,07
Ortalama	69,30	0,47	195,33	16,54
Çeltik Kavuzu	61,73	0,45	137,49	15,21
Mısır Koçanı	88,34	0,29	304,86	10,01
Saman	71,75	0,91	78,88	39,40
Ortalama	73,94	0,55	173,74	21,54
Tavuk Gübresi	58,85	0,88	66,87	58,00
Koyun Gübresi	58,87	0,74	79,54	35,98
Büyükbaş Gübre	35,83	0,79	45,66	39,99
Ortalama	51,18	0,80	60,02	44,66

Biyoçarlarda piroliz işlemi sonucunda korunan toplam azot konsantrasyonu %0.22 (mahlep çekirdeği) ile %1.17 (patlıcan) arasında değişmektedir. Bu durum biyoçarlardaki toplam karbon zenginleşmesi ile zıtlıklar göstermektedir. Biyoçarın C:N oranının yüksek olması piroliz esnasında oluşan ve daha sonra ortamdaki uzaklaşan azot oksit oluşumu ile ilişkilendirilmiştir (Sheth ve Baghci, 2005; Steiner ve ark., 2010). Biyoçarın C:N oranının yüksek olması, uygulandıkları zaman azotun uzun süre immobilize olacağına da bir göstergesidir. Bu durumda C:N oranı yüksek olan biyoçarların besin elementlerince zengin olan kompost, sıvı hayvan gübresi (Ghezzehei ark., 2014; Wang ark., 2015; Cui ark., 2016) ve diğer materyaller ile muamale edilmesi C:N oranının düşürülmesine neden olacaktır. Bu ön işlem ile biyoçar karışımındaki besin elementlerini adsorbe edebilecek ve toprağa uygulandıklarında ürünlerin besin elementlerinden faydalanmaları da sağlanacaktır.

Biyoçarların kation değişim kapasiteleri (KDK) de diğer özellikler gibi yüksek değişkenlik göstermektedir. Materyalin KDK'sı onun K, Ca, Mg gibi pozitif yüklü besin elementlerinin tutabilme kapasitesinin bir göstergesidir. Aynı zamanda materyalin yüzey alanı ile eksi yük miktarının da bir göstergesi olan KDK, üretilen biyoçar materyallerinde 5.03 me 100g⁻¹ (kavak talaşı) ile 80.08 me 100g⁻¹ (biber) arasında değişmiştir. Tüm ürünlerin ortalama KDK değeri ise 35.32 me 100g⁻¹'dir. Bu değerler, topraklarda yaygın olarak bulunan kil minerallerinden kaolinite (2-15 me 100g⁻¹) göre daha yüksek olmakla birlikte montmorillonit (80-150 me 100g⁻¹) ve vermikulite (150-200 me 100g⁻¹) göre düşüktür (Moore ve Reynolds, 1989). Organik maddenin parçalanmaya karşı dirençli kısmı olarak tanımlanan humusun KDK'sı ise 180-300 me 100g⁻¹ olarak ifade edilmektedir. Kavak talaşı başta olmak üzere kuşburnu çekirdeği (ort. 6.77 me 100g⁻¹), mısır koçanı (ort. 10.01 me 100g⁻¹) ve çam talaşı biyoçarı (ort.13.87 me 100g⁻¹) da kil minerallerinin (70–250 cmol kg⁻¹) ve humik materyallerin (400–900 cmol kg⁻¹) (Sposito, 1989) genelinden daha düşük KDK değerlerine sahiptirler. Bu çalışmada elde edilen materyallerin KDK değerleri Yuan ve ark. (2011) tarafından kanola ve mısır sapı için rapor edilen değerlerden oldukça düşüktür (sırası ile 179 ve 304 cmol kg⁻¹). Biyoçar ile toprak ortamı arasındaki kimyasal etkileşimin çoğunlukla biyoçarın yüzey kimyası tarafından yönetildiğini ifade eden Brewer (2012), ligno-sellüloz içeriği yüksek olan biyokütlenin yüzey fonksiyonel gruplarının

çoğunlukla hidroksil (-OH), karboksilik asit (COOH) ve az miktarda da metil grupları (-CH₃) gibi alkil zincirlerinden oluştuğunu bildirmiştir. Bu nedenle, bu tür biyokütlenin polar, hidrofilik ve oldukça reaktif olduğu belirtilmiştir. Ancak, bu ürünler piroliz olduğunda oluşan biyoçarın yüzey kimyasında önemli değişiklikler olmaktadır. Oksijen, hidrojen ve azotta dahil olmak üzere yapıdaki fonksiyonel grupların çoğunluğu buharlaşmakta ve yerlerinde aromatik karbon yüzeyleri kalmaktadır. Yeni oluşan bu yüzeyler indirgenmiş (karbon Co oksidasyon durumunda), polar olmayan ve hidrofobik yapıdadırlar. Ancak, zamanla hava ile temas ettikleri vakit hidroksil (-OH), karbonil (-C=O) ve karboksilik asit (-COOH) gibi oksijen içeren yeni aromatik fonksiyonel grupları oluşturacak şekilde karbon oksitlenmektedir. Bu durumda, yüzey yeniden polar bir hal almaktadır. Oksijen içeren bu fonksiyonel gruplar toprağın organik maddesine benzerdir ve değişken yüklere sahiptirler. Lignin ve selüloz konsantrasyonu nispeten yüksek olan kavak talaşı, çam talaşı, kuşburnu çekirdeği ve mısır koçanı gibi biyokütlerden elde edilen biyoçarların düşük olan KDK değerleri, piroliz esnasında kaybolan reaktif yüzeyleri ile ilişkili olabilir. Toprağa uygulandıklarında, zamanla bu yüzeylerin yeniden oluşması muhtemeldir.

Yüksek KDK değerine sahip olan biyoçar malzemelerinin toprağa uygulanmaları özellikle kumlu toprakların bir kısım fonksiyonlarının daha iyi yerine getirmesine neden olacağından toprak kalitesinin iyileşmesine katkıda bulunurlar. Bir kısım biyoçarın KDK değerleri düşük olsa dahi, toprağa uygulama ile birlikte KDK değerinin zamanla artabileceği ifade edilmiştir. Bu konuda Cheng ve Lehmann (2008) meşe ağacından elde edilen biyoçarın fonksiyonel gruplarının asitliği ve negatif yük miktarının kontrollü aerobic inkübasyon koşullarında zamanla arttığını göstermişlerdir. Bu da zamanla materyalin KDK değerinin artmasına neden olmuştur.

Biyočarların pH değerleri hafif alkali (çam talaşı, 7.89) ile çok güçlü alkali (altın çilek, 12.42) arasında değişmektedir. Biyoçarların üretildikleri biyokütlerin pH değerlerinin ise 4.49 ile 9.12 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.5). Fidel (2012) biyoçarın alkaliliğinin organik fonksiyonel grupları, karbonatlar ve inorganik alkali bileşenlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen ve en düşük pH değerine sahip olan çam talaşının diğer talaşlar ile karıştırılması ile nispeten daha düşük pH değerine sahip biyoçarların elde edilmesi mümkün olabilecektir. Bununla birlikte, McLaughlin ve ark. (2009) üretilen biyoçarın atmosferik

karbondioksit ile teması ile birlikte zamanla pH'nın değişeceğini belirtmektedirler. Bu dönüşüm süreci içerisinde alkali hidroksitler karbonatları oluşturacak şekilde reaksiyona girdiklerinden pH zamanla düşeceği ifade edilmektedir.

Çizelge 4.5. Hammadde ve biyoçarların pH ve EC değerleri

Materyal	Hammadde		Biyoçar	
	pH	EC (ms/cm)	pH	EC (ms/cm)
Altın Çilek	7,0	6,15	12,42	14,79
Barbunya	7,97	11,89	10,52	5,72
Biber	8,48	7,42	11,4	4,29
Domates	7,18	5,59	11,61	6,64
Fasulye	7,85	4,94	12,18	8,75
Karnabahar	6,52	10,31	11,88	15,76
Lahana	6,08	12,4	11,84	18,24
Patlıcan	6,11	5,7	11,58	10,25
Ortalama	7,14	8,05	16,68	10,56
Çam Talaşı	5,08	1,58	7,89	5,06
Kavak Talaşı	6,91	2,92	8,77	1,44
Ceviz Kabuğu	5,97	5,05	9,63	3,55
Kuşburnu Çekirdeği	4,83	5,47	8,46	1,73
Mahlep Çekirdeği	5,84	2,88	11,59	3,59
Ortalama	5,73	3,58	9,27	3,07
Çam Yaprağı	6,11	4,37	9,51	0,83
Karışık Yaprak	6,92	10,28	10,57	6,45
Mandalina Kabuğu	4,49	13,67	10,92	8,11
Ortalama	5,84	9,44	10,33	5,13
Çeltik Kavuzu	6,8	5,46	10,2	3,29
Mısır Koçanı	5,88	9,81	9,21	9,3
Saman	7,57	3,37	10,88	2,63
Ortalama	6,76	6,21	10,10	5,07
Tavuk Gübresi	7,52	4,27	11,57	4,98
Koyun Gübresi	7,63	10,5	11,82	15,37
Büyükbaş Gübresi	9,13	9,35	10,57	4,01
Ortalama	8,09	8,04	11,32	8,12

Bitkisel üretimde verimliliği, toprakta biyo-çeşitliliği ve yararlı besin elementlerinin konsantrasyonlarını etkileyen en önemli toprak özelliklerinin başında toprağın pH'sı gelmektedir (Lee ve ark., 2013). Bu nedenle, alkali ve çok kuvvetli alkali pH'ya sahip olan biyoçarların yüksek pH'ya sahip topraklarda kullanımlarında oldukça dikkatli olunması gerekmektedir. Birçok durumda, biyoçarlar asit karakterli toprakların kalitelerinin artırılması amacı ile ıslah maddesi olarak kullanılmışlardır. Ancak, Joseph

ve ark. (2010) biyoçarlarda var olan bazik bölgelerin zamanla mikroorganizmaların etkisi ile oksidasyona uğradıklarında konsantrasyonlarını kaybettiklerini belirtmektedirler. Bu durumda, toprağa uygulanan biyoçarın toprakta geçici bir pH yükselmesine neden olacağı düşünülebilir.

Özellikle yüksek dozda biyoçar uygulamaları öncesinde uygulanacak olan biyoçarın EC değerlerinin belirlenmesi toprakta tuzluluk sorununun oluşmasının önüne geçmek adına önemlidir. Biyoçarların tuzlulukları genel olarak yüksektir ve EC değerleri 18.24 dSm⁻¹ (lahana) ile 0.83 dSm⁻¹ (çam yaprağı) arasında değişmektedir (Çizelge 4.6). Biyoçarların EC değerleri pH, KDK, TK, SN, P ve K ile istatistiksel olarak önemli düzeyde pozitif bir ilişkiye sahip iken SYA, TK ve C:N oranı ile önemli negatif ilişki olduğu tespit edilmiştir. Biyoçarların EC değeri ile en yüksek korelasyona sahip olan özellik ise biyoçarın K konsantrasyonu (korelasyon katsayısı, $r= 0.60$) olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 4.6).

Biyoçarların KDK değerleri ile tarla kapasitesi ve solma noktasındaki su içerikleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları ($r= 0.63$ ve 0.61), aralarında istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) pozitif ilişkilerin olduğunu göstermiştir. Çok ilginç bir şekilde biyoçarların SYA ile tarla kapasitesi ve solma noktası nem içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli negatif bir ilişkinin ($P<0.05$) olduğu görülmüştür. Bu durumun büyük bir ihtimal ile piroliz esnasında fonksiyonel grupların kaybı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Katyon değişim kapasitesinin tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem içeriği arasındaki yüksek korelasyon da biyoçarların SYA ile tarla kapasitesi ve solma noktası arasındaki negatif ilişkiyi desteklemektedir (Çizelge 4.6).

Biyoçarların SYA ile toplam karbon konsantrasyonları arasındaki pozitif korelasyon, ($P<0.05$, $r=0.74$) materyalin karbon içeriği arttıkça yüzey alanının arttığını göstermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda üretilen biyoçar materyallerinin karbon içeriği de yüksek olduğundan bu biyoçarların yüzey alanlarının da daha yüksek olacağı beklenmelidir. Hammaddelerden üretilen biyoçar miktarı ile SYA arasında istatistiksel olarak önemli negatif korelasyon ($P<0.01$) tespit edilmiştir. Lee ark. (2013) da çalıştıkları biyoçarlar içerisinde biyoçar verimliliği çok yüksek (% 45.9) olmasına rağmen kokopit biyoçarının yüzey alanının düşük ($13.7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) olduğunu rapor etmişlerdir.

Biyoçarların KDK değerleri ve SYA arasında istatistiksel olarak önemli negatif korelasyon ($P<0.01$, $r=-0.70$) bulunduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.6). Biyoçarın KDK değerinin artan SYA ile azalması da muhtemelen piroliz esnasında fonksiyonel grupların kaybı ile ilişkilidir. Gaskin ve ark. (2008), Singh ve ark. (2010) ve Kloss ve ark. (2012) da biyoçarların SYA'nın artması ile KDK değerlerinde önemli miktarda azalma olduğunu rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.6. Elde edilen Biyoçarların belirlenen bir kısım özellikleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon analizi sonuçları

	pH	EC	KDK	SYA	TK	SN	YSI	Biochar%
pH	1.00							
EC	0.69**	1.00						
KDK	0.83**	0.49**	1.00					
SYA	-0.65**	-0.52**	-0.70**	1.00				
TK	0.50**	0.48**	0.63**	-0.33*	1.00			
SN	0.53**	0.46**	0.61**	-0.32*	0.93**	1.00		
YSI	0.25	0.29	0.32*	-0.19	0.27	0.01	1.00	
Biyoçar%	0.36*	0.16	0.29	-0.63**	-0.09	0.03	-0.12	1.000

	pH	EC	KDK	SYA	TC	TN	C:N	P	K
C	-0.62**	-0.41**	-0.59**	0.74**	1.00				
N	0.33*	0.30	0.32*	-0.37*	-0.39**	1.00			
C:N	-0.51**	-0.45**	-0.50**	0.59**	0.69**	-0.90**	1.00		
P	0.63**	0.36*	0.78**	-0.71**	-0.62**	0.52**	-0.68**	1.00	
K	0.86**	0.60**	0.87**	-0.56**	-0.56**	0.44**	-0.58**	0.67**	1.0

** Gruplar arasındaki farklılık ** $P<0,01$ ve * $P<0,05$ düzeyinde önemlidir. EC: Elektriksel İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, SYA: Spesifik Yüzey Alanı, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, YSI: Yarayışlı Su İçeriği, TK: Toplam Karbon, TN: Toplam Azot, P: Fosfor, K: Potasyum

Biyoçarların yarayışlı su içeriği haricindeki tüm özellikleri ile pH değerleri arasında istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Spesifik yüzey alanı, toplam C ve C:N oranı pH'nın artışı ile azalırken, EC, KDK, tarla kapasitesi ve solma noktası nem içerikleri, yarayışlı P ve K konsantrasyonları ise artan pH ile önemli düzeyde artmaktadır.

Toprağa uygulanacak olan biyoçarlar için verimliliği en kısa süreçte etkileyecek özelliklerin yarayışlı fosfor (P) ve potasyum (K) gibi besin elementi içerikleri olduğu rapor edilmiştir (Rajkovich ve ark., 2012). Farklı hammaddelerden üretilen biyoçarların

P ve K konsantrasyonlarının birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklı oldukları Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi tespit edilmiştir ($P < 0.05$).

Çizelge 4.7. Biyokütlenin hammadde ve biyoçar hallerinin makro besin elementi konsantrasyonları

N=22	Birim	En Küçük	En Yüksek	Ortalama	Std. Spma	VK*	Yatıklık
Ham P	mg kg ⁻¹	243.42	8551.00	1686.73	1750.26	103.77	2.858
Biyo P	mg kg ⁻¹	15.24	25988.08	4132.45	5607.06	135.68	2.849
Ham K	mg kg ⁻¹	601.10	37152.00	12537.31	10466.63	83.48	0.690
Biyo K	mg kg ⁻¹	529.67	54264.08	21211.68	17724.87	83.56	0.356
Ham Ca	mg kg ⁻¹	356.40	63236.00	21589.71	18660.99	86.44	0.750
Biyo Ca	mg kg ⁻¹	588.85	174283.8	54894.38	52477.77	95.60	0.950
Ham Mg	mg kg ⁻¹	296.82	12000.00	4110.65	3178.99	77.34	0.640
Biyo Mg	mg kg ⁻¹	675.65	23438.24	9777.75	7185.45	73.49	0.313

*VK: Varyasyon Katsayısı

Hammadde ve bunlardan elde edilen biyoçar materyallerinin P ve K konsantrasyonlarının hesaplanan yüksek VK değerleri, konsantrasyonların oldukça geniş bir aralıkta değiştiklerini göstermektedir. Besin elementi açısından daha zengin olan sebze atıklarından elde edilen biyoçar materyalleri diğer biyoçarlara oranla daha yüksek mineral madde içeriğine ve daha düşük toplam C konsantrasyonuna sahiptirler. Yüksek düzeyde SiO₂ ve CaO konsantrasyonuna sahip olan biyoçar materyallerinin ise besin elementi konsantrasyonlarının düşük olduğu rapor edilmiştir (Bourke ark., 2007). Bu çalışmada çeltik kavuzunun SiO₂ ve CaO içerikleri belirlenmemiş olmasına rağmen, diğer tarımsal atıklara nazaran çeltik kavuzunun daha yüksek SiO₂ içeriğine sahip olduğu bilinmektedir (Chandrasekhar ve ark., 2003). Üretilen çeltik kavuzu biyoçarının en düşük P konsantrasyonuna, göreceli olarak düşük K konsantrasyonuna ve yüksek C:N oranına sahip olması (Çizelge 4.8) Bourke ve ark. (2007)’nin bulgularını desteklemektedir.

Çizelge 4.8. Hammadde ve biyoçarların makro besin elementi konsantrasyonları

Materyal	Hammadde				Biyοçar			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹				g kg ⁻¹			
Altın Çilek	1,64	36,52	18,42	4,38	3,92	52,03	26,32	9,66
Barbunya	0,96	6,27	13,59	4,66	3,08	9,29	38,64	14,86
Biber	2,05	20,68	17,23	7,65	6,56	44,40	49,58	21,54
Domates	1,43	10,82	27,16	6,90	3,69	34,31	86,23	17,51
Fasulye	2,33	24,52	30,01	7,70	5,61	36,54	64,17	15,65
Karnabahar	2,32	20,53	62,07	7,28	5,45	41,08	170,34	15,37
Lahana	1,65	16,58	54,08	5,55	4,01	44,54	169,49	15,37
Patlıcan	1,65	23,85	21,50	5,42	3,88	39,51	59,64	13,63
Ortalama	1,75	19,97	30,51	6,19	4,52	37,71	83,05	15,45
Çam Talaşı	0,31	0,61	1,61	0,31	0,31	0,63	1,07	0,76
Kavak Talaşı	0,26	2,10	3,85	0,82	0,57	3,20	10,59	2,10
Ceviz Kabuğu	1,64	4,43	5,31	0,80	0,92	5,30	12,26	1,90
Kuşburnu Çekirdeği	1,38	1,56	4,51	1,43	3,61	1,56	10,53	3,64
Mahlep Çekirdeği	1,13	22,42	5,86	2,29	0,90	28,44	13,08	3,67
Ortalama	0,94	6,22	4,22	1,13	1,26	7,83	9,51	2,41
Çam Yaprağı	0,71	1,61	29,69	2,40	0,72	1,45	47,08	8,36
Karışık Yaprak	1,04	4,96	33,56	5,72	2,13	6,05	98,40	11,93
Mandalina Kabuğu	0,74	9,75	11,02	1,66	0,59	12,93	13,70	2,82
Ortalama	0,83	5,44	24,76	3,26	1,15	6,81	53,06	7,70
Çeltik Kavuzu	0,32	4,29	1,31	0,72	0,05	3,89	1,11	1,30
Mısır Koçanı	0,40	6,78	0,38	0,57	0,39	9,53	1,70	1,19
Saman	0,57	14,14	5,43	1,32	1,30	27,59	16,82	4,82
Ortalama	0,43	8,40	2,37	0,87	0,58	13,67	6,54	2,44
Tavuk Gübresi	8,44	25,91	33,26	8,11	25,57	44,46	82,69	20,27
Koyun Gübresi	1,76	7,44	39,98	2,80	3,97	9,94	104,00	7,89
Büyükbaş Gübresi	4,38	10,38	55,17	11,95	13,48	9,98	130,24	22,85
Ortalama	4,87	14,58	42,80	7,62	14,34	21,46	105,64	17,00

Üretilen biyoçar materyalleri hammaddeye oranla 2 ile 4 kez daha yüksek P konsantrasyonuna sahiptir (Çizelge 4.8). Buna benzer bir sonuç rapor eden Gaskin ve ark. (2008) tavuk gübresi ve çam talaşından 500 °C'de piroliz ile elde edilen biyoçarların hammaddedeki P'un %60'ını ve yerfıstığı kabuğundan üretilen biyoçarın ise hammaddedeki P'un %100'ünü tutabildiğini göstermişlerdir. Cantrell ve ark. (2012) da besin elementi bakımından yüksek olan hayvan gübrelere üretilen biyoçarın da besin elementi açısından zengin olduklarını göstermiştir. Bu çalışmada üretilen biyoçarların P konsantrasyonları 0.05 g kg⁻¹ (çeltik kavuzu) ile 25.6 g kg⁻¹ (tavuk gübresi) arasında değişmiştir. Potasyum konsantrasyonları ise 0.63 g kg⁻¹ (çam talaşı) ve 52.03 g kg⁻¹ (altın çilek) arasındadır (Çizelge 4.8). Biyoçarların üretildikleri

hammaddelerdeki P ve K konsantrasyonlarına benzer şekilde yüksek P ve K konsantrasyonuna sahip olmaları birçok araştırmacı tarafından ifade edilen bir bulgudur (Chan ve Xu, 2009; Yuan ve ark., 2011).

Biyočardan besin elementlerinin yarayışlı hale geçmesi uygulanan biyoçarın bitki gelişimine etki eden en önemli özelliklerindendir. Biyoçar uygulandıktan kısa bir süre sonraki dönemde besin elementlerinin yarayışlı hale geçmesi çok hızlı gerçekleşmektedir. Bu durum uygulanan ortamda bir denge hali oluşuncaya kadar devam etmektedir (Nagy, 1995; Silber ve ark. 2010). Üretilen biyoçarların bir kısmının P ve K konsantrasyonları oldukça yüksektir ve uygulandıkları zaman yüksek P ve K konsantrasyonlarından dolayı mineral gübre kullanımına gerek kalmayacaktır. Elbette ki bu besin elementlerinin salıverilme hızları yarayışlılıklarını etkileyen en önemli unsur olduğu da unutulmamalıdır. Silber ve ark. (2010) 500 °C’de mısır saplarından üretilen biyoçarın pH’nın 8.9’dan 4.5’e düşmesi ile 24 saat içerisinde P serbest hızının istatistiksel olarak önemli düzeyde arttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, uygun dozda biyoçar uygulaması ile sezon boyunca bitkinin gelişimi için gerekli olan P’un tamamının karşılanmasının mümkün olduğunu ifade etmişlerdir. Silber ve ark. (2010) ilk 1 saat içerisinde toplam K’un ise 1/3’ünün (48.7 g kg⁻¹) serbest kaldığını rapor etmişlerdir. Elde edilen biyoçarlardan tavuk gübresinin 5 ve 10 ton ha⁻¹ uygulanması durumunda yaklaşık olarak 128 kg P ha⁻¹ ile 256 kg P ha⁻¹ ve 222.3 kg K ha⁻¹ ile 444.6 kg K ha⁻¹ verilmiş olacaktır. Bu çalışmada da sebze atıklarından üretilen biyoçar atıklarının potasyum konsantrasyonu Silber ve ark. (2010) tarafından rapor edilenlere benzerdir. Elde edilen yüksek K konsantrasyonuna sahip olan biyoçarların uygulanması ile birçok tarla bitkisi için gerekli olan potasyumun karşılanması mümkündür ve ticari gübreler ile ilave gübre verilmesine gerek kalmayacaktır. Bununla birlikte, Silber ve ark.(2010)’nın da belirttiği gibi biyoçar tarafından serbest kalacak olan K çok uzun süreli K gereksinimini karşılamaya yetmeyecektir. Sebze atıklarının aksine, odunsu biyokütleden üretilen biyoçarların K konsantrasyonu nispeten daha düşüktür ve ürünlerin K gereksinimini karşılamaktan çok daha uzaktır (Çizelge 4.8).

Çalışılan biyoçar materyallerinin mikro besin elementi konsantrasyonlarına ait özet istatistik Çizelge 4.9’da ve her bir biyoçar materyalinin mikro besin elementi kapsamı ise Çizelge 4.10’da verilmiştir. Buna göre biyoçarların mikro besin elementi kapsamının oldukça değişken oldukları yüksek VK değerlerinden anlaşılmaktadır.

Demir haricindeki tüm mikro besin elementlerinin VK değerleri biyoçar oluşumu ile birlikte yükselmiştir. Bu yüksek değişkenlik bir kısım biyoçarların diğerlerinden oldukça düşük veya oldukça yüksek mikro besin elementi içeriğini göstermektedir.

Çizelge 4.9. Biyokütlenin hammadde ve biyoçar hallerinin mikro besin elementi konsantrasyonları

N=22	Birim	En	En	Ortalama	Std. Spma	VK*	Yatıklık
		Küçük	Yüksek				
Ham Cu	mgkg ⁻¹	1.80	85.40	16.19	21.91	135.37	2.444
Biyo Cu	mgkg ⁻¹	9.02	573.05	48.45	93.39	192.75	4.561
Ham Mn	mgkg ⁻¹	15.90	549.40	108.36	121.68	112.30	2.082
Biyo Mn	mgkg ⁻¹	28.62	2134.77	276.41	389.96	141.08	3.208
Ham Fe	mgkg ⁻¹	73.10	1450.53	546.55	443.95	81.22	0.704
Biyo Fe	mgkg ⁻¹	288.13	6416.74	1865.51	1491.43	79.95	1.207
Ham Zn	mgkg ⁻¹	10.62	235.01	46.30	55.95	120.84	2.543
Biyo Zn	mgkg ⁻¹	22.64	832.43	128.85	193.08	149.85	2.826

*VK: Varyasyon Katsayısı

Çalışılan tüm biyokütlelerin mikro besin elementi kapsamı biyoçar haline geldiklerinde zenginleşmiştir. Bu zenginleşme yaklaşık 2 ile 4 kat arasındaki bir zenginleşmeye denk gelmektedir. En yüksek ortalama Zn içeren biyoçar materyali 761.9 mg kg⁻¹ ile biber ve en düşük ortalama Zn konsantrasyonu ise 24.5 mg kg⁻¹ ile çam talaşı biyoçarındadır (Çizelge 4.10). Karışık yapraklardan hazırlanmış olan biyoçar materyali en yüksek ortalama Cu konsantrasyonuna sahip iken (304.7 mg kg⁻¹) diğer bir çok besin elementinde olduğu gibi çam talaşı biyoçarı 9.2 mg kg⁻¹ ile en düşük ortalama Cu konsantrasyonuna sahiptir. Bakır konsantrasyonunda olduğu gibi Fe bakımından da en zengin biyoçar materyali karışık yapraklardan elde edilmiştir. Karışık yaprak biyoçarının ortalama Fe konsantrasyonu 5767.7 mg kg⁻¹ iken en düşük ortalama Fe konsantrasyonuna sahip olan materyalin 308.2 mg kg⁻¹ ile çeltik kavuzu olduğu tespit edilmiştir. Manganez açısından da en yüksek konsantrasyon karışık yaprak biyoçarı (ortalama Mn 1272.3 mg kg⁻¹) olmuştur. En düşük ortalama Mn konsantrasyonuna sahip biyoçar ise 32.9 mg kg⁻¹ ile mahlep çekirdeği olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.10. Hammadde ve biyoçarların mikro besin elementi konsantrasyonları

Materyal	Hammadde				Biyoçar			
	Cu mgkg ⁻¹	Mn mgkg ⁻¹	Fe mgkg ⁻¹	Zn mgkg ⁻¹	Cu mgkg ⁻¹	Mn mgkg ⁻¹	Fe mgkg ⁻¹	Zn mgkg ⁻¹
Altın Çilek	11,5	71,1	1146,7	27,4	22,9	153,0	3002,7	64,9
Barbunya	8,9	45,3	680,5	24,4	27,7	171,1	2549,3	61,5
Biber	22,9	116,2	510,1	191,9	61,5	413,6	2202,2	761,9
Domates	80,3	64,4	354,9	46,4	197,3	175,5	1673,3	121,5
Fasulye	14,0	78,9	754,2	36,2	33,4	195,0	2247,3	79,9
Karnabahar	6,8	102,2	876,9	26,2	12,2	176,0	1977,9	53,2
Lahana	4,2	54,7	519,7	18,0	11,0	119,0	1536,8	45,5
Patlıcan	14,3	53,2	484,3	38,1	26,1	104,9	1331,1	101,4
Ortalama	20,36	73,25	665,91	51,08	49,01	188,51	2065,08	161,23
Çam Talaşı	1,9	44,0	102,1	12,0	9,2	87,6	465,0	24,1
Kavak Talaşı	2,9	18,1	123,4	20,3	12,9	50,3	444,5	51,8
Ceviz Kabuğu	7,7	30,0	285,6	13,4	12,6	52,5	1125,2	32,8
Kuşburnu Çekirdeği	6,4	27,1	79,9	17,8	15,4	51,4	593,5	47,9
Mahlep Çekirdeği	6,4	22,3	259,9	11,0	13,7	32,9	650,0	26,4
Ortalama	5,06	28,3	170,18	14,90	12,76	54,94	655,64	36,60
Çam Yaprığı	5,8	80,1	1030,3	42,2	18,3	187,0	3041,9	77,9
Karışık Yaprak	17,0	215,3	1421,5	40,0	304,7	1272,3	5767,7	100,4
Mandalina Kabuğu	4,2	18,7	115,2	12,1	12,0	37,1	485,7	25,1
Ortalama	9,0	104,7	855,7	31,4	111,7	498,8	3098,4	67,8
Çeltik Kavuzu	4,1	145,5	102,8	16,7	11,5	253,1	308,2	36,6
Mısır Koçanı	4,3	17,3	92,5	42,2	13,8	41,1	321,4	84,5
Saman	4,7	60,1	136,0	12,6	16,3	137,3	851,7	65,4
Ortalama	4,4	74,3	110,4	23,8	13,9	143,8	493,8	62,2
Tavuk Gübresi	81,0	502,6	421,1	231,0	143,7	1169,8	1950,5	674,6
Koyun Gübresi	14,3	285,1	1086,3	54,6	29,2	572,5	3526,7	142,0
Büyükbaş Gübresi	33,3	332,2	1440,6	84,0	60,4	627,9	4998,6	155,6
Ortalama	42,9	373,3	982,7	123,2	77,8	790,1	3491,9	324,1

4.3. Biyoçar Gruplarının Özellikleri

Bu bölümde üretilen biyoçar hammaddelerinin doğası dikkate alınarak; sebze atıkları (N=8), ağaçsı yapıdaki hammaddeler (N=5), orman ürünü yapraklar (N=3), tarla

bitkileri atıkları (N=3) ve hayvan gübresi (N=3) şeklinde beş farklı gruba ayrılarak incelenmişlerdir. Belirlenen özellikler açısından ayrılan gruplar arasında farklılık olup olmadığını anlamak için yapılan tek yönlü varyans (ANOVA) ve homojenlik gruplaması testi (DUNCAN) sonuçları da Çizelge 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.

Farklı biyokütllerden hazırlanmış ve beş farklı grupta sınıflanan biyoçar materyallerinin bir kısım fiziksel özellikler açısından karşılaştırılmaları amacı ile yapılan tek yönlü varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Buna göre; biyoçar grupları verim, yüzey alanı, tarla kapasitesi ve solma noktası açısından birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P<0,01$) farklılık göstermişlerdir. Sadece yarayışlı su kapasiteleri açısından farklı gruplarda yer alan biyoçar materyallerinin birbirlerine benzer oldukları görülmüştür.

Çizelge 4.11. Çeşitli biyokütllerden hazırlanmış biyoçarların çeşitli fiziksel özellikler açısından karşılaştırılması amacı ile yapılan tek yönlü varyans analizi

		Kareler Toplamı	Serb. Der.	Kareler Ortalaması	F	Önem
Biyoçar Verimi	Gruplar arası	903,356	4	225,839	5,369	0,002
	Grup İçi	1640,419	39	42,062		
Yüzey Alanı	Gruplar arası	191725,182	4	47931,295	8,244	0,000
	Grup İçi	226743,235	39	5813,929		
Tarla Kapasitesi	Gruplar arası	45394,029	4	11348,507	20,538	0,000
	Grup İçi	21549,410	39	552,549		
Solma Noktası	Gruplar arası	51125,249	4	12781,312	21,448	0,000
	Grup İçi	23240,583	39	595,912		
Yarayışlı Su	Gruplar arası	128,491	4	32,123	0,333	0,854
	Grup İçi	3757,373	39	96,343		

** Gruplar arasındaki farklılık ** $P<0,01$ ve * $P<0,05$ düzeyinde önemlidir.

DUNCAN gruplamasına göre ise piroliz sonrası elde edilen ürün miktarı olarak tanımlanan “biyoçar verimi” açısından hayvan gübresi haricindeki biyoçar materyalleri aynı grupta yer almaktadırlar. Hayvan gübresi grubunda yer alan hammaddelerden üretilen biyoçar verimleri %31.83 ile %62.99 arasında değişmiş ve ortalama verim %43.88 olarak tespit edilmiştir. Biyoçar yüzey alanı olarak en düşük değere sahip ortalama sebze atıklarında ve en yüksek ortalama $309.0 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ile ağaçsı yapıdaki materyallerden elde edilen biyoçarlardan elde edilmiştir. Tarla kapasitesi ve solma

noktası nem içerikleri olarak farklı gruplarda yer almalarına rağmen biyoçarlar yarayırlı su içeriği kapsamı olarak aynı grupta yer almışlardır.

Çizelge 4.12. Çalışmada elde edilen biyoçar materyallerinin ürün gruplarına göre bir kısım fiziksel özellikleri

Ürün Grubu	Özellik	Birim	En Küçük	En Yüksek	Ort.	Std. Sapma	VK*	Yatı
Sebze Atıkları N=8	Verim	%	30.40	37.68	33.15a	2.24	6.75	0.78
	SYA	m ² g ⁻¹	39.17	309.63	153.2a	74.87	48.87	0.39
	TK	%	79.02	132.86	109.6a	17.83	16.27	-0.46
	SN	%	56.31	131.32	103.7a	24.36	23.50	-0.83
	YSI	%	0.35	25.51	9.59a	7.50	78.26	1.01
Ağaçsı Yapı N=5	Verim	%	19.68	34.04	28.57a	5.65	19.77	-0.76
	SYA	m ² g ⁻¹	266.92	456.94	309.0b	56.48	18.28	2.33
	TK	%	16.89	61.31	41.6b	16.74	40.29	-0.40
	SN	%	15.81	47.41	29.93b	12.57	42.00	0.20
	YSI	%	0.11	41.80	11.63a	15.35	131.96	1.54
Orman Ürünü Yaprakları N=3	Verim	%	30.86	37.07	33.58a	2.84	8.46	0.57
	SYA	m ² g ⁻¹	109.46	381.13	260.6b	114.8	44.07	-0.45
	TK	%	30.49	62.62	50.7b	15.64	30.85	-0.94
	SN	%	17.57	56.19	43.27b	19.43	44.92	-0.97
	YSI	%	2.51	12.91	7.44a	4.07	54.71	0.51
Tarla Bitkileri N=3	Verim	%	27.12	37.83	32.04a	4.84	15.09	0.39
	SYA	m ² g ⁻¹	210.25	410.79	274.7b	95.51	34.77	1.00
	TK	%	63.01	168.10	116.9a	46.70	39.95	-0.14
	SN	%	60.18	163.03	110.5a	44.80	40.53	0.13
	YSI	%	0.01	14.12	6.37a	5.17	81.18	0.43
Hayvan Gübresi N=3	Verim	%	31.83	62.99	43.88b	14.97	34.12	0.87
	SYA	m ² g ⁻¹	151.28	211.37	172.7a	21.93	12.70	1.12
	TK	%	32.55	81.49	56.5b	20.63	36.50	-0.13
	SN	%	28.83	58.62	47.84b	14.08	29.42	-0.95
	YSI	%	1.35	25.93	9.04a	10.72	118.68	1.11

** Gruplar arasındaki farklılık **P<0,01 ve *P<0,05 düzeyinde önemlidir

Aynı sütunda yer alan harfler homojenlik testine (DUNCAN) göre p<0,05 düzeyinde benzerlik ve farklılığı göstermektedir

Farklı biyokütlelerden hazırlanmış ve beş farklı grupta sınıflanan biyoçar materyallerinin bir kısım kimyasal özellikler açısından karşılaştırılmaları amacı ile yapılan tek yönlü varyans analizi sonuçları Çizelge 4.13'de verilmiştir. Buna göre, tüm

biyoçar grupları birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P<0,01$) farklılık göstermişlerdir.

Çizelge 4.13. Çeşitli biyokütlelerin hammadde ve biyoçar hallerinin bazı kimyasal özellikler açısından karşılaştırılması amacı ile yapılan tek yönlü varyans analizi

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	KarelerOrt alaması	F	Önem
Ham pH	Gruplar arası	28,790	4	7,197	9,757	0,000
	Grup İçi	28,769	39	0,738		
Ham EC	Gruplar arası	180,493	4	45,123	5,413	0,001
	Grup İçi	325,119	39	8,336		
Biyoçar pH	Gruplar arası	41,117	4	10,279	14,330	0,000
	Grup İçi	27,976	39	0,717		
Biyoçar EC	Gruplar arası	407,068	4	101,767	6,018	0,001
	Grup İçi	659,495	39	16,910		
Biyoçar KDK	Gruplar arası	14304,594	4	3576,149	17,234	0,000
	Grup İçi	8092,598	39	207,503		

** Gruplar arasındaki farklılık ** $P<0,01$ ve * $P<0,05$ düzeyinde önemlidir.

Grupların kimyasal özelliklerinin homojenliklerinin karşılaştırdığı DUNCAN gruplamasında ise, en yüksek ortalama pH değerine (8.09) sahip olan hammadde hayvan gübresi ayrı bir grupta yer alırken tarla bitkileri ve sebze atıkları (7.15 ve 6.75) diğer gruplardan daha düşük ortalama pH değerine sahip olduklarından ayrı bir grupta yer almışlardır (Çizelge 4.14). Hammadde olarak en düşük pH değerine sahip olan materyaller ise odunsu yapıdaki orman ürünleri ile meyve kabuğu ve ağaç yapraklarının (5.73 ve 5.84) yer aldığı grup olmuştur. Piroliz işlemi sonunda bu materyallerden üretilen biyoçarların pH'larına bakıldığında da 3 grup olduğu görülmüştür. Ağaçsı yapıdaki materyallerden üretilen biyoçarlar en düşük ortalama pH değerine sahip iken (9.27) sebze atığı kökenli biyoçarlar ise 11.7 ile en yüksek pH değerine sahip olmuşlardır. Katyon değişim kapasitesi diğer gruplardaki biyoçarlardan yaklaşık iki ile üç kat daha yüksek olan sebze atıkları ve hayvan gübresi biyoçarları (56.0 ve 44.7 me/100g) diğer materyallerden ayrı bir grupta yer almışlardır.

Çizelge 4.14. Biyoçar materyallerinin ürün gruplarına göre bir kısım kimyasal özellikleri

Ürün Grubu	Özellik	Birim	En Küçük	En Yüksek	Ort.	Std. Sapma	VK*	Yatır
Sebze Atıkları N=8	Ham pH		6.08	8.48	7.15a	0.86	12.06	0.16
	Bio pH		10.52	12.42	11.7a	0.55	4.74	-0.93
	Ham EC	dS m ⁻¹	4.94	12.40	8.05a	2.92	36.30	0.52
	Bio EC	dS m ⁻¹	4.29	18.24	10.6a	4.97	47.10	0.31
	Bio KDK	me/100g	22.39	80.08	56.0a	18.61	33.23	0.06
	Bio C	%	39.40	79.00	61.14ab	14.33	23.45	-0.43
	Bio N	%	0.42	1.17	0.74bc	0.23	31.10	0.40
	Bio C:N		42.60	156.40	92.00a	40.04	43.53	0.30
Orman Ürünleri N=5	Ham pH		4.83	6.91	5.73b	0.77	13.51	0.41
	Bio pH		7.89	11.59	9.27b	1.36	14.67	1.03
	Ham EC	dS m ⁻¹	1.58	5.47	3.58b	1.54	42.99	0.10
	Bio EC	dS m ⁻¹	1.44	5.06	3.07b	1.41	45.78	0.13
	Bio KDK	me/100g	5.03	35.40	16.1b	11.10	68.78	0.76
	Bio C	%	79.40	91.90	85.50d	4.34	5.07	0.11
	Bio N	%	0.22	1.01	0.44a	0.31	70.05	1.63
	Bio C:N		86.20	354.40	255.86b	103.76	40.55	-0.79
Orman Ürünü Yaprakları N=3	Ham pH		4.49	6.92	5.84b	1.11	18.95	-0.52
	Bio pH		9.51	10.92	10.3c	0.66	6.35	-0.73
	Ham EC	dS m ⁻¹	4.37	13.67	9.44a	4.21	44.59	-0.43
	Bio EC	dS m ⁻¹	0.83	8.11	5.13bc	3.41	66.52	-0.77
	Bio KDK	me/100g	8.69	23.57	16.5b	5.51	33.34	-0.01
	Bio C	%	61.20	75.70	69.13bc	6.57	9.50	-0.45
	Bio N	%	0.23	0.86	0.47ab	0.30	64.84	0.89
	Bio C:N		87.60	310.90	196.03b	99.99	51.01	0.14
Tarla Bitkileri N=3	Ham pH		5.88	7.57	6.75a	0.76	11.21	-0.15
	Bio pH		9.21	10.88	10.1bc	0.75	7.44	-0.30
	Ham EC	dS m ⁻¹	3.37	9.81	6.21b	2.94	47.29	0.55
	Bio EC	dS m ⁻¹	2.63	9.30	5.07bc	3.29	64.79	0.93
	Bio KDK	me/100g	8.16	41.76	21.5b	14.16	65.74	0.86
	Bio C	%	61.70	88.30	73.90cd	12.02	16.26	0.40
	Bio N	%	0.29	0.91	0.55abc	0.29	52.34	0.71
	Bio C:N		78.70	306.90	174.10b	106.09	60.93	0.71
Hayvan Gübre Atıkları N=3	Ham pH		7.52	9.13	8.09c	0.80	9.94	0.95
	Bio pH		10.57	11.82	11.3a	0.59	5.23	-0.81
	Ham EC	dS m ⁻¹	4.27	10.50	8.04a	2.97	36.88	-0.84
	Bio EC	dS m ⁻¹	4.01	15.37	8.12ac	5.63	69.37	0.94
	Bio KDK	me/100g	34.12	60.14	44.7a	11.25	25.19	0.53
	Bio C	%	35.90	58.90	51.20a	11.85	23.15	-0.97
	Bio N	%	0.74	0.88	0.80c	0.06	7.90	0.46
	Bio C:N		45.20	79.40	63.73a	15.46	24.25	-0.41

*Ortalama da verilen harfler gruplar arasındaki %5 önem düzeyindeki farklılığı göstermektedir
Aynı sütunda yer alan harfler homojenlik testine (DUNCAN) göre p<0,05 düzeyinde benzerlik ve farklılığı göstermektedir

Farklı biyokütlelerden hazırlanmış ve beş farklı grupta sınıflanan biyoçar materyallerinin makro besin elementi konsantrasyonları açısından karşılaştırmaları amacı ile yapılan tek yönlü varyans analizi sonuçları Çizelge 15'da verilmiştir. Buna göre, tüm biyoçar grupları birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde (P<0,01)

farklılık göstermişlerdir. Ayrılan grupların belirlenen özellikleri açısından farklılıkları olup olmadığını görmek için yapılan DUNCAN gruplaması sonuçları Çizelge 15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Çeşitli biokütlelerden elde edilen biyoçar materyalinin makro besin elementi konsantrasyonları açısından karşılaştırılması amacı ile yapılan tek yönlü varyans analizi

		Kareler Toplamı	Serbest derece	Kareler Ortalaması	F	Önem
Ham P	Gruplar arası	79852268,81	4	19963067,20	15,01	0,000
	Grup İçi	51874257,34	39	1330109,16		
Ham K	Gruplar arası	1703776406,72	4	425944101,68	5,53	0,001
	Grup İçi	3006886419,26	39	77099651,78		
Ham Ca	Gruplar arası	9262348576,18	4	2315587144,04	15,81	0,000
	Grup İçi	5711645825,97	39	146452457,08		
Ham Mg	Gruplar arası	299466099,547	4	74866524,887	21,613	0,000
	Grup İçi	135091379,960	39	3463881,537		
Biyοçar P	Gruplar arası	839654844,398	4	209913711,100	15,982	0,000
	Grup İçi	512225535,589	39	13133988,092		
Biyοçar K	Gruplar arası	7734811479,463	4	1933702869,866	13,060	0,000
	Grup İçi	5774545102,270	39	148065259,033		
Biyοçar Ca	Gruplar arası	62785535858,100	4	15696383964,525	11,004	0,000
	Grup İçi	55632880454,598	39	1426484114,220		
Biyοçar Mg	Gruplar arası	1675487153,987	4	418871788,497	29,995	0,000
	Grup İçi	544632335,905	39	13964931,690		
Biyοçar C	Gruplar arası	5725,019	4	1431,255	11,412	,000
	Grup İçi	4891,411	39	125,421		
Biyοçar N	Gruplar arası	,942	4	,236	3,605	,014
	Grup İçi	2,549	39	,065		
Biyοçar C/N	Gruplar arası	226712,325	4	56678,081	9,678	,000
	Grup İçi	228405,091	39	5856,541		

** Gruplar arasındaki farklılık **P<0,01 ve *P<0,05 düzeyinde önemlidir.

Sebze atıklarının biyoçarları içerisinde en yüksek değişebilirliğe sahip makro besin elementinin kalsiyum olduğu görölmektedir. Fosfor açısından en zengin biyoçar hayvan gübre atıklarında (14340,9 mg/kg) en düşük fosfor ise tarla bitkileri grubundaki biyoçar materyallerinden elde edilmiştir (582,39 mg/kg). Mikro element konsantrasyonları bakımından (çinko hariç) en yüksek konsantrasyona sahip biyoçar materyali çoğunlukla orman yaprakları grubunda görölmüştür. Çinko bakımından en zengin biyoçar materyalleri hayvan gübresi ve sebze atıkları grubunda iken en düşük konsantrasyona sahip biyoçarlar diğer bir çok mikroelementte olduğu gibi ağaçsı yapıya sahip olan biyoçarlardan elde edilenler olmuştur (Çizelge 4.18). Makro element konsantrasyonlarında çoğunlukla hayvan gübresi atıkları grubundan elde edilen biyoçarların daha yüksek besin elementi konsantrasyonuna sahip olduğu görölmüştür (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Çalışmada elde edilen Biyoçar materyallerinin ürün gruplarına göre bir kısım makro besin elementi konsantrasyonları

Ürün Grubu	Özellik	Birim	En Küçük	En Yüksek	Ort.	Std. Sapma	VK*	Yat
Sebze Atıkları N=8	Ham P	mg kg ⁻¹	949.93	2388.95	1752.41a	451.91	25.8	-0.22
	Ham K	mg kg ⁻¹	1937.60	37152.00	19935.6a	10830.23	54.3	-0.32
	Ham Ca	mg kg ⁻¹	11880.0	63236.00	30505.7ab	17381.65	57.0	1.02
	Ham Mg	mg kg ⁻¹	4176.10	7959.80	6191.9a	1332.63	21.5	-0.21
	Bio P	mg kg ⁻¹	3012.86	7428.08	4550.06a	1243.37	27.3	0.77
	Bio K	mg kg ⁻¹	9280.47	54264.08	37713.0a	12496.50	33.1	-1.48
	Bio Ca	mg kg ⁻¹	18632.7	174283.8	83051.4ab	54777.01	66.0	0.90
	Bio Mg	mg kg ⁻¹	9099.12	23313.84	15201.3a	3394.65	22.3	0.55
Orman Ürünleri N=5	Ham P	mg kg ⁻¹	243.42	1750.68	945.17ab	595.17	63.0	-0.16
	Ham K	mg kg ⁻¹	601.10	24444.00	6223.40b	8692.48	139.7	1.73
	Ham Ca	mg kg ⁻¹	1579.50	5900.00	4226.37c	1570.80	37.2	-0.89
	Ham Mg	mg kg ⁻¹	296.82	2495.50	1128.31b	726.35	64.4	0.82
	Bio P	mg kg ⁻¹	227.32	3834.50	1262.30a	1270.47	100.7	1.60
	Bio K	mg kg ⁻¹	529.67	29953.26	7824.72b	11017.75	140.8	1.70
	Bio Ca	mg kg ⁻¹	797.97	13374.09	9505.7c	4612.90	48.5	-1.48
	Bio Mg	mg kg ⁻¹	675.65	3909.41	2412.7b	1186.37	49.2	-0.13
Orman Ürünü Yaprakları N=3	Ham P	mg kg ⁻¹	697.58	1068.04	831.16ab	166.71	20.1	0.95
	Ham K	mg kg ⁻¹	1552.20	9904.80	5440.23b	3657.45	67.2	0.29
	Ham Ca	mg kg ⁻¹	10136.0	33598.00	24755.2a	10817.51	43.7	-0.86
	Ham Mg	mg kg ⁻¹	1597.43	5773.80	3261.25c	1931.89	59.2	0.84
	Bio P	mg kg ⁻¹	544.82	2348.93	1143.92a	776.19	67.9	1.08
	Bio K	mg kg ⁻¹	1334.38	12929.62	6810.05b	5215.24	76.6	0.30
	Bio Ca	mg kg ⁻¹	11022.1	114126.0	53060.2a	39575.07	74.6	0.62
	Bio Mg	mg kg ⁻¹	2580.46	12230.47	7703.72c	4125.10	53.6	-0.34
Tarla Bitkileri N=3	Ham P	mg kg ⁻¹	315.03	576.28	429.89b	113.33	26.4	0.58
	Ham K	mg kg ⁻¹	4045.20	14428.00	8403.23b	4591.91	54.6	0.72
	Ham Ca	mg kg ⁻¹	356.40	5954.50	2374.0c	2428.63	102.3	0.92
	Ham Mg	mg kg ⁻¹	539.50	1327.84	870.84b	358.58	41.2	0.75
	Bio P	mg kg ⁻¹	15.24	1638.26	582.39a	617.82	106.1	1.16
	Bio K	mg kg ⁻¹	3879.86	27977.60	13671.0bc	11076.27	81.0	0.75
	Bio Ca	mg kg ⁻¹	588.85	16870.56	6543.3c	7973.13	121.9	0.96
	Bio Mg	mg kg ⁻¹	1133.14	5322.12	2437.61b	1875.01	76.9	1.08
Hayvan Gübre Atıkları N=3	Ham P	mg kg ⁻¹	1738.57	8551.00	4859.91c	3013.96	62.0	0.35
	Ham K	mg kg ⁻¹	7066.00	26389.00	14562.9ab	8889.68	61.0	0.88
	Ham Ca	mg kg ⁻¹	29112.4	55443.00	42802.9b	10421.42	24.3	0.26
	Ham Mg	mg kg ⁻¹	2663.10	12000.00	7620.40a	4108.54	53.9	-0.27
	Bio P	mg kg ⁻¹	3959.58	25988.08	14340.9b	9691.11	67.6	0.20
	Bio K	mg kg ⁻¹	9396.61	45661.65	21461.9c	17833.55	83.1	0.97
	Bio Ca	mg kg ⁻¹	81142.9	130724.3	105642b	21376.51	20.2	0.16
	Bio Mg	mg kg ⁻¹	7720.72	23438.24	17004.1a	7161.70	42.1	-0.84

** Gruplar arasındaki farklılık **P<0,01 ve *P<0,05 düzeyinde önemlidir.

Aynı sütunda yer alan harfler homojenlik testine (DUNCAN) göre p<0,05 düzeyinde benzerlik ve farklılığı göstermektedir

Farklı biyokütlelerden hazırlanmış ve beş farklı grupta sınıflanan biyoçar materyallerinin mikro besin elementi konsantrasyonları açısından karşılaştırmaları amacı ile yapılan tek yönlü varyans analizi sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir. Buna

göre; biyoçar grupları hammadde Cu, hammadde Mn, hammadde Zn, biyoçar Mn, biyoçar Fe açısından birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P<0,01$) farklılık göstermişlerdir. Buna ek olarak biyoçar Cu ve biyoçar Zn açısından farklı gruplarda yer alan biyoçar materyalleri ise $P<0,05$ düzeyinde farklı oldukları görülmüştür. Ayrılan grupların mikro element konsantrasyonları açısından farklılıkları olup olmadığını görmek için yapılan DUNCAN gruplaması sonuçları Çizelge 4.18'da verilmiştir.

Çizelge 4.17. Çeşitli biokütlelerden elde edilen biyoçar materyalinin mikro besin elementi açısından karşılaştırılması amacı ile yapılan tek yönlü varyans analizi

		Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem
Ham Cu	Gruplar arası	6940,11	4	1735,03	4,94	0,003
	Grup İçi	13709,86	39	351,54		
Ham Mn	Gruplar arası	512076,19	4	128019,05	40,08	0,000
	Grup İçi	124557,64	39	3193,79		
Ham Fe	Gruplar arası	4500322,59	4	1125080,65	11,04	0,000
	Grup İçi	3974497,70	39	101910,20		
Ham Zn	Gruplar arası	50061,24	4	12515,31	5,77	0,001
	Grup İçi	84555,11	39	2168,08		
Biyçoçar Cu	Gruplar arası	49004,92	4	12251,23	1,47	0,231
	Grup İçi	325988,97	39	8358,69		
Biyçoçar Mn	Gruplar arası	2599160,47	4	649790,12	6,43	0,000
	Grup İçi	3939756,69	39	101019,40		
Biyçoçar Fe	Gruplar arası	51605156,38	4	12901289,10	11,42	0,000
	Grup İçi	44042559,70	39	1129296,40		
Biyçoçar Zn	Gruplar arası	379597,73	4	94899,43	3,03	0,029
	Grup İçi	1223467,87	39	31370,97		

** Gruplar arasındaki farklılık ** $P<0,01$ ve * $P<0,05$ düzeyinde önemlidir

Çizelge 4.18. Çalışmada elde edilen Biyoçar materyallerinin ürün gruplarına göre bir kısım mikro besin elementi konsantrasyonları

Ürün Grubu	Özellik	Birim	En Küçük	En Yüksek	Ort.	Std. Sapma	VK*	Yat
Sebze Atıkları N=8	HamCu	mg kg ⁻¹	4.10	85.40	20.34a	24.10	118.5	2.29
	HamMn	mg kg ⁻¹	45.00	120.20	73.23ab	24.15	33.0	0.74
	HamFe	mg kg ⁻¹	334.00	1162.10	665.88a	250.28	37.6	0.78
	HamZn	mg kg ⁻¹	17.18	194.26	51.09a	55.67	109.0	2.39
	BioCu	mg kg ⁻¹	9.02	229.32	49.02a	61.07	124.6	2.39
	BioMn	mg kg ⁻¹	99.19	491.52	188.51ab	97.61	51.8	2.37
	BioFe	mg kg ⁻¹	1236.6	3028.32	2065.08a	544.14	26.3	0.31
	BioZn	mg kg ⁻¹	42.22	832.43	161.20ab	237.25	147.2	2.51
Orman Ürünü N=5	HamCu	mg kg ⁻¹	1.80	9.00	5.02a	2.47	49.1	-0.07
	HamMn	mg kg ⁻¹	15.90	46.10	28.25a	9.52	33.7	0.83
	HamFe	mg kg ⁻¹	73.10	438.80	170.15b	124.41	73.1	1.38
	HamZn	mg kg ⁻¹	10.62	20.31	14.91a	3.78	25.4	0.45
	BioCu	mg kg ⁻¹	9.06	16.24	12.79a	2.28	17.8	-0.52
	BioMn	mg kg ⁻¹	28.62	90.58	54.94a	19.04	34.6	0.94
	BioFe	mg kg ⁻¹	423.48	1324.29	653.66c	286.77	43.9	1.69
	BioZn	mg kg ⁻¹	22.64	54.28	36.58a	12.00	32.8	0.31
Orman Ürünü Yaprakları N=3	HamCu	mg kg ⁻¹	4.10	17.80	8.95a	6.26	70.0	0.94
	HamMn	mg kg ⁻¹	17.10	225.60	104.67b	90.20	86.2	0.60
	HamFe	mg kg ⁻¹	107.40	1426.33	855.69a	601.35	70.3	-0.60
	HamZn	mg kg ⁻¹	11.95	42.40	31.43a	15.04	47.9	-0.95
	BioCu	mg kg ⁻¹	11.54	573.05	111.63a	226.22	202.7	2.44
	BioMn	mg kg ⁻¹	35.77	2134.77	498.83b	813.16	163.0	2.30
	BioFe	mg kg ⁻¹	465.93	6416.74	3098.4ab	2401.2	77.5	0.20
	BioZn	mg kg ⁻¹	23.04	109.45	67.84a	35.09	51.7	-0.48
Tarla Bitkileri N=3	HamCu	mg kg ⁻¹	4.10	4.90	4.33a	0.30	6.9	1.70
	HamMn	mg kg ⁻¹	15.90	154.30	74.30ab	58.68	79.0	0.56
	HamFe	mg kg ⁻¹	77.40	146.70	110.42b	24.25	22.0	0.20
	HamZn	mg kg ⁻¹	12.40	43.43	23.84a	14.36	60.3	0.89
	BioCu	mg kg ⁻¹	11.51	19.20	13.86a	2.84	20.5	1.65
	BioMn	mg kg ⁻¹	40.00	264.39	143.84a	95.32	66.3	0.18
	BioFe	mg kg ⁻¹	288.13	1134.80	493.76c	330.54	66.9	1.99
	BioZn	mg kg ⁻¹	31.12	86.49	62.14a	21.92	35.3	-0.43
Hayvan Gübresi N=3	HamCu	mg kg ⁻¹	14.00	83.60	42.83b	30.81	71.9	0.66
	HamMn	mg kg ⁻¹	273.00	549.40	373.28c	106.86	28.6	1.09
	HamFe	mg kg ⁻¹	395.80	1450.53	982.64a	465.74	47.4	-0.47
	HamZn	mg kg ⁻¹	53.93	235.01	123.20b	84.58	68.7	0.87
	BioCu	mg kg ⁻¹	28.81	144.62	77.76a	53.06	68.2	0.67
	BioMn	mg kg ⁻¹	544.92	1218.85	790.03c	297.33	37.6	0.97
	BioFe	mg kg ⁻¹	1876.9	5012.39	3491.93b	1377.4	39.4	-0.06
	BioZn	mg kg ⁻¹	127.73	681.23	324.08b	271.76	83.9	0.96

** Gruplar arasındaki farklılık **P<0,01 ve *P<0,05 düzeyinde önemlidir.

Aynı sütunda yer alan harfler homojenlik testine (DUNCAN) göre p<0,05 düzeyinde benzerlik ve farklılığı göstermektedir

Bir kısım analizler hem hammaddelerde hem de elde edilen biyoçarlarda yapılmıştır. Biyoçar öncesi ve sonrası özelliklerin benzer olup olmadıklarını belirleyebilmek amacı ile yapılan eşleştirilmiş t-testi sonuçları Çizelge 4.19'de

verilmiştir. Bu özelliklerden sadece EC değerleri hammadde ve biyoçar için istatistiksel olarak önemli bir farklılık göstermemiştir. Yarayışlı bakır %5 düzeyinde ve diğer tüm özellikler %1 önem düzeyinde farklı bulunmuştur. EC değerlerinin ortalaması hammadde halinde 6.97 dS m⁻¹ iken bu değer 500 °C'de gerçekleştirilen piroliz işleminden sonra sadece 7.04 dS m⁻¹ olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Hammadde ve biyoçar özellikleri arasında gerçekleştirilen eşleştirilmiş t-testi sonuçları

		Ortalama	Ortalama Farkları	Korelasyon	Korelasyon Önem	Eşleştirilmiş t testi
Eş 1	Ham pH	6,72	-3,96136	0,43	0,00	0,00
	Biyo pH	10,68				
Eş 2	Ham EC	6,97	-0,06364	0,57	0,00	0,92
	Biyo EC	7,04				
Eş 3	Ham P	1686,73	-2445,71531	0,984	0,00	0,00
	Biyo P	4132,44				
Eş 4	Ham K	12537,30	-8674,37532	0,861	0,00	0,00
	Biyo K	21211,68				
Eş 5	Ham Ca	21589,71	-33304,67272	0,966	0,00	0,00
	Biyo Ca	54894,38				
Eş 6	Ham Mg	4110,65	-5667,09879	0,958	0,00	0,00
	Biyo Mg	9777,75				
Eş 7	Ham Cu	16,19	-32,25994	0,487	0,00	0,02
	Biyo Cu	48,45				
Eş 8	Ham Mn	108,35	-168,05073	0,764	0,00	0,00
	Biyo Mn	276,41				
Eş 9	Ham Fe	546,55	-1318,96346	0,94	0,00	0,00
	Biyo Fe	1865,51				
Eş10	Ham Zn	46,30	-82,54728	0,97	0,00	0,00
	Biyo Zn	128,85				

*P<0.05 %5 düzeyinde önemlidir. **P<0.01 %1 düzeyinde önemlidir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Tokat ve çevresinden kolaylıkla temin edilmesi mümkün olan çoğunluğu tarımsal atıklardan oluşan yirmi iki farklı biyokütleden 500 °C sıcaklıkta biyoçarlar üretilmiştir. Her bir biyoçarın çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin karakterizasyonu yapılmış ve tartışılmıştır. Çeşitli tarımsal atıklardan üretilen biyoçarların karakterizasyonu, bir kısım biyoçarların ürün verimi ve toprak verimliliğinin sürdürülebilir olarak sağlanması adına birçok fayda sağlayabilme potansiyeli olduklarını göstermiştir. Üretilen biyoçarların özellikleri arasında görülen büyük farklılıklar hammaddelerin kendi özelliklerinin biyoçarın temel tarımsal özellikleri üzerine oldukça önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Eğer bir biyokütle yüksek düzeyde fosfor veya potasyum konsantrasyonuna sahip ise, bu hammaddelerden üretilen biyoçarlarda yüksek fosfor ve potasyum konsantrasyonuna sahip olmaktadır. Üretilen biyoçarların tamamı bazik karakterde olduklarından dolayı, özellikle asit karakterli toprakların ıslahında etkili bir şekilde kullanılabilme potansiyelleri bulunmaktadır. Bununla birlikte, toprak katkı maddesi olarak kullanıldıkları takdirde biyoçarların özelliklerinde var olan farklılıklar toprak fonksiyonları ve ürünlerin gelişimi üzerine etkilerinde çok farklı olmasına neden olacaktır.

Türkiye topraklarının düşük kation değişim kapasitesi (özellikle de yüksek kum içeriğine sahip topraklar) ve yetersiz organik madde içeriği dikkate alındığında, yüksek kation değişim kapasitesine sahip olan biyoçarların uygulanması Türkiye’de toprakların kalitelerinin iyileştirilmesi için önemli avantajlar sağlayacağı düşünülebilir. Kation değişim kapasitesi düşük olan biyoçarların dahi toprağa uygulanması, biyoçarların toprak ortamında zamanla değişimi ile ortaya çıkacak negatif yüklerinden dolayı, toprakların kation değişim kapasiteleri üzerine olumlu katkı yapması beklenebilir. Bu çalışmada kullanılan biyoçarların hemen hemen tamamının yüzey alanı tarım arazilerindeki toprakların yüzey alanlarından daha yüksektir. Bu nedenle, katkı maddesi olarak uygulandıklarında biyoçarlar toprağın yüzey alanında net bir artışa neden olacaklardır. Kumlu toprakların nispeten düşük olan yüzey alanlarından dolayı sınırlı olan su ve besin elementlerini tutma yetenekleri yüksek yüzey alanına sahip biyoçarların uygulanması ile göreceli olarak artacaktır.

Bu çalışmanın sonuçları hammadde tipine bağılı olmakla birlikte bazı biyoçarların besin elementi kaynağı olma ve toprağın kalitesini iyileştirme potansiyelleri olduğunu göstermiştir. Tavuk gübresi gibi besin elementi yüksek olan hammaddelerden üretilen biyoçarların da besin elementi konsantrasyonları yüksek olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., Wessolek, G. 2013. Impact of biyoçar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202, 183-191.
- Atkinson, C., J. Fitzgerald, Hipps, N. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biyoçar application to temperate soils: A review. *Plant Soil* 337:1–18.
- Baccile, N., Laurent, G., Babonneau, F., Fayon, F., Titirici, M., Antonietti, M. 2009. Structural characterization of hydrothermal carbon spheres by advanced solid-state MAS ¹³C NMR investigations. *Journal of Physical Chemistry* 113 (22). 9644–9654.
- Baldock, J. A. and Smernik, R. J. 2002. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood, *Organic Geochemistry*, 33:1093-1109
- Boehm, H. P. 1994. Some Aspects of the Surface Chemistry of Carbon Blacks and Other Carbons, *Carbon*, 32:759–769.
- Bourke, J., Manley-Harris, M., Fushimi, C., Dowaki, K., Nunoura, T., Antal Jr., M.J., 2007. Do all carbonized charcoals have the same chemical structure? 2. A model of the chemical structure of carbonized charcoal. *Ind. Eng. Chem. Res.* 46, 5954–5967.
- Bremner, J. M., 1965. Total nitrogen. In C. A. Black (ed.) *Methods of soil analysis*, Part. 2. *Agronomy* 9:1149-1178.
- Brewer, C. E. 2012. *Biyoçar characterization and engineering*, Dissertation–University of Iowa.
- 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 biyoçar. *Bioresource technology*, 107, 419-428.
- Chan, K.Y. Xu, Z. 2009. Biyoçar: Nutrient properties and their enhancement. In *Biyoçar for Environmental Management: Science and Technology*; Lehmann, J.; Joseph, S., Eds.; Earthscan: London.
- Chandrasekhar, S.A.T.H.Y., Satyanarayana, K.G., Pramada, P.N., Raghavan, P., Gupta, T.N. 2003. Review processing, properties and applications of reactive silica from rice husk-an overview. *Journal of materials science*, 38(15), 3159-3168. ISO 690.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E. and Burton, S.D. 2008. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient', *Journal of Geophysical Research*, 113:G02027
- Cerato, A. 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
- Chun, Y., Sheng, G., Chiou, C., Xing, B., 2004. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars. *Environmental Science and Technology* 38 (17):4649–4655.
- Cui, X., Hao, H., Zhang, C., He, Z., Yang, X. 2016. Capacity and mechanisms of ammonium and cadmium sorption on different wetland-plant derived biyoçars. *Science of The Total Environment*, 539, 566-575.
- Downie, A., Crosky, A., Munroe, P. 2009. Physical properties of biochar. *Biochar for environmental management: Science and technology*, 13-32.
- Fidel, R.B., 2012. *Evaluation and Implementation of Methods for Quantifying Organic and Inorganic Components of Biyoçar Alkalinity*. M.Sc., Thesis, Paper 12752, Iowa State Univ.

- Free, H.F., McGill, C.R., Rowarth, J.S., Hedley, M.J. 2010. The effect of biyoçars on maize (*Zea mays*) germination. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 53(1):1-4.
- Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K. C., Bibens, B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biyoçar for agricultural use. *Trans. Asabe*, 51(6), 2061-2069.
- Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biyoçar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*, 102(2), 623-633.
- Ghezzehei, T. A., Sarkhot, D. V., Berhe, A. A. 2014. Biyoçar can be used to capture essential nutrients from dairy waste water and improve soil physico-chemical properties. *Solid Earth*, 5(2), 953-962.
- Gray, M., Johnson, M. G., Dragila, M. I., Kleber, M. 2014. Water uptake in biyoçars: The roles of porosity and hydrophobicity. *Biomass and bioenergy*, 61, 196-205.
- Guo. Y., Yang. S., Yu. K., Zhao. J., Wang. Z., Xu. H. 2002. The preparation and mechanism studies of rice husk based porous carbon. *Materials Chemistry and Physics* 74(3):320-323.
- 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.
- Joseph, S. D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C. H., Hook, J. van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B.P., Lehmann, J., Foidi, N., Smernik, R.J., Amonette, J. E. (2010). An investigation into the reactions of biyoçar in soil. *Soil Research*, 48(7), 501-515.
- Kacar, B. ve İnal, A. 2008. Bitki Analizleri . Nobel Yayın No:1241, 892 s.
- Kinney, T. J., Masiello, C. A., Dugan, B., Hockaday, W. C., Dean, M. R., Zygourakis, K., Barnes, R. T. 2012. Hydrologic properties of biyoçars produced at different temperatures. *Biomass and Bioenergy*, 41, 34-43.
- Klass DL. 1998. Biomass for renewable energy, fuels and chemicals. San Diego, CA: Academic Press.
- Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, R., Ottner, F., Liedtke, V., Schwanninger, M., Gerzabek, M.H., Soja, G. 2012. Characterization of slow pyrolysis biyoçars: effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biyoçar properties. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 990-1000.
- Klute, A., 1986. Water Retention: Laboratory Methods. *Methods of Soil Analysis*. Part1. 2nd Ed. Agronomy 9. Am. Soc. Agron., 635-660, Madison.
- Laine, J., Simoni S., Calles R. 1991. Preparation of activated carbon from coconut Shell in a small scale cocurrent flow rotary kiln. *Chemical Engineering Communications* 99(1):15-23.
- Laird, D.A. 2008. The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal*, 100(1), 178-181.
- 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), 443-449.
- Lee, Y., Park, J., Ryu, C., Gang, K. S., Yang, W., Park, Y. K., Jung, J., Hyun, S. 2013. Comparison of biyoçar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500 C. *Bioresource technology*, 148, 196-201.

- Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – a review, in: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Kluwer Academic Publishers, pp. 395–419.
- Lehmann, J., da Silva, Jr., J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., 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*, vol 249:343-357.
- Lehmann, J., Liang, B., Solomon, D., Lerotic, M., Luizão, F., Kinyangi, F., Schäfer, T., Wirick, S. and 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., Joseph, S. 2009. Biyoçar for Environmental Management: An Introduction. Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.). *Biyoçar for environmental management: science and technology*. Earthscan. pp. 1-12.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J. and Neves, E. G. (2006) 'Black carbon increases cation exchange capacity in soils', *Soil Science Soc. of America Journal*, vol 70, pp1719–1730.
- McLaughlin, H., Anderson, P. S., Shields, F. E., Reed, T. B. 2009. All biyoçars are not created equal, and how to tell them apart. In *Proceedings, North American Biyoçar Conference*, Boulder, Colorado.
- Moore, D.M., Reynolds, R.C. 1989. *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals* (Vol. 378). Oxford: Oxford University Press.
- Nagy, K. L. 1995. Dissolution and precipitation kinetics of sheet silicates. In *Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals*; White, A. F.; Brantly, S. L., Eds.; Soil Science Society of America: Madison.
- Ogawa, M., Okimori, Y., Takahashi, F., 2006. Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 11, 429-444.
- Özçimen, D., Ersoy-Meriçboyu, A. 2010. Characterization of biyoçar and bio-oil samples obtained from carbonization of various biomass materials. *Renewable Energy*, 35(6), 1319-1324.
- Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R., Lehmann, J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biyoçars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3), 271-284.
- Sharma, R., Wooten, J., Baliga, V., Lin, X., Geoffrey Chan, W., Hajaligol, M., 2004. Characterization of chars from pyrolysis of lignin. *Fuel* 83 (11). 1469–1482.
- Sheth, A.C., Bagchi, B., 2005. Investigation of nitrogen-bearing species in catalytic steam gasification of poultry litter. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 55, 619–628.
- Silber, A., Levkovitch, I., Graber, E.R., 2010. pH-dependent mineral release and surface properties of corn straw biyoçar: agronomic implications. *Environmental Science & Technology* 44, 9318–9323.
- Singh, B., Singh, A., Cowie, 2010. Characterization and evaluation of biyoçars for their application as soil amendment. *Aust. J. Soil Res.* 48:516–525.

- Sohi, S.Loez-Capel, E., Krull, E., Bol, R., 2009. Biyoçar's roles in soil and climate change: A review of research needs. CSIRO Land and Water Science Report 05/09, 64 pp
- Spokas, K. A., Reicosky, D. C. 2009. Impacts Of Sixteen Different Biyoçars On Soil Greenhouse Gas Production. *Annals Of Environmental Science*, 3(1), 4.
- Sposito, G. 1989. *The chemistry of soils*. Oxford Univ. Press, New York.
- Steiner, C., Das, K.C., Melear, N., Lakly, D., 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *J. Environ. Qual.* 39 (4), 1236–1242.
- Steiner, C., Das, K.C., Melear, N., Lakly, D., 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biyoçar. *J. Environ. Qual.* 39 (4), 1236–1242.
- Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity, and exchange coefficients. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical properties* (3rd ed.). ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI.
- Tabatabai, M.A. 1994. Soil enzymes. Pp:775-833 in R.W. Weaver, S. Angle, P.Bottomley, D. Bezdicek, S. Smith, A. Tabatabai, A. Wollum, editors. *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties*. Soil Sci. Society of America, Segoe, Wisconsin, USA.
- Titirici. M., Antonietti. M.. 2009. Chemistry and materials options of sustainable carbon materials made by hydrothermal carbonization. *Chemical Society Reviews* 39 (1). 103–116.
- Ueno, M., Kawamitsu, Y., Komiya, Y., Sun, L., 2007. Carbonisation and gasification of bagasse for effective utilisation of sugarcane biomass. *International Sugar Journal* 110, 22-26.
- Vaccari, F. P.,Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., Miglietta, F. 2011. Biyoçar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 231-238.
- Vartapetyan. R., Voloshchuk. A. 1995. The mechanism of the adsorption of water molecules on carbon adsorbents. *Russian Chemical Reviews* 64 (11). 985–1001.
- Yaman S. 2004. *Pyrolysis Of Biomass To Produce Fuels And Chemical Feedstocks*. *Energy Convers Manag* 45:651–71.
- Yu, X.Y., Ying, G.G., Kookana, R.S., 2006. Sorption and Desorption Behaviors of Diuron in Soils Amended with Charcoal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 8545–8550.
- Yuan, J. H., Xu, R. K., Zhang, H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource technology*, 102(3), 3488-3497.
- Wang, B., Lehmann, J., Hanley, K., Hestrin, R., Enders, A. 2015. Adsorption and desorption of ammonium by maple wood biochar as a function of oxidation and pH. *Chemosphere*, 138, 120-126.
- Winsley, P. 2007. *Biyoçar and Bioenergy Production for Climate Change Mitigation*. *New Zealand Science Review* 64.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ömer BAYRAM
Doğum Tarihi ve Yeri : 1992/Ürgüp-NEVŞEHİR
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-mail : omerbyrm7@gmail.com

Eğitim Bilgileri

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi	-
Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi	2013
Lise	Özel Kardelen Koleji	2007