

## Farklı Sıcaklıkta Üretilen Biyokömür Uygulamasının Mısır Bitkisinin Verimi, Besin Elementi Alımı ve Karbon Mineralizasyonuna Etkisi\*

Ahu KUTLAY<sup>1\*</sup>, Ahmet DEMİRBAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Koyulhisar MYO, Ormancılık Bölümü, Sivas/TÜRKİYE

<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Sivas/TÜRKİYE

\*Bu çalışma CÜBAP birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: KMYO-006

Alınış tarihi: 13 Ağustos 2024, Kabul tarihi: 8 Kasım 2024

Sorumlu yazar: Ahu KUTLAY, e-posta: akutlay@cumhuriyet.edu.tr

### Öz

**Amaç:** Bu çalışmada Türkiye’de önemli düzeyde üretimi yapılan fındığın (*Coryllus sp.*) nuks tipindeki meyvelerinin kupulularından iki farklı sıcaklıkta (400 °C - 500 °C) elde edilen biyokömürün, % 0, % 1, % 2, % 3 ve % 4 (w/w) oranında toprağa ilave edilerek mısır bitkisinin kuru madde üretimi, % C, % N, C/N, K, P, Fe, Mn, Zn, Cu içerikleri ve topraktaki % karbon mineralizasyon oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

**Materyal ve Yöntem:** Çalışmada Ordu ili Mesudiye ilçesinden toplanan fındık kupuluları, Sivas Koyulhisar ilçesinden alınan tarım toprakları kullanılmıştır. Tarım alanlarından alınan topraklarda, tekstür tipi Bouyoucos yöntemiyle, pH’sı ve total tuz içerikleri pH-metre ve Wheatstone köprüsü yöntemiyle, kireç içerikleri Scheibler kalsimetresiyle, tarla kapasitesi 1/3 atm’lik basınçlı tencere, organik C içeriği Anne metoduyla, toplam N içeriği Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir. Sera koşullarında tesadüfi parselleri deneme desenine göre, plastik saksılarda 5 farklı dozda ve temel gübreleme, iki farklı sıcaklıkta üretilen biyokömür kullanılarak mısır bitkisi yetiştirilmiştir. Bitki örneklerinde % C Anne metodu, N Kjeldahl destilasyon yöntemi, P kolorimetrik spektrofotometre cihazında, K, Mg, Zn, Mn, Fe ve Cu ise Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre yöntemiyle belirlenmiştir. Topraklarda sera denemesine paralel olarak biyokömür ve temel gübreleme uygulamaları kontrollü koşullarda 28 °C, ortam sıcaklığında, tarla kapasitesinin %80’i nem içeriğinde 70 gün süreyle CO<sub>2</sub> respirasyon metodu kullanılarak karbon mineralizasyonları belirlenmiş

ve literatürdeki formüller ile karbon mineralleşme oranları hesaplanmıştır.

**Araştırma Bulguları:** Araştırma bulguları, en yüksek kuru madde üretiminin 14.57 g/saksı ile %1 BD400 (400 °C’de üretilmiş Biyokömür) uygulamasında elde edildiğini göstermiştir. Azot konsantrasyonunda %3 BD500 (500 °C’de üretilmiş Biyokömür), fosfor konsantrasyonunda %2 BD400, potasyum konsantrasyonunda ise %4 BD400 uygulamaları önemli uygulamalar olmuştur. Karbon mineralizasyonu bakımından 400 °C’de üretilen biyokömürün %0, %1, %2, %3, %4 dozları ve temel gübreleme uygulamalarında, kontrol grubundan (% 0 BD) sadece % 3 BD400 uygulamasının düşük olduğu diğer uygulamaların ise kontrol grubuna göre biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Toprakların 70 günlük karbon mineralizasyonlarına göre kontrol grubunda % 0 BD 1581 µg CO<sub>2</sub>-C g kuru toprak<sup>-1</sup> iken; 400 °C’de üretilen biyokömür uygulamalarında %1, %2, %3, %4 dozlarında sırasıyla 1628, 1639, 1572, 1603 µg CO<sub>2</sub>-C gkt<sup>-1</sup>; 500 °C’de üretilen biyokömürün %1, %2, %3, %4 dozlarında sırasıyla 1563, 1528, 1500, 1522 µg CO<sub>2</sub>-C gkt<sup>-1</sup> ve temel gübre uygulamasında ise 1039 µg CO<sub>2</sub>-C gkt<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

**Sonuç:** Genel olarak, mısır bitkilerinin makro element konsantrasyonlarına 400 °C’de üretilen biyokömür uygulamaları, mikro element konsantrasyonlarına ise 500 °C’de üretilen biyokömür uygulamaları daha fazla etkiye bulunmuştur. 500 °C’de üretilen biyokömürün %1, %2, %3, %4 dozları ve temel gübreleme uygulamalarında toprakların karbon mineralizasyonu, kontrol grubundan düşük olarak bulunmuştur. Uygulamada toprak karbonlarının

mineralleşme oranlarında ise 400 °C'deki oranlar 500 °C'dekine göre daha yüksek olup her iki derecede elde edilen biyokömürün eklenmesi sonucunda en yüksek toprak karbon mineralleşme oranı kontrol grubunda belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Biyokömür, besin elementi alımı, karbon mineralizasyonu, mısır

### The Effect of Biochar Application Produced at Different Temperatures on Yield, Nutrient Uptake, and Carbon Mineralization of Maize Plants

#### Abstract

**Objective:** In this study, it was aimed to determine the dry matter production, % C, % N, % C/N, C/N, K, P, Fe, Mn, Zn, Cu contents and % carbon mineralization rates in the soil of maize plant by adding biochar obtained from the cupules of hazelnut (*Coryllus* sp.) fruits at two different temperatures (400 °C - 500 °C) at the rate of 0 %, 1 %, 2 %, 3 % and 4 % (w/w) to the soil.

**Materials and Methods:** Hazelnut cupulas collected from Mesudiye district of Ordu province and agricultural soils from Koyulhisar district of Sivas were used in the study. In the soils taken from the agricultural fields, texture type was determined by Bouyoucos method, pH and total salt content measured by pH-meter and Wheatstone bridge method, lime content determined by Scheibler calcimeter, field capacity by 1/3 atm pressure cooker, organic C and total N contents values analyzed by Anne and Kjeldahl methods, respectively. Under greenhouse conditions, maize plants were grown in plastic pots according to randomized plot experiment design. Biochar obtained from 2 different temperatures 400 and 500 °C were applied 5 different doses (0%, 1%, 2%, 3%, 4% w/w) and basic fertilization was done. In plant samples, % C was determined by Anne method, N by Kjeldahl distillation method, P by colorimetric spectrophotometer, K, Mg, Zn, Mn, Fe and Cu by Atomic Absorption Spectrophotometer. In parallel with the greenhouse experiment, biochar and basic fertilization applications in soils under controlled conditions (28 °C, humidified at 80% of field capacity, 70 days), carbon mineralization was determined using CO<sub>2</sub> respiration method and carbon mineralization rates were calculated with the formulas in the literature.

**Results:** The research results showed that the highest dry matter production was obtained in the 1% BD400 application at 14.57 g/pot. Applications of 3% BD500 in nitrogen concentration, 2% BD400 in phosphorus concentration, and 4% BD400 in potassium concentration were important applications. In general, biochar applications produced at 400 °C had a greater effect on macro element concentrations of maize plants, and biochar applications produced at 500 °C on micro element concentrations. 0%, 1%, 2%, 3%, 4% doses of biochar produced at 400 °C and basic fertilization applications, other applications where only 3% BD400 application is lower than the control group (0% BD) are slightly higher than the control group. determined to be high. Carbon mineralizations were 0 % BD 1581 µg CO<sub>2</sub>-C g dried soil<sup>-1</sup> in the control group; 1628, 1639, 1572, 1603 µg CO<sub>2</sub>-C g dried soil<sup>-1</sup>; 1563, 1528, 1500, 1522 µg CO<sub>2</sub>-C g dried soil<sup>-1</sup> in 1%, 2%, 3%, 4% doses of biochar produced at 500 °C and 1039 µg CO<sub>2</sub>-C g<sup>-1</sup> in basic fertilizer application, respectively.

**Conclusion:** In general, biochar applications produced at 400 °C had more effect on macro element concentrations of maize plants, while biochar applications produced at 500 °C had more effect on micro element concentrations. As for the mineralization rates of soil carbon, in practice, the mineralization rates at 400 °C are higher than those at 500 °C, and as a result of the addition of biochar obtained at both degrees, the highest soil carbon mineralization rate was determined in the control group.

**Keywords:** Biochar, nutrient uptake, carbon mineralization, maize

#### Giriş

Mera ve orman alanlarında yangınlara maruz kalan topraklar doğal biyokömür içermektedir (Skjemstad ve ark., 2002). Odunun kesilip yakılması sonucu oluşan siyah karbonun toprağa eklenmesi geçmişten günümüze kadar farklı kıtalarda yerli kültürler tarafından kullanılmış, pirojenik karbon değişikliklerinin toprakta olumlu etkileri gözlemlenmiştir (Joseph ve ark., 2015). Biyokömür bitki veya hayvan biyokütlesinin pirolizi ile 300-600 °C'de ısıtma yoluyla organik materyalin oksijensiz ortamlarda yüksek sıcaklıklarda yanması olayıdır (Bridgwater, 1994). Piroliz olayı hem kimyasal hem de fiziksel durumun geri dönüşümsüz olarak değişmesine neden olur. Uygulanan sıcaklığa göre 400-500 °C'de daha fazla biyokömür üretilirken daha

yüksek sıcaklıklarda  $>700\text{ }^{\circ}\text{C}$  ise daha fazla sıvı ve gaz ürünler üretilmektedir. Yavaş piroliz işleminde üretilen biyokömür miktarı % 50 civarındadır (Winsley, 2007). Organik materyalin pirolizi sonucu oluşan biyokömürün besin elementi içeriği kullanılan maddenin bileşimine (Abdullah ve ark., 2010; Yip ve ark., 2010), nem içeriğine (Yip ve ark., 2007), işleminin yapıldığı koşullara (Hossain ve ark., 2011) ve sonrasında tabi tutulduğu koşullara (Azargohar ve Dalai, 2008) bağlı olarak değişmektedir. Biyokömür üretiminde ağaç budama kalıntıları (iğde, kivi, çam odun yongası, çay), meyve kabuk ve çekirdekleri (antep fıstığı dış kabuğu, fındık kabuğu, ceviz kabuğu, yer fıstığı kabuğu), hasat artıkları (mısır sapı, pirinç samanı, dallı darı, badem, tütün ), hayvan gübreleri (tavuk, domuz) belediye atıkları (kanalizasyon çamuru) (Liu ve ark., 2011; Githinji, 2014; Yang ve ark., 2015; Brantley ve ark., 2015; Subedi ve ark., 2016; Ippolito ve ark., 2016; Saygan ve Aydemir, 2016; Yaman ve ark., 2019; Çelik ve ark., 2019; Manirakiza ve Şeker, 2020; Arın ve Coşkan, 2021) gibi farklı atık/artıklar kullanılabilir. Biyokömürün kalitesini yüksek tutunma, katyon değişim kapasitesinin yüksek olmasına ve hareketli materyallerin (katran, reçine gibi) düzeylerinin düşük olmasına bağlıdır (Glaser ve ark., 2002).

Biyokömürün sahip olduğu geniş yüzey alanı ve gözenekli yapısından dolayı toprak kalitesini iyileştirme ve toprak kirliliğini giderme gibi farklı uygulama alanları açısından araştırılması önemlidir (Korkmaz ve ark., 2023). Biyokömürün karbonlu katı yapısı, mikro gözenekli olması, yüksek pH'lı olması ile katyon değişim kapasitesine olan olumlu etkilerinden dolayı çevre yönetimi için alternatif olarak kullanılabilir (Xu ve ark., 2013; Zhang ve ark., 2013; Ahmad ve ark., 2014; Lue ve ark., 2014). Biyokömür, toprağın su tutma kapasitesini, pH, katyon değişim kapasitesini (CEC), yüzey sorpsiyon kapasitesini, besin içeriğini ve baz doygunluğunu artırma potansiyeline sahiptir. Toprak karbonunu etkilemekte ve toprağın fiziko-kimyasal ve biyolojik içeriğine de katkıda bulunmaktadır (Glaser ve ark., 2002; Lehmann ve ark., 2003; Ibrahim ve ark., 2013). Biyokömür, ağır metallerle, organik ve inorganik kirlenimler tarafından kontamine edilen toprağın iyileştirilmesinde (Tsang ve Yip, 2014; Zhang ve ark., 2014; He ve ark., 2015) ve besinlerin sağlık kalitesini arttırmakta çevresel açıdan önemli olarak görülmektedir.

Tarımsal alanlarda biyokömür uygulaması ile topraktaki organik karbonun daha yavaş ayrışması

toprak toplam organik madde miktarının artmasına neden olduğu ve biyokömür uygulamasının küresel iklim değişikliğini yavaşlatıcı etkisinin olabileceği belirtilmektedir. Ayrıca toprağa biyokömür uygulamasının sera gazı olan diazot monoksit ( $\text{N}_2\text{O}$ ) salınımını azaltabildiği de rapor edilmektedir (Huang ve ark., 2023).

Tüm dünyada tarım arazilerinden besin elementlerinin yıkanması çevre üzerine olumsuz etkilerinden dolayı önemli bir sorun olarak görülmektedir (Günel ve ark., 2017). Biyokütlenin yüksek sıcaklıkta fiziksel ve kimyasal olarak farklılaşması ile elde edilen biyokömürün besin elementlerinin yıkanmasını azaltabildiği, gübre kullanım etkinliğini ve toprak kalitesini arttırdığı rapor edilmiştir (Sika ve Hardie, 2014; Mukherjee ve ark., 2014; Hardie ve ark., 2015; Kanthle ve ark., 2016).

Biyokömür kullanımında; yüksek organik karbon içerikli, çok uzun sürede çözünen, çok ince yapılı, organik kaynaklı özelliklerinden faydalanılarak tarımda gereksiz mineral gübre kullanımını azaltmak ve ürünlerdeki verimi arttırmak temel amaçtır (Namlı ve ark., 2017). Biyokömürün toprakta katkı yapıcı bir madde olarak kullanılması, aynı zamanda iklim değişikliğinin olası etkilerini hafifletme, toprak verimliliği ve tarımsal üretimi artırma olmak üzere olduğu ileri sürülmüştür (Lehmann ve ark., 2006; Ogawa ve ark., 2006; Glaser ve ark., 2009). Biyokömür uçucu maddeler ve mineral maddelerin dengelenmesi ile % 65 ile % 90'a kadar C içerir ve uygulanan farklı yöntemlere bağlı olarak sıcaklığın artması ile biyokömür oluşumu kütlece azalırken C içeriği artar (Namlı ve ark., 2017). Tarımsal atıkların gazlaştırılmasından elde edilen biyokömürlerle yapılan birçok araştırmalarda biyokömürlerin tarımsal amaçlı kullanımının birçok faydasının olduğu belirlenmiştir (Shackley ve ark., 2012; Akça ve Namlı, 2015; Hansen ve ark., 2015; Ahmed ve ark., 2017). Küresel ısınmanın azaltılması, atık yönetimi, biyoenerji üretimi, toprak sağlığı ve toprağın verimlilik özellikleri içerisinde yer almaktadır (Ogawa ve ark., 2006; Lehmann ve ark., 2006; Lehmann, 2007a,b; Mathews, 2008; Laird, 2008; Sohi ve ark., 2010; Atkinson ve ark., 2010; Woolf ve ark., 2010).

Biyokömür olarak bilinen organik materyallerin belirli bir sıcaklıkta karbonlaştırılması olayı (Sohi ve ark., 2010) son zamanlarda tarım bilimcileri tarafından C bağlama konusunda en çok çalıştıkları konuların başında gelmektedir.

Topraklara biyokömür uygulaması toprak organik karbonuna direkt ve dolaylı yollardan etki etmektedir. Dolaylı yollardan, biyokömür uygulaması biomass üretimini arttırarak agro-ekosistemlerin devamlılığını sağlarken, direk olarak ise toprak organik karbonunun dayanıklılık süresini arttırarak toprak organik karbonun stabil kalmasını ve bu sürecin uzamasına katkı sağlamaktadır. (Lorenz ve Lal, 2014).

Bütün bu bilgiler ışığı altında, yapılan bu çalışmada; 16 il, 120 ilçede üretimi yapılan fındık bitkisinin dış kupula kısımlarından (kavsak veya zuruf) 400 °C ve 500 °C'de elde edilen biyokömürün farklı dozlarda uygulanmasının mısır bitkisinin verimi ile besin elementleri alımı ve karbon mineralizasyonu üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

### Materyal ve Yöntem

#### Sera Denemeleri Kurulumu

Sera denemeleri, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Tarım Uygulama ve Araştırma Merkezinde yer alan seralarda gerçekleştirilmiştir. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 3'er tekrarlı olarak kurulmuştur. Denemede plastik saksılar kullanılmış olup her saksıya 3000 g toprak konulmuştur. Denemede temel gübreleme (TG) olarak 200 mg kg<sup>-1</sup> N (CaNO<sub>3</sub>.4H<sub>2</sub>O formunda), 100 mg kg<sup>-1</sup> P ve 125 mg

kg<sup>-1</sup> K (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> formunda), 2.5 mg kg<sup>-1</sup> Zn (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O formunda) ve 2.5 mg kg<sup>-1</sup> Fe (Fe-EDTA formunda) uygulanmıştır.

#### Toprak Materyali ve Analizi

Sivas-Koyulhisar ilçesinde yer alan tarım alanlarından 0-20 cm derinliğinden alınan topraklar kullanılmıştır. Denemede kullanılan toprağın tekstürü (Bouyoucos, 1951), pH'sı ve toplam tuz içerikleri 1:2.5'lik toprak-su karışımında pH-EC metre ile (Jackson, 1958; United States Salinity Laboratory Staff, 1954), kireç içerikleri Scheibler kalsimetresi (Çağlar, 1949), tarla kapasitesi (TK, %) 1/3 atm'lik basınçlı tencere ile (Klute, 1986) belirlenmiştir.

Deneme toprağının organik C içeriği (% C) yaş yakma (Anne metodu) ile belirlenip (Duchaufour, 1970), toplam N içeriği (% N) modifiye Kjeldahl yöntemiyle (Bremner, 1965)'e göre yapılmıştır. Topraklardaki karbon mineralizasyonu 70 gün süresince farklı aralıklarla CO<sub>2</sub> respirasyonu metodu ( BaCl<sub>2</sub>+NaOH) ile HCl ile titre edilerek, kontrollü koşullarda (28 °C, tarla kapasitesinin % 80 oranında nemlendirilerek) yapılmıştır (Alef, 1995). % Karbon mineralleşme oranları: (CO<sub>2</sub>-C/uygulanan C+ toprak C x100) formülü kullanılarak hesaplanmıştır (Schaefer,1967). Denemede kullanılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Bünye	pH	Tuz (mS/cm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/da)	K <sub>2</sub> O (kg/da)	Organik madde (%)	N (%)	Kireç (%)	Tarla kapasitesi (%)
Killi-tın	7.72	0.31	5.87	124.6	2.05	0.11	3.83	22.39

#### Biyokömür Materyali ve Analizi

Araştırmada Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarlarında fındık kupulasından üretilmiş olan biyokömür kullanılmıştır. Biyokömür yavaş piroliz işlemi ile 400 °C - 500 °C farklı sıcaklıkta

üretilmiş ve üretimi esnasında ortaya çıkan katran ve singazlar depolanmamıştır. Fındık kupulasından elde edilen biyokömür materyalinin çeşitli fiziksel ve kimyasal analizlerinin yapılmadan önce biyokömür materyalleri bitki öğütme cihazında öğütülmüştür. Biyokömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneme kullanılan biyokömürün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Biyokömür	C (%)	K (%)	Ca (%)	Na (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	pH	İletkenlik (ms/cm)
400 °C	32.8	5.7	32.8	450.00	1800.00	1.85	343.00	239.00	35.50	9.20	10.11
500 °C	57.6	6.2	57.6	800.00	2400.00	9.45	400.70	310.50	44.50	9.50	11.94

Araştırma tesadüf parsellerinde bölünen bölünmüş deneme desenine göre, 3 kg kapasiteli plastik saksılarda 5 farklı dozda ( % 0, % 1, % 2, % 3, % 4 w/w ) ve temel gübrelemeSadece temel gübreleme uygulaması yapılan saksılara 200 mg/kg N

CaNO<sub>3</sub>.4H<sub>2</sub>O formunda, 100 mg/kg P ve 125 mg/kg K KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> formunda, 2.5 mg/kg Zn ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O formunda uygulanmıştır), iki farklı sıcaklıkta üretilen biyokömür ile üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

#### Biyokömür Dozları ve Kısaltmaları

\* Kontrol grubu = % 0 BD

\* % 1 Biyokömür 400 °C üretilmiş/saksı = % 1 BD400

\* % 2 Biyokömür 400 °C üretilmiş/saksı = % 2 BD400

\* % 3 Biyokömür 400 °C üretilmiş/saksı = % 3 BD400

\* % 4 Biyokömür 400 °C üretilmiş/saksı = % 4 BD400

\* % 1 Biyokömür 500 °C üretilmiş/saksı = % 1 BD500

\* % 2 Biyokömür 500 °C üretilmiş/saksı = % 2 BD500

\* % 3 Biyokömür 500 °C üretilmiş/saksı = % 3 BD500

\* % 4 Biyokömür 500 °C üretilmiş/saksı = % 4 BD500

\* Temel gübreleme = TG

Aynı zamanda kontrol grubu, 5 farklı dozda biyokömür eklenerek ve temel gübrelemenin yapıldığı % 80 tarla kapasitesinde nemlendirilmiş, saksı denemesinin süresine paralel olarak 28 °C'de kontrollü koşullarda 70 günlük karbon mineralizasyonu için ayrı bir deneme daha yürütülmüştür.

### Bitki Materyali ve Analizi

Araştırmada test bitkisi olarak P2088 mısır bitkisi kullanılmıştır. Plastik saksılara başlangıçta 5 adet tohum ekilmiş, çıkışlar başladıktan sonra bu sayı 3'e seyreltilmiştir

Mısır bitkisi 13-14 yapraklı olduğunda yaprak örnekleri alınmış ve vejetatif aksamı musluk suyu ile yıkandıktan sonra sırasıyla bir kez saf su, 0.2 N HCl çözeltisi, iki kez saf su ile yıkayıp, kaba filtre kağıdı üzerindeki fazla suları alınmıştır. Kese kâğıdına ayrı

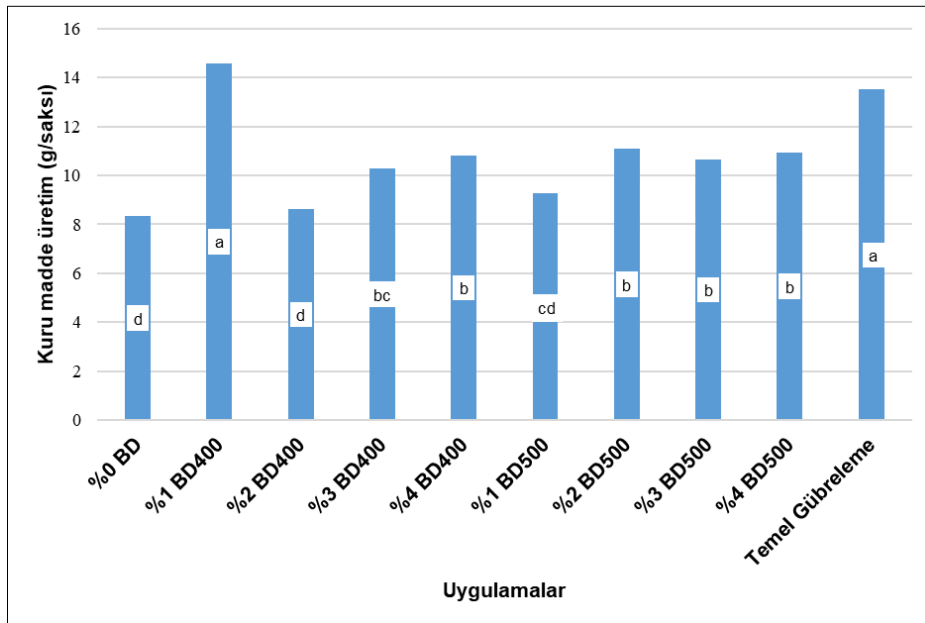
ayrı konularak bitki kısımları hava sirkülasyonlu kurutma dolabında 70 °C' de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kuruyan bitki örneklerinin ağırlıkları belirlendikten sonra bitki öğütme değirmeninde öğütülmüş sonrasında 0.2 g tartılarak mikrodalga cihazında yaş yakma metoduna göre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-HNO<sub>3</sub> asit karışımında yakılıp saf su ile son hacmi 20 ml'ye tamamlanıp mavi bant filtre kâğıdından süzölmüştür. Bu örneklerde % C yaş yakma yöntemi Anne metodu yöntemine göre (Duchaufour, 1970), N analizi Kjeldahl destilasyon yöntemine göre (Bremner, 1965), P kolorimetrik olarak spektrofotometrede 882 nm'de (Murphy ve Riley, 1962), K, Mg, Zn, Mn, Fe ve Cu AAS (Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre) cihazı (Shimadzu AA-7000) ile belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

### İstatistik Analizler

Tesadüf parsellerinde bölünen bölünmüş deneme desenine göre yapılan çalışmanın verileri ANOVA testi ile varyans analizine tabi tutulmuştur. Araştırma bulguları ve ölçülen bütün değişkenler istatistiki analiz için SPSS 22.0 Windows paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey testi ile belirlenmiştir.

### Bulgular ve Tartışma

Araştırmada farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin kuru madde üretimine etkileri belirlenmiş ve Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin kuru madde üretimine etkileri (g saksı<sup>-1</sup>)

Kuru madde üretimi bakımından Şekil 1 değerlendirildiğinde, en yüksek kuru madde üretiminin 14.57 g saksı<sup>-1</sup> ile %1 BD400 uygulamasında belirlendiği, bunu ise istatistiki olarak aynı gruba giren TG uygulamasının takip ettiği belirlenmiştir (13.51 g saksı<sup>-1</sup>). 400 °C ve 500 °C'de üretilen biyokömür uygulamaları ayrı ayrı değerlendirildiklerinde, 400 °C'de üretilen biyokömürün %1 dozu en yüksek kuru madde üretimi sağlarken, 500 °C'de üretilen biyokömürün %2 dozu 11.08 g saksı<sup>-1</sup> ile en yüksek kuru madde üretimi sağlamıştır. Ayrıca, 400 °C'de üretilen biyokömür uygulamalarında %1 dozundan sonra, 500 °C'de üretilen biyokömür uygulamalarında %2 dozundan sonra kuru madde üretimi azalmaya başlamıştır. Bununla birlikte, hem 400 °C'de hem de 500 °C'de üretilen biyokömür uygulamalarının hepsi kontrol uygulamasına göre (8.33 g saksı<sup>-1</sup>) mısır bitkisinin kuru madde üretimini arttırmıştır. Benzer bir çalışmada Demirbaş ve Coşkan (2019), farklı dozlarda biyokömür ve kadmiyum uyguladıkları mısır bitkisinde, en yüksek kuru madde üretiminin 27.52 g saksı<sup>-1</sup> ile %2 BC ve 4 mg/kg Cd uygulamasında olduğunu bildirmişlerdir. Kaya ve ark., (2019) mısır ve çeltik bitkilerine 10 g kg<sup>-1</sup> tavuk gübresi biyokömürü (TGBK) ve zeytin pirinası biyokömürü (ZPBK) ile 0, 25, 50 ve 100 mg kg<sup>-1</sup> dozlarında P uyguladıkları çalışmada, bitkilerde kuru ağırlık ve nispi klorofil ile N, P, K, Ca, Mg, Fe ve Zn konsantrasyonlarını belirlemişler ve bitki kuru ağırlığının mısırdaki TGBK ve tüm P uygulamalarıyla kontrole göre artış gösterdiğini, çeltikte ise yalnızca 50 ve 100 mg P kg<sup>-1</sup> uygulamalarının kuru ağırlığı arttırdığını bildirmişlerdir (p<0.01). Durukan ve ark., (2020) farklı dozlarda biyokömür (BC)

uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin verimi ve besin elementleri alımına etkilerini araştırdıkları çalışmada kuşburnu çekirdeğinden elde edilen 4 farklı biyokömür dozu; % 0 (kontrol), % 0.5 (50 g saksı<sup>-1</sup>), % 1.0 (100 g saksı<sup>-1</sup>) ve % 2.0 (200 g saksı<sup>-1</sup>) ile 3 farklı kuraklık stresi (tarla kapasitesinin (FC) % 100, %75, %50'si) uygulamışlardır. Araştırmada şekerpancarı bitkisinin en fazla yeşil aksam kuru madde üretiminin 29.82 g bitki<sup>-1</sup> ile % 100 FC ve %2 BC uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Demirbaş ve ark., (2017), farklı dozlardaki biyokömür uygulamalarının (% 0, % 0,5, % 1, % 2, % 3, % 4 ve % 5) nohut bitkisinin verimine ve besin elementleri alımına etkilerini araştırdıkları çalışmada farklı biyokömür uygulamalarının nohut bitkisinin kuru madde üretimini arttırdığını ve %3 BC uygulamasının öne çıktığını belirlemişlerdir. Erdem ve ark., (2017) kadmiyum ile kirletilmiş topraklarda yetiştirdikleri tütün bitkisine farklı dozlarda biyokömür uygulamışlar ve en yüksek kuru madde üretiminin 3.15 g saksı<sup>-1</sup> ile %2 BC dozunda olduğunu belirtmişlerdir.

Araştırmada farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin karbon ve azot konsantrasyonuna etkileri Çizelge 3'de verilmiştir. Araştırmada en yüksek karbon içeriği % 39.23 ile 400 °C'de üretilen biyokömürün kontrol uygulaması olan % 0 dozunda belirlenmiştir (Çizelge 3). En düşük ise 500 °C'de üretilen biyokömür uygulamalarında %1 dozunda belirlenmiştir (% 33.01 C). Mısır bitkisinin azot konsantrasyonu incelendiğinde ise hem 400 °C hem de 500 °C'de üretilen biyokömür uygulamalarında doz arttıkça azot konsantrasyonunun da arttığı saptanmıştır.

Çizelge 3. Farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin karbon ve azot konsantrasyonuna etkileri

Uygulamalar	C (%)	N (%)
% 0 BD	39.23 ± 0.44 a	0.78 ± 0.02 e
% 1 BD400	33.46 ± 0.73 ef	0.84 ± 0.00 de
% 2 BD400	39.77 ± 0.55 a	0.84 ± 0.03 de
% 3 BD400	34.89 ± 0.46 cd	0.89 ± 0.00 d
% 4 BD400	34.29 ± 0.44 de	0.90 ± 0.02 d
% 1 BD500	33.01 ± 0.27 e	1.03 ± 0.05 c
% 2 BD500	34.99 ± 0.07 cd	1.04 ± 0.02 c
% 3 BD500	36.45 ± 0.00 b	1.09 ± 0.10 c
% 4 BD500	33.36 ± 0.00 ef	1.32 ± 0.02 b
TG	35.29 ± 0.76 c	1.55 ± 0.10 a
<b>Sd</b>		
Sıcaklık (S)	1	P<0.01
Uygulamalar (U*)	5	P<0.01
SXU	5	P<0.01

a,b,c Aynı satırdaki farklı üst simgelerle belirtilen değerler, P<0.05 düzeyinde anlamlı olarak farklılık göstermektedir (N=3). \*Kontrol, Biyokömür, TG

Araştırmada en düşük azot konsantrasyonu kontrol grubunda belirlenmişken (%0.78 N), en yüksek ise % 1.55 N ile temel gübreleme uygulamasında tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları, her iki sıcaklıkta üretilen biyokömürün uygulanması durumunda mısır bitkisinin azot konsantrasyonunun arttığını göstermiştir. Durukan ve ark., (2020) araştırmalarında kuraklık stresi altında biyokömür uygulamalarının şeker pancarı bitkisinde genel

olarak N konsantrasyonunu arttırdığını ve en yüksek N konsantrasyonu % 1.72 N ile % 75 tarla kapasitesi ve % 2 BC uygulamasında belirlediklerini bildirmişlerdir.

Araştırmada farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin fosfor ve potasyum konsantrasyonuna etkileri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin fosfor ve potasyum konsantrasyonuna etkileri

Uygulamalar	P (%)	K (%)
% 0 BD	0.28 ± 0.01 e	3.36 ± 0.02 f
% 1 BD400	0.48 ± 0.03 bd	3.99 ± 0.01 d
% 2 BD400	0.75 ± 0.11 a	4.33 ± 0.11 c
% 3 BD400	0.54 ± 0.03 bc	4.49 ± 0.01 ab
% 4 BD400	0.41 ± 0.08 c-e	4.57 ± 0.03 a
% 1 BD500	0.36 ± 0.05 c-e	3.70 ± 0.14 e
% 2 BD500	0.62 ± 0.17 ab	3.91 ± 0.12 d
% 3 BD500	0.51 ± 0.12 b-d	4.27 ± 0.03 c
% 4 BD500	0.32 ± 0.15 de	4.41 ± 0.05 bc
TG	0.74 ± 0.05 a	3.68 ± 0.01 e
<b>Sd</b>		
Sıcaklık (S)	1	P<0.01
Uygulamalar (U*)	5	P<0.01
SXU	5	P<0.01

<sup>a,b,c</sup> Aynı satırdaki farklı üst simgelerle belirtilen değerler, P<0.05 düzeyinde anlamlı olarak farklılık göstermektedir (N=3). \*Kontrol, Biyokömür, TG

Fosfor ve potasyum yönünden Çizelge 4 değerlendirildiğinde, istatistiki olarak aynı gruba giren % 2BD400 ve TG uygulamasında en yüksek fosfor konsantrasyon değerleri belirlenmiştir (sırasıyla % 0.75 P ve % 0.74 P). En düşük fosfor konsantrasyonu ise % 0.28 P ile kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Araştırmada hem 400 °C hem de 500 °C'de üretilen biyokömür uygulamalarında kontrole göre bütün uygulamalarda fosfor konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir. Potasyum konsantrasyonu ise en yüksek % 4 BD400 uygulamasında belirlenmişken (% 4.57 K), en düşük % 3.36 K ile kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Bununla birlikte, araştırmada bütün uygulamaların kontrole göre bitkinin potasyum konsantrasyonunu arttırdığı tespit edilmiştir. Tepecik ve ark., (2022), belediye park ve bahçe budama atıklarından 300 °C, 500 °C ve 700 °C'de elde ettikleri biyokömürü mısır bitkisine 1 t/da, 2 t/da, 3 t/da ve 6 t/da olarak uygulamışlardır. Araştırma sonunda uygulama dozlarının mısır bitkisinin hem fosfor hem de potasyum konsantrasyonları üzerine istatistiki olarak önemli olduğunu, fosfor konsantrasyonunun % 0.18-0.49 P arasında, potasyum konsantrasyonunun ise % 2.03-3.88 K arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Araştırmada farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonuna etkileri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5, kalsiyum yönünden değerlendirildiğinde, en düşük %0.18 Ca ile %3 BD400 uygulamasında belirlenmiştir. En yüksek değer ise % 0.54 Ca ile TG uygulamasında tespit edilmiştir. Ancak, araştırmada genel olarak biyokömür dozları arttıkça bitkinin kalsiyum konsantrasyonunun azaldığı belirlenmiştir. Magnezyum konsantrasyonu da aynı şekilde TG uygulamasında % 1.68 Mg ile en yüksek olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 500 °C'de üretilen biyokömür uygulamaları ile birlikte bitkinin magnezyum konsantrasyonu artarken, 400 °C'de üretilen biyokömür uygulamalarında % 3 ve % 4 BD dozunda bitkinin magnezyum konsantrasyonunda azalmalar görülmüştür. Yapılan benzer bir çalışmada, farklı proliiz sıcaklıklarında elde edilen biyokömür farklı dozlarda mısır bitkisine uygulanmış ve kalsiyum konsantrasyonunun % 0.15-0.48 Ca, magnezyum konsantrasyonunun da % 0.24-0.52 Mg arasında değiştiği bildirilmiştir (Tepecik ve ark., 2022).

Çizelge 5. Farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonuna etkileri

Uygulamalar	Ca (%)	Mg (%)
% 0 BD	0.23 ± 0.01 c-e	1.14 ± 0.03 c
% 1 BD400	0.27 ± 0.00 bc	1.18 ± 0.00 bc
% 2 BD400	0.32 ± 0.08 b	1.24 ± 0.02 b
% 3 BD400	0.18 ± 0.02 e	1.14 ± 0.06 c
% 4 BD400	0.20 ± 0.01 de	1.06 ± 0.04 de
% 1 BD500	0.25 ± 0.04 cd	1.00 ± 0.03 e
% 2 BD500	0.22 ± 0.03 c-e	1.04 ± 0.00 e
% 3 BD500	0.23 ± 0.02 c-e	1.11 ± 0.00 cd
% 4 BD500	0.20 ± 0.02 de	1.16 ± 0.07 c
TG	0.54 ± 0.02 a	1.68 ± 0.01 a
<b>Sd</b>		
Sıcaklık (S)	1	P<0.01
Uygulamalar (U*)	5	P<0.10
SXU	5	P<0.01

a,b,c Aynı satırdaki farklı üst simgelerle belirtilen değerler, P<0.05 düzeyinde anlamlı olarak farklılık göstermektedir (N=3). \*Kontrol, Biyokömür, TG

Araştırmada farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin çinko ve demir konsantrasyonuna etkileri Çizelge 6'da verilmiştir. Araştırmada uygulamaların mikroelementlerden çinko üzerine etkisininin, 47.53 mg/kg Zn ile en yüksek TG uygulamasında olduğu, ayrıca bütün uygulamaların kontrole göre mısır bitkisinin çinko konsantrasyonunu arttırdığı belirlenmiştir (Çizelge 6). Demir konsantrasyonunda

ise yine en yüksek çinkoda olduğu gibi TG uygulamasında belirlenmiştir (190.74 mg/kg Fe). 500 °C'de üretilen biyokömürde dozlar arttıkça mısır bitkisinin de demir konsantrasyonu artmıştır. Ancak aynı durum 400 °C'de üretilen biyokömür için geçerli değildir. Demirbaş ve Coşkan (2019) yaptıkları benzer çalışmada Zn kapsamını 8.1-20.7 mg/kg olarak belirtirken, Çakır ve Çimrin (2018) kök üstü aksam Zn kapsamını 22.94-80.30 mg/kg olarak belirtmiştir..

Çizelge 6. Farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin çinko ve demir konsantrasyonuna etkileri

Uygulamalar	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
% 0 BD	14.90 ± 0.34 d	114.26 ± 4.16 de
% 1 BD400	15.52 ± 2.26 d	111.16 ± 2.08 e
% 2 BD400	16.28 ± 4.21 d	156.30 ± 2.43 c
% 3 BD400	38.35 ± 9.44 ab	111.90 ± 6.81 de
% 4 BD400	26.58 ± 1.12 c	111.08 ± 6.58 e
% 1 BD500	45.34 ± 0.36 a	113.86 ± 6.57 de
% 2 BD500	27.55 ± 0.40 c	158.25 ± 6.12 bc
% 3 BD500	30.02 ± 0.65 bc	126.67 ± 7.39 d
% 4 BD500	33.65 ± 0.11 bc	171.23 ± 8.32 a
TG	47.53 ± 1.40 a	190.74 ± 14.20 a
<b>Sd</b>		
Sıcaklık (S)	1	P<0.01
Uygulamalar (U*)	5	P<0.01
SXU	5	P<0.01

a,b,c Aynı satırdaki farklı üst simgelerle belirtilen değerler, P<0.05 düzeyinde anlamlı olarak farklılık göstermektedir (N=3). \*Kontrol, Biyokömür, TG

Araştırmada farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin çinko ve demir konsantrasyonuna etkileri Çizelge 7'de verilmiştir. Mn ile en yüksek TG uygulamasında belirlenmiştir. Bakır konsantrasyonu ise 15.19 mg/kg Cu ile en yüksek % 1 BD500 uygulamasında belirlenmiştir. Her iki element için de uygulamaların çok önemli olmadığı söylenebilir. Tepecik ve ark.,

(2022), yaptıkları benzer çalışmada mısır bitkisinin mangan konsantrasyonunun 29.37-53.36 mg/kg Mn, bakır konsantrasyonunu ise 6.11-9.97 mg/kg Cu arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

400 °C ve 500 °C'de üretilen biyokömürün 70 günlük karbon mineralizasyonları Şekil 2, Şekil 3'de verilmiştir.



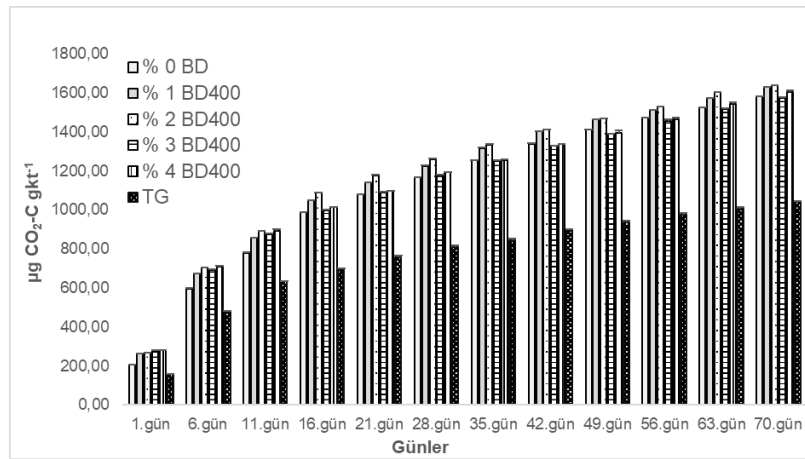
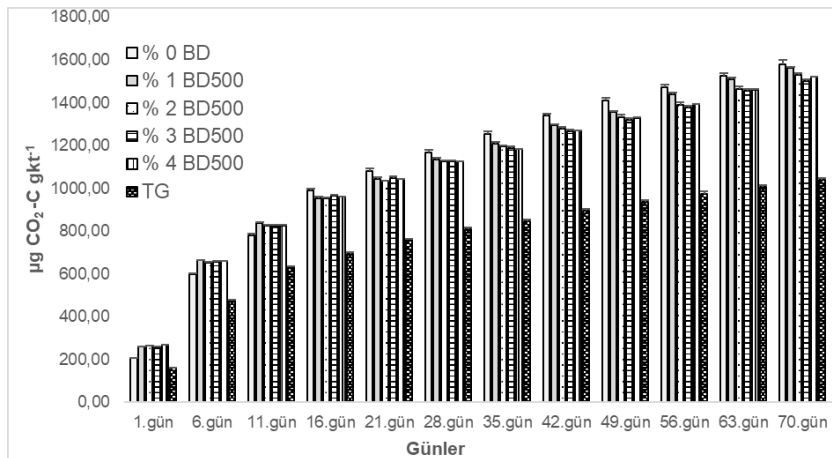
Çizelge 7. Farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün mısır bitkisinin mangan ve bakır konsantrasyonuna etkileri

Uygulamalar	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
% 0 BD	98.39 ± 1.32 cd	13.52 ± 0.42 a-c
% 1 BD400	112.31 ± 3.60 ab	8.93 ± 0.63 ef
% 2 BD400	90.42 ± 1.23 de	14.31 ± 2.65 ab
% 3 BD400	104.34 ± 1.23 bc	12.34 ± 0.42 bc
% 4 BD400	99.32 ± 6.82 cd	8.78 ± 0.14 f
% 1 BD500	74.32 ± 0.95 f	15.19 ± 0.13 a
% 2 BD500	109.70 ± 12.02 b	12.43 ± 1.12 bc
% 3 BD500	86.14 ± 2.18 e	11.89 ± 2.16 b-d
% 4 BD500	113.31 ± 2.36 ab	9.32 ± 0.07 d-f
TG	120.58 ± 2.51 a	11.54 ± 1.81 c-e

Sd			
Sıcaklık (S)	1	P<0.01	P<0.07
Uygulamalar (U*)	5	P<0.01	P<0.01
SXU	5	P<0.01	P<0.01

<sup>a,b,c</sup> Aynı satırdaki farklı üst simgelerle belirtilen değerler, P<0.05 düzeyinde anlamlı olarak farklılık göstermektedir (N=3). \*Kontrol, Biyokömür, TG

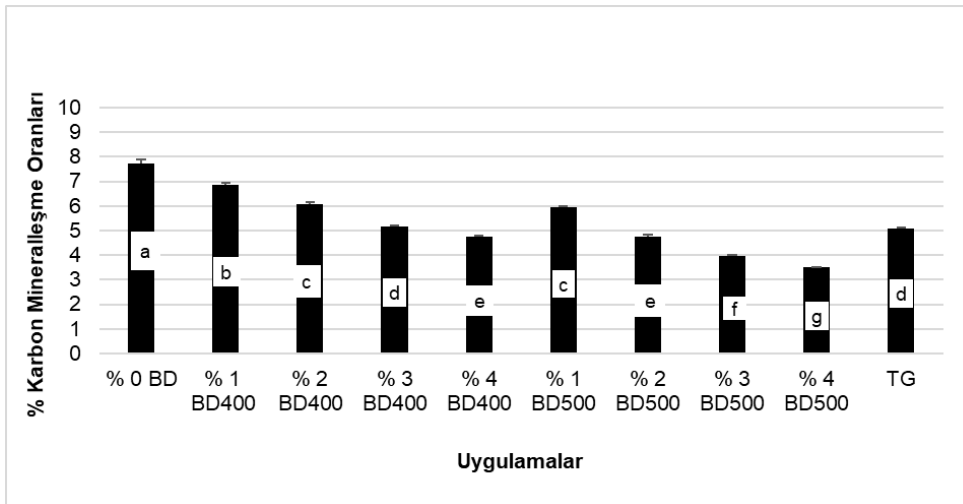
Şekil 2. 400 °C sıcaklıkta üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün ve temel gübreleme uygulamasının deneme topraklarında 70 günlük kümülatif karbon mineralizasyonu  $\mu\text{g CO}_2\text{-C gkt}^{-1}$ Şekil 3. 500 °C sıcaklıkta üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün ve temel gübreleme uygulamasının deneme topraklarında 70 günlük kümülatif karbon mineralizasyonu  $\mu\text{g CO}_2\text{-C gkt}^{-1}$

400 °C' de üretilen biyokömürün % 0, % 1, % 2, % 3, % 4 dozları ve temel gübreleme uygulamaları Şekil 2'de incelendiğinde biyokömür eklemesi yapılmayan kontrol grubundan (% 0 BD), % 3 BD400 ve TG uygulamasının düşük olduğu diğer uygulamaların ise kontrol grubuna göre biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yılmaz ve Kurt (2016), 380 °C fındık kabuğundan üretilen biyokömürlerin kumlu tınlı topraklarda bir günlük CO<sub>2</sub> çıkışlarını 100 g toprakta 0.07-0.10 mg olarak belirlemişlerdir.

500 °C' de üretilen biyokömür uygulamalarının yapıldığı toprakların 70 günlük karbon mineralizasyonları % 1 BD500'de en yüksek değer 1563 µg CO<sub>2</sub>-C gkt<sup>-1</sup> iken bu uygulamayı takiben % 2 BD500 > % 4 BD500 > % 3 BD500 uygulamaları sırasıyla 1528 > 1522 > 1500 µg CO<sub>2</sub>-C gkt<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir (Şekil 3). 500 °C üretilen biyokömür uygulamalarının karbon mineralizasyonlarının 70 günlük kümülatif değerleri hepsinin kontrol grubundan (% 0 BD) düşük olduğu, fakat temel gübreleme uygulaması yapılan toprakların bu uygulamalardan da düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Kısa süreli dönemde Okaliptus (*Eucalyptus* sp.) ve Kamış (*Pragmites* sp.) 550 °C de ürettikleri biyokömürün 0, 10, 20 ve 40 t ha<sup>-1</sup> tınlı ve killi topraklarındaki uygulamalarında ise kontrol grubuna göre karbon mineralizasyonunda artış belirlemişlerdir (Koçak ve Ortaş, 2021). Cely ve ark., (2014) üç farklı materyalden 620 °C üretilen odun talaşı, 500 °C üretilen kâğıt hamuru ile buğday kabuğu ve 600 °C üretilen atık çamur biyokömürlerini toprak ağırlığının % 8 oranında kumlu tınlı topraklara ilave ederek 45 günlük inkübasyonları sonucunda karbon mineralizasyonlarını odun talaşı > atık çamur > kâğıt

hamuru ve buğday kabuğu (63.0 > 52.2 > 51.7 (mg C-CO<sub>2</sub>/100 g)) ifade etmişler, bu durumun biyokömürün karbon içerikleri, karbonların aromatikliği, uçucu madde, stabil ve kolay ayrışabilen karbona, fenolik bileşik içeriklerine bağlı olabileceğini ifade etmişlerdir. Yanı sıra daha önce yapılan çalışmalarda biyokömürün içerdiği karbon miktarından dolayı toprak organik madde miktarını arttırdığını (Akça ve Namli, 2015; Ergün, 2017), üretim sıcaklığının artmasına bağlı olarak karbon içeriğinin arttığına (Gaskin ve ark., 2008), bu durumun biyokömürün uygulamalarının artan dozlarla birlikte topraklara eklenmelerine paralel olarak toprak karbonunu artırdığını (Ippolito ve ark., 2016; Ippolito ve ark., 2014), dolayısı ile eklenen toprakların C/N oranlarının yükselmesine sebebiyet verdiğini ve C/N oranlarının artmasıyla yapılacak biyokömür uygulamalarının da C/N oranları beraberinde zor ayrışmayı meydana getirdiğini için tek başına uygulanmasının yeterli olmadığını ifade etmişlerdir (Yılmaz ve Kurt, 2016). Araştırmada 500 °C de üretilen biyokömürler kontrol grubuna ve 400 °C üretilen biyokömür uygulamalarına göre karbon mineralizasyonundaki düşüşün, aynı materyalden üretilmesine rağmen üretim sıcaklığına bağlı olarak % C içeriğinin yükselttiği ve bundan dolayı C/N oranındaki artışla benzer durumundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Araştırmada farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün deneme topraklarında karbon mineralizasyonlarının, topraktaki % karbon mineralleşme oranlarına etkileri belirlenmiş ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Farklı sıcaklıklarda üretilen ve farklı dozlarda uygulanan biyokömürün deneme topraklarında % karbon mineralleşme oranları

Deneme topraklarının % karbon mineralleşme oranları Şekil 4 incelendiğinde, 400 °C sıcaklıkta üretilen biyokömür uygulamalarının 70 günlük % karbon mineralleşme oranları büyükten küçüğe doğru sırasıyla % 0 BD (7.71); %1 BD400 (6.85); % 2 BD400 (6.06); %3 BD400 (5.18); % 4 BD400 (4.77) belirlenmiştir. Bu değerler 400 °C sıcaklıkta eklenen biyokömürün tüm uygulamada oranlarının artışına bağlı olarak karbon mineralleşme oranlarında düşüş olduğu belirlenmiştir. Yang ve ark., (2022) yaptıkları araştırmada 300, 450 ve 600 °C sıcaklıkta üretilen biyokömürün, farklı kil içerikli topraklarda inkübasyonunda biyokömür eklenen topraklardaki karbon azalımının kontrol grubuna göre % 16-53 daha düşük olduğunu, karbon kaybının ise 600 °C de üretilen biyokömürün eklendiği topraklarda belirlemiş ve piroliz sıcaklığının artmasıyla mineralleşme olan biyokömür karbonunun azaldığını ifade etmişlerdir. 500 °C sıcaklıkta üretilen biyokömürün eklemesi yapıldığı uygulama topraklarında da 70 günlük % karbon mineralleşme oranları Şekil 4 incelendiğinde, tüm uygulamaların kontrol grubundan düşük olduğu, % karbon mineralleşme oranları sırasıyla %1 BD500 (5.95); % 2 BD500 (4.77); % 3 BD500 (3.97); % 4 BD500 (3.48) belirlenmiştir.

Kontrol grubuyla, iki farklı sıcaklıkta da üretilen biyokömür uygulamalarının hepsinde % karbon mineralleşme oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar belirlenmiştir ( $p < 0.001$ ). Kontrol grubunun % karbon mineralleşme oranı, her iki sıcaklıkta üretilen biyokömürün uygulamaları ve temel gübreleme uygulamasından yüksek olarak belirlenmiştir. Biyokömürün üretim sıcaklığının arttıkça toprakta kalış sürecinide artırdığını (Fang ve ark., 2015) dirençli karbonun toprağa karışması nedeniyle biyokömür toprak organik maddesinin ayrışma oranlarını düşürdüğünü ifade etmişlerdir (Wang ve ark., 2016). Biyokömürün eklenmesiyle topraktaki toplam karbon değerinin artmasına bağlı olarak C/N oranını artırdığından dolayı % karbon mineralleşme oranlarındaki düşüşler olabilmektedir.

Koçak ve Ortaş, (2021) yaptıkları araştırmada da 550 °C'de Okaliptus (*Eucalyptus* sp.) ve Kamıştan (*Pragmites* sp.) ürettikleri biyokömürü 0, 10, 20, 40 t ha<sup>-1</sup> dozlarında tınlı, killi her iki toprağın 48 günlük inkübasyon sonuçlarında % karbon mineralleşme oranlarını en yüksek 10 t ha<sup>-1</sup> uygulamada kontrol grubuyla istatistiksel olarak anlamlı farklar belirlemişlerdir ( $p < 0.05$ ). Diğer uygulamalardaki mineralleşme oranlarını sırasıyla 20 t ha<sup>-1</sup>; 0 t ha<sup>-1</sup>; 40

t ha<sup>-1</sup> belirlemişlerdir. % karbon mineralleşme oranlarındaki artan dozlardaki düşüşünü C/N oranındaki artıştan kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir.

### Sonuç

Fındık bitkisinin dış kupula kısımlarından (kavsak, zuruf) 400 °C ve 500 °C'de elde edilen biyokömürün farklı dozlarda uygulanmasının mısır bitkisinin verimi ile besin elementleri alımı ve karbon mineralizasyonu üzerindeki etkisi belirlenmesi amaçlanan bu çalışmada, bütün uygulamaların kontrole göre mısır bitkisinin kuru madde üretimini arttırdığı ve en yüksek değer 14.57 g/saksı ile %1 BD400 uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Makro elementlerden azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonlarında ise TG uygulaması dışında sırasıyla %3 BD500, %2 BD400, %4 BD400, %2 BD400, %2 BD400 uygulamalarının öne çıktığı belirlenmiştir. Bitkinin mikro element konsantrasyonlarından çinko konsantrasyonunda %1 BD500, demir konsantrasyonunda %4 BD500, mangan konsantrasyonunda %4 BD500, bakır konsantrasyonunda ise %1 BD500 uygulamalarının öne çıktığı belirlenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, genel olarak mısır bitkisinin makro element konsantrasyonlarına 400 °C'de üretilen biyokömür uygulamalarının, mikro element konsantrasyonlarına ise 500 °C'de üretilen biyokömür uygulamalarının daha fazla etkide bulunduğu söylenebilir. Ayrıca, hem makro hem de mikro element konsantrasyonlarında genel olarak bütün uygulamaların kontrole oranla daha etkili olduğu da söylenebilir.

400 °C'de üretilen biyokömürün %0, %1, %2, %3, %4 dozları ve temel gübreleme uygulamalarında, kontrol grubundan (% 0 BD), sadece % 3 BD400 uygulamasının düşük olduğu diğer uygulamaların ise kontrol grubuna göre biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 500 °C'de üretilen biyokömürün %1, %2, %3, %4 dozları ve temel gübreleme uygulamalarında topraklarının karbon mineralizasyonu, kontrol grubundan düşük olarak bulunmuştur. Kontrol grubunun % karbon mineralleşme oranı, her iki sıcaklıkta üretilen biyokömürün uygulamalarından ve temel gübreleme uygulamasından yüksek olarak belirlenmiştir.

Araştırmada elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde, günümüzde maliyeti yüksek olan ve aynı zamanda çevre kirliliğine de neden olan kimyasal gübre kullanımı yerine, atık materyallerden elde edilen biyokömür gibi bir materyalin

kullanılabileceği düşünülmektedir. Tarımda sürdürülebilirliği sağlayabilmek için doğaya dost materyallerin kullanılabilir olması önemli olarak görülmektedir.

### Çıkar çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

### Yazarların katkı beyanı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

### Teşekkür

Bu çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (CÜBAP) tarafından KMYO-006 proje numarası ile desteklenmiştir. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünden Prof. Dr. Ali ÇOŞKAN'a biyokömürün üretilmesi aşamasındaki katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- Abdullah, H., Mediaswanti, K.A., & Wu, H.W. (2010). Biochar as a fuel: 2. Significant differences in fuel quality and ash properties of biochars from various biomass components of mallee trees. *Energy Fuels*, 24, 1972-1979.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S., & Ok, Y.S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A Review. *Chemosphere* 99, 19-33.
- Ahmed, F., Islam, M., & Iqbal, M. (2017). Biochar amendment improves soil fertility and productivity of mulberry plant. *Eurasian Journal of Soil Science*, 6 (3), 226-237.
- Akça, M.O., & Namli, A. (2015). Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper and lettuce plants growth. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4, (3), 161-168.
- Alef, K. 1995. *Soil Respiration*. K. Alef and P. Nannipieri (Ed.), *Methods in applied Soil Microbiology and Biochemistry*, 214-219. ss.). San Diego: Academic Press.
- Arın, A., & Coşkan, A. (2021). Biyokömür uygulamalarının karadeniz bölgesi toprağının pH'sına ve bazı biyolojik aktivite parametrelerine etkileri. *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 187-199.
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., & Higgs, N.A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from

biyokömür application to temperate soils: A review. *Plant and Soil* 337, 1-18.

- Azargohar, R., & Dalai, A.K. (2008). Steam and KOH activation of biochar: Experimental and modeling studies. *Microporous Mesoporous Mater*, 110, 413-421.
- Bouyoucos, G.S. (1951). A recalibration of the hydrometer for moing mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*. 43(9), 434-438.
- Brantley, K.E., Savin, M.C., Brye, K.R., & Longer, D.E. (2015). Pine woodchip biochar impact on soil nutrient concentrations and maize yield in a silt loam in the Mid-Southern U.S. *Agriculture* 5(1), 30-47. <https://doi.org/10.3390/agriculture5010030>
- Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties 9.2, Agronomy Monograph*, 1149-1178.
- Bridgwater, A.V. (1994). Catalysis in thermal biomass conversion. *Applied Catalysis A: General*, 116(1-2), 5-47. [https://doi.org/10.1016/0926-860X\(94\)80278-5](https://doi.org/10.1016/0926-860X(94)80278-5)
- Cely, P., Tarquis, A. M., Paz-Ferreiro, J., Méndez, A., & Gascó, G. (2014). Factors driving the carbon mineralization priming effect in a sandy loam soil amended with different types of biochar. *Solid Earth*, 5, 585-594.
- Çağlar, K. Ö. (1949). *Toprak bilgisi*. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları
- Çakır, H. N., & Çimrin, K.M. (2018). Kentsel arıtma çamur uygulamalarının etkisi: I. Mısır bitkisi ve topraktaki bazı besin maddesi (N, P, K, Ca, Mg) içerikleri üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(6), 882-890.
- Çelik, A., İnan, M., & Sakin, E. (2019). Toprağa uygulanan tütün ve badem atıklarından elde edilen biyokömürlerin elementel analizleri ve SEM özelliklerinin karşılaştırılması. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(4), 500-510.
- Demirbaş, A., Karakoy, T., Durukan, H., & Erdem, H. (2017). The impacts of the biochar addition in different doses on yield and nutrient uptake of the chickpea plant (*Cicer arietinum* L.) under the conditions with and without incubation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26,(12A), 8328-8336.
- Demirbaş, A., & Coşkan, A. (2019). Biyokömür ve kadmiyum uygulamalarının mısır bitkisinin verimine ve besin elementleri alınımına etkileri. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7, 109-114.

- Duchaufour, P. (1970). *Precis de Pedologie*. Masson et Cie(3rd ed.). Paris, 435-437.
- Durukan, H., Demirbaş, A., & Türkekul, İ. (2020). Effects of biochar rates on yield and nutrient uptake of sugar beet plants grown under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(21), 2735-2745.
- Erdem, H., Kinay, A., Gunal, E., Yaban, H., & Tutus, Y. (2017). The effects of biochar application on cadmium uptake of tobacco. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 12(2), 447-456.
- Ergün, Y.A. (2017). *Biyokömür ve ahır gübresi uygulamalarının topraktaki bazı enzim aktivitelere, CO2 üretimine, besin elementi içeriğine ve domates bitkisinin gelişimine etkisi*. (Yüksek lisans tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Fang, Y., Singh, B., & Singh, B. P. (2015). Effect of temperature on biochar priming effects and its stability in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 80, 136-145.
- Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C., & Bibens, B. (2008). Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *American Society of Agricultural Biological Engineers*, 51(6), 2061-2069.
- Githinji, L. (2014). Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(4), 457-470.
- Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoals a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35, 219-230.
- Glaser, B., Parr, M., Braun, C., & Kopoló, G. (2009). Biochar is carbon negative. *Nature Geoscience*, 2, 1-2.
- Günel, E., Erdem, H., & Kaplan, A. (2017). Biyokömür ilavesinin toprakta nitrat ve amonyum yıkanmasına etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(1), 73-83.
- Hansen, V., Müller-Stöver, D., Ahrenfeldt, J., Holm, J. K., Henriksen, U. B., & Hauggaard-Nielsen, H. (2015). Gasification biochar as a valuable by-product for carbon sequestration and soil amendment. *Biomass and Bioenergy*, 72, 300-308.
- Hardie, M. A., Oliver, G., Clothier, B. E., Bound, S. A., Green, S. A., & Close, D.C. (2015). Effect of biochar on nutrient leaching in a young apple orchard. *Journal of Environmental Quality*, 44(4), 1273-1282.
- He, L., Fan, S., Müller, K., Hu, G., Huagang, H., Zhang, X., Lin, X., Che, L., & Wang, H. (2015). Biochar reduces the bioavailability of di-(2-ethylhexyl) phthalate in soil. *Chemosphere*, 142, 24-27.
- Hossain, M.K., Strezov, V., Chan, K.Y., Ziolkowski, A., & Nelson, F.P. (2011). Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management*, 92(1), 223-228.
- Huang, Y., Tao, B., Lal, R., Lorenz, K., Jacinthe, P. A., Shrestha, R. K., ... & Ren, W. (2023). A global synthesis of biochar's sustainability in climate-smart agriculture-Evidence from field and laboratory experiments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 172, 113042.
- Ibrahim, H.M., Al-Wabel, M.I., Usman, A.R., & Al-Omran, A. (2013). Effect of conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. *Soil Science*, 178(4) 165-173.
- Ippolito, J.A., Stromberger, M.E., Lentz, R.D., & Dungan, R.S. (2014). Hardwood biochar influences calcareous soil physicochemical and microbiological status. *Journal of Environmental Quality*, 43, 681-689.
- Ippolito, J.A., Ducey, T. F., Cantrell, K. B., Novak, J. M., & Lentz, R. D. (2016). Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. *Chemosphere*, 142, 184-191.
- Jackson, M.L. (1958). *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Joseph, S., Pow, D., Dawson, K., Mitchell, D.R.G., Rawal, A., Hook, J., Taherymoosavi, S., Van Zwieten, L., Rust, J., Donne, S., Munroe, P., Pace, B., Graber, E., Thomas, T., Nielsen, S., Ye, J., Lin, Y., Pan, G.X., Li, L.Q., & Solaiman, Z.M. (2015). Feeding biochar to cows: An innovative solution for improving soil fertility and farm productivity. *Pedosphere*, 25, 666-679.
- Kacar, B., & Inal, A. (2008). *Plant analysis*. Ankara: Nobel Press.
- Kanthle, A. K., Lenka, N. K., Lenka, S., & Tedia, K. (2016). Biochar impact on nitrate leaching as influenced by native soil organic carbon in an inceptisol of central India. *Soil and Tillage Research*, 157, 65-72.
- Kaya, E.C., Akça, H., Taşkın, M.B., Mounirou, M.M., & Kaya, T. (2019). Biyokömür ve fosfor uygulamalarının mısır ve çeltik bitkilerinin gelişimi ve mineral element konsantrasyonlarına etkileri. *Toprak Su Dergisi*, 8(1), 46-54.

- Klute, A. (1986). Water retention: laboratory methods. *Methods of soil analysis: part 1 physical and mineralogical methods*, 5, 635-662.
- Koçak, B., & Ortaş, İ. (2021). Short-term Eucalyptus and Phragmites biochar's efficiency in mineralization of soil carbon. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(4), 3346-3345.
- Korkmaz, H.E., Akgün, M., Çelebi, M.S., & Korkmaz, K. (2023). Fındık Zuru ve Biyoçarından Üretilen Demir Nanopartiküllerinin (FeONP) Yaşlanmış Börülce Tohumlarında Çimlenme Üzerine Etkisi, *Akademik Ziraat Dergisi*, 12(Special Issue), 193-202.
- 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.
- Lehmann, J., Silva, 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 Soil*, 249- 343.
- Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(2), 403-427.
- Lehmann, J. (2007a). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and The Environments*, 5, 381-387.
- Lehmann, J. (2007b). A handful of carbon. *Nature* 447, 143-144.
- Liu, Y.X., Yang, M., Wu, Y.M., Wang, H.L., Chen, Y.X., Wu, W.X., & Chen, Y. (2011). Reducing CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions from waterlogged paddy soil with biochar. *Journal of Soils Sediments*, 11, 930-939.
- Lorenz, K., & Lal, R. (2014). Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177, 651-670.
- Lue, K., Yang, X., Shen, J., Robinson, B., Huang, H., Liu, D., Bolan, N.S., Pei, J., & Wang, H. (2014). Effect of bamboo and rice straw biochars on the bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn to *Sedum plumbizincicola*. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 191, 124-132.
- Manirakiza N., & Şeker, C. (2020). Effects of compost and biochar amendments on soil fertility and crop growth in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 43(20), 3002-3019.
- Mathews, J.A. (2008). Viewpoint: Carbon-negative biofuels. *Energy Policy*, 36(3) 940-945.
- Mukherjee, A., Lal, R., & Zimmerman, A.R. (2014). Impacts of biochar and other amendments on soil-carbon and nitrogen stability: A laboratory column study. *Soil Science Society of American Journal*, 78(4), 1258-1266.
- Murphy, L., & Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36.
- Namlı, A., Akça, O.M., & Akça, H. (2017). Tarımsal atıklardan elde edilen biyokömürün buğday bitkisinin gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(1), 39-47.
- 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.
- Saygan, E.P., & Aydemir, S. (2016). Harran Ovası kireçli killi toprak özellikleri üzerine antepfıstığı dış kabuğu biyokömür uygulamasının etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 20(4), 301-312.
- Schaefer, R. (1967). Caracteres et evolution des activites microbiennes dans une chaine de sols hidromorphes mesotrophiques de la plaine d'Alsace. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 4, 567-592.
- Shackley, S., Carter, S., Knowles, T., Middelink, E., Haefele, S., Sohi, S., & Haszeldine, S. (2012). Sustainable gasification-biochar systems? A case-study of rice-husk gasification in Cambodia, Part I: Context, chemical properties, environmental and health and safety issues. *Energy Policy*, 42, 49-58.
- Sika, M.P., & Hardie, A.G. (2014). Effect of pine wood biochar on ammonium nitrate leaching and availability in A South African sandy soil. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 113-119.
- Skjemstad, J.O., Reicosky, D., Wilts, A.R., & McGowan, J.A. (2002). Charcoal carbon in agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64(4), 1249-1255.
- Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 105(1), 47-82.
- Subedi, R., Taupe, N., Pelissetti, S., Petruzzelli, L., Bertora, C., Leahy, J.J., & Grignani, C. (2016). Greenhouse gas emissions and soil properties following amendment

- with manure derived biochars: Influence of pyrolysis temperature and feedstock type. *Journal of Environmental Management*, 166, 73-83.
- Tepecik, M., Kayıkçıoğlu, H.H., & Kılıç, S. (2022). Farklı Piroliz Sıcaklıklarında Elde Edilen Biyokömürün Mısır Bitkisinin Bitki Besin Elementleri Üzerine Etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59(1), 171-181.
- Tsang, D.W., & Yip, A.K. (2014). Comparing chemical-enhanced washing and waste-based stabilisation approach for soil remediation. *Journal of Soils and Sediments*, 4, 936-947.
- United States Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and Improvement of, Saline and Alkaline Soils*. L. A. Richards(Ed.). United States Department of Agriculture Handbook, 60, Washington: United State Government Printing Office.
- Wang, J., Xiong, Z., & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: Meta-analysis of decomposition and priming effects. *Global Change Biology Bioenergy*, 8(3), 512-523.
- Winsley, P. (2007). Biyochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review*, 64(1), 5-10.
- Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, 1(56), 1-9.
- Xu, X., Cao, X., Zhao, L., Wang, H., Yu, H., & Gao, B. (2013). Removal of Cu, Zn, and Cd from aqueous solutions by the dairy manure-derived biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(1), 358-368.
- Yaman, E., Apaydın, E., Gültaş, H.E., & Özbay, N. (2019). Ceviz kabuğunun karbonizasyonu ile elde edilen katı ürününün toprak düzenleyici olarak kullanılması. *Bilecik Şeyh Edepli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 106-116.
- Yang, Y., Shaoqiang, M., Yi, Z., Ming, J., Yongqiang, X., & Jiawei, C. (2015). A field experiment on enhancement of crop yield by rice straw and maize stalk-derived biochar in Northern China. *Sustainability*, 7, 13713-13725.
- Yang, Y., Sun, K., Han, L., Chen, Y., Liu, J., & Xing, B. (2022). Biochar stability and impact on soil organic carbon mineralization depend on biochar processing, *Aging and Soil Clay Content*. *Soil Biology and Biochemistry*, 169.
- Yılmaz, F.I., & Kurt, S. (2016). Biyokömür ve vermikompost uygulamalarının toprağın bazı biyolojik özellikleri üzerine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 143-150.
- Yip, K., Wu, H., & Zhang, D.K. (2007). Effect of inherent moisture in collie coal during pyrolysis due to in-situ steam gasification. *Energy Fuels*, 21, 2883-2891.
- Yip, K., Fujun, T., Jun-chiro, H., & Hongwei, W. (2010). Effect of alkali and alkaline earth metallic species on biochar reactivity and syngas compositions during steam gasification. *Energy Fuels*, 24, 173-181.
- Zhang, X., Wang, H., He, L., Lu, K., Sarmah, A., Li, J., Bolan, N.S., Pei, J., & Huang, H. (2013). Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental Science Pollution Research*, 20, 8472-8483.
- Zhang, X., He, L., Sarmah, A.K., Lin, K., Liu, Y., Li, J., & Wang, H. (2014). Retention and release of diethyl phthalate in biochar-amended vegetable garden soils. *Journal of Soils and Sediments*, 14, 1790-1799.