

established in
2016



MAS JOURNAL of Applied Sciences

ISSN 2757-5675

DOI: <http://dx.doi.org/10.52520/masjaps.210>

Araştırma Makalesi

Belediye Budama Atıklarından Farklı Piroлиз Sıcaklıklarında Elde Edilen Biyokömürün, Mısır Verimi ile Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi

Huseyin Husnu KAYIKCIOGLU^{1*} (Orcid ID: 0000-0003-0895-221X), Mahmut TEPECİK¹ (Orcid ID: 0000-0001-6609-4538), Şaheste Elif ÇOKAN¹ (Orcid ID: 0000-0001-7636-2022)

¹Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bornova, İzmir

*Sorumlu yazar: husnu.kayikcioglu@ege.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.11.2021

Kabul Tarihi: 28.12.2021

Özet

Saksı denemesi tesadüf parselleri deneme deseninde ve üç tekerrürlü olacak şekilde kurulmuştur. Belediye budama atıkları kullanılarak üç farklı piroliz sıcaklığında (300, 500, 700°C) biyokömür elde edilmiştir. Beş farklı dozda (0, 10, 20, 30 ve 60 t ha⁻¹) biyokömür uygulanması ile toprakların bazı biyolojik (toprak solunumu, dehidrogenaz aktivitesi) ve kimyasal özellikleri (pH, elektriksel iletkenlik-EC, organik karbon, kation değişim kapasitesi-KDK, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn ve B) yanında mısır bitkisinin verimi (yaş bitki biyokütlesi) de incelenmiştir. Biyokömür uygulamalarına bağlı olarak incelenen parametreler kontrol toprakları ile karşılaştırıldığında %48 ile %141 arasında önemli değişiklikler göstermişlerdir (P<0.05). 300°C piroliz sıcaklığında elde edilen biyokömürün, 500 ve 700°C sıcaklıkta elde edilen biyokömüre göre daha kolay biyodegradasyona uğrayabildiği belirlenmiştir. Benzer şekilde alınabilir fosfor ile bor anyonları da 300°C piroliz sıcaklığı biyokömür uygulamalarından en olumlu etkiyi görmüşlerdir. Dahası 60 t ha⁻¹ uygulaması ile alınabilir bor konsantrasyonu en yüksek artışı yakalamıştır. biyokömürün toprakların pH değerini 75 günde %0.5-6.2 arasında arttırma potansiyelinin olduğu saptanmıştır. Toprak tuzluluğunun bir göstergesi olan EC değerinin, 700°C ve 20, 30 ve 60 t ha⁻¹ uygulamaları ile azalmıştır. KDK'da %31.3 oranında yükseltme potansiyeli belirlenmiştir. Mikro elementlerden alınabilir Mn, Fe ve Cu açısından bağımsız değişkenlerin herhangi bir etkisi bulunmamıştır. Verim parametresinde ise 700°C ve 60 t ha⁻¹ uygulaması ile %71.4 oranında bir artış saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, toprak solunumu, kimyasal toprak özellikleri, dehidrogenaz

The Effect of Biochar Obtained from Municipal Pruning Wastes at Different Pyrolysis Temperatures on Maize Yield and Some Soil Properties

Abstract

The pot experiment was set up in a randomized plot design with three replications. Biochar was obtained at three different pyrolysis temperatures (300, 500, 700°C) by using municipal pruning wastes. In response to the biochar applications at five different doses (0, 10, 20, 30 and 60 t ha⁻¹), some biological (soil respiration, dehydrogenase activity) and chemical properties of the soils (pH, electrical conductivity-EC, organic carbon, cation exchange capacity-CEC, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn and B) and yield (fresh plant biomass) were investigated. The parameters analyzed showed significant changes between -48% and 141% when compared with the control soils (P<0.05). It was determined that the biochar obtained at 300°C pyrolysis temperature can be biodegraded more easily than the biochar obtained at 500 and 700°C. Similarly, available phosphorus and boron had the most positive effect from biochar application at 300°C pyrolysis temperature. Moreover, the available boron concentration achieved the highest increase with the application of 60 t biochar ha⁻¹. It has been determined that biochar has the potential to increase the pH value of soils between 0.5-6.2% in 75 days. The EC value, which is an indicator of soil salinity, decreased with 700°C and 20, 30 and 60 t ha⁻¹ applications. An increase potential of 31.3% was determined in the CEC. There was no determinable effect on available Mn, Fe and Cu by independent variables. An increase of 71.4% was detected in the maize yield with the application of 700 °C and 60 t ha⁻¹.

Keywords: Biochar, basal soil respiration, soil chemical properties, dehydrogenase

GİRİŞ

Biyokömür, tarımsal artıkların oksijensiz veya az oksijenli koşullar altında karbon (C) bazlı ham materyalin karbonizasyon veya piroliz işleminden geçirildikten sonra organik materyallerin kömürleşmiş bir yapıya sahip olmasına verilen isimdir. Başka bir tanımda ise biyokömür, ürün kalıntılarının, hayvan gübrelerinin ya da diğer organik atık materyallerin yüksek sıcaklıkta ısıtılması ile elde edilen materyallerdir (Verheijen ve ark., 2009; Saygan ve Aydemir, 2016). Biyokömür yüksek organik karbon içerikli, çok uzun sürede çözünen, çok ince yapılı, organik kaynaklı kömür olarak tarif edilmektedir (Ortaş, 2018). Biyokömürün özellikleri elde edilme aşamasında kullanılan ham materyallere ve piroliz işlem koşullarına bağlıdır. Kimyasal bileşimi oldukça heterojendir, hem stabil hem de kararsız bileşenler içermektedir (Sohi ve ark., 2010). Tarımsal atıklar, ormancılık atıkları ve arıtma çamuru gibi pek çok tür biyokütle biyokömür üretmek için kullanılabilir (Li ve ark., 2017; Banik ve ark., 2018; Xu ve ark., 2019). Biyokömür adı verilen bu değerli ürün toprak kalitesinin iyileştirilmesi, kirliliğin giderilmesi başta olmak üzere, karbon tutumu gibi konularından dolayı, biyokömürün toprağa uygulanması ile ilgili araştırmalar önemli miktarda artmıştır (Woolf ve ark., 2010; Sizmur ve ark., 2015). Dolayısıyla toprak verimliliğini arttırarak sürdürülebilirliğini sağlamak için uzun vadeli stratejik planlamalarla organik madde seviyesinin yükseltilmesi gerekmektedir. Diğer sektörlerle kıyaslandığında yaklaşık %10 gibi bir paya sahip olsa da, tarım toprakları küresel ısınmaya katkı yapan sektörlerin arasında bulunmaktadır. Hâlbuki sağlıklı topraklar özellikle CO₂ salımı açısından bir yutak fonksiyonu üstlenerek küresel ısınmayı hafifletici etki yapabilmektedirler. Biyokömür birçok toprakta 1000 yıldan fazla bir süre ömre sahip, çok kararlı yapıda olduğu kanıtlanmış olan, rekalsitleyici bir

karbon fraksiyonundan oluşur (Lehmann ve ark., 2006; Kuzyakov ve ark., 2009; Lehmann ve Joseph, 2009; Zimmerman, 2010). Sonuç olarak, biyo-kütlenin pirolizi ile biyokömür üretimi ile karbonu atmosferik karbob döngüsünden ayırıp daha uzun süreli bir depolama sağlamak üzere daha yavaş bir döngüye transfer etmektedir. Biyokömürün toprak kalitesinin korunması ve iyileştirilmesinde, su tutma kapasitesini ve katyon değişim kapasitesini optimize etmesinin yanı sıra toprağın erozyona duyarlılığını azaltması da önemlidir (Joseph ve ark., 2010). Ayrıca biyokömür, azot (N), karbon (C) ve fosfor (P) gibi temel besin elementlerinin miktarını artırarak ve ağır metallerin biyo yarıyışlılığını azaltarak da toprağın kalitesinin sürdürülebilirliğine katkı yapmaktadır (Zhang ve ark., 2016; Sarfraz ve ark., 2017). Genel olarak biyokömür, toprak iyileştirilmesinde, bitkiler için gübre kaynağı olarak, toprak veriminin artırılması, iklim değişikliğinin azaltılması (CO₂ ve CH₄ salımlarının azaltılması), atık yönetiminde çevre kirliliğine neden olan atıkların bertarafı ve enerji üretiminde kullanılması gibi özelliklere ve kullanım alanlarına sahiptir olduğu belirtilmiştir (Lorenz ve Lal, 2014). Biyokömür yüzeyindeki fonksiyonel gruplar, topraktaki katyon içeriğini arttırdığı ve böylece toprak; kalsiyum, magnezyum ve potasyum gibi besinleri tutarak verim artışı sağladığı rapor edilmiştir. Biyokömürler genelde alkali karakterli olduğu için toprağa uygulama esnasında özellikle asitli toprakların pH değerlerini artırarak toprak pH'ını düzenlediği belirtilmektedir (Ippolito ve ark., 2016). Biyokömür, toprak iyileştiricisi, organik gübre, hayvan yemlerinde katkı maddesi, kimi zehirli gazların absorblayıcısı, enerji depolama ortamı, bazı reaksiyonlarda katalizör, binaların yapımında yapı malzemesi ve sulardaki ağır metaller ile organik kirleticilerin giderilmesinde adsorbent olarak faydalanılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Akgül, 2017). Bu

çalışmada test bitkisi olarak mısır bitkisi kullanılarak, bölgemizdeki yaygın toprak gruplarından olan Entisol grubu içerisindeki Typic Xerofluvent bir araziden alınan topraklar kullanılmıştır. Yine sabit kimyasal bir gübreleme dozunun uygulanacağı saksı denemesinde Verim (taze/yaş bitki biyokütlesi), toprakların bazı mikrobiyal özelliklerinden toprak solunumu (BSR), dehidrogenaz (DHG) aktivitesi, toprakların kimyasal özelliklerinden olan $pH_{\text{satüre}}$, $EC_{\text{satüre}}$, C_{org} ve KDK ile toprakların makro ve mikro elementlerinin değişimi incelenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Belediye rekreasyon alanlarından ortaya çıkan budama atıkları elde edilmiş ve bu budama atıklarından biyokömür eldesi gerçekleştirilmiştir. Piroliz sıcaklığını belirlemek amacıyla genellikle literatürlerde belirtilen 300, 500 ve 700°C'lik sıcaklıklar, 10-50°C/dak arasında

değişen ısıtma artışlarıyla uygulanarak işlem gerçekleştirilmiş ve biyokömür bu şekilde elde edilmiştir (Kambo ve Dutta 2015). Saksı denemesinde kullanılan toprak Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Menemen Uygulama ve Araştırma Çiftliğindeki araziden temin edilmiş. Toprak serada hava kurusu hale geldikten sonra 1 cm'lik elekten elenerek, sera koşullarında serilerek 15 gün bekletildi. Bu sayede içindeki olası yabancı ot tohumlarının, hastalık ve patojen mikroorganizmaların eliminasyonunun sağlandığı kabul edildi. Saksıların ağırlıklarını eşitlemek ve toprak altından drenajı sağlayabilmek amacıyla dip kısımlarına çakıltası ilavesi yapıldı. Saksı denemesi şeklinde E.Ü Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü deneme serasında 2020 yılında kurulmuştur. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Saksı deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

| | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------------------------------|--|--------|
| $pH_{H_2O}^a$ | 6.57 | Alınabilir (mg kg ⁻¹) | Fosfor | 111.76 |
| EC^b | 1.51 | | Potasyum | 127 |
| Kireç ^c | 4.06 | | Kalsiyum | 2748 |
| Kum ^d | 63.28 | | Magnezyum | 830 |
| Mil ^d | 28.00 | | Mangan | 17.70 |
| Kil ^d | 8.72 | | Demir | 14.19 |
| Bünye | Kumlu tın | | Bakır | 1.47 |
| C_{org}^e | 25.12 | | Çinko | 6.45 |
| Hacim ağırlığı ^f | 1.47 | | Bor | 0.97 |
| Toplam azot ^d | 0.101 | | Eks. Ed. Sodyum (mg kg ⁻¹) | 123.20 |

^a: saf su ile doymuş çamurda; ^b: saf su ile doymuş çamurda d S m⁻¹; ^c: toplam karbonatlar - %; ^d: %; ^e: g kg⁻¹; ^f: g cm⁻³

* Tüm değerler 3 tekrürün ortalaması olup, etüv kurusu ağırlık üzerinden hesaplanmıştır. Kısaltmalar; EC: elektriksel iletkenlik; C_{org} : organik karbon

Uygulanan vermikompost, süt sığırcılığı seperatör gübresinin talaş ile birlikte 3 haftalık aerobik mikrobiyal degradasyonu sonucu elde edilen mamaların, sürekli akış sisteminde ve 50000 adet m⁻² yoğunluktaki *Eisenia fetida* türü solucanlar tarafından yaklaşık 200 gün süre ile işlenmesi ve daha

sonra da doğal koşullarda 3-5 kalınlığında paketlenme nem seviyesi olan <%30 koşulunun sağlanması amacıyla kurutulmasıyla elde edilmiştir. Denemede kullanılan organik toprak düzenleyicilerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Denemede kullanılan organik toprak düzenleyicilerin bazı özellikleri

| Parametre | Ham materyal | Biyokömür | | | Vermikompost |
|----------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 300° C | 500° C | 700° C | |
| pH _{H2O} (sature) | 6.04 ±0.01 | 7.72 ±0.02 | 9.25 ±0.02 | 9.72 ±0.02 | 7.02 ±0.02 |
| EC (%) | 1.54 ±0.09 | 1.04 ±0.02 | 2.25 ±0.02 | 2.74 ±0.02 | 4.76 ±0.03 |
| OM (%) | 93.40 ±0.16 | 92.40 ±0.16 | 83.86 ±0.24 | 85.80 ±0.16 | 67.79 ±0.08 |
| Kül (%) | 6.60 ±0.16 | 7.60 ±0.16 | 16.14 ±0.24 | 14.20 ±0.16 | 32.21 ±0.08 |
| Nem (%) | 7.79 ±4.70 | 10.02 ±0.43 | 9.73 ±0.37 | 8.95 ±0.50 | 10.81 ±0.95 |
| C/N | 63.74 ±0.50 | 45.55 ±0.56 | 48.17 ±0.92 | 50.61 ±0.16 | 22.05 ±0.28 |
| Org. C (%) | 54.17 ±0.09 | 53.59 ±0.09 | 48.64 ±0.14 | 49.77 ±0.09 | 39.32 ±0.05 |
| N (%) | 0.85 ±0.01 | 1.18 ±0.01 | 1.01 ±0.02 | 0.98 ±0.005 | 1.78 ±0.02 |
| P (%) | 0.09 ±0.003 | 0.19 ±0.005 | 0.20 ±0.01 | 0.24 ±0.005 | 0.38 ±0.005 |
| K (%) | 0.47 ±0.01 | 1.09 ±0.01 | 1.32 ±0.04 | 1.71 ±0.01 | 1.23 ±0.02 |
| Ca (%) | 1.07 ±0.03 | 1.53 ±0.07 | 3.42 ±0.04 | 3.52 ±0.21 | 3.05 ±0.02 |
| Mg (%) | 0.13 ±0.005 | 0.23 ±0.01 | 0.46 ±0.02 | 0.52 ±0.03 | 0.61 ±0.02 |
| Na (mg kg ⁻¹) | 454.6 ±12.6 | 477.6 ±7.74 | 1269 ±14.9 | 1932 ±19.3 | 2206 ±3.60 |
| Fe (mg kg ⁻¹) | 203.4 ±5.60 | 163.1 ±2.65 | 1332 ±14.2 | 3324 ±9.9 | 4435 ±15.53 |
| Cu (mg kg ⁻¹) | 38.34 ±0.78 | 43.05 ±0.47 | 49.38 ±0.93 | 48.89 ±0.65 | 148.0 ±2.66 |
| Zn (mg kg ⁻¹) | 61.83 ±0.37 | 71.91 ±2.23 | 143.82 ±2.11 | 170.41 ±1.73 | 298.5 ±2.03 |
| Mn (mg kg ⁻¹) | 19.52 ±1.44 | 37.64 ±4.04 | 93.95 ±1.56 | 154.6 ±2.90 | 209.1 ±0.75 |
| B (mg kg ⁻¹) | 75.22 ±4.24 | 69.50 ±0.93 | 48.68 ±0.94 | 42.13 ±0.77 | 70.31 ±1.47 |

* Tüm değerler 3 tekrerrün ortalaması olup, etüv kuru ağırlık üzerinden hesaplanmıştır. İtalik sayılar, ortalamanın standart sapmasını vermektedir. Elementler “toplam” olarak belirlenmiştir. Kısaltmalar; EC: elektriksel iletkenlik; OM: organik madde.

Denemede Hido silajlık mısır (*Zea mays* L.) bitkisi “Hido” F1 melez çeşididir. Öncelikli kullanım amacı silajlıktır. Tek melez

özelliğinde olan bitkinin silajlık olarak vejetasyon süresi 100-110 gündür. FAO 700 (orta geçici) sınıfına girmektedir.



Şekil 1. 300°C, 500°C ve 700°C’de elde edilen biyokömürlerin fiziksel görüntüsü

Saksı ebatları 13 litre hacminde, 35 cm çapında ve 28 cm yüksekliğindeki plastik saksılar kullanıldı. 10 kg toprak içeren saksılara uygulama dozları farklı sıcaklıklardaki (300, 500 ve 700°C) piroliz işlemiyle elde edilmiş (Şekil 1) biyokömürler için 0, 10, 20, 30 ve 60 t ha⁻¹ (K-B₀, B₁₀, B₂₀, B₃₀, B₆₀) olacak şekilde her saksıya 10 t ha⁻¹ düzeyinde vermikompost sabit organik gübre uygulaması yapıldı. Toplamda (3 piroliz sıcaklığı x 5 uygulama dozu x 3 tekrerrün) 45 saksı ile yürütülen denemede test bitkisi olarak mısır (*Zea mays* var. Hira) kullanıldı. Denemedeki tüm

saksılara 300 ppm azot (N), 80 ppm fosfor (P) ve 100 ppm potasyum (K) uygulanmıştır. Ekimle birlikte azot dozunun yarısı 150 ppm (1/2) (NH₄)₂SO₄’tan (amonyum sülfat) ve kalan yarısı ise 150 ppm olarak üst gübre şeklinde üre gübresi ile uygulanmıştır. Fosfor ve potasyumun tamamı ise KH₂PO₄ (mono potasyum fosfat-MKP) formunda ekimle birlikte temel gübreleme olarak uygulanmıştır. Saksı denemesi 7 Mayıs 2020 tarihinde organik girdilerin saksı toprağı ile karıştırılmasını takiben gerçekleştirilen mısır tohumları ekimi ile

başlamıştır. Başlangıçta saksılara 5 mısır tohumu ekilmiş ve çimlenme gerçekleştikten sonra iki mısır bitkisi kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Havalarda yağışlı olması nedeniyle denemenin yağmurdan ve şiddetli rüzgârdan etkilenmemesi amacıyla sera içine alınmıştır. Deneme süresince saksılar, toprağın tarla kapasitesinin %80'i oranında, çeşme suyu ile nemli olarak tutulmuşlardır. Deneme başlangıcında her saksının ağırlığı eşitlenmiş ve her hafta dijital hassas terazide yapılan düzenli tartımlar ile eksilen su miktarı yerine koyulmuştur. Vejetasyon süresi boyunca kaymak tabakası oluşmasına izin verilmemiş ve mısır bitkilerinin gelişimi hassasiyetle takip edilmiştir. Deneme mısır bitkisinde tepe püskülünün görülmesinin ardından tohum ekiminden 75 gün sonra 21 Temmuz 2020 tarihinde bitirilmiştir. Hasatla birlikte alınan toprak örneklerinin bir kısmı mevcut nem koşullarında 4 mm'lik elekten elenerek mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilinceye kadar +4°C'de buzdolabında saklanmış, diğer kısmı ise hava kurusu hale getirildikten sonra 2 mm'lik elekten geçirilerek bazı fiziksel ve kimyasal analizlerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

Biyokömür karakterizasyonunda kullanılan yöntemler:

Sınırlı oksijen mevcudiyeti olan veya hava olmayan bir ortamda gerçekleştirilen pirolizden sonra numuneler 65°C'de kurutuldu ve eleme ile analizler için hazırlandı. pH ve EC değerleri 1:10 biyokömür ve saf su çözeltisinin 1 saat dikey çalkalama ve 1 saat bekleme süresinden sonra ölçülmüştür (Gaskin ve ark., 2008). Biyokömürlerin toplam Org-C içeriği modifiye Walkley-Black metodu ve kuru yanma ile; toplam azot (N) modifiye Kjeldahl metodu ile (Bremner, 1965) belirlenmiştir. Toplam element konsantrasyonu kuru yakma yöntemi ile belirlenmiştir. Kısaca, 2,5 g biyokömür örneği 3 saat boyunca 550° C'de kuru halde

kurutulur. Kül 5 ml 1 N HCl çözeltisi içinde çözülür ve saf suyla toplam 50 ml hacme tamamlanır (Ellis ve ark., 1973). Bu çözeltilerden doğrudan ölçüm yaparak Alev fotometrisi ile Na, Ca ve K konsantrasyonları belirlenmiş; Mg, Fe, Cu, Zn, Mn ise AAS ile saptanmıştır (Kacar ve İnal, 2008). Biyokömür materyallerinde bor analizi kuru yakma sonrası Azomethin-H yöntemi ile spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Wolf, 1971).

Analiz yöntemleri

Verim (biyokütle); hasat sırasında bitki örneklerin uygulamalara göre yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Toprak solunumu (BSR), 0.1 N NaOH çözeltisi kullanılarak ve 25°C' de 24 saatlik bir inkübasyon süresi sonunda saptanmıştır (Isermeyer, 1952; Jäggi, 1976). Dehidrogenaz (DHG) aktivitesi, toprak bünyesi ve organik madde miktarına göre farklı konsantrasyonlarda TTC (Trifenil tetrazolium klorür) çözeltisi verilen toprak örneklerinin 16 saat 25°C' de inkübasyondan sonra oluşan TPF (trifenil formazan)'ın 546 nm dalga boyunda fotometrik ölçümü ile belirlenmiştir (Thalman, 1968). Toprak reaksiyonu (pH), saf su ile doymun hale getirilen örneklerde pH, cam ve kalomel elektrotlu pH-metre ile ölçülmüştür (Jackson, 1967). Elektriksel kondüktive (EC, µS/cm) saf su ile doymun hale getirilen örneklerde EC-metre ile ölçülerek saptanmıştır (Soil Survey Staff, 1951). Organik C, modifiye Walkley-Black yöntemine göre belirlenmiştir (Jackson, 1967). Katyon değişim kapasitesi (KDK), toprak örneklerinde Sumner ve Miller'e (1996) göre belirlenmiştir. Toplam azot (N), modifiye makro Kjeldahl yöntemi ile saptandı (Bremner, 1965). Alınabilir Na, K, Ca, ve Mg, 1N, NH₄OAc (pH=7) (Pratt, 1965); alınabilir fosfor, Olsen metodu (Olsen ve Dean, 1965); alınabilir Fe, Cu, Zn ve Mn DTPA yöntemi (Lindsay ve Norvell, 1978) ve bor sıcak su ile ekstrakte edilmiş örneklerde spektrofotometrik olarak Azometin-H ile belirlenmiştir (Wolf, 1971).

İstatistiksel analiz

Verilerin istatistik analizinde SPSS 20.0 programı kullanılmıştır. Ortalama değerlerin karşılaştırılması ise “Duncan” çoklu karşılaştırma testi ile ve $\alpha=0.05$ önem düzeyine göre aynı program ile yapılmıştır. Varyans analiz çizelgelerine makale içinde yer verilmemiştir. Çalışmada incelenen bağımlı değişkenler arasında bir bağımlılığın olup olmadığını ve eğer varsa bu bağımlılığın gücünü ortaya koyabilmek amacıyla Pearson korelasyon matrisleri hazırlanmıştır. Hem Pearson hem de Spearman korelasyonları, -1 ile +1 arasındaki bir ölçekte bir r değeri ile sonuçlanır; burada -1, değişkenler arasında "mükemmel" bir negatif ilişkiyi temsil etmekte, +1 ise değişkenler arasında mükemmel bir pozitif ilişki varlığını göstermektedir. 0 ise hiçbir ilişki olmadığını gösterir. Bir korelasyonun tam gücünü r değerine göre belirlemek öznel ve bir dizi farklı sınıflandırma ölçeği veya

önerilen "pratik kurallar" ile çalışmanın doğasına bağlıdır (Cohen, 1988, Evans, 1996, Hinkle ve ark., 2003, Corder ve Foreman, 2014). Tipik olarak, $r = \sim 0.4$ 'den büyük korelasyonların orta ila güçlü ilişkiler sergilediği kabul edilir. Bu çalışmadaki korelasyon sonuçlarının değerlendirilmesinde temel alınan araştırmayı yapan Evans (1996), korelasyon faktörü için mutlak değeri çok zayıf (0.000-0.199), zayıf (0.200-0.399), orta (0.400-0.599), güçlü (0.600-0.799) ve çok güçlü (0.800-1.000) olarak sınıflandırmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Biyokömür uygulamasının verim (taze/yaş bitki biyokütlesi) üzerine etkisi

Bitki taze biyokütle ağırlıkları üzerine farklı piroliz sıcaklıklarının ve uygulama konularının etkinliği % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 3). Ancak bu değişkenlerin interaksiyonu ise önemsiz olarak saptanmıştır.

Çizelge 3. Bağımsız değişkenlerin bitki biyokütlesi (verim) üzerine etkileri

| | | Piroliz Sıcaklığı | | | | Ortalama ^j | | |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------|---------|-----------------------|---------|----------------|
| | | 300°C | 500°C | 700°C | | | | |
| Verim ^a g bitki ⁻¹ | K^b | 157.6 ^g d A ^h | (±3.44) ⁱ | 160.2 e A | (±3.91) | 165.4 e A | (±4.78) | 161.1 e |
| | B₁₀^c | 182.1 c A | (±22.7) | 186.4 d A | (±10.9) | 194.9 d A | (±3.16) | 187.8 d |
| | B₂₀^d | 217.0 b B | (±7.02) | 209.1 c B | (±1.69) | 232.4 c A | (±4.39) | 219.5 c |
| | B₃₀^e | 246.5 a A | (±13.2) | 240.7 b A | (±2.35) | 255.7 b A | (±5.50) | 247.6 b |
| | B₆₀^f | 250.4 a B | (±7.81) | 274.2 a A | (±12.2) | 283.5 a A | (±3.48) | 269.4 a |
| Ortalama^j | 210.7 B | 214.1 B | 226.4 A | | | | | |

^a: Taze (yaş) bitki biyokütlesi; ^b: Kontrol; ^c: 10 Mg biyokömür ha⁻¹; ^d: 20 Mg biyokömür ha⁻¹; ^e: 30 Mg biyokömür ha⁻¹; ^f: 60 Mg biyokömür ha⁻¹; ^g: Tüm değerler üç tekerrürün ortalaması olarak kuru madde bazında verilmiştir; ^h: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir (P<0.05). Küçük harfler farklı UYGULAMALARIN aynı piroliz sıcaklığı içerisindeki, büyük harfler ise farklı PİROLİZ SICAKLIKLARI içindeki aynı uygulamanın karşılaştırmasını vermektedir; ⁱ: Standart sapma; ^j: Sütun ortalaması, aynı piroliz sıcaklığı içindeki farklı uygulamaların ortalamasını; satır ortalaması ise aynı aynı uygulamanın farklı piroliz sıcaklıklarındaki ortalamasını vermektedir.

Biyokömür uygulamalarının bitkisel üretime ve ürünlerin performansına olan etkisinin olumlu olduğunu rapor eden çalışmalar olduğu gibi (Chan ve ark., 2007; Asai ve ark., 2009; Lin ve ark., 2015; Liu ve ark., 2017), biyokömürün etkisinin önemsiz (Nelissen ve ark., 2015; Subedi ve ark., 2016; Hansen ve ark., 2017) ve hatta olumsuz (Gaskin ve ark., 2010; Lin ve ark., 2015; Nelissen ve ark., 2015) olduğunu bildiren araştırma raporları da yayınlanmıştır. Çalışmamızda yapılan tüm

uygulamalar kontrole göre %15.6-71.4 arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde verim artışı sağlamıştır. En yüksek verim değerlerine 60 t ha⁻¹ biyokömür uygulama dozunda ulaşılabilmiştir (P<0.05). Bu değerler 300°C piroliz sıcaklığında 250.4 g/bitki düzeyinde gerçekleşirken, sırasıyla 500° C ve 700° C sıcaklıkları için ise 274.2 ve 283.5 g/bitki değerleri belirlenmiştir (P<0.05). Her üç sıcaklık düzeyinde B₁₀ uygulamasıyla kontrole göre %15.6-17.8 aralığında olmak üzere en az artış

sağlanmıştır. 300°C piroliz sıcaklığında elde edilen biyokömürlerin kontrole göre sağladığı artışların istatistiki açıdan önemli olmasına karşın diğer sıcaklıklara göre daha düşük düzeyde kaldığı görülmektedir. Ortalama değerleri dikkate alındığında 700 °C piroliz sıcaklığının verim parametresi üzerine istatistiki olarak en çok etkili olan değişken olduğu görülmektedir. Uygulama dozları açısından bir değerlendirme yapıldığında ise 60 t ha⁻¹ dozunun diğerlerinden istatistiki olarak daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır (P<0.05). Güngör (2018) tarafından 2 farklı mısır çeşidi için bitki toprak üstü aksamının yaş ağırlığının Hazar çeşidinde 288-312 g arasında, Helen çeşidinde 261-269 g belirttiği değerlere benzerlik gösterdiği söylenebilir. Korelasyon matrisi incelendiğinde Çizelge 9’da verim parametresi ile proje kapsamında incelenen 17 parametreden 12 tanesiyle önemli düzeyde bir ilişki göstermiştir. Bu ilişkilerden EC parametresiyle orta kuvvette negatif bir ilişki göstermiştir (r=-0.482, P<0.01). Topraktaki tuzluluk artışına bağlı olarak mısır bitkisi veriminin olumsuz etkilenmesi beklenen bir durumdur. Ancak biyokömür uygulamalarına bağlı olarak ortaya çıkan aralarındaki ilişkinin kuvveti, diğer başka çalışmalarının sonuçları ile birlikte tekrar gözden geçirilmelidir. Bu sayede bir toprak düzenleyicisi olan biyokömürün, toprak tuzluluğunun bitki üzerindeki olumsuz etkinliğinin azaltılmasındaki rolü daha net ortaya koyulabilecektir. Verim parametresi ile negatif korelasyon gösteren bir diğer parametre ise alınabilir demirdir. Fe_{al} ile verim arasında zayıf korelasyon belirlenmiştir (r=-0.297, P<0.05). Benzer şekilde Kars ve Ekberli (2020) tarafından 2013-2014 yıllarında yapılan bir çalışmada, Çarşamba Ovası’nı temsil eden 20 köyde, mısır tarımı yapılan topraklardan alınan örneklerde alınabilir demir miktarı ile mısır verimi arasında negatif yönde ve çok zayıf bir korelasyon belirlenmiştir (P>0.05). Aynı araştırmacılar bizim bulgumuza ters bir şekilde verim ile EC arasında ise pozitif bir

korelasyon belirlemişlerdir. Verim ile en yüksek pozitif korelasyon alınabilir potasyum ile saptanmıştır. İki parametre arasında r=0.879 ile %1 düzeyinde önemli çok güçlü bir ilişki belirlenmiştir. İlâveten, verim ile BSR arasında zayıf (P<0.05), C_{org}, KDK ve Ca_{al} ile aralarında orta (P<0.01) ve DHG, pH, N_t ve B_{al} ile aralarında ise güçlü korelasyon (P<0.01) belirlenmiştir (Çizelge 9).

Biyokömürün toprakların bazı mikrobiyal özellikleri üzerine etkisi

Uygulamaların araştırma topraklarında saptanan BSR değeri üzerine farklı piroliz sıcaklıklarının (sıcaklık) ve biyokömür uygulama konularının (konu) etkisi P<0.01 düzeyinde önemli olurken, sıcaklık x konu interaksiyonunun birlikte etkisi ise önemli bulunmamıştır. Çizelge 4’den de görüleceği üzere, araştırma topraklarının BSR değeri 4.01-8.40 µg CO₂-C g⁻¹ h⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Uygulama dozlarının BSR üzerine etkisi farklı piroliz sıcaklıkları için değişken olmuştur. İstatistiki olarak önemli en yüksek BSR aktivitesi 300 °C sıcaklıkta elde edilen biyokömür uygulamalarında saptanmıştır. Burada en yüksek aktiviteyi ise 8.40 µg CO₂-C g⁻¹ h⁻¹ değeri ile 30 t ha⁻¹ uygulaması sağlamıştır (P<0.05). En düşük BSR aktiviteleri ise 700°C’de sıcaklıkta elde edilen biyokömür uygulamalarında belirlenmiştir. Benzer şekilde 380°C’de elde edilen biyokömür ile vermikompostun karıştırılarak uygulandığı saksı topraklarında en yüksek BSR aktivitesi %50+%50 karışım oranında 0.21 µg CO₂-C g⁻¹ h⁻¹ olarak belirlenmiştir (Irmak Yılmaz ve Kurt, 2020). Biyokömür uygulamalarından 75 gün sonra alınan toprak örneklerinde düşük sıcaklıkta elde edilen biyokömür uygulamalarının yüksek BSR değeri göstermesi önemli bir sonuç olarak değerlendirilmiştir. Biyokömür uygulamaların toprak düzenleyicisi olarak ekolojik fonksiyonlarını yerine getirebilmesi her ne kadar stabil bir karbon sağlaması açısından değerlendirilse de, elde

edildikleri piroliz sıcaklığının bu anlamda önemli bir faktör olduğu karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla çalışmada kullanılan piroliz sıcaklıklarından 300°C sıcaklığının diğer sıcaklık değerlerine göre heterotrof mikroorganizmaları daha fazla aktive ettiği söylenebilir. Biyokömür uygulamaları BSR değerini kontrole göre % 11.7-105.6 arasında arttırmıştır. Ortalama değerler dikkate alındığında bu parametre için 300°C piroliz sıcaklığı ile 30 t ha⁻¹ uygulaması ön plana çıkmaktadır (P<0.05). Her üç piroliz sıcaklığındaki B₆₀ uygulamalarında ise, B₃₀ uygulamalarında elde edilen BSR değerlerinden daha düşük değerler elde edilmiştir (P>0.05). Dolayısıyla topraktaki mikrobiyal aktivite önceliklendiğinde 30 t ha⁻¹ uygulamasının daha uygun olduğu değerlendirilmektedir.

İkinci sırada kendisine yer bulan 500°C piroliz sıcaklığının ve 20 t ha⁻¹ uygulamasının da istatistiki olarak benzer gruplarda yer aldığı belirtilmelidir. BSR ile topraklardaki organik karbon miktarı arasında zayıf bir pozitif korelasyon belirlenmiştir. Topraklardaki taze ve/veya değerlendirilebilir karbon miktarının artmasıyla heterotrof mikrobiyal aktivitenin (BSR) artmasıyla beklenen bir sonuçtur. Çalışmamızda 10 t ha⁻¹ düzeyinde uygulanan vermikompostun her saksı için eşit koşullar oluşturduğu düşünüldüğünde burada farklı ortaya çıkaran en düşük piroliz sıcaklığında elde edilen biyokömürlerin uygulanması olmuştur. BSR ile C_{org} (r=0.368) ve B_{al} arasında (r=0.373) zayıf kuvvette ve % 5 önemli düzeyde pozitif bir ilişki belirlenmiştir (Çizelge 9).

Çizelge 4. Bağımsız değişkenlerin bazı mikrobiyal aktivite parametreleri üzerine etkileri

| | | Piroliz Sıcaklığı | | | Ortalama ^j | | | |
|--|------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------|---------|---------|
| | | 300°C | 500°C | 700°C | | | | |
| BSR ^a µg CO ₂ -C g ⁻¹ saat ⁻¹ | K ^b | 4.08 ^g b A ^h | (±0.89) ⁱ | 4.47 b A | (±0.95) | 4.86 a A | (±0.17) | 4.47 c |
| | B ₁₀ ^c | 5.69 ab A | (±1.22) | 4.01 b A | (±1.49) | 4.81 a A | (±1.43) | 4.84 c |
| | B ₂₀ ^d | 7.65 a A | (±0.62) | 6.27ab AB | (±0.91) | 5.47 a B | (±1.41) | 6.46 ab |
| | B ₃₀ ^e | 8.40 a A | (±0.94) | 7.64 a A | (±1.32) | 5.98 a B | (±1.01) | 7.34 a |
| | B ₆₀ ^f | 6.00 ab A | (±3.05) | 5.68ab AB | (±3.39) | 5.43 a B | (±0.42) | 5.70 bc |
| Ortalama^j | | 6.36 A | | 5.61 AB | | 5.31 B | | |
| DHG ^a µg TPF g ⁻¹ | K ^b | 102.4 ^g c A ^h | (±9.77) ⁱ | 103.0 a A | (±17.3) | 103.5 c A | (±10.6) | 103.0 c |
| | B ₁₀ ^c | 107.9 bc A | (±16.1) | 102.7 a A | (±107.7) | 108.8 c A | (±11.3) | 106.5 c |
| | B ₂₀ ^d | 123.1 a-c A | (±3.38) | 106.0 a A | (±15.5) | 124.1 bc A | (±5.45) | 117.7 b |
| | B ₃₀ ^e | 127.1 ab A | (±4.16) | 109.9 a B | (±5.80) | 132.3 ab A | (±8.27) | 123.1 b |
| | B ₆₀ ^f | 138.0 a A | (±9.98) | 111.2 a B | (±6.06) | 152.9 a A | (±16.9) | 134.0 a |
| Ortalama^j | | 119.7 A | | 106.6 B | | 124.3 A | | |

^a: BSR, toprak solunumu; DHG, dehidrogenaz aktivitesi; ^b: Kontrol; ^c: 10 Mg biyokömür ha⁻¹; ^d: 20 Mg biyokömür ha⁻¹; ^e: 30 Mg biyokömür ha⁻¹; ^f: 60 Mg biyokömür ha⁻¹; ^g: Tüm değerler üç tekrerrün ortalaması olarak kuru madde bazında verilmiştir; ^h: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir (P<0.05). Küçük harfler farklı UYGULAMALARIN aynı piroliz sıcaklığı içerisindeki, büyük harfler ise farklı PİROLİZ SICAKLIKLARI içindeki aynı uygulamanın karşılaştırmasını vermektedir; ⁱ: Standart sapma; ^j: Sütun ortalaması, aynı piroliz sıcaklığı içindeki farklı uygulamaların ortalamasını; satır ortalaması ise aynı aynı uygulamanın farklı piroliz sıcaklıklarındaki ortalamasını vermektedir.

Toprak enzim analizleri, topraklardaki biyokimyasal süreçleri araştırmak ve toprakların biyolojik durumunu yansıtmak için toprak kalitesinin olası bütüncül bir ölçüsü olarak kullanılmıştır (Bandick ve Dick, 1999, Ndiaye ve ark., 2000, Vepsäläinen ve ark., 2001). Enzim analizleri, aktif mikroorganizmalara ve toprak matrisinde stabilize edilmiş enzimlere bağlı bir toprak numunesinin toplam aktivitesini ölçer. Topraktaki

bozulmamış enzimleri bulunduğu ortamdan ekstrakte etmek zor olduğundan kütle yerine aktivite ölçülmektedir (Knight ve Dick, 2004). Küçük miktarlarda hücre dışı enzimler toprak kolloidleri üzerinde stabilize edilir ve aktivitelerini uzun süre koruyabilir (Burns, 1982, Nannipieri ve ark., 1996). Bu, bir mikrobiyal hücre tarafından alınamayacak kadar büyük veya çözünmeyen substratları ayırtmak ve/veya bu enzimleri sentezlemek zorunda

kalmadan yarar sağlayabilecek bazı toprak organizmalarına ekolojik bir avantaj sağlayabilir. Ek olarak, bu stabilize edilmiş enzimlerin hem proteolitik enzimler hem de ısı ile denatürasyona karşı korunduğu görülmektedir Nannipieri ve ark., 1996, Rao ve ark., 2000). İntraselüler bir enzim olan DHG aktivitesinin, toprağın mikroflorasının toplam oksidatif aktivite aralığını yansıttığı düşünülmektedir ve mikrobiyal aktivitenin iyi bir göstergesi olabilir (Nannipieri ve ark., 1990). Varyans analiz çizelgesine göre, araştırma topraklarında saptanan DHG değeri üzerine piroliz sıcaklığı ve biyokömür uygulama konularının etkisi %1 düzeyinde önemli bulunurken, sıcaklık x konu interaksiyonunun birlikte etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Topraklarının dehidrogenaz aktivitesi 102.40-152.92.4 $\mu\text{g TPF g}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. 500°C piroliz sıcaklığında elde edilen biyokömürlerin uygulandığı konularda DHG aktivitesinde bir artış görülse de bu artış istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır. Diğer iki piroliz sıcaklığında ise 10 ve 20 t ha⁻¹ dozları, kontrole göre önemli bir farklılık sağlayamamış olsa da 30 ve 60 t ha⁻¹ dozlarında kontrole göre önemli bir farklılık bulunmuştur. Yapılan tüm uygulamalar %3-47.7 düzeyinde kontrol toprağındakinden daha fazla DHG aktivitesi sağlamışlardır. Ortalama değerler dikkate alındığında DHG değerini en fazla arttıran uygulama B₆₀ konusu olmuştur (P<0.05). Piroliz sıcaklıkları açısından değerlendirildiğinde ise 300 ve 700°C sıcaklıklarında elde edilen biyokömürlerin etkinliğinin önemli bulunduğu söylenebilir (P<0.05). 380°C’de elde edilmiş biyokömür (BC) ile ticari vermikompostun (VC) değişik oranlarda karıştırıldığı bir sera saksı denemesinde, %25+%75, %50+%50 ve 0+%100 BC+VC karışımlarının topraktaki DHG aktivitesini en yüksek oranda teşvik ettiği belirlenmiştir (Irmak Yılmaz ve Kurt). Yapılan bu çalışmada DHG ile incelenen parametrelerden 10 tanesiyle bir ilişki

belirlenmiştir (Çizelge 9). DHG değişkeni ile diğer parametreler arasında kuvvetli (pH ve verim), orta (N_t, K_{al} ve B_{al}) ve zayıf (C_{org}, Ca_{al} ve Zn_{al}) düzeyde pozitif ilişkiler saptanmıştır (P<0.01, P<0.05). Bunun yanında DHG ile EC (r=-0.472, P<0.01) arasında orta ve Na_{eks} (r=-0.255, P<0.05) arasında ise zayıf negatif bir korelasyon belirlenmiştir.

Biyokömürün toprağın bazı kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Toprakların kimyasal özelliklerinden olan pH_{satüre}, EC_{satüre}, C_{org} ve KDK parametreleriyle ilgili olarak varyans analiz çizelgesine göre araştırma topraklarında saptanan pH_{satüre}, C_{org} ve KDK değerleri üzerine farklı piroliz sıcaklıklarının (sıcaklık) ve uygulama dozlarının (konu) etkileri %1 düzeyinde önemli bulunurken, EC_{satüre} üzerine etkileri ise %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. sıcaklık x konu interaksiyonunun birlikte etkisinin ise sadece C_{org} üzerine önemli olduğu saptanmıştır (P<0.05).

Araştırma topraklarının pH değerleri 6.93-7.51 arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 5). Farklı uygulama dozlarının pH üzerindeki etkinlikleri değişiklik gösterse de, yapılan tüm uygulamalar kontrole göre toprak reaksiyonunun yükselmesini sağlamıştır. Bu yükseliş %0.5 ile 6.2 arasında değişiklik göstermiştir. Önceki çalışmalarda biyokömürün toprak pH değerinde artış sağladığı belirtilmiştir (Berek 2014; Saygan ve Aydemir, 2016; Namlı ve ark., 2017). Uygulama dozlarının artışına bağlı olarak kontrol toprağındaki nötr toprak pH’sı, 60 t ha⁻¹ uygulaması ile hafif alkaline düzeye yükselmiştir (P<0.05). Piroliz sıcaklıkları açısından ise 700°C’lik sıcaklığın istatistiki olarak diğerlerinden önemli düzeyde farklılık yarattığı söylenebilir (P<0.05). Toprak reaksiyonu değeri en fazla önemli negatif korelasyon gösteren parametre olarak karşımıza çıkmaktadır (Çizelge 9). pH değeri ile EC_{satüre}, P_{al}, Mg_{al}, Na_{eks}, ve Fe_{al} değerleri arasında kuvvetli, zayıf ve

orta düzeyde negatif korelasyonlar belirlenmiştir. Buna karşılık pH değeri ile en yüksek ve kuvvetli pozitif ilişkiyi Verim parametresi ($r = 0.745$) göstermiş olup, bunu K_{al} parametresi ($r = 0.693$) takip etmiştir ($P < 0.01$). Toprak tuzluluğu, bitkisel üretimi sınırlandırabilen önemli faktörlerden birisidir. Saksı topraklarında

EC değeri, $881-1916 \mu S \text{ cm}^{-1}$ arasında değişiklik göstermiştir. Kontrol toprağını nispeten yüksek tuz içeriği, farklı piroliz sıcaklıklarındaki biyokömür uygulamalarıyla azalmıştır. Bu azalışlar %7.7-48.6 arasında gerçekleşmiştir. En yüksek azalışlar 700°C 'de elde edilen biyokömür uygulamalarıyla sağlanmıştır.

Çizelge 5. Biyokömür uygulamasının toprak kimyasal özellikleri üzerine etkileri

| | | Piroliz Sıcaklığı | | | | | | |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|---------------|-----------------------|---------------|---------|----------------|
| | | 300°C | 500°C | 700°C | Ortalama ^j | | | |
| pH_{satüre}^a | K^b | 6.95 ^g c A ^h | (±0.78) ⁱ | 6.93 c A | (±0.16) | 7.11 c A | (±0.08) | 7.00 d |
| | B₁₀^c | 7.10 b A | (±0.03) | 7.02 bc A | (±0.12) | 7.14 c A | (±0.03) | 7.09 c |
| | B₂₀^d | 7.13 b B | (±0.07) | 7.01 bc B | (±0.11) | 7.42 ab A | (±0.10) | 7.19 b |
| | B₃₀^e | 7.08 b B | (±0.07) | 7.20 ab AB | (±0.07) | 7.35 b A | (±0.10) | 7.21 b |
| | B₆₀^f | 7.38 a AB | (±0.10) | 7.31 a B | (±0.09) | 7.51 a A | (±0.04) | 7.40 a |
| | Ortalama^j | 7.13 B | | 7.09 B | | 7.31 A | | |
| EC_{satüre}^a $\mu S \text{ cm}^{-1}$ | K^b | 1728 ^g a A ^h | (±131) ⁱ | 1813 a A | (±135) | 1713 a A | (±196) | 1751 a |
| | B₁₀^c | 1321 a B | (±399) | 1916 a A | (±638) | 1187 b B | (±271) | 1475 ab |
| | B₂₀^d | 1375 a A | (±412) | 1673 a A | (±473) | 926 b B | (±268) | 1325 b |
| | B₃₀^e | 1424 a A | (±285) | 1463 a A | (±386) | 1033 b B | (±521) | 1307 b |
| | B₆₀^f | 1336 a A | (±678) | 1292 a A | (±433) | 881 b B | (±153) | 1170 c |
| | Ortalama^j | 1437 B | | 1632 A | | 1148 C | | |
| C_{org}^a g C_{org} kg⁻¹ | K^b | 20.9 ^g c A ^h | (±1.00) ⁱ | 20.6 c A | (±0.59) | 20.9 a A | (±0.10) | 20.8 c |
| | B₁₀^c | 30.4 b A | (±1.57) | 27.2 b A | (±4.68) | 26.1 a A | (±2.89) | 27.9 b |
| | B₂₀^d | 31.4 b A | (±1.22) | 27.7 b A | (±0.76) | 26.2 a A | (±4.86) | 28.4 b |
| | B₃₀^e | 32.6 b A | (±2.62) | 31.7 ab A | (±1.11) | 26.5 a B | (±2.71) | 30.3 b |
| | B₆₀^f | 43.4 a A | (±6.63) | 34.2 a B | (±1.06) | 26.5 a B | (±0.34) | 34.7 a |
| | Ortalama^j | 31.7 A | | 28.3 B | | 25.2 C | | |
| KDK^a me 100 g⁻¹ | K^b | 2.10 ^g b A ^h | (±0.05) ⁱ | 2.10 b A | (±0.10) | 2.15 b A | (±0.12) | 2.12 b |
| | B₁₀^c | 2.25 ab A | (±0.05) | 2.52 ab A | (±0.46) | 2.49 a A | (±0.16) | 2.42 a |
| | B₂₀^d | 2.27 ab B | (±0.28) | 2.76 a A | (±0.32) | 2.50 a AB | (±0.16) | 2.51 a |
| | B₃₀^e | 2.40 a B | (±0.24) | 2.73 a A | (±0.10) | 2.58 a AB | (±0.09) | 2.57 a |
| | B₆₀^f | 2.45 a A | (±0.11) | 2.64 a A | (±0.23) | 2.59 a A | (±0.08) | 2.56 a |
| | Ortalama^j | 2.30 B | | 2.55 A | | 2.46 A | | |

^a: pH_{satüre}, toprak reaksiyonu; EC_{satüre}, elektriksel iletkenlik; C_{org}, toprağın organik karbonu; KDK, kation değişim kapasitesi; ^b: Kontrol; ^c: 10 Mg biyokömür ha⁻¹; ^d: 20 Mg biyokömür ha⁻¹; ^e: 30 Mg biyokömür ha⁻¹; ^f: 60 Mg biyokömür ha⁻¹; ^g: Tüm değerler üç tekrerrün ortalaması olarak kuru madde bazında verilmiştir; ^h: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir ($P < 0.05$). Küçük harfler farklı UYGULAMALARIN aynı piroliz sıcaklığı içerisindeki, büyük harfler ise farklı PİROLİZ SICAKLIKLARI içindeki aynı uygulamanın karşılaştırmasını vermektedir; ⁱ: Standart sapma; ^j: Sütun ortalaması, aynı piroliz sıcaklığı içindeki farklı uygulamaların ortalamasını; satır ortalaması ise aynı aynı uygulamanın farklı piroliz sıcaklıklarındaki ortalamasını vermektedir.

B₆₀ uygulamasıyla EC değeri $881 \mu S \text{ cm}^{-1}$ değerine gerilemiştir. Toprak EC değerindeki azalmanın açıklanmasında yüksek dozlarda biyokömür uygulamasına bağlı olarak topraklarda meydana gelebilecek seyrelme etkisinden ilk etapta bahsedilebilecek olsa bile, 700°C 'deki diğer düşük uygulama dozlarında da kontrol toprağına göre istatistiki açıdan EC değerinde önemli bir düşüş belirlenmesi, yüksek sıcaklıkta elde edilen biyokömürün sahip olduğu fonksiyonel grupların etkinliği nedeniyle olduğu gerçeğini ön plana

çıkarmaktadır. Bu sonuçlar ile özellikle bir toprak düzenleyicisi olarak biyokömür uygulamalarının, tuzlu topraklardaki bitkisel üretimi arttırmak için bir çözüm olabileceği üzerine çalışmaların artarak devam etmesinin gerekliliğine dair ipuçları elde edilmiştir. EC değeri ile Mg_{al} ($r = 0.715$) ve Na_{eks} ($r = 0.725$) parametreleri arasında kuvvetli pozitif korelasyonlar belirlenmiştir ($P < 0.01$) (Çizelge 9). Toprak çözeltisinde 25°C 'de $1000 \mu S/cm$ EC değerini diğer tuzlara göre daha düşük konsantrasyon düzeylerinde sağlayabilen

MgCl₂ (400 mg kg⁻¹) ve NaCl (500 mg kg⁻¹) düşünüldüğünde çalışmamızdaki korelasyon sonuçları ile paralellik gösterdiği anlaşılabilmektedir. Alınabilir K ile EC arasındaki negatif korelasyon da dikkat çekicidir. İki parametre arasında %1 düzeyinde önemli ancak zayıf kuvvette ($r = -0.393$) bir ilişki belirlenmiştir. Dolayısıyla azalan tuzluluk değerlerinin potasyum elementinin alınabilirliğini artırdığı belirtilebilir. Topraklardaki kalite parametrelerinden en önemlisi toprakların organik karbon miktarıdır. Saksı topraklarının C_{org} miktarları 20.6-43.4 g kg⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. 75 günlük mineralizasyon sürecinden sonra alınan toprak örneklerinde, özellikle yüksek piroliz sıcaklıklarında elde edilen biyokömür uygulamalarında toprakların organik karbon içeriğinde artışlar belirlenmiştir. %24.7-107.8 düzeyinde sağlanan bu artışlar elbette ki artan biyokömür dozlarıyla birlikte artış göstermiştir. Toprakların kimyasal özelliklerinden bir diğeri ise katyon değişim kapasitesidir. Piroliz sıcaklığının artışına bağlı olarak KDK değeri, daha düşük dozlarda da kontrol saksıları KDK değerlerinden istatistiki olarak farklılaşmaya başlamıştır. 300°C sıcaklıktaki biyokömür uygulamalarıyla KDK değerinde B₃₀ uygulamasıyla kontrole göre istatistiki bir farklılık elde edilirken, 500°C sıcaklıkta bu etki B₂₀, 700°C sıcaklıkta ise B₁₀ ile sağlanmıştır. Deneme topraklarında KDK değeri 2.10-2.76 me 100 g⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. KDK değerini en fazla arttıran uygulama 500°C'deki B₂₀ uygulaması olmuştur. Biyokömür uygulamalarıyla KDK değeri kontrol toprağınkine göre %7.0-31.3 aralığında artış göstermiştir. KDK parametresi ile C_{org}, N_t ve B_{al} arasında zayıf ve önemli düzeyde pozitif bir ilişki belirlenirken, Ca_{al} ile arasında orta düzeyde ($r = 0.458$, $P < 0.01$), K_{al} ile arasında ise kuvvetli düzeyde ($r = 0.641$, $P < 0.01$) pozitif bir ilişki saptanmıştır (Çizelge 9). Toprakta anyon formunda bulunan makro

elementlerden olan P_{al} ile KDK arasında ise zayıf ve negatif bir ilişki belirlenmiştir ($P < 0.05$).

Biyokömür uygulamalarının toprak elementleri üzerine etkisi

Toprakların en önemli makro besin elementleri olan N_t, P_{al} ve K_{al} parametreleriyle ilgili olarak varyans analiz çizelgesine incelendiğinde; sadece araştırma topraklarında saptanan K_{al} değerleri üzerine tüm bağımsız değişkenler olan farklı piroliz sıcaklıklarının (sıcaklık), uygulama dozlarının (konu) ve sıcaklık x konu interaksyonunun birlikte etkisinin %1 önem düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Diğer iki element üzerine ise bağımsız değişkenlerin etkisi farklı olarak belirlenmiştir. N_t üzerine sadece uygulama dozları %1 önem düzeyinde etki ederken, P_{al} üzerine ise sadece sıcaklık değişkeni %5 önem düzeyinde etkili olmuştur. Araştırma topraklarındaki N_t değerleri 1.50-2.59 g kg⁻¹ aralığında değişiklik göstermiştir (Çizelge 6). Piroliz sıcaklıklarının toplam azot konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde bir etkisi belirlenmemiştir. Bu karşılık her üç sıcaklık değerinde de B₆₀ uygulamasının istatistiki olarak diğerlerinden farklı olduğu söylenebilir. Biyokömür uygulamaları N_t değerini %12-72.5 arasında arttırmıştır. Bunun aksine Liu ve ark. (2017), biyokömürün kendi başına biyo yararı bir N kaynağı olmadığını bunun nedeninin N'un piroliz esnasında piroler, imidazoller ve piridinler gibi heterosiklik bileşiklere dönüşmesi (Knicker, 2010) olduğunu belirtmişlerdir. 300°C'de toplam azot miktarındaki artış B₁₀ dozunda istatistiki olarak görülebilirken, artan C-stabilizasyon derecelerinde daha yüksek dozlarda ancak bu farklılık ortaya çıkabilmiştir. N_t parametresi ile K_{al} ve B_{al} parametreleri arasında orta düzeyde ve pozitif bir korelasyon belirlenirken ($P < 0.01$), Ca_{al} ile arasında zayıf ve pozitif bir korelasyon saptanmıştır ($P < 0.05$). Bir diğeri incelenen makro element ise alınabilir fosfordur (P_{al}). En düşük piroliz sıcaklığında uygulama

dozlarına bağlı olarak P_{al} değerlerinde kontrole göre istatistiksel herhangi bir farklılık oluşmamıştır. 300°C sıcaklıkta elde edilen biyokömür uygulamaları incelendiğinde, kontrol toprağı P_{al} değerlerine benzer ya da daha yüksek konsantrasyon değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Bu durum 300°C’de elde edilen biyokömürün mineralize olabileceğinin bir göstergesidir. Toprağına uygulanan biyokömürün P ’un yayırlılığını arttırdığını bildiren çok sayıda çalışma mevcuttur (Chan ve ark., 2007; Atkinson ve ark., 2010; Hossain ve

ark., 2011). Ancak 500 ve 700°C uygulama konularının P_{al} değerlerinde ise kontrol değerlerine göre bir azalış saptanmıştır. Bu durum ise yüksek sıcaklıklarda elde edilen biyokömürün ayrışmaya daha dayanıklı olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Ayrıca biyokömür uygulamalarına bağlı olarak pH yükselmesi nedeniyle fosfor adsorbsiyonunun artış gösterdiği söylenebilir. Çizelge 9’da yer alan toprak pH’sı ile P_{al} arasındaki negatif korelasyon da bu görüşü doğrular niteliktedir.

Çizelge 6. Biyokömürün toprağın N, P ve K konsantrasyonları üzerine etkisi

| | | Piriliz Sıcaklığı | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------|---------|----------------|-----------------------|----------------|
| | | 300°C | 500°C | | 700°C | | Ortalama ^j | |
| N_t^a g kg ⁻¹ | K^b | 1.73 ^g c A ^h | (±0.06) ⁱ | 1.70 c A | (±0.03) | 1.50 b B | (±0.08) | 1.65 c |
| | B₁₀^c | 1.99 b A | (±0.03) | 1.90 bc A | (±0.06) | 1.89 ab A | (±0.13) | 1.93 b |
| | B₂₀^d | 1.99 b A | (±0.09) | 1.96 bc A | (±0.06) | 1.87 ab A | (±0.08) | 1.94 b |
| | B₃₀^e | 2.02 b A | (±0.07) | 2.07 b A | (±0.05) | 1.90 ab B | (±0.06) | 2.00 b |
| | B₆₀^f | 2.35 a A | (±0.06) | 2.44 a A | (±0.29) | 2.59 a A | (±0.81) | 2.46 a |
| | Ortalama^j | 2.02 A | | 2.01 A | | 1.95 A | | |
| P_{al}^a mg kg ⁻¹ | K^b | 140.8 ^g e A ^h | (±8.91) ⁱ | 149.9 a A | (±11.2) | 147.6 a A | (±0.58) | 146.0 a |
| | B₁₀^c | 150.2 a A | (±5.92) | 131.1 ab B | (±8.57) | 135.8 b AB | (±4.10) | 139.0 a |
| | B₂₀^d | 151.1 a A | (±14.3) | 125.9 b A | (±26.2) | 127.7 c A | (±5.90) | 134.9 a |
| | B₃₀^e | 143.3 a A | (±19.6) | 136.0 ab A | (±1.75) | 130.0 bc A | (±5.43) | 136.3 a |
| | B₆₀^f | 143.8 a A | (±13.3) | 134.3 ab A | (±6.23) | 131.6 bc A | (±8.45) | 136.6 a |
| | Ortalama^j | 145.8 A | | 135.5 B | | 134.4 B | | |
| K_{al}^a mg kg ⁻¹ | K^b | 185.8 ^g e A ^h | (±9.78) ⁱ | 198.9 c A | (±5.65) | 192.3 c A | (±5.65) | 192.3 e |
| | B₁₀^c | 231.5 d A | (±5.65) | 241.2 c A | (±20.4) | 251.0 c A | (±14.9) | 241.2 d |
| | B₂₀^d | 254.3 c B | (±19.6) | 342.3 b A | (±42.6) | 329.3b AB | (±24.6) | 308.6 c |
| | B₃₀^e | 303.2 b C | (±9.78) | 371.6 b B | (±29.3) | 430.3 a A | (±25.9) | 368.4 b |
| | B₆₀^f | 443.4 a A | (±24.6) | 479.2 a A | (±25.9) | 397.7 a A | (±66.6) | 440.1 a |
| | Ortalama^j | 283.6 B | | 326.7 A | | 320.1 A | | |

^a: N_t , toplam azot; P_{al} , alınabilir fosfor; K_{al} , alınabilir potasyum; ^b: Kontrol; ^c: 10 Mg biyokömür ha⁻¹; ^d: 20 Mg biyokömür ha⁻¹; ^e: 30 Mg biyokömür ha⁻¹; ^f: 60 Mg biyokömür ha⁻¹; ^g: Tüm değerler üç tekrerrün ortalaması olarak kuru madde bazında verilmiştir; ^h: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre birbirinden istatistiksel olarak farklıdır (P<0.05). Küçük harfler farklı UYGULAMALARIN aynı piroliz sıcaklığı içerisindeki, büyük harfler ise farklı PİROLİZ SICAKLIKLARI içindeki aynı uygulamanın karşılaştırmasını vermektedir; ⁱ: Standart sapma; ^j: Sütun ortalaması, aynı piroliz sıcaklığı içindeki farklı uygulamaların ortalamasını; satır ortalaması ise aynı uygulamanın farklı piroliz sıcaklıklarındaki ortalamasını vermektedir.

Topraklardaki P_{al} değerleri 125.90-151.06 mg kg⁻¹ aralığında değişiklik göstermektedir. P_{al} ile K_{al} arasında zayıf ve negatif bir ilişki belirlenirken, Mg_{al} ile arasında zayıf ve pozitif bir korelasyon saptanmıştır. Topraklardaki K_{al} içeriği 185.82-479.22 mg kg⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. Ortalama değerler dikkat alındığında kontrol topraklarına göre K_{al} miktarındaki artış %21.3-141 arasında gerçekleşmiştir. 500 ve 700°C’de hazırlanan

biyokömürler bu artışı en fazla sağlamışlardır. Uygulama dozlarına göre bir artış trendi izlenmekte olup, en yüksek biyokömür dozu olan B₆₀ uygulaması 440.1 mg kg⁻¹ değeri ile K_{al} parametresini istatistiki olarak en fazla arttıran uygulama olmuştur. Korelasyon çizelgesi incelendiğinde K_{al} ile verim arasında çok kuvvetli ve pozitif bir korelasyon belirlenmiştir (r = 0.879, P<0.01). İlâveten, B_{al} ile arasında kuvvetli, Ca_{al} ile arasında ise

zayıf ve pozitif ilişkiler saptanmıştır. Buna karşılık K_{al} ile Fe_{al} arasında zayıf ve negatif bir korelasyon belirlenmiştir ($r = 0.315$, $P < 0.05$). İncelenen diğer elementler olan Ca_{al} , Mg_{al} , Na_{eks} , B_{al} , Fe_{al} , Cu_{al} , Zn_{al} ve Mn_{al} parametreleriyle ilgili olarak varyans analiz çizelgesine göre; farklı piroliz sıcaklıklarının (sıcaklık) Mg_{al} ve B_{al} üzerine %1, Na_{eks} üzerine %5, uygulama dozlarının (konu) ve sıcaklık x konu interaksiyonunun birlikte etkisinin Ca_{al} ve B_{al} üzerine %1 önem düzeyinde etkili olduğu ortaya çıkmaktadır. Diğer elementler üzerine ise bağımsız değişkenlerin etkisi belirlenmemiştir. Bor açısından bakıldığında toprakta bor içeren mineraller ve organik materyallerin ayrışması ile açığa çıkan bor: a) bitkiler ve diğer canlılar tarafından alınmakta, b) yıkanma ile topraktan uzaklaşmakta ve c) killer tarafından az miktarda adsorbe edilmektedir. (Karaman ve ark., 2012). Çalışmamızda kullanılan organik materyallerin bor içermesi nedeniyle bu parametre üzerinde etkin oldukları düşünülmektedir. Çizelge 7 incelendiğinde, uygulama yapılan topraklardaki Ca konsantrasyonu kontrol toprağınkine göre %2.2-45.6 arasında artış gösterirken, B düzeyleri %5.1-126.7 aralığında artmıştır. Kalsiyum üzerine tüm uygulama dozlarının, kontrole göre etkinliği istatistiksel olarak aynı düzeyde belirlenmiştir. Topraklardaki Ca içeriği 2663-4306 $mg\ kg^{-1}$ aralığında belirlenmiştir. En etkili piroliz sıcaklığı olarak ise 500°C öne çıkarken, 700°C'de sadece B_{60} dozu etkili olmuştur. ABD'de yer alan organik madde içeriği ve verimliliği düşük Ultisollere 11 ve 22 $t\ ha^{-1}$ uygulanan fıstık kabuğu ve çam atıklarından üretilen biyokömürün toprağın pH'sını düşürdüğü ve Ca'un yarayışlılığını arttırdığı görülmüştür (Gaskin ve ark., 2010). Çalışmamızda ise Entisollere uygulanan biyokömür (500°C) toprak pH'sını yükseltmiş (Çizelge 5) ancak yine Ca_{al} miktarını arttırmıştır (Çizelge 7). Saksı topraklarındaki bor konsantrasyonu 1.09-

2.46 $mg\ kg^{-1}$ arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek topraktaki alınabilir bor değerlerine en yüksek bor içeriğine sahip (69.50 $mg\ kg^{-1}$) ve ayrışabilirliği en yüksek olan 300°C'de elde edilmiş biyokömür uygulamalarıyla ulaşılmıştır. Piroliz sıcaklığı arttıkça alınabilir B miktarında düşme görülmüştür. Dolayısıyla içerdikleri yüksek bor içeriğine (500°C, 48.68 $mg\ B\ kg^{-1}$; 700°C, 42.13 $mg\ B\ kg^{-1}$) rağmen ayrışabilirliklerinin düşük oluşu, topraktan alınabilir bor miktarını da önemli düzeyde azaltmıştır ($P < 0.05$). Çalışma sonuçlarında ortaya çıkan ilginç bazı hususlar göze çarpmaktadır. Bunlar arasında Mg, Na ve Mn'nin 700°C'deki biyokömür uygulamalarında daha sıkı bir şekilde tutulduklarıdır. Her iki katyonun da en yüksek sıcaklıkta biyokömür uygulamalarına bağlı olarak topraklardaki alınabilir formlarında azalma meydana gelmiştir. Korelasyon çizelgesi incelendiğinde sodyum ile EC değeri arasında güçlü pozitif ilişki ($r = 0.725$, $P < 0.01$) toprak tuzluluğunun ortaya koyulmasındaki Na katyonunun önemini ortaya çıkarmaktadır. Alınabilir Bor ile Verim arasındaki yine güçlü pozitif ilişki ($r = 0.642$, $P < 0.01$), borun bitki beslemesindeki önemini ortaya koymaktadır. Araştırma topraklarındaki Fe_{al} değerleri 300°C deki biyokömür uygulamasında 17.06-19.33, 500°C deki biyokömür uygulamasında 17.29-18.03 $mg\ kg^{-1}$ ve 700°C deki biyokömür uygulamasında 15.21-18.49 $mg\ kg^{-1}$ aralığında değişiklik göstermiştir (Çizelge 8). En büyük Fe değeri 300°C deki biyokömür uygulamasında saptanmıştır. Toprakta farklı sıcaklıklarda elde edilen biyokömür uygulamalarının Cu_{al} değerleri 300°C deki biyokömür uygulamasında 2.29-2.39, 500°C deki biyokömür uygulamasında 2.27-2.42 $mg\ kg^{-1}$ ve 700°C deki biyokömür uygulamasında 2.13-2.35 $mg\ kg^{-1}$ aralığında değişiklik göstermiştir uygulamaların istatistiki olarak önemli bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 7. Biyokömür uygulamasının toprağın Ca, Mg, Na ve B konsantrasyonuna etkisi

| | | Piroliz Sıcaklığı | | | | | | |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------|---------|-----------------|
| | | 300°C | 500°C | 700°C | Ortalama ^j | | | |
| Ca_{al}^a mg kg ⁻¹ | K^b | 2663 ^g a A ^h | (±296) ⁱ | 2795 b A | (±285) | 2959 b A | (±98.6) | 2806 b |
| | B₁₀^c | 3189 a A | (±445) | 3649 ab A | (±430) | 3025 b A | (±399) | 3288 a |
| | B₂₀^d | 3353 a A | (±395) | 3847 a A | (±261) | 2860 b A | (±452) | 3353 a |
| | B₃₀^e | 3222 a A | (±151) | 3452 ab A | (±261) | 3025 b A | (±487) | 3233 a |
| | B₆₀^f | 3058 a A | (±549) | 3386 ab A | (±714) | 4307 a A | (±487) | 3584 a |
| Ortalama^j | | 3097 B | | 3426 A | | 3235 AB | | |
| Mg_{al}^a mg kg ⁻¹ | K^b | 877.7 ^g a A ^h | (±16.7) ⁱ | 871.0 a A | (±25.4) | 771.2 a B | (±19.2) | 840.0 a |
| | B₁₀^c | 807.8 a A | (±68.3) | 857.8 a A | (±79.0) | 786.5 a A | (±21.6) | 817.4 ab |
| | B₂₀^d | 865.0 a A | (±60.9) | 852.0 a A | (±43.2) | 750.3 a B | (±44.7) | 822.4 ab |
| | B₃₀^e | 852.0 a A | (±46.5) | 858.8 a A | (±34.3) | 773.6 a B | (±5.91) | 828.1 ab |
| | B₆₀^f | 838.2 a A | (±20.8) | 777.0 a A | (±50.5) | 767.4 a A | (±15.2) | 794.2 b |
| Ortalama^j | | 848.1 A | | 843.3 A | | 769.8 B | | |
| Na_{eks}^a mg kg ⁻¹ | K^b | 163.7 ^g a A ^h | (±20.5) ⁱ | 182.4 a A | (±18.0) | 167.1 a A | (±15.6) | 171.1 a |
| | B₁₀^c | 131.3 a A | (±50.2) | 170.5 a A | (±51.5) | 141.5 a A | (±53.2) | 147.8 a |
| | B₂₀^d | 129.6 a A | (±31.2) | 163.7 a A | (±36.9) | 115.9 a A | (±21.3) | 136.4 a |
| | B₃₀^e | 139.8 a A | (±29.5) | 173.9 a A | (±30.7) | 115.9 a A | (±31.3) | 143.2 a |
| | B₆₀^f | 133.0 a A | (±44.6) | 206.3 a A | (±94.6) | 122.8 a A | (±20.5) | 154.0 a |
| Ortalama^j | | 139.5 B | | 179.4 A | | 132.7 B | | |
| B_{al}^a mg kg ⁻¹ | K^b | 1.09 ^g c A ^h | (±0.03) ⁱ | 1.13 d A | (±0.02) | 1.11 c A | (±0.02) | 1.11 e |
| | B₁₀^c | 1.32 c A | (±0.07) | 1.35 c A | (±0.05) | 1.17 c B | (±0.07) | 1.28 d |
| | B₂₀^d | 1.55 bc A | (±0.07) | 1.52 bc A | (±0.10) | 1.29 b B | (±0.07) | 1.45 c |
| | B₃₀^e | 1.85 b A | (±0.20) | 1.63 b AB | (±0.11) | 1.38 b B | (±0.04) | 1.62 b |
| | B₆₀^f | 2.46 a A | (±0.48) | 2.05 a AB | (±0.21) | 1.51 a B | (±0.04) | 2.01 a |
| Ortalama^j | | 1.65 A | | 1.54 B | | 1.29 C | | |

^a: Ca_{al}, alınabilir kalsiyum; Mg_{al}, alınabilir magnezyum; Na_{eks}, ekstrakte edilebilir sodyum; B_{al}, alınabilir bor; ^b: Kontrol; ^c: 10 Mg biyokömür ha⁻¹; ^d: 20 Mg biyokömür ha⁻¹; ^e: 30 Mg biyokömür ha⁻¹; ^f: 60 Mg biyokömür ha⁻¹; ^g: Tüm değerler üç tekerrürün ortalaması olarak kuru madde bazında verilmiştir; ^h: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir (P<0.05). Küçük harfler farklı UYGULAMALARIN aynı piroliz sıcaklığı içerisindeki, büyük harfler ise farklı PİROLİZ SICAKLIKLARI içindeki aynı uygulamanın karşılaştırmasını vermektedir; ⁱ: Standart sapma; ^j: Sütun ortalaması, aynı piroliz sıcaklığı içindeki farklı uygulamaların ortalamasını; satır ortalaması ise aynı uygulamanın farklı piroliz sıcaklıklarındaki ortalamasını vermektedir.

Toprakta farklı sıcaklıklarda elde edilen biyokömür uygulamalarının Zn_{al} değerleri 300°C deki biyokömür uygulamasında 8.74-9.15, 500°C deki biyokömür uygulamasında 8.81-9.71 mg kg⁻¹ ve 700°C deki biyokömür uygulamasında 9.18-10.4 mg kg⁻¹ aralığında değişiklik göstermiştir uygulamaların istatistiki olarak önemli bir etkisi olmuştur. Araştırma topraklarındaki Mn_{al} değerleri 300°C deki biyokömür uygulamasında 16.83-19.20, 500°C deki biyokömür uygulamasında 16.13-20.43 mg kg⁻¹ ve 700°C deki biyokömür uygulamasında 14.57-17.75 mg kg⁻¹ aralığında değişiklik göstermiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen biyokömür uygulamalarının incelenen parametreler üzerine etkisi istatistiksel

olarak önemli düzeylerde farklılıklar göstermiştir. 300°C piroliz sıcaklığında elde edilen biyokömürün, 500 ve 700°C sıcaklıkta elde edilen biyokömüre göre daha kolay biyodegradasyona uğrayabildiği belirlenmiştir. Biyokömür uygulamalarına bağlı olarak incelenen parametreler %48 ile %141 arasında önemli değişiklikler göstermişlerdir (P<0.05). BSR değeri en çok 300°C'nin B₂₀ ve B₃₀ değerinden etkilenirken, 700°C'nin biyokömür uygulamalarının herhangi bir olumlu etkisi belirlenmemiştir. Bir diğer mikrobiyal parametre olan DHG ise en düşük kontrol ve B₁₀ uygulamalarında saptanmış olup, bu parametreyi en çok arttıran uygulamalar 300 ve 700°C sıcaklıktaki biyokömür uygulamaları olmuştur.

Çizelge 8. Biyokömürün toprağın Fe, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonu üzerine etkisi

| | | Piröliz Sıcaklığı | | | | | | |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------|---------|----------------|---------|-----------------------|
| | | 300°C | | 500°C | | 700°C | | Ortalama ^j |
| Fe_{al}^a mg kg ⁻¹ | K^b | 18.33 ^g a A ^h | (±2.01) ⁱ | 18.03 a A | (±2.05) | 18.00 a A | (±1.00) | 18.12 a |
| | B₁₀^c | 18.81 a A | (±0.44) | 17.76 a A | (±0.86) | 18.49 a A | (±1.19) | 18.35 a |
| | B₂₀^d | 19.33 a A | (±1.26) | 17.29 a AB | (±1.88) | 16.43 ab B | (±0.38) | 17.68 a |
| | B₃₀^e | 18.75 a A | (±4.01) | 17.58 a A | (±0.75) | 17.68 ab A | (±3.13) | 18.00 a |
| | B₆₀^f | 17.06 a A | (±1.05) | 17.37 a A | (±0.62) | 15.21 b A | (±0.85) | 16.55 a |
| Ortalama^j | | 18.46 A | | 17.61 A | | 17.16 A | | |
| Cu_{al}^a mg kg ⁻¹ | K^b | 2.29 ^g a A ^h | (±0.15) ⁱ | 2.40 a A | (±0.23) | 2.29 a A | (±0.28) | 2.33 a |
| | B₁₀^c | 2.30 a A | (±0.13) | 2.27 a A | (±0.14) | 2.35 a A | (±0.10) | 2.31 a |
| | B₂₀^d | 2.39 a A | (±0.07) | 2.37 a A | (±0.26) | 2.18 a A | (±0.01) | 2.31 a |
| | B₃₀^e | 2.32 a A | (±0.40) | 2.42 a A | (±0.11) | 2.25 a A | (±0.19) | 2.33 a |
| | B₆₀^f | 2.30 a A | (±0.10) | 2.34 a A | (±0.15) | 2.13 a A | (±0.05) | 2.25 a |
| Ortalama^j | | 2.32 A | | 2.36 A | | 2.24 A | | |
| Zn_{al}^a mg kg ⁻¹ | K^b | 8.87 ^g a A ^h | (±0.59) ⁱ | 9.71 a A | (±1.13) | 9.64 a A | (±1.43) | 9.41 a |
| | B₁₀^c | 8.76 a A | (±0.57) | 9.14 a A | (±1.41) | 9.18 a A | (±0.66) | 9.03 a |
| | B₂₀^d | 8.93 a A | (±0.26) | 9.44 a A | (±1.26) | 9.56 a A | (±0.77) | 9.31 a |
| | B₃₀^e | 8.74 a B | (±1.53) | 8.96 a B | (±0.80) | 10.1 a A | (±1.06) | 9.27 a |
| | B₆₀^f | 9.15 a A | (±0.73) | 8.81 a A | (±0.72) | 10.4 a A | (±1.19) | 9.44 a |
| Ortalama^j | | 8.89 B | | 9.21 AB | | 9.77 A | | |
| Mn_{al}^a mg kg ⁻¹ | K^b | 16.95 ^g a A ^h | (±1.59) ⁱ | 17.63 bc A | (±2.15) | 17.75 a A | (±3.58) | 17.44 a |
| | B₁₀^c | 16.83 a A | (±1.44) | 16.97 bc A | (±0.86) | 16.17 ab A | (±2.06) | 16.66 a |
| | B₂₀^d | 18.54 a A | (±1.68) | 16.13 c A | (±1.93) | 15.99 ab A | (±1.31) | 16.88 a |
| | B₃₀^e | 18.99 a A | (±3.75) | 20.43 a A | (±3.16) | 17.26 a A | (±1.84) | 18.89 a |
| | B₆₀^f | 19.20 a A | (±1.67) | 19.04 ab A | (±1.84) | 14.57 b A | (±1.08) | 17.60 a |
| Ortalama^j | | 18.10 A | | 18.04 A | | 16.35 B | | |

^a: Fe_{al}, alınabilir demir; Cu_{al}, alınabilir bakır; Zn_{al}, alınabilir çinko; Mn_{al}, alınabilir mangan; ^b: Kontrol; ^g: 10 Mg biyokömür ha⁻¹; ^d: 20 Mg biyokömür ha⁻¹; ^e: 30 Mg biyokömür ha⁻¹; ^f: 60 Mg biyokömür ha⁻¹; ^h: Tüm değerler üç tekerrürün ortalaması olarak kuru madde bazında verilmiştir; ^h: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir (P<0.05). Küçük harfler farklı UYGULAMALARIN aynı piroliz sıcaklığı içerisindeki, büyük harfler ise farklı PİROLİZ SICAKLIKLARI içindeki aynı uygulamanın karşılaştırmasını vermektedir; ⁱ: Standart sapma; ^j: Sütun ortalaması, aynı piroliz sıcaklığı içindeki farklı uygulamaların ortalamasını; satır ortalaması ise aynı aynı uygulamanın farklı piroliz sıcaklıklarındaki ortalamasını vermektedir.

Dolayısıyla mikrobiyal aktivite açısından en olumlu katkıyı 300°C piroliz sıcaklığında elde edilen biyokömür uygulamaları yapmış olup, uygulama dozu açısından 20-60 t ha⁻¹ dozu önerilebilir. Benzer şekilde alınabilir fosfor ile bor anyonları da 300°C piroliz sıcaklığı biyokömür uygulamalarından en olumlu etkiyi görmüşlerdir. Dahası 60 t ha⁻¹ uygulaması ile alınabilir bor konsantrasyonu en yüksek artışı yakalamıştır. Diğer kimyasal özellikler açısından sonuçlar irdelendiğinde ise, pH değeri 700°C ve 60 t ha⁻¹ uygulaması ile en yüksek artışı göstermiştir. Buna karşılık kontrol toprağında en yüksek belirlenen Mg divalent katyonu, 700°C ve 60 t ha⁻¹ uygulaması ile topraktaki en düşük seviyesine ulaşmıştır. Biyokömürün elde edilmiş hammaddesine göre değişmekle

birlikte yüksek pH'lara sahip biyokömürün toprakların pH değerini 75 gün gibi bir sürede %0.5-6.2 arasında arttırma potansiyelinin belirlenmesi, asidik toprakların ıslahında önemli bir sonuç olarak değerlendirilmektedir. Toprak tuzluluğunun bir göstergesi olan EC değeri, 700°C ve 20, 30 ve 60 t ha⁻¹ uygulamaları ile azaltılmış olması tuzlu toprakların ıslahı için önemli bir sonuçtur. İlâveten 700°C piroliz sıcaklığı uygulamalarının topraklardaki tuzluluğun bir diğer parametresi olan ekstrakte edilebilir sodyum konsantrasyonu üzerine ise dozlardan bağımsız olarak azaltıcı bir etki yaptığı belirlenmiştir. Toprakların verimlilikleri ile ilgili önemli bir parametre olan KDK ise, 500-700°C ve 10, 20, 30 ve 60 t ha⁻¹ uygulamaları ile artırılmıştır. %31.3 oranında yükseltme potansiyeli

belirlenen KDK, biyokömür uygulamalarının tüm dozları tarafından önemli düzeyde etkilenmiştir. Mikro elementlerden alınabilir Mn, Fe ve Cu açısından bağımsız değişkenlerin herhangi bir etkisi bulunamamıştır. Zn üzerinde ise

500°C ve 700°C piroliz sıcaklıkları dozlardan bağımsız olarak olumlu bir etki yaratmıştır. Verim parametresinde ise 700°C ve 60 t ha⁻¹ uygulaması ile %71.4 oranında bir artış saptanmıştır.

Çizelge 9. Değişkenler arasındaki Pearson korelasyon matrisi

| | <i>BSR</i> | <i>DHG</i> | <i>pH</i> | <i>EC</i> | <i>C_{org}</i> | <i>KDK</i> | <i>N_t</i> | <i>P_{al}</i> | <i>K_{al}</i> | <i>Ca_{al}</i> | <i>Mg_{al}</i> | <i>Na_{eks}</i> | <i>Fe_{al}</i> | <i>Cu_{al}</i> | <i>Zn_{al}</i> | <i>Mn_{al}</i> | <i>B_{al}</i> | <i>Verim</i> |
|------------------------|------------|------------|-----------|-----------|------------------------|------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--------------|
| <i>BSR</i> | 1.000 | | | | 0.368* | | | | | | | | | | | | 0.373* | 0.368* |
| <i>DHG</i> | 0.275 | 1.000 | 0.600** | -0.472** | 0.337* | | 0.403** | | 0.523** | 0.312* | | -0.342* | | | 0.312* | | 0.408** | 0.679** |
| <i>pH</i> | 0.161 | 0.600 | 1.000 | -0.733** | 0.392** | | 0.477** | -0.310* | 0.693** | | -0.617** | -0.400** | -0.359* | | | | 0.421** | 0.745** |
| <i>EC</i> | -0.194 | -0.472 | -0.733 | 1.000 | | | | | -0.393** | 0.715** | 0.725** | | | | | | | -0.482** |
| <i>C_{org}</i> | 0.368 | 0.337 | 0.392 | -0.215 | 1.000 | 0.312* | 0.507** | | 0.610** | | | | | | | 0.385** | 0.806** | 0.533** |
| <i>KDK</i> | 0.237 | 0.163 | 0.262 | -0.136 | 0.312 | 1.000 | 0.394** | -0.361* | 0.641** | 0.458** | | | | | | | 0.354* | 0.528** |
| <i>N_t</i> | 0.199 | 0.403 | 0.477 | -0.289 | 0.507 | 0.394 | 1.000 | | 0.562** | 0.348* | | | | | | | 0.572** | 0.690** |
| <i>P_{al}</i> | 0.071 | -0.002 | -0.310 | 0.288 | 0.105 | -0.361 | -0.225 | 1.000 | -0.298* | | 0.317* | | | | | | | |
| <i>K_{al}</i> | 0.253 | 0.523 | 0.693 | -0.393 | 0.611 | 0.641 | 0.562 | -0.298 | 1.000 | 0.352* | | | -0.315* | | | | 0.686** | 0.879** |
| <i>Ca_{al}</i> | 0.181 | 0.312 | 0.193 | -0.117 | 0.192 | 0.458 | 0.348 | -0.164 | 0.352 | 1.000 | | | | | | | | 0.401** |
| <i>Mg_{al}</i> | 0.113 | -0.237 | -0.617 | 0.715 | 0.033 | -0.113 | -0.131 | 0.317 | -0.282 | -0.039 | 1.000 | 0.516** | | | | | | -0.328* |
| <i>Na_{al}</i> | -0.140 | -0.342 | -0.400 | 0.725 | -0.099 | 0.104 | 0.021 | 0.198 | -0.026 | 0.049 | 0.516 | 1.000 | | | | | | |
| <i>Fe_{al}</i> | 0.071 | -0.261 | -0.359 | -0.066 | -0.026 | -0.204 | -0.199 | 0.227 | -0.315 | -0.123 | 0.063 | -0.175 | 1.000 | 0.724** | | 0.535** | | -0.297* |
| <i>Cu_{al}</i> | 0.108 | -0.166 | -0.274 | -0.005 | 0.040 | -0.021 | -0.099 | 0.132 | -0.081 | -0.113 | 0.178 | 0.013 | 0.724 | 1.000 | 0.423** | 0.656** | | |
| <i>Zn_{al}</i> | -0.082 | 0.312 | 0.194 | -0.207 | -0.200 | 0.067 | -0.095 | -0.042 | 0.144 | 0.050 | -0.138 | -0.154 | 0.174 | 0.423 | 1.000 | | | |
| <i>Mn_{al}</i> | 0.267 | -0.118 | -0.044 | -0.013 | 0.385 | -0.024 | 0.032 | 0.185 | 0.110 | -0.117 | 0.172 | 0.002 | 0.535 | 0.656 | 0.089 | 1.000 | 0.299* | |
| <i>B_{al}</i> | 0.373 | 0.408 | 0.421 | -0.255 | 0.806 | 0.354 | 0.572 | -0.074 | 0.686 | 0.136 | -0.011 | -0.052 | -0.095 | 0.028 | -0.093 | 0.299 | 1.000 | 0.642** |
| <i>Verim</i> | 0.368 | 0.679 | 0.745 | -0.482 | 0.533 | 0.528 | 0.690 | -0.285 | 0.879 | 0.401 | -0.328 | -0.154 | -0.297 | -0.150 | 0.115 | 0.061 | 0.642 | 1.000 |

** : Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlıdır (P<0.01); * : Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır (P<0.05). *BSR*, toprak solunumu; *DHG*, dehidrogenaz aktivitesi; *pH_{satüre}*, toprak reaksiyonu; *EC_{satüre}*, elektriksel iletkenlik; *C_{org}*, toprağın organik karbonu; *KDK*, katyon değişim kapasitesi; *N_t*, toplam azot; *P_{al}*, alınabilir fosfor; *K_{al}*, alınabilir potasyum; *Ca_{al}*, alınabilir kalsiyum; *Mg_{al}*, alınabilir magnezyum; *Na_{eks}*, ekstrakte edilebilir sodyum; *B_{al}*, alınabilir bor; *Fe_{al}*, alınabilir demir; *Cu_{al}*, alınabilir bakır; *Zn_{al}*, alınabilir çinko; *Mn_{al}*, alınabilir mangan; *Verim*, taze bitki biyokütlesi.

AÇIKLAMA

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen “Belediye Budama Atıklarından Farklı Piroliz Sıcaklıklarında Elde Edilen Biyokömürün, Mısır Bitkisinin Gelişimi İle Toprakları Bazı Kimyasal ve Mikrobiyal Özellikleri Üzerine Etkisi” projesi (Proje Numarası: FLP-2019-21328) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklardaki biyokömürün elde edilmesi aşamasındaki destekleri için Ostim Yenilenebilir Enerji ve Çevre Teknolojileri Kümelenmesi Yönetim Kurulu Başkanı Yaşar Çelik’e ve vermikompostu tedarik eden Baklan Meyvecilik ve Soğuk Hava Deposu İşletmeleri Ticaret A.Ş. sahibi üretici Gürkan Kocaer’e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akgül, G. 2017. Biyokömür; üretimi ve kullanım alanları. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi 5 (4): 485-499.
- Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Horie, T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Res* 111(1): 81-84.
- Atkinson, C., Fitzgerald, J., Hipps, N. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant Soil* 337: 1-18.
- Bandick, A.K., Dick, R.P. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 1471–1479.
- Banik, C. Lawrinenko, M. Bakshi, S. Laird, D.A. 2018. Impact of pyrolysis temperature and feedstock on surface charge and functional group chemistry of biochars. *Journal of Environmental Quality*, 47: 452–461.
- Berek, A. K. 2014. Exploring the potential roles of biochars on land degradation mitigation. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 1(3): 149–158.
- Bremner JM 1965. Total Nitrogen in CA. Black (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2*, American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin, USA. 1149-1178.
- Burns, R.G. 1982. Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology. *Soil Biology and Biochemistry* 14: 423-427.
- Chan, K.Y., Dorahy, C., Tyler, S. 2007. Determining the agronomic value of composts produced from garden organics from metropolitan areas of New South Wales, Australia. *Animal Production Science* 47(11): 1377-1382.
- Cohen, J. 1988. *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. Revised edition. Orlando, CA: Academic Press.
- Corder, G.W., Foreman, D.I. 2014. *Nonparametric statistics: A step-by-step approach*. 2nd edition. NJ John Wiley & Sons. P. 288.
- Ellis, R.J., Hanway, J.J., Holmgren, G., Keeney, D.R., Bidwell, O.W., 1973. Sampling and analysis of soils, plants, waste waters, and sludge-suggested standardization and methodology. *Agricultural Exp. Station, Kansas State University, Manhattan, Res. Pub. 170. North Central Regional Pub. 230*
- Evans, J.D. 1996. *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. CA: Brooks/Cole Publishing.
- 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 biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal* 102(2): 623-633.
- Gaskin, J.W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C., Bibens, B., 2008. Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Trans. ASABE* 51: 2061-2069

- Güngör, K. 2018. Hümik asit uygulamalarının mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin kök gelişimi ve besin elementleri alınma etkisi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Von Schuckmann, K., Beerling, D.J., Cao, J., Marcott, S., Masson-Delmotte, V., Prather, M.J., Rohling, E.J., Shakun, J., Smith, P., Lacerda, A., Russell, G., Ruedy, R. 2017. Young people's burden: requirement of negative CO₂ emissions. *Earth Syst. Dynam* 85194: 577-616.
- Hinkle, D.E., Wiersma, W., Jurs, S.G., 2003. *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*. 5th Ed. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Hossain, M.K., Strezov, V., Chan, K.Y., Ziolkowski, A., Nelson, P.F. 2011. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management* 92: 223-228.
- 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.
- Irmak Yilmaz, F., Kurt, S. 2020. The effects of biochar and vermicompost applications on some enzyme activities in rhizosphere root zone of corn (*Zea mays* L.) plant. *Comptes Rendus de l'Académie Bulgare des Sciences* 73: 1177-1186.
- Isermeyer H. 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 56: 26-38.
- Jackson, M. L. 1967. *Soil chemical analysis*. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.
- Jäggi, W. 1976. Die Bestimmung der CO₂-Bildung als Maß der bodenbiologischen Aktivität. *Schweizer Landwirtschaftliche Forschung* 15: 371-380.
- Joseph, S. D., M. Camps-Arbestain, Y. Lin, P. Munroe, C. H. Chia, J. Hook, L. Van Zwieten, S. Kimber, A. Cowie, B. P. Singh, J. Lehmann, N. Foidl, R. J. Smernik, and J. E. Amonette. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. *Australian Journal of Soil Research* 48: 501–515.
- Kacar, B. İnal, A. 2008. *Bitki Analizleri*. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Karaman, M.R., Adiloğlu, A., Brohi, A.R., 2012. *Bitki Besleme*. Gübretaş. Dumat Ofset, Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti., Yenimahalle, Ankara. S. 1085.
- Kars, N. , Ekberli, İ. 2020. Çarşamba Ovası'nda soya yetiştirilen tarım alanlarının verimlilik durumlarının belirlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8: 14-25.
- Knicker, H. 2010. Black nitrogen'ean important fraction in determining the recalcitrance of charcoal. *Organic Geochemistry* 41: 947-950.
- Knight, T.R., Dick, R.P. 2004. Differentiating microbial and stabilized β -glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 2089-2096.
- Kuzyakov, Y., Subbotina, I., Chen, H., Bogomolova, I., Xu, X. 2009. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 210-219.
- Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M. 2006. Bio-Char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 403-427.
- Lehmann, J., Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management: An introduction. p. 1– 12. In J. Lehmann, and S. Joseph (eds.) *Biochar for environmental management: Science and technology*. International Biochar Initiative, Westerville, OH.
- Li, H.B. Dong, X.L. Evandro, B.S. Letuzia, M.O. Chen, Y.S. Lena, Q.M. 2017.

- Mechanisms of Metal Sorption by Biochars: Biochar Characteristics and Modifications. *Chemosphere* 178:466–478
- Lin, X.W., Zie, Z.B., Zheng, J.Y., Liu, Q., Bei, Q.C., Zhu, J.G. 2015. Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. *European Journal of Soil Science* 66: 329-338.
- Lin, X.W., Zie, Z.B., Zheng, J.Y., Liu, Q., Bei, Q.C., Zhu, J.G. 2015. Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. *European Journal of Soil Science* 66: 329-338.
- Lindsay, W.L., Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428
- Liu, Q., Liu, B., Zhang, Y., Lin, Z., Zhu, T., Sun, R., Wang, X., Ma, J., Bei, Q., Liu, G., Lin, X., Lin, X. 2017. Can biochar alleviate soil compaction stress on wheat growth and mitigate soil N₂O emissions? *Soil Biology and Biochemistry* 104: 8-17.
- 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.
- Namlı, A., Akça, M.O., 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.
- Nannipieri, P., Greco, S., Ceccanti, B. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag, J.M., Stotzky, G. (Eds.), *Soil Biochemistry*, vol. 6. Marcel Dekker Inc., New York, Basel, pp. 293–355.
- Nannipieri, P., Sequi, P., Fusi, P. 1996. Humus and enzyme activity, in: Piccolo, A. (Ed.), *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. Elsevier, New York, pp. 293–328.
- Ndiaye, E.L., Sandeno, J.M., McGrath, D., Dick, R.P. 2000. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 15: 26-36.
- Nelissen, V., Ruyschaert, G., Manka'Abusi, D., D'Hose, T., De Beuf, K., Al-Barri, B., Boeckx, P. 2015. Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment. *European Journal of Agronomy* 62: 65-78.
- Olsen, S.R. Dean, L. A. 1965. Phosphorus. In: Black CA (ed.). *Methods of soil analysis. part 2*. American Society of Agronomy. Inc. Publisher Madison Wisconsin, 1035-1049.
- Ortaş, İ. 2018. Bioçar'ın toprak kalitesi ve bitki gelişimi üzerine etkileri. *Organomineral Gübre Çalıştayı*, 53-68. I. Basım Mayıs 2018, İstanbul.
- Prat, P.F. 1965. *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties*. Ed. C.A. Black. American Society of Agronomy Inc. Publisher Agronomy Series No:9, Madison,USA, 1159.
- Rao, M.A., Violante, A., Gianfreda, L., 2000. Interaction of acidphosphatase with clays, organic molecules and organo-mineral complexes: kinetics and stability. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 1007–1014.
- Sarfraz R, Shakoor A, Abdullah M, Arooj A, Hussain A, Xing S, 2017. Impact of integrated application of biochar and nitrogen fertilizers on maize growth and nitrogen recovery in alkaline calcareous Soil. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 63:488–498.
- 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.
- Sizmur T, Quilliam R, Puga A.P., Moreno-Jiménez E, Beesley L, Gomez-Eyles, J.L. 2015. Application of

- Biyoçar for Soil Remediation. Agricultural and Environmental Applications of Biyoçar: Advances and Barriers, (sssaspecpub63)
- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., Bol, R. 2010. Biochar climate change and soil: A review to guide future research. Rep. No. 05/09. CSIRO.
- Soil Survey Staff, (1951). Soil survey manual. U.S. Dep. Agric. Handbk. No. 18. U.S. Government Printing Office. Washington. D.C. 503 pp
- 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.
- Summer, M.E., Miller, W.P. 1996. Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficients. In. D.L. Sparks et. al. (Ed.). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. SSSA Book Series No: 5. Am. Soc. of Agronomy and Soil Sci. Soc. Of Am. Inc. Publisher. Madison. Wisconsin USA. p. 1201-1230
- Thalmann, A. 1968. Zur methodik der bestimmung der dehydrogenaseaktivitaet im boden mittels triphenyltetrazoliumchlorid (TTC), *Landwirtsch Forsch* 21:249–258.
- Vepsäläinen, M., Kukkonen, S., Vestberg, M., Sirviö, H., Niemi, R.M., 2001. Application of soil enzyme activity test kit in a field experiment. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 1665–1672.
- Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J., Smith, C.J., 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94 (1-4): 23-38.
- Wolf B 1971. The Determination of Boron in Soil Extracts, Plant Materials, Composts, Manures, Water and Nutrient Solutions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2(5): 363-374.
- 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.
- Xu, D. Cao, J. Li, Y. Howard, A. Yu, K. 2019. Effect of Pyrolysis Temperature on Characteristics of Biochars Derived from Different Feedstocks: A Case Study on Ammonium Adsorption Capacity. *Waste Management*, 87: 652-660.
- Zhang H, Chen C, Gray EM, Boyd SE, Yang H, Zhang D, 2016. Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: A phosphate adsorbent and a source of available phosphorus. *Geoderma*, 276:1–6.
- Zimmerman, A.R. 2010. Abiotic and microbial oxidation of laboratory produced black carbon (biochar). *Environ. Sci. Technol.* 44:1295–1301.