



Biyokömür (Biochar) uygulamalarının tuzluluk stresi altında durum buğdayında (*Triticum durum* Desf.) bitki gelişim parametrelerine etkileri

Effects of biochar applications on plant development parameters in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under salinity stress

Ebru Pınar SAYĞAN¹ , Salih AYDEMİR² , Ali Volkan BİLGİLİ³

¹Zeytincilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, İzmir, Türkiye

^{2,3}Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-8249-7759>; ²<https://orcid.org/0000-0002-3236-8438>; ³<https://orcid.org/0000-0002-4727-8283>

To cite this article:

Saygan, E. P., Aydemir, S. & Bilgili, A. V. (2025). Biyokömür uygulamalarının, tuzluluk stresi altında durum buğdayının (*Triticum durum* Desf.) bitki gelişim parametrelerine etkileri. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 29(3): 438-447.

DOI: 10.29050/harranziraat.1598601

*Address for Correspondence:

Ebru Pınar SAYĞAN

e-mail:

ebrusaygan@hotmail.com

Received Date:

09.12.2024

Accepted Date:

11.07.2025

© Copyright 2018 by Harran University Faculty of Agriculture. Available on-line at www.dergipark.gov.tr/harranziraat



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

Öz

Tuz stresi, kurak ve yarı kurak bölgelerde bitkilerde büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkileyen abiyotik stres faktörlerinden biridir. Dört farklı bitkisel artık kullanılarak (pamuk sapı (PS), mısır koçanı (MK), zeytin posası (ZP), tütün sapı (TS)) 300 °C piroliz sıcaklığında biyokömürler elde edilmiştir. Bu çalışma da, durum buğdayında (*Triticum durum* Desf.) dört farklı biyokömür örneği ve 6 farklı tuz (NaCl) dozu uygulanmasının (0, 25, 50, 75, 100 ve 125 mM) çimlenme oranı, kök gelişimi ve sürgün gelişimi üzerinde tuz stresinin olumsuz etkilerini azaltmadaki rolü incelenmiştir. Deneme petri kablarında tesadüf parselleri deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak iklim odasında yürütülmüştür. Biyokömürsüz (kontrol) ve dört farklı biyokömür uygulamalarında tuz (NaCl) konsantrasyonu artması tohum çimlenme oranını azaltmıştır. Kontrol uygulamalarında en yüksek çimlenme oranı (%), kök uzunluğu (cm), kök ağırlığı (g), sürgün uzunluğu (cm), sürgün ağırlığı (g) sırasıyla %62.22, 1.76 cm, 0.31 g, 2.39 cm ve 0.49 g olarak ölçülmüştür. Biyokömür uygulamalarında ise en yüksek çimlenme oranı TS NaCl 75 mM dozunda %97.78 olarak gözlenmiştir. Sürgün uzunluğunda en yüksek değer TS NaCl 0 mM dozunda 8.64 cm olarak gözlenmiştir. En yüksek kök uzunluğu TS NaCl 50 mM dozunda 11.58 cm'dir. Artan tuz konsantrasyonları her bir uygulamada sürgün ve kök taze ağırlıklarını olumsuz yönde etkilemiştir. En yüksek değerler sürgün ağırlığı MK NaCl 0 mM dozunda 1.67 g ve kök ağırlığı TS NaCl 50 mM dozunda 0.84 g gözlenmiştir. Sonuç olarak, biyokömür uygulaması tuzlu koşullar altında çimlenme oranı ve kök gelişimini önemli ölçüde artırmaktadır. Tuzdan etkilenen topraklarda biyokömürün iyileştirici olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, çimlenme yüzdesi, kök gelişimi, tuzluluk, durum buğdayı

ABSTRACT

Salt stress, which is one of the abiotic stress factors, is one of the important environmental stress that adversely affect plant growth and development in arid and semi-arid regions. In this study, the role of the use of different biochar sources in reducing the negative effects of salt stress was investigated. The research was carried out using petri dishes in the climate room of Harran University Faculty of Agriculture. In this study, the effect of four different biochar (BC) sources (cotton stalk (CS), corn cob (CC), olive pulp (OP) and tobacco stalk (TS)) and 6 different doses of sodium chloride (NaCl) application (0, 25, 50, 75, 100 ve 125 mM) on seed germination rate, root growth and shoot growth in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) was investigated. An experiment was conducted using 9 cm-diam petri dishes in incubator condition. When the results are examined; Increased salt (NaCl)

concentration in non-biochar (control) and four different biochar source applications reduces seed germination rate. In without biochar application, the highest seed germination rate, root length, root weight, shoot length and shoot weight were measured as 62.22%, 1.76 cm, 0.31 g, 2.39 cm, and 0.49 g, respectively. In with biochar application, the highest germination rate was obtained as 97.78% at TS NaCl 75 mM dose, root length was 11.58 cm at TS NaCl 50 mM dose, root weight was 0.84 g at TS NaCl 50 mM dose, shoot length was 8.64 cm at TS NaCl 0 mM dose, and shoot weight was 1.67 g at CC NaCl 0 mM dose. It is found that with biochar application significantly increased germination rate and root development under saline conditions. It was concluded that biochar can be used as a remedial agent in salt affected soils.

Key Words: Biochar, germination percentage, root development, durum wheat

Giriş

Buğday (*Triticum aestivum*), temel gıda maddesi olarak dünya genelinde en yaygın olarak yetiştirilen ve tüketilen tahıllardan biridir. Uluslararası Hububat Konseyi'nin 2024 yılı raporuna göre, dünya genelinde buğday üretimi yaklaşık 799 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (FAO, 2024). Dünyada durum buğdayı (*Triticum durum*), özellikle makarna yapımında kullanılmaktadır. Dünya genelinde makarnalık buğday üretimi sınırlı sayıda ülke tarafından gerçekleştirilmekte olup, bu alanda Türkiye önemli bir üretici konumundadır. Türkiye'de toplam buğday üretiminin %17.8'sini makarnalık buğday üretimi oluşturmaktadır. Bu oran Türkiye'yi dünya sıralamasında 3. sıraya taşımaktadır (TMSD, 2022). Ayrıca 2023 yılı verilerine göre Türkiye, 4.3 milyon ton makarnalık buğday üretimi ile dünya genelinde 2. sıraya yükselmiştir (TUİK, 2024). Bu veriler, Türkiye'nin makarnalık buğday üretiminde ve küresel ölçekte artan rolünü ve stratejik önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Toprak tuzlanması, tarımsal üretim sistemlerini tehdit eden ve küresel ölçekte gıda güvenliğini riske atan önemli bir çevresel sorundur. Artan tuz birikimi, bitki su alımını zorlaştırarak büyümeyi sınırlar ve verim düşüşlerine yol açar (Hopmans ve ark., 2021). Bu durum, özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde daha yaygındır. Dünya genelinde tarım arazilerinin önemli bir kısmı tuzluluktan etkilenmektedir. Her yıl yaklaşık 1.5 milyon hektar tarım arazisi tuzlanmaya maruz kalmaktadır (Munns ve ark., 2002). Son verilere göre, toplam ekili alanların yaklaşık %20'si ve sulanan tarım alanlarının ise %33'  tuzluluk tehdidi altındadır (Kraamwinkel ve ark., 2021). Bu

oranlar, tarımın s rd r lebilirliğı açısından ciddi bir uyarı niteliğindedir.

Toprak tuzluluğı bazı topraklarda doğıal süreçlerle oluşmakla birlikte, iklim değışikliğı ve tarımsal faaliyetler ( zellikle aşırı sulama ve gübre kullanımı) sonucunda da meydana gelmektedir (Bratovcic, 2022). Tuz konsantrasyonunun göstergesi olarak kullanılan elektriksel iletkenlik (EC) değıeri, toprak çözeltisindeki tuz miktarının artmasıyla doğıru orantılı olarak yükselmektedir. Toprakta bulunan Na⁺, Cl⁻ ve diğıer tuzların iyon konsantrasyonu belirli standart seviyelerin üzerine çıktığında, tuzluluk sorunu ortaya çıkar. Bu durum öncelikle bitkilerin su alımını zorlaştırarak ozmotik dengelerini bozar; ardından, bitkilerin normal büyümesi ve gelişimi için kritik öneme sahip çeşitli metabolik faaliyetlerde önemli değışikliklere yol açar (Majedd ve ark., 2019).

Biyokömür, organik ham maddelerin oksijensiz veya çok az oksijenli ortamda piroliz işlemiyle üretilen, yüksek karbon ve mineral madde i eriğıne sahip bir organik üründür (Lehmann, 2007). Biyokömür uygulanması bitki aksamında biriken Na⁺ iyonu miktarını azaltarak tuz stresi altındaki bitkilerin gelişimini desteklemektedir (Lashari ve ark., 2013; Thomas ve ark., 2013; Lashari ve ark., 2014; Akhtar ve ark., 2015a,b). Tuzlu topraklarda yüksek Na⁺ konsantrasyonu, K⁺ iyonunun bitkiler tarafından alımını engeller. Biyokömür uygulanması ise bu olumsuz durum tersine çevirerek K⁺ alımını artırmakta, böylece toprak tuzluluk seviyesinin düşmesini sağlamaktadır. Ayrıca biyokömür, bitkilerin su ve besin maddesi alımını olumlu yönde etkiler (Lehmann ve Joseph, 2009; Akhtar ve ark., 2015a; Kanwal ve ark., 2018). Biyokömürler yüksek konsantrasyonda besin elementi içeriğı sayesinde

tohum çimlenmesini de teşvik edebilmektedir (Gaskin ve ark., 2008).

Farklı ham maddelerden üretilen biyokömürler, uygulama oranı, üretim yöntemi ve sahip oldukları fizikokimyasal özellikler bakımından önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Li ve ark., 2018; Ippolito ve ark., 2020). Bu nedenle, biyokömürlerin toprağa uygulamasından önce  n ekotoksikolojik etkilerinin değerlendirmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan hızlı tohum çimlenme testleri, biyokömür uygulamalarının çimlenme oranı ve bitki büyümesi üzerindeki muhtemel etkilerini belirlemek açısından pratik ve güvenilir yöntemlerdir. Başarılı tohum çimlenmesi, hem bitkinin sağlıklı bir şekilde büyümesi hem de gelişimini sürdürebilmesi için kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, çimlenme oranı ve erken dönem büyüme parametreleri, biyokömürün bitki verimliliği üzerindeki etkilerinin erken aşamada öngörülmesini sağlayabilir (OECD, 1984; Major, 2009).

Tohum  imlenme süreci, kuru tohumun suyu almasıyla ba lar ve kök ucunun (radikula) tohum kabuğunu kırarak dışarı çıkmasıyla tamamlanır (Wahid ve ark., 2007). Tuzluluk, bu süreci olumsuz etkileyen önemli çevresel stres faktörlerinden biridir. Yüksek tuz konsantrasyonları, çimlenmeyi tamamen engelleyebilece i gibi çimlenme yüzdesinde azalmaya ve çimlenme s resinde gecikmeye de neden olabilir (Z rb ve ark., 2019). Araştırmalar, özellikle orta düzeyde tuzluluk koşullarında (EC 4–8 dS m⁻¹; yaklaşık 40–80 mM NaCl), birçok kültür bitkisinde anlamlı verim kayıplarının meydana geldiğini göstermektedir (Koyro ve ark., 2008). Bu durum, tohum çimlenmesi ve erken fide gelişiminin, tuzlulu a karşı oldukça hassas olduğunu ortaya koymaktadır.

Farklı biyokömür türleri kullanılarak topraksız yeti me ortamında buğday, ma  fasulyesi ve yer fıstığı gibi bazı bitki türleri üzerinde yapılan araştırmalarda, biyokömür uygulamalarının tohum çimlenmesi ve fide gelişimi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu belirlenmiştir (Solaiman ve ark., 2012). Özellikle tuz stresi

koşullarında yapılan çalışmalarda, %2 oranında yaprak ve talaş karışımı biyokömür uygulamasının kök uzunluğunu %23, sürgün uzunluğunu ise %11 oranında artırdığı rapor edilmiştir (Kanwal ve ark., 2018).

Farklı biyokömür örneklerini değerlendirmek için  n ekotoksikolojik testlerin, topraksız koşullarda petri kabında gerçekleştirilen çimlenme denemesi ile yapılması oldukça önemlidir. Bu  alı ma, durum bu dayı (*Triticum durum* Desf.)  zerinde yürütülmüş olup, dört farklı bitkisel artıktan (pamuk sapı (PS), mısır koçanı (MK), zeytin posası (ZP), tütün sapı (TS)) 300  C piroliz sıcaklığında elde edilen biyokömürler ve farklı tuz dozlarının, çimlenme oranı, kök gelişimi ve sürgün gelişimi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, durum bu dayı (*Triticum durum* Desf.) tohumlarında, dört farklı biyokömür  rne i (PS, MK, ZP ve TS) ve 6 farklı tuz (NaCl) dozu (0, 25, 50, 75, 100 ve 125 mM) uygulanarak, bu uygulamaların çimlenme oranı, kök gelişimi ve sürgün gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Dört farklı bitkisel artık kullanılarak (pamuk sapı (PS), mısır koçanı (MK), zeytin posası (ZP) ve tütün sapı (TS)) 300  C'e piroliz sıcaklığında karbonizasyon metodu ile elde edilen biyokömür örnekleri 2 mm'lik elekten geçirilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan biyokömür örneklerinde; pH ve Elektiriksel iletkenlik  l  mleri (EC) 1:20 (biyokömür/saf su) oranında hazırlanmış süspansiyonlar kullanılarak, standart yöntemlere uygun biçimde ölçümler gerçekleştirilmiştir (Rajkovich ve ark., 2011). Ayrıca, biyokömürlerin toplam karbon (C) ve toplam azot (N) içerikleri, LECO element analiz cihazı ile belirlenmiştir.

Çimlenme denemelerinde kullanılmak üzere, her bir petri kabına 2.1 g biyokömür tartılarak konulmuş ve üzeri filtre ka ıdı ile kapatılmıştır. Denemede kullanılacak durum bu dayı tohumları, yüzey sterilizasyon amacıyla %1 sodyum hipoklorit (NaOCl)   zeltisinde 3 dakika

süreyle bekletilmiştir.

Her bir petri kabına 30 adet durum buğdayı tohumu yerleştirilmiş ve üzerine ilgili NaCl dozu (0, 25, 50, 75, 100 ve 125 mM) içeren 10 ml çözelti ilave edilmiştir. Su kaybını önlemek amacıyla, petri kapları parafilm ile hava almayacak şekilde sarılmış ve çimlenme için gerekli nem oranının sağlanabileceği iklim odasına yerleştirilmiştir. Deneme süresince örnekler, 25 ± 2  C'de sıcaklıkta 7 gün boyunca inkübasyona bırakılmıştır (Rhoades ve ark., 1993). Denemede,  apı 9 cm olan 108 adet petri kabı kullanılmıştır. Her bir biyokömür  rneği ve kontrol grubu, 3 tekerrürlü olacak şekilde, tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre planlanmıştır (Morrison ve Morris, 2000).

Denemede, 7. günün sonunda çimlenme oranı (%): Çimlenen tohum sayısı/Toplam tohum sayısı $\times 100$ formülü ile hesaplanmıştır (Ellis ve Roberts, 1980). Her bir örnek için morfolojik  l  mler (Sürgün uzunluğu (SU) (cm), kök uzunluğu (KU) (cm), sürgün ağırlığı (SA) (g) ve kök ağırlığı (KA) (g)) gerçekleştirilmiştir. Bu  l  mler standart yöntemlere uygun olarak yapılmıştır (Bray, 1963).

Deneme, tesadüf parselleri deneme deseninde ve faktöriyel düzende,    tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Elde edilen veriler, SPSS istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Farklı biyokömür örnekleri, tuz konsantrasyonları ve bunların etkileşimlerinin etkileri, varyans analizi (ANOVA) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Uygulamalar arasındaki farkların anlamlılığı, Duncan  oklu karşılaştırma

testi ile belirlenmiş ve $p < 0.05$ düzeyinde anlamlılık kontrolü yapılmıştır.

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Bu çalışmada elde edilen dört farklı biyokömür örneğinin pH değerleri 7.35-9.24, elektriksel iletkenlik (EC) değerleri $0.54-1.06 \text{ dS m}^{-1}$ arasında değişmektedir. Toplam karbon (C) içeriği en yüksek olan biyokömür  rneği MK biyokömürü olup (%80.29), ardından sırasıyla ZP biyokömürü (%67.91), TS biyokömürü (%64.40) ve PS biyokömürü (%58.40) olarak belirlenmiştir. Toplam azot (N) içeriği ise en yüksek ZP biyok m r nde (%1.86) tespit edilmiş, en düşük değer ise TS biyok m r nde (%0.75) olarak belirlenmiştir ( izelge 1). Bu durum, ham materyalin çözünür tuz miktarının düşük olmasına bağlanabilir (Almutairi ve ark., 2022). Ayrıca, biyokömür üretimi sırasında organik bileşiklerden bazik tuzların salınımı ve asidik fonksiyonel grupların bozunması, pH değerinin yükselmesine neden olmaktadır (Mukherjee ve ark., 2011). Biyokömürde bulunan çeşitli fonksiyonel gruplar, özellikle oksijen içeren karboksil (-COOH) ve hidroksil (-OH) grupların yapısı ve davranışı, çözelti pH'sında önemli değişikliklere yol açmaktadır (Oh ve ark., 2012). Biyokömürün kimyasal ve fiziksel özellikleri, üretildiği ham materyalin karakteristik yapısına bağlı olarak farklılık göstermektedir (Tan ve ark., 2015). Bu çalışmada ham materyaller arasındaki farklılıklara bağlı olarak biyokömür örneklerinin özelliklerinde değişiklikler gözlenmiştir.

Çizelge 1. Biyokömürlerin pH, EC, Toplam karbon ve Toplam azot değerleri

Table 1. pH, EC, Total carbon and Total nitrogen values of biochars

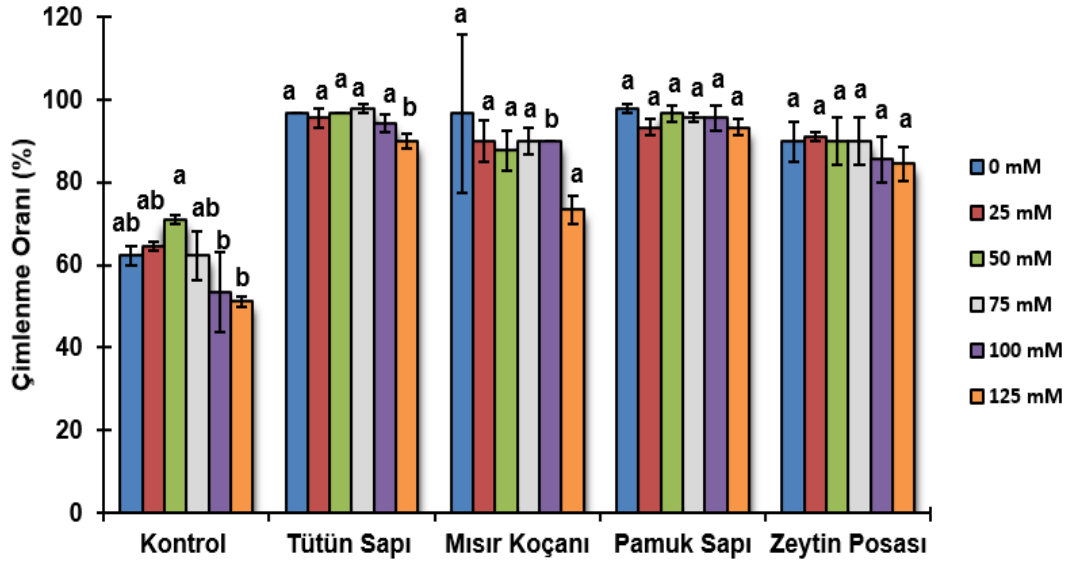
Biyokömür �rnekleri Biochar samples	pH	EC (dS m^{-1})	Toplam C (%) Total C (%)	Toplam N (%) Total N (%)
Tütün Sapı (TS)	7.52	0.54	64.40	1.72
Mısır Ko�anı (MK)	8.46	0.88	80.29	0.75
Pamuk Sapı (PS)	7.35	1.06	58.06	1.44
Zeytin Posası (ZP)	9.24	1.06	67.91	1.86

Biyokömür uygulamalarının iyileştirici etkisinin olup olmadığını belirlemek amacıyla, topraksız koşullarda  n tarama testi gerçekleştirilmiştir (OECD, 1984). Çalışma sonuçlarına göre, tohum

Çimlenme oranı (%) biyokömür uygulamalarına ve uygulanan tuz dozlarına bağlı olarak değişim göstermektedir (şekil 1). Kontrol  rneklerinde, NaCl 50 mM dozuna kadar tolerans gösterir iken,

daha yüksek tuz dozlarında çimlenme oranı belirgin şekilde azalmaktadır. Bu durum, tuz toksisitesinin bir sonucu olarak değerlendirilmiştir (Sidari ve ark., 2008). Biyokömür uygulamalarının, çimlenme oranı üzerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. Uygulamalar sonucunda en yüksek çimlenme oranı, TS biyokömürü ve NaCl dozu 75 mM’de %97.78 olarak belirlenmiştir. Biyokömür, yüksek karbon içeriğine sahip bir organik materyal olması nedeniyle bitki gelişimini

destekleyici bir rol oynamaktadır. Ayrıca, tuz stresine maruz kalan alanlarda biyokömür uygulamasının, tuz iyonlarının zararlı etkilerini azaltarak tuzluluk stresini hafiflettiği belirlenmiştir (Lehmann ve Joseph, 2009; Akhtar ve ark., 2015a; Kanwal ve ark., 2018). Araştırma sonuçları, biyokömür uygulamalarının buğday bitkisi üzerinde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymuştur.



Şekil 1. Farklı biyokömür uygulamaları ve artan NaCl dozlarının çimlenme oranı (%) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her bir sütun, üç tekerrürlü denemeden elde edilen ortalama değerleri $\pm$ standart hata (SH) değerlerini göstermektedir. Artan NaCl dozlarına bağlı olarak, mısır koçanı ve tütün sapı biyokömürü uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Buna karşın, kontrol grubu ile pamuk sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p > 0.05$).

Figure 1. The effects of different biochar applications and increasing NaCl doses on germination rate (%) were investigated. Each column represents the mean values obtained from three replicated experiments, along with the standard error (SE). Statistically significant differences were observed between the corn cob and tobacco stalk biochar applications in response to increasing NaCl doses ($p < 0.05$). In contrast, no statistically significant difference was found between the control group and the cotton stalk or olive pomace biochar applications ($p > 0.05$).

Kök uzunluğu ve sürgün uzunluğunun kontrol örneklerinde, NaCl dozunun 50 mM’ye kadar artış gösterdiği, ancak bu konsantrasyonunun üzerinde azalma eğilimi gözlemlendiği belirlenmiştir (Şekil 2 ve 3). Tuz stresini, bitki köklerindeki düşük osmotik potansiyel nedeniyle Na^+ iyonlarının birikimini artırmakta ve Na^+/K^+ dengesini bozarak osmotik stres ve iyon toksisitesine yol açmaktadır. Ayrıca, bu iyonik dengesizlik, hedef hücrelerdeki diğer önemli iyonların alımını ve taşınmasını engelleyerek kritik bitki süreçleri ve işlevlerinin

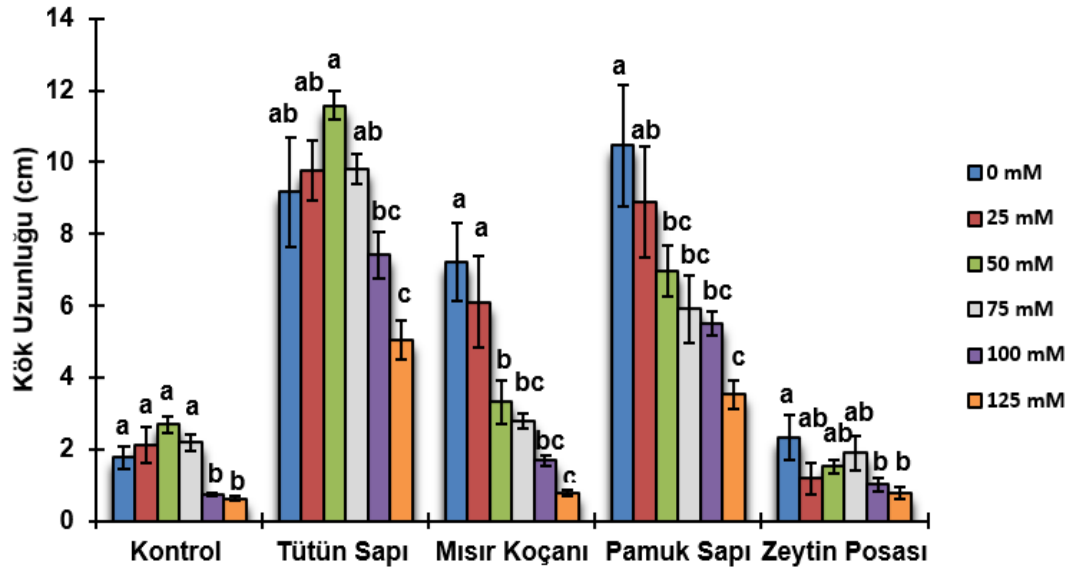
bozulmasına neden olur (Arif ve ark., 2020). Tuz stresinde, bitkilerde tohum çimlenme oranı, sürgün uzunluğu ve kök taze ağırlığında belirgin azalmalar gözlenmektedir (Dirik ve ark., 2020).

Farklı biyokömür örnekleri ve NaCl dozu uygulamalarının, kök ve sürgün uzunluğunun artırılmasında etkili olduğu görülmüştür. Kök uzunluğu açısından kontrol örnekleri ile biyokömür uygulanan örnekler karşılaştırıldığında, biyokömür uygulamalarının olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir. Biyokömürün fiziksel ve

kimyasal özellikleri ise kullanılan ham materyalin karakteristiğine bağlı olarak değiştiği bilinmektedir (Tan ve ark., 2015). Ham materyallerin özelliklerine bağlı olarak biyokömür uygulamalarında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Biyokömür uygulamalarında en yüksek değer TS biyokömürü ile NaCl 50 mM'da gözlemlenmiştir. Biyokömürün tuzlu topraklarda NaCl iyonlarını absorbe ederek tuzun zararlı etkilerini hafiflettiği ve kök büyümesini destekleyerek iyileştirici bir rol oynadığı belirtilmektedir (Lehmann ve ark., 2011; Akhtar ve ark., 2015a). Çalışma sonuçlarımızda, ZP biyokömürü dışındaki biyokömür uygulamalarının tamamının olumlu yönde iyileştirici etkiler sağladığı tespit edilmiştir.

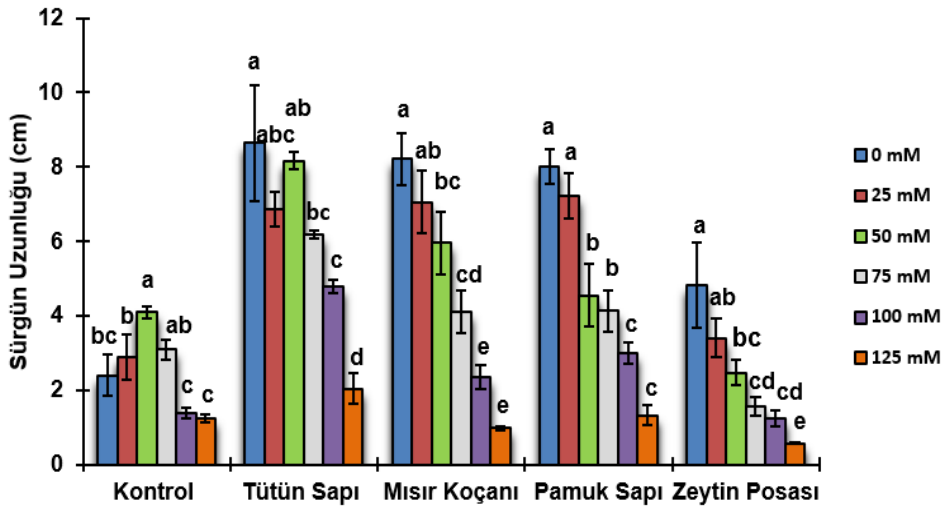
Sürgün uzunluğunda en yüksek değer, TS biyokömürü ile NaCl 0 mM'da elde edilmiştir.

Biyokömür uygulamalarında ise artan dozlarda NaCl dozlarıyla birlikte sürgün uzunluğu değerlerinde azalma gözlenmiştir (Şekil 3). Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) yapılan saksı denemesinde, farklı tuz konsantrasyonu (0, 25, 50, 75, 100 ve 125 mM) uygulandığında, NaCl 25 mM'dan sonra sürgün uzunluğunda azalma meydana geldiği rapor edilmiştir (Rengasamy, 2002). Çalışma sonuçlarımızda, kontrol örneklerinde belirgin azalma NaCl'nin 50 mM'dan sonra başlamıştır. Ayrıca, sürgün uzunluğu açısından kontrol örneklerine kıyasla TS, MK ve PS biyokömür uygulamalarında olumlu etkiler gözlenmiş, ancak ZP biyokömürü uygulamalarında bu olumlu etki görülmemiştir. Zeytin posası biyokömürünün yüksek pH değeri, sürgün uzunluğunda azalmaya neden olmuştur.



Şekil 2. Farklı biyokömür uygulamaları ve artan dozda NaCl uygulamalarının kök uzunluğu (cm) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her sütun, üç tekerrürlü denemeden elde edilen ortalama değerler ile $\pm$ standart hata (SH) değerlerini göstermektedir. NaCl dozlarındaki artışa bağlı olarak; kontrol, tütün sapı, mısır koçanı ve pamuk sapı biyokömürü uygulamaları arasında istatistiksel olarak çok anlamlı farklar belirlenmiştir ($p < 0.001$). Zeytin posası biyokömürü uygulamaları arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p > 0.05$).

Figure 2. The effects of different biochar and increasing doses of NaCl on root length (cm) are given. Each column shows the mean and $\pm$ standard error (SE) values of three replicate experiments. Depending on the increase in NaCl doses; statistically highly significant differences were determined among control, tobacco stalk, corn cob and cotton stalk biochar applications ($p < 0.001$). No significant difference was observed among olive pulp biochar applications ($p > 0.05$).



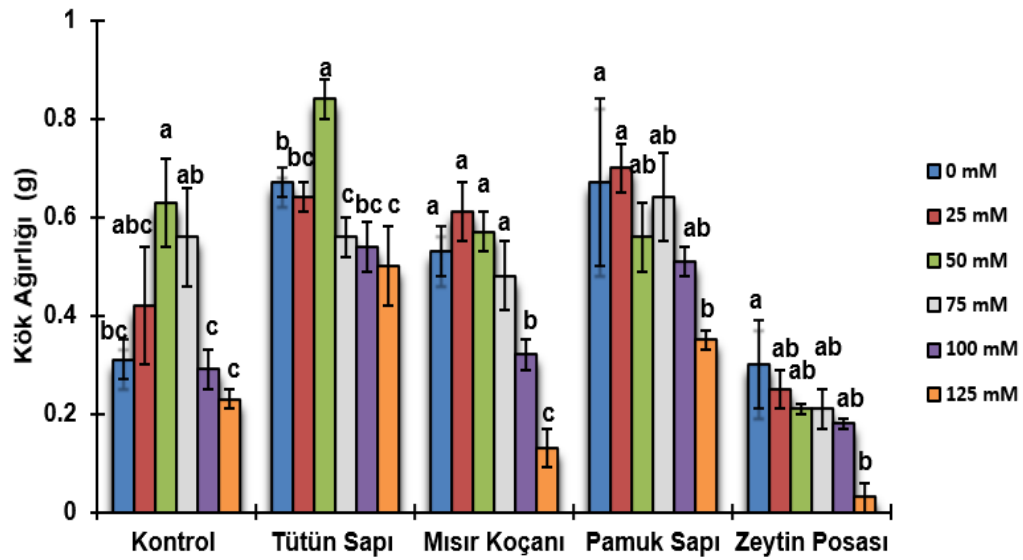
Şekil 3. Farklı biyokömür uygulamaları ve artan dozda NaCl uygulamalarının sürgün uzunluğu (cm) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her sütun, üç tekerrürlü denemenin ortalamasını ve $\pm$ standart hata (SH) değerlerini göstermektedir. NaCl dozlarında artışa bağlı olarak, tüm biyokömür uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir ($p < 0.001$).

Figure 3. The effects of different biochar application and increasing doses of NaCl on shoot length (cm) were investigated. Each column shows the mean and $\pm$ standard error (SE) values of three replicate experiments. Statistically significant differences were detected among all biochar applications with increasing NaCl doses ($p < 0.001$).

Şekil 4 ve Şekil 5’de yer alan kök ağırlığı ve sürgün ağırlığına ilişkin veriler incelendiğinde; genel olarak, kontrol örneklerinde tuz konsantrasyonunun bu parametreler üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Kontrol gruplarında, NaCl dozunun 50 mM’ye kadar artmasıyla birlikte ölçülen değerlerde artış gözlenmiş; ancak bu dozun üzerinde, azalmalar meydana gelmiştir. Literatürde, tuz stresi altındaki birçok bitkide sürgün ve kök ağırlıklarında belirgin azalmalar olduğu bildirilmiştir (Irshad ve ark., 2002). Ayrıca, sürgün kısmının kök kısmına göre daha az Na^+ biriktirmesine rağmen, sürgünlerdeki Na^+ içeriğinde artışın kök kısmından daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu durum, NaCl konsantrasyonunun artmasıyla birlikte, Na^+ iyonlarının kökten sürgüne taşınımının hızlandığını göstermektedir (Begum ve ark., 1992).

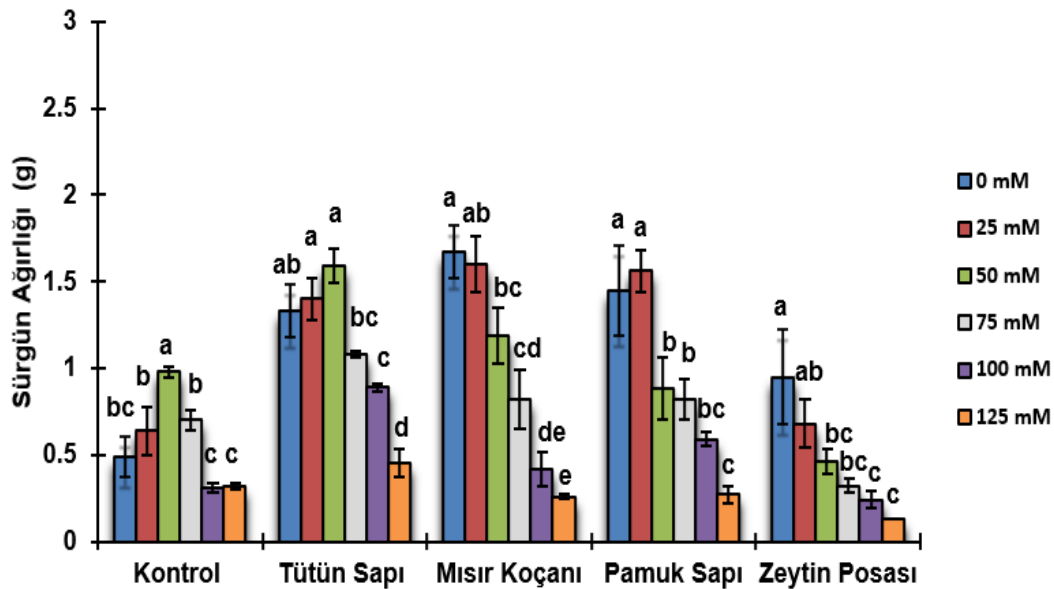
Farklı biyokömür ve NaCl dozu uygulamalarının buğday bitkisinde kök ağırlığı ve sürgün ağırlığını artırmada etkili olduğu belirlenmiştir. Farklı biyokömür uygulamaları arasında kök ağırlığı açısından en yüksek değer, TS biyokömürü ile NaCl 50 mM dozunda 0.84 g belirlenmiştir. Buna karşılık, en düşük değer ZP biyokömürü ve 125

mM’da 0.12 g olarak tespit edilmiştir. Artan tuz konsantrasyonu ile birlikte sürgün ağırlıklarında belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Buğday bitkisinde tuz stresinin hem sürgün ve hem de kök taze ağırlığını azalttığı; buna karşılık biyokömür uygulamalarının hem kontrol koşullarında hem de tuz stresi altında iyileştirici etki gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan araştırmalarda da tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerde tüm büyüme parametrelerinin, biyokömür ilavesi yapılanlara kıyasla daha düşük olduğu yönünde benzer bulgular rapor edilmiştir. Bu özelliklerdeki azalma, farklı ozmolitlerin birikimi, hücre bölünmesinin kısıtlanması ve tuz stresi sırasında önemli rol oynayan metabolik enzimler ile metabolik yolların aktivitesinde meydana gelen değişikliklerden kaynaklanabilir. Buğday tohumu kullanılarak yapılmış çalışmalarda, biyokömür uygulamasının kök ve sürgün ağırlığını arttırdığı belirlenmiştir (İlay, 2022). Bizim çalışma sonuçlarımız da bu bulguları desteklemekte olup, özellikle TS, MK ve PS biyokömür uygulamalarının kök ve sürgün ağırlığını artırmada daha etkili olduğunu göstermiştir.



Şekil 4. Farklı biyokömür uygulamaları ve artan dozda NaCl uygulamalarının kök ağırlığı (g) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her sütun, üç tekerrürlü denemenin ortalamasını ve $\pm$ standart hata (SH) değerlerini göstermektedir. NaCl dozlarına bağlı olarak, tütün sapı ve mısır koçanı biyokömürü uygulamaları arasında istatistiksel olarak çok anlamlı farklar belirlenmiştir ($p < 0.001$). Kontrol, Pamuk Sapı ve Zeytin Posası biyokömürü uygulamaları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p > 0.05$).

Figure 4. The effects of different biochar application and increasing doses of NaCl on root weight (g) were investigated. Each column shows the mean and $\pm$ standard error (SE) values of three replicate experiments. Statistically highly significant differences were observed between tobacco stalk and corn cob biochar applications depending on NaCl doses ($p < 0.001$). No significant difference was found between control, cotton stalk and olive pulp biochar applications ($p > 0.05$).



Şekil 5. Farklı biyokömür uygulamaları ve artan dozda NaCl uygulamalarının sürgün ağırlığı (g) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her sütun, üç tekerrürlü denemenin ortalamasını ve $\pm$ standart hata (SH) değerlerini göstermektedir. NaCl dozlarına bağlı olarak, tüm biyokömür uygulamaları arasında istatistiksel olarak çok anlamlı farklar belirlenmiştir ($p < 0.001$).

Figure 5. The effects of different biochar application and increasing doses of NaCl on shoot weight (g) were investigated. Each column shows the mean and $\pm$ standard error (SE) values of three replicate experiments. Depending on the NaCl doses, statistically significant differences were determined among all biochar applications ($p < 0.001$).

Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı materyallerden elde edilen biyokömür uygulamalarının artan tuz

konsantrasyonlarında durum buğdayının çimlenme ve bitki büyüme parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçları, buğdayın NaCl konsantrasyonlarından

önemli ölçüde etkilendiğini ve yüksek tuzluluğa karşı hassas olduğunu göstermiştir. Zeytin posasından elde edilen biyokömür hariç, diğer biyokömür uygulamalarının kök ve sürgün uzunluğu ile kök ve sürgün ağırlığını tüm tuz konsantrasyonlarında iyileştirici etkiler sağladığı belirlenmiştir. Ancak, biyokömürün tuzlu toprakların ıslahında etkin kullanımına yönelik daha kapsamlı ve detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Ekler

Bu çalışma, İzmir Çeşme’de düzenlenen 8th International Soil Science Congress on “Land Degredation and Challenges in Sustainable Soil Managment” etkinliğinde sunulu bir bildiri olarak yer almıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları, arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazarların Katkısı

Makale yazarları, çalışmanın tüm aşamalarına eşit oranda katkı sağlamıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesinde sağladığı katkılardan dolayı Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Biyometri ve Genetik Anabilim Dalı'ndan Dr. Öğr. Üyesi Selahaddin Kiraz hocamıza teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akhtar, S. S., Andersen, M. N. & Liu, F. (2015a). Biochar mitigates salinity stress in potato. *Journal of Agronomy and Crop Sciences*, 201, 368–378. DOI: <https://doi.org/10.1111/jac.12132>
- Akhtar, S. S., Andersen, M. N. & Liu, F. (2015b). Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. *Agricultural Water Management*, 158, 61–68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.04.010>
- Almutairi, A. A., Ahmad, M., Rafique, M. I. & Al-Wabel, M. I. (2022). Variations in composition and stability of biochars derived from different feedstock types at varying pyrolysis temperature, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22, 25-34. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.05.005>

- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A. & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: an omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156, 64–77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- Begum, F., Karmoker, J.L., Fattah Q.A. & Maniruzzaman, A.F.M. (1992). The effect of salinity on germination and its correlation with K, Na, Cl accumulation in germinating seeds of Triticum aestivum cv. Akbar. *Plant Cell Physiology*, 33, 1009-1014. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078324>
- Bratovic, A. (2022). Positive Aspects of Nanotechnology on Agricultural Sustainable Development: Application of Nanoparticles and Fibers for Increasing Agricultural Yield. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 8, 780-798. DOI: <https://doi.org/10.51193/ijaer.2022.8606>
- Bray, J.R. (1963). Root production and the estimation of net productivity. *Canadian Journal of Botany*, 41(1), 65-72. DOI: <https://doi.org/10.1139/b63-007>
- Dirik, K. Ö., Saygılı, İ., Özkurt, M. & Sakin, M. A. (2020). Bazı Yerel Ekmeklik Buğday (Triticum aestivum L.) Genotiplerinin Erken Gelişme Dönemindeki Tuz Stresine Toleransının İncelenmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(3), 688-693. DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i3.688-693.3192>
- FAO (2024). Food and Agriculture Organization (FAO). (2024). Statistical database. Erişim adresi: DOI: <http://www.fao.org/faostat>
- Gaskin, J.W. Steiner, C., Harris, K., Das, K.C. & Bibens, B. (2008). Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE*, 51(6), 2061–2069. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.25409>
- Hopmans, J.W., Qureshi, A.S., Kisekka, I., Munns, R., Grattan, S.R. & Rengasamy, P. (2021). Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. *Advances Agronomy*. 169, 1–191. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.03.001>
- Ippolito, J.A., Cui, L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J.M., Fuertes- Mendizabal, T., Cayuela, M.L., Sigua, G., Novak, J. & Spokas, K. (2020). Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: a comprehensive meta-data analysis review. *Biochar*, 2, 421–438. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00067-x>
- Irshad, M., Yamamoto, S., Eneji, A.E., Endo, T. & Hona, T. (2002). Urea and Manure Effect on Growth and Mineral Contents of Maize Under Saline Conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 25(1), 189- 200. DOI: <https://doi.org/10.1081/PLN-100108790>
- Kanwal, S., Ilyas, N., Shabir, S., Saeed, M., Gul, R., Zahoor, M., Batool, N. & Mazhar, R. (2018). Application of biochar in mitigation of negative effects of salinity stress in wheat (Triticum aestivum L.). *Journal of Plant Nutrition*, 41(4), 526-538, DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1392568>
- Koyro, H.W., Lieth, H. & Eisa, S. S. (2008). Salt tolerance of Chenopodium quinoa Willd, grains of the Andes, influence of salinity on biomass production, yield, composition of reserves in the seeds, water and

- solute relations. In: Lieth, H., Sucre, M.G., Herzog, B. (eds) *Mangroves and Halophytes, Restoration and Utilisation. Tasks for Vegetation Sciences*. Vol. 43. Dordrecht: DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6720-4_13
- Kraamwinkel, C. T., Beaulieu, A., Dias, T. & Howison, R. A. (2021). Toprak bozulmasının gezegensel sınırları. *İletişim, Dünya ve Çevre*, 2(1), 249. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00323-3>
- Lashari, M. S., Liu, Y., Li, L., Pan, W., Fu, J., Pan, G., Zheng, J., Zheng, J., Zhang, X. & Yu, X. (2013). Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain. *Field Crops Research*, 144, 113–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.015>
- Lashari, M. S., Ye, Y., Ji, H., Li, L., Kibue, G. W., Lu, H., Zheng, J. & Pan, G. (2014). Biochar-manure compost inconjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a salinesoil from central China: A 2-year field experiment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95 (6), 1321–1327. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6825>
- Lehmann, J. & Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: An introduction. In *Biochar for environmental management: Science and technology*, eds. J. Lehmann and S. Joseph, 1–12. London: Earthscan.
- Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and Environment*, 5 (7), 381–387. DOI: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2)
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C. & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota. *Soil Biology and Biochemistry*, 43 (9), 1812–1836. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Li, S.M. & Chen, G. (2018). Thermogravimetric, thermochemical, and infrared spectral characterization of feedstocks and biochar derived at different pyrolysis temperatures. *Waste Management*, 78, 198–207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.048>
- Majeed, A. & Muhammad, Z. (2019). Salinity: A Major Agricultural Problem—Causes, Impacts on Crop Productivity and Management Strategies. In: Hasanuzzaman, M., Hakeem, K., Nahar, K., Alharby, H. (eds) *Plant Abiotic Stress Tolerance*. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_3
- Major, J. (2009). Aguidetoconductingbiochartrials—International Biochar Initiative. 1-30, (www.biochar-international.org).
- Morrison, D.A. & Morris, E.C. (2000). Pseudoreplication in experimental designs for the manipulation of seed germination treatments. *Austral Ecology*, 25, 292–296. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2000.01025.x>
- Mukherjee, A., Zimmerman, A.R. & Harris, W.G. (2011). Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, 163, 247–255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.04.021>
- Munns R, James, R.A. & Lauchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57, 1025–1043. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erj100>
- OECD (1984). Terrestrial plant test: seedling emergence and seedling growth test. OECD Guidelines for testing of chemicals 208. OECD, Paris.
- Oh, T. K., Choi, B., Shinogi, Y. & Chikushi, J. (2012). Effect of pH conditions on actual and apparent fluoride adsorption by biochar in aqueous phase. *Water Air and Soil Pollution*, 223(7), 3729–3738. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1144-2>
- Sidari, M., Santonoceto, C., Anastasi, U., Preiti, G. & Muscolo, A. (2008). Variations in four genotypes of lentil under NaCl-salinity stress. *American Journal of Agriculture and Biological Science*, 3, 410–416. DOI: <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2008.410.416>
- Solaiman, Z. M., Murphy, D. V. & Abbott, L. K. (2012). Biochars influence seed germination and early growth of seedlings. *Plant and Soil*, 353, 273–287. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1031-4>
- Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hua, X. & Gu, Y. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous. *Chemosphere*, 125, 70–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>
- Thomas, S. C., Frye, S., Gale, N., Garmon, M., Launchbury, R., Machado, N., Melamed, S., Murray, J., Petroff, A. & Winsborough, C. (2013). Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. *Journal of Environmental Management*, 129, 62–68. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.057>
- TMSD, (2022). Türkiye Makarna Sanayicileri Derneği / Resmi internet sayfası <https://www.makarna.org.tr/anasayfa> (Erişim tarihi: 02.02.2022).
- TÜİK, (2024). Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr>
- Wahid, A., Perveen, M., Gelania, S. & Basra, S.M.A. (2007). Pretreatment of seed with H₂O₂ improves salt tolerance of wheat seedlings by alleviation of oxidative damage and expression of stress proteins. *Journal of Plant Physiology*, 164, 283–294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.01.005>
- Zörb, C., Geilfus, C.M., Dietz, K.J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant Biology*, 21, 31–38. DOI: <https://doi.org/10.1111/plb.12884>