

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI BİYOKÖMÜR UYGULAMALARININ (TÜTÜN SAPI, ZEYTİN POSASI)
TINLI TOPRAKLARDA AMONYUM VE NİTRAT KAYBI ÜZERİNE OLAN
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Zemzem FIRAT

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2021**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM	9
3.1. Materyal	9
3.1.1. Toprak Materyali	9
3.1.2. Biyokömür Materyali	11
3.2. Yöntem	12
3.2.1. Toprak ve Biyokömür Materyallerinin Analiz Yöntemleri	12
3.2.1.1. Toprak Analizleri	12
3.2.1.2. Biyokömür Analizleri	13
3.2.2. Kolondan yıkama denemesi	15
3.2.3. Su Uygulama ve Yıkama Çalışması	17
3.3. İstatistiksel Analizler	18
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	19
4.1. Yıkama Sürecinde Süzüklerin Kimyasal Özelliklerinin Zamansal Değişimi	19
4.1.1. Süzüklerin pH Değerleri	19
4.1.2. Süzüklerin EC değerleri	21
4.1.3. Süzük miktarları	23
4.1.4. Amonyum İçerikleri	25
4.1.5. Nitrat İçerikleri	27
4.2. Yıkama Sonrasında Kolon Topraklarının NH_4 ve NO_3 İçerikleri	30
4.2.1. Amonyum İçerikleri	30
4.2.2. Nitrat İçerikleri	33
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	36
5.1. Sonuçlar	36
5.2. Öneriler	39
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	46

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI BİYOKÖMÜR UYGULAMALARININ (TÜTÜN SAPI, ZEYTİN POSASI) TİNLİ TOPRAKLARDA AMONYUM VE NİTRAT KAYBI ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Zemzem FIRAT

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Salih AYDEMİR

Yıl: 2021, Sayfa: 46

Tarımsal üretimde yapılan özellikle azotlu gübrelerden kaynaklı kayıpların (Nitrat ve amonyum) önemi yapılan birçok çalışmada ortaya konulmuştur. Bu kapsamda ele alınan çalışmamızda amaç; farklı biyokömür çeşitleri kullanılarak tınlı topraklarda nitrat ve amonyum kaybını önlemek veya en aza indirmektir. Çalışma, tınlı tekstüre sahip bir toprak materyali ve yaygın olarak tarımsal ürün atıklarından elde edilen zeytin posası ve tütün sapı biyokömür materyalleri kullanılarak bir kolon denemesi olarak kurgulanmıştır. Kurgulama, biyokömür materyalleri 2 farklı dozda (%1.5 ve %3) tınlı topraklarla karıştırılarak 3 tekerrürlü tesadüf parselleri deneme desenine göre dizayn edilmiştir. Başlangıçta yıkama öncesi her kolona pamuk bitkisinin ihtiyaç duyacağı azot miktarı üzerinden hesaplanan azotlu gübreleme her kolon için Amonyum Nitrat gübresi 16 kg/da olarak uygulanmıştır. Sulama ise haftada bir defa olmak koşuluyla 6 hafta sürmüş ve damlama şeklinde yapılarak her bir kolona 750 ml olacak şekilde yıkama yapılmıştır. Her yıkama sonrasında haftalık olarak toplanacak olan sızıntı sularında nitrat ve amonyum içerikleri belirlenmiş ve düzenli olarak sızıntı sularının miktarı, EC ve pH değerleri belirlenmiştir. Yıkama çalışması sonunda kontrol ve biyokömürlerle karışımı yapılmış olan kolonlardan üç ayrı derinlikten 2'şer paralelli olarak 20 şer gram toprak örneği alınmış ve bunların amonyum ve nitrat içerikleri belirlenmiştir. Zira yapılan bazı çalışmalar biyokömürlerin kayıpları azalttığı yönündedir fakat bu çalışmada kullanılacak materyaller bu kapsamda ilk defa denenmiştir. Araştırma sonucunda; 6 haftalık yıkama boyunca biyokömür uygulama dozlarının artmasıyla birlikte yıkama sularının pH değerinin kontrol toprağı yıkama suyu pH değerine göre değişim göstermediği, tütün sapı biyokömürünün yıkama suyu EC değerinin kontrol toprağı yıkama suyuna göre artış gösterdiği, zeytin posası biyokömürünün yıkama suyu EC değerinin kontrol toprağı yıkama suyuna göre değişim göstermediği, süzük miktarının değişim göstermediği, yıkama suyu NH_4 ve NO_3 içeriklerinin kontrol toprağı yıkama suyu NH_4 ve NO_3 içeriklerine göre azalış gösterdiği belirlenmiştir. Biyokömür uygulanmış ve 6 hafta boyunca yıkanmış kolonların toprak derinliğinin artmasıyla birlikte; tütün sapı ve zeytin posası biyokömürlerinin toprak NH_4 ve NO_3 içeriklerinin değişmediği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında tütün sapı biyokömür uygulamaları orta bünyeye sahip topraklardaki azotlu gübre uygulamalarından kaynaklı amonyum yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık %89 azaltırken, %3 dozunda yaklaşık olarak %98 oranında bir düşürebilme potansiyeline sahip olmuştur. Nitrat yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık olarak %53 azaltırken, %3 dozunda yaklaşık olarak %66 oranında düşürebilme potansiyeline sahip olmuştur. Zeytin posası biyokömür uygulamaları orta bünyeye sahip topraklardaki azotlu gübre uygulamalarından kaynaklı amonyum yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık olarak %82 oranında azaltırken, %3 dozunda yaklaşık olarak %90 oranında bir düşürebilme potansiyeline sahip olmuştur. Nitrat yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık olarak %35 oranında azaltırken, %3 dozunda yaklaşık olarak %43 oranında düşürebilme potansiyeline sahip olmuştur. Tütün sapı ve zeytin posası %3 dozunda her ikisi de yaklaşık olarak %9 oranında daha fazla suyu kendi bünyesinde tutmuştur.

ANAHTAR KELİMELE: Nitrat, Amonyum, Yıkanma, Biyokömür, Tınlı Toprak

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT BIOCHAR APPLICATIONS (TOBACCO STICLE, OLIVE POT) ON AMMONIUM AND NITRATE LOSS

Zemzem FIRAT

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Plant Protection**

Supervisor: Prof. Dr. Salih AYDEMİR

Year: 2021, Page: 46

The importance of losses (nitrate and ammonium) in agricultural production, especially from nitrogen fertilizers, has been demonstrated in many studies. In this context, the aim of our study is; To prevent or minimize nitrate and ammonium loss in loamy soils by using different types of biochar. The study was designed as a column experiment using a soil material with a loamy texture and olive pot and tobacco sticle biochar materials commonly obtained from agricultural product wastes. The setup was designed according to a randomized plot design with 3 replications by mixing biochar materials with loamy soils at 2 different doses (1.5% and 3%). At the beginning, nitrogen fertilization, calculated on the amount of nitrogen that the cotton plant will need, was applied to each column before washing and Ammonium Nitrate fertilizer was applied as 16 kg/da for each column. Irrigation lasted for 6 weeks, provided that it was once a week, and 750 ml was washed to each column by dripping. The nitrate and ammonium contents of the leachate to be collected weekly after each washing were determined and the amount, EC and pH values of the leachate were determined regularly. At the end of the washing study, 20 grams of soil samples were taken from three different depths, in 2 parallel, from the columns that were mixed with control and biochars, and their ammonium and nitrate contents were determined. Because some studies show that biochars reduce losses, but the materials to be used in this study were tried for the first time in this context. As a result of the research; With the increase of biochar application doses during the 6-week washing, the pH value of the washing waters did not change according to the pH value of the control soil washing water, the washing water EC value of the tobacco sticle biochar increased compared to the control soil washing water, the washing water EC value of the olive pot biochar was compared to the control soil washing water. It was determined that the amount of filtrate did not change, the NH_4 and NO_3 contents of the wash water decreased compared to the NH_4 and NO_3 contents of the control soil wash water. With the increase in soil depth of the biochar applied and washed columns for 6 weeks; It was observed that the soil NH_4 and NO_3 contents of tobacco sticle and olive pot biochars did not change. In the light of these results, tobacco sticle biochar applications have the potential to reduce the ammonium leaching losses caused by nitrogen fertilizer applications in medium textured soils by approximately 89% at a dose of 1.5%, and by approximately 98% at a dose of 3%. While nitrate reduced leaching losses by approximately 53% at 1.5% dose, it had the potential to reduce approximately 66% at 3% dose. Olive pot biochar applications reduced the ammonium leaching losses caused by nitrogen fertilizer applications in medium textured soils by approximately 82% at the 1.5% dose, while it had the potential to reduce it by approximately 90% at the 3% dose. Nitrate leaching losses of 1%. While it decreased by approximately 35% at 5 doses, it had the potential to reduce approximately 43% at 3% dose. Tobacco sticle and olive pot both retained approximately 9% more water at the 3% dose.

KEY WORDS: Nitrate, Ammonium, Leaching, Biochar, Loamy Soil

TEŞEKKÜR

Tez yazım aşamasında edindiğim bilgiler ile birlikte daha etkili ve kaliteli bilgiler sunmamda bana destek veren ve engin bilgileriyle farklı bir bakış açısı kazanmamda etkili olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Salih AYDEMİR ' e saygılarımı sunar ve teşekkürlerimi iletirim. Ayrıca analizler kısmında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Ali Volkan BİLGİLİ hocama, Doç. Dr. Mehmet ŞENBAYRAM hocama ve Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'ndeki tüm değerli hocalarıma, sağladıkları desteklerinden ötürü teşekkürlerimi ve saygılarımı bir borç olarak bilirim.

Kolon tezgahını çizimi ve yapımında verdiği fikirler ile daha kullanışlı bir tezgâh yapan ve eğitim hayatım boyunca gerek maddi gerekse de manevi desteğini asla esirgemeyen babam Süphi FIRAT' a saygılarımı ve teşekkürlerimi iletiyorum.

Hayatımın her anında yanımda olan desteklerini asla benden esirgemeyen kocaman yürekli annem Güzide FIRAT, ağabeyim Şükrü FIRAT ve erkek kardeşim Abdulsamet FIRAT' a teşekkür eder ve tezimi atfederdim.



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3. 1. Laboratuvar Alanında Kolon Düzenegi	9
Şekil 3. 2. Toprak Örneği	10
Şekil 3. 3. Zeytin Posası ve Tütün Sapı Biyokömürünün Ana Materyal ve Biyokömür Halleri	10
Şekil 3. 4. Örnek Bir Kolon Düzenegi	15
Şekil 3. 5. Yıkama Uygulamasının Deneme Deseni	16
Şekil 3. 6. Çalışmaya Ait Bazı Görüntüler	18
Şekil 3. 7. Çalışmaya Ait Bazı Görüntüler	18
Şekil 4. 1. Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkamaya göre pH değerleri	20
Şekil 4. 2. Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkamaya göre EC değerleri	22
Şekil 4. 3. Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkamaya göre süzük miktarı	24
Şekil 4. 4. Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkamaya göre NH_4 içerikleri	26
Şekil 4. 5. Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkamaya göre NO_3 içerikleri	28
Şekil 4. 6. Biyokömür uygulanmış toprağın derinliğe göre NH_4 içerikleri	31
Şekil 4. 7. Biyokömür uygulanmış toprağın derinliğe göre NO_3 içerikleri	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3. 1. Kolon Denemesinde Kullanılan Toprağın Kimyasal Özellikleri	11
Çizelge 3. 2. Kolon Denemesinde Kullanılan Toprağın Fiziksel Özellikleri	11
Çizelge 3. 3. Denemede Kullanılan Biyokömürlerin Tanımlayıcı Özellikleri	11
Çizelge 3. 4. Denemede Kullanılan Biyokömürlerin Makro ve Mikro Element İçerikleri	12



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

M	Molar
%	Yüzde
p	İstatistiksel Önem Seviyesi
H ⁺	Hidrojen İyonu
NPK	Kompoze Gübre
NO ₃	Nitrat
NH ₄	Amonyum
KDK	Katyon Değişim Kapasitesi
ICP	İndüktif Eşleşmiş Plazma
pH	Toprak Reaksiyonu
EC	Elektriksel İletkenlik
OM	Organik madde
TS	Tütün Sapı
ZP	Zeytin Posası

1. GİRİŞ

Üreticiler daha yüksek ürün elde etmek adına genelde aşırı azotlu gübre kullanmaktadırlar (Fernández-Escobar ve ark., 2004).

Nitratin çok fazla hareketli bir anyon olması dolayısıyla, kil içeriği düşük tekstürlü topraklarda yıkanma olasılığının yüksek olmasına sebep olmaktadır (Kanhle ve ark., 2016).

Biyokömür uygulamaları hemen hemen her toprakta iyileştirici özellik taşımaktadır (Igarashi, 1996).

Bitkiler topraktan azotu amonyum ve nitrat iyonları şeklinde temin ederler. Sınırlı sayıda da olsa bazı bitkiler organik formdaki azottan faydalanabilmektedirler. Bitki tarafından alınan tüm azot formları, bitki bünyesinde amonyuma dönüşebilmektedir, buda birtakım biyokimyasal reaksiyon sonucunda aminoasitlerin ve proteinlerin oluşumunda kullanılmaktadır. Bitkileri gereğinden fazla azot alması ve alınan azotun proteine kadar dönüşümünün kimi faktörler tarafından alımının engellenmesi, bitki bünyesinde azot birikimine sebep oluşturmaktadır. Eğer azot nitrat formunda alınmışsa nitrat birikimine sebep olmaktadır.

Tarım alanına uygulanan azotun topraktan kaybı farklı yollarla olmaktadır. Bunlar; kültür bitkileri tarafından sömürülme, sulama ve yağış sularıyla topraktan yıkanması, gaz formuna dönüşerek atmosfere karışması ve erozyon ile uzaklaşması şeklindedir. Bu kayıplardan azotun nitrat şeklinde topraktan yeraltı sularına karışması önemli bir faktörü oluşturmaktadır. Çünkü, bu şekilde yeraltı sularına

karışan azotun yaklaşık %99'u "nitrat azotu" şeklindedir. İçme suyu kaynaklarından olan yeraltı sularının 'nitrat' anyonlarınca kirlenmesine yol açmaktadır. Sonuç olarak, önemli bir tarımsal girdi olan azotlu gübreler ile kirlenen yeraltı suları canlıların sağlığı açısından önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır.

Biyokömürün tanımı; karbonca zengin maddelerin çok az oksijen veya oksijensiz şartlarda çok yüksek sıcaklıkta (300-700 °C) yakılmasıyla veya karbonizasyon yöntemi ile oluşturulan karbonca zengin bir materyaldir (Lehmann ve ark., 2006).

Biyokömür uygulamalarının tarımsal üretim yapılan alanlarda azotun nitrat şeklinde yıkanmasını önemli düzeyde düşürebileceği belirtilmiş ve toprağa biyokömür ilavesi meydana gelen uygulamalar ile azotun topraktan yıkanarak uzaklaştırılmasının özellikle yeraltı sularının nitrat içeriklerinin artışının önlenmesi ve uygulanan gübreden kültür bitkilerinin daha fazla faydalanılması sağlanmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda biyokömürün toprak düzenleyici ve ekolojik düzenleyici olarak kullanımına yoğunlaşılmıştır. Biyokömür, karbon tutumunu ve toprak uygulamalarını iyileştirmek için toprak iyileştiricisi olarak tercih edilmektedir (Lehmann ve Joseph, 2009; Verheijen vd., 2009).

Biyokömürün topraktan N_2O ve NH_3 şeklindeki azot (N) kaybını azalttığı bilinmektedir (Singh vd. 2010).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dünya çapında yürütülen çalışmalarda gübre uygulanmış ya da uygulanmamış fark etmeksizin sadece yıkanmayla meydana gelen azot kayıplarının, yıllık dekara 0,1-50 kg azot olduğu görülmüştür (Fried ve Broeshart 1967). Bu sebeple özellikle Avrupa Ülkelerinde ahır gübresinin sonbaharda toprağa uygulama miktarları “Nitrate Directive 91/676/EEC” düzenlemesi ile kurala bağlanmıştır.

Asya ülkesi olan Tayland’da, yarı tropikal iklimde bulunan ağaçlık alanlarda verimsiz ve kumlu topraklarda karbonizasyon metodu ile elde edilen biyokömürün soya fasulyesi bitkisinde 10 t/ha oranında kullanılması durumunda N fiksasyonunun oluşması ile soya fasulyesi gelişiminde ve veriminde artış gösterdiğini gözlemlemiştir (Oka ve ark., 1993).

Geçmiş yıllarda gerçekleştirdiği araştırmalarla (1980-1990), farklı bitkiler üzerinde uyguladığı biyokömür maddesinin düşük dozlarda (0.5 t/ha^{-1}) olumlu yönde etki ettiği gözlemlerken bu oran arttırıldıkça bitkilerde olumsuz yönde bir etkiye neden olduğunu gözlemlemiştir (Glaser, 2001).

Bir lizimetre analizinde organik veya inorganik gübrelerin biyokömürle karıştırılarak toprağa uygulanmasının çeltik yetiştiriciliğinde topraktan yıkanan azot miktarını azalttığı ve bitkinin azot alımını arttırdığı gözlemlemiştir (Lehmann ve ark., 2003).

Biyokömür ilave edilmiş tarımsal uygulama toprağından (20 t/ha) 3 yıl süresince gözlemlenen N_2O salınımının %50 seviyesinden %80 ’e kadar azalttığı gözlenmiştir (Rondon ve ark., 2005).

Farklı ürünlerden biyokömür elde etmek için kısa döngülü odunsu bitkiler söğüt (Volk ve ark., 2004), yonca, çimen (Brown, 2009) ve otsu bitkilerin (Kamm, 2004) elverişliliği incelenmiştir.) Biyokömür kaynakları içerisinde; yerfıstığı

kabuğu, kentsel atıklar ve orman atıklarının da kullanılabileceğini vurgulamışlardır. (Lehmann ve ark. 2006).

Biyokömürün toprağa uygulanması durumunda NO (azot oksit) salınımında %80 düzeyinde bir düşüş gözlemlenmiş ve metan salınımı ise yok denecek kadar azalmıştır (Abbasi ve Adams, 2000; Lehmann, 2006).

Biyokömür, ısı enerjisi nedeniyle kullanılan bir materyal olması ile birlikte toprakta verimliliğin artırılması ve toprakta organik madde içeriğinin tedavi edilmesi atmosferik karbonu toprakta tutması, gaz emisyonları azaltılması, toprakta yüzlerce yıl himaye edilmesi ve toprak iyileştirilmesi gibi özellikleriyle önemli bir materyal olarak değer biçilmektedir (Ni ve ark, 2006); Lehmann, 2007).

Biyokömür ilavesi ince tekstürlü topraklarda toprak strüktürü ya da toprak agregasyonunu geliştirdiği belirtilmiştir (Kolb 2007).

Organik madde içerisindeki maddelerin yüksek ısı ve basınç altında, bir kısmı su buharı ve gaz halinde ortamdan uzaklaştırılırken geriye mikro gözenekli yapıda yoğun karbon içeren biyokömür veya siyah karbon dediğimiz karbon kalır. Biyokömür biokütleden (bitkisel ve hayvansal atıklar) elde edilen karbonca (C) zengin ince ve gözenekli materyallerdir (Lehmann ve ark., 2009).

Başka bir tanım ise hayvan gübrelerinin veya diğer organik atıkların yüksek sıcaklıkta yakılmasıyla elde edilen bir materyaller olarak tanımlanmıştır (Bracmort, 2009).

Biyokömürlerin toprağın fiziksel özelliği üzerinde etkisi; agregasyon, toprağın işlenebilirliği, ve saydamlığı olarak sıralanabilir. Biyokömürlerin yüzey alanları çoğunlukla kum veya kilden ölçülebilir oran olarak artık yüksektir, biyokömür; toprak ıslahında kullanıldığı toprakların toplam spesifik yüzey alanlarının artmasına sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir (Downie ve diğerleri, 2009).

Nitrat yıkanmasını önlemek veya azaltmak için gübreler ile beraber nitrat inhibitörü kullanılabileceği de belirtilmiştir (Fangueiro ve ark.,2009).

Yeni Zelanda'da çam, söğüt, okaliptüs ve mısır koçanı, kullanılarak 550 °C' de piroliz edilen biyokömürler, kumlu ve tınlı tekstürlere sahip topraklarda mısırın çimlenmesi amacıyla etkilerini görmek için kullanılmıştır. Araştırmada 20 cm derinlik olması koşulu ile 0, 2.5, 5.0 ve 10 ton/ha⁻¹ dozlarında biyokömürleri uygulanmıştır. Araştırmayı yapan kişiler denemenin bitiminde, başka biyokömürlerin ve dozların mısır tohumunu çimlenmesine kontrol toprağına kıyasla kayda değer seviyede etki ettiğini gözlemlemiş ve biyokömürün toprakta karbon depolanmasını ve toprağın kalitesinin artırılması için oldukça hayati etkileri olduğunu gözlemlemişlerdir. (Free ve ark., 2010).

Ceviz kabuğu biyokömürünün topraktan nitrat yıkanmasının 25-67 gün süreyle azalttığını gözlemlemişlerdir (Novak ve ark. 2010).

Biyokömür uygulamasının bitki besin elementlerinin yıkanmasına etkilerini değerlendirdiğimizde; (i) biyokömür uygulamasıyla besin elementlerinin tutulması veya yarıyışlılık seviyelerinin artırılması, (ii) besin elementi kullanım etkinliğinin artırılması, (iii) toprak + biyokömür bileşiminde iç reaktif yüzey alanının artırılması, (iv) bitkinin su tüketiminin artırılmasından ötürü bitki besin elementlerinin bitki kök bölgesinin alt kısmına iniş hızının azalması ve (v) bitki gelişim düzeyinin artması ile bitki için gerekli, besin elementinin kullanım miktarının artması beklenmiştir (Verheijen ve ark. 2010).

Topraklara çok fazla ahır gübresi uygulandığında özellikle toprak kaba bünyeli ise azotun nitrat olarak ortamdan yıkandığı gözlemlenmiştir. (Uzoma ve ark. 2011).

Topraklara biyokömür uyguladığımızda; gübre ihtiyacının yaklaşık %10 seviyesinde azalma, toprak asitliğinin giderilmesi, toprak reaksiyonunun artırılması, alüminyum toksisitesinin azaltılması, yararlı mantar hiflerini artırılması ile, toprağın biyolojik strüktüründe düzenleme, toprakta mevcut olan besin elementlerini tutma

(NPK), C mineralizasyonunun artması, azot fiksasyonunun dengelenmesi ve KDK'nin %50 oranında arttırılması ve toprak geçirgenliğinin arttırması ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin uzun sürede etkisi olduğunu bildirmiştir (Jeffery ve ark., 2011).

Araştırmacılar nitratin bitki kök bölgesinde tutunma süresinin elde edilen biyokömürün piroliz süresiyle alakalı olduğunu bildirmişlerdir. Üst düzey sıcaklıkta elde edilen biyokömür ham materyallerinin bitki kök bölgesinde nitrati daha fazla süre tutabildiğini belirlemişlerdir (Kameyama ve ark. 2012).

Yapılan bir çalışmada turba yosunu biyokömürleri %0, %1, %5 ve %10 oranlarında karıştırılmıştır. Üzerine NPK çözeltisi dökülerek birkaç kez yıkanmıştır. On iki yıkamadan sonra kontrol ve biyokömür eklenmiş topraklarda toplam nitrat miktarı arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Yaklaşık %47'si yıkanmıştır. Fakat nitrat pikinin yüksekliği azalırken ortaya çıkma zamanı biyokömür uygulama oranı ile birlikte gecikmiştir. Bu da biyokömürün nitrati tutarak çözeltiliye daha yavaş bıraktığının ispatıdır (Altland ve Locke, 2012).

Yapılan bazı araştırmalar biyokömürün anyon değişim kapasitesi olduğunu da göstermektedir (Laird ve ark., 2008). Bununla birlikte nitratin biyokömür içerisinde fiziksel olarak tutulduğu da gözlemlenmiştir. Özellikle biyokömürün içinde bulunan boşluklardaki çözeltilerin nitrati fiziksel olarak tuttuğu görülmüştür. (Case ve ark. 2012).

Son zamanlarda, türlü biyokömür ham materyalini kullanarak toprağın niteliklerini arttırdığı ve bitki besin elementlerinin yıkanmasını düşürdüğünü rapor etmişlerdir (Kanthé ve ark., 2016; Mukherjee ve ark., 2014; Sika and Hardie, 2014).

Çam ağacı biyokömürü 0,5, 2,5, ve 10 (%) dozlarında toprağa karıştırılarak ve 10kg/da olacak şekilde toprağa amonyum nitrat (NH_4NO_3) eklenerek altı hafta boyunca haftalık yıkama çalışması yapılan denemede %10 biyokömür uygulama dozunun, amonyum yıkanmasını %86 düzeyinde, nitrati yıkanmasını %96 düzeyinde azalttığını belirlemişlerdir (Sika ve Hardie, 2014).

Biyokütlenin çok yüksek sıcaklıklarda fiziksel ve kimyasal olarak değişimi ile varolan biyokömürün materyalinin bitki besin elementlerinin yıkanmasını azaltabileceğini ve gübre kullanım aktivitesini arttırabileceğini öngörmüşlerdir (Hardie ve ark., 2015).

Tarımsal üretim yapılan arazilerden nitrat yıkanmasının azaltılması, besin üreticilerinin ekonomik kayıplarını azaltması, yer altı sularında nitrat yıkanmasından ötürü meydana gelen bitki besin elementi yükünü azaltarak çevreye zararının en alt seviyeye indirilmesi, insan ve hayvanlara verilecek zararın azaltılması yönüyle önem arz etmektedir (Kanthé ve ark., 2016).

Pirina atığı biyokömürünün hafif tekstürlü topraklara uygulanması sonucunda toprağa eklenen amonyum ve nitratın yıkanması üzerine etkilerini araştırdığı denemesinde, biyokömür ilave edilmiş toprağın haftalık yıkama sayısının artması ile yıkama suyu pH seviyesinin arttığını, EC seviyesinin, yıkama süzük suyu miktarı ve nitrat içeriğinin ise azaldığını gözlemlerken, uygulama dozlarının artması ile beraber ise yıkama suyu pH seviyesinin ve nitrat içeriğinin azaldığını, EC seviyesinin arttığını ve yıkama süzük suyu miktarının değişmediğini gözlemiştir. (Bodur 2016).

Biyokömür uygulamaları, bitki besin maddelerinin yıkanmasına mâni olmakta, KDK' ni arttırmakta (Liang ve ark. 2006), toprakta bulunan biyokömürün farklı özelliklerine bağlı olarak pH' ı değiştirebilmekte, toprakta su tutma yeteneğini ve toprağın biyolojik aktivitesini arttırdığını söylemişlerdir. Düşük yüzey akışı veya bitki besin elementleri bakımından yoksun olan toprakta biyokömür uygulamasının faydalı olabileceği görüşünü savunmuşlardır (Aydemir ve ark., 2016).

Mısır yetiştiriciliği yapılan kireçli toprağa artan dozlarda (%0-0.2-0.4-0.6-1.2-2.4) biyokömür uygulaması yaptığı araştırmasında toprakların pH değeri, OM içeriği, toplam azot miktarı, amonyum ve nitrat içeriği, KDK değeri ve değişebilir Ca, K, Mg, miktarlarının artarken, çözünebilir Ca, K, Mg, miktarlarının ise azaldığını gözlemiştir. (Saygan 2017).

Farklı biyokömür çeşitlerinin toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerini araştırdığı çalışmasında artan dozlarda (%0-0.2-0.4) biyokömür uygulanması sonucunda toprak pH değeri, agregat stabilitesi, hidrolik iletkenlik ve su tutma kapasitesinin değişmezken, EC değerinin ise azaldığını gözlemlemiştir (Sari., 2018).

Mısır koçanı, fasulye hasat atığı ve çeltik kavuzundan oluşan 3 farklı bitki atığı, çalışmanın ana materyali olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında biyokömürün, maliyeti yüksek olmakla birlikte toprak verimliliği açısından önemli bir girdi olabileceğini vurgulamıştır (Günel, 2018).

Kompostlama işlemi sırasında oluşan amonyak kayıplarını azaltmak amacıyla artan dozlarda (%0-2-4-6-8) biyokömür uyguladığı araştırma sonucunda artan biyokömür dozlarına bağlı olarak amonyak (NH_3) kayıplarının azaldığını, amonyum ve nitrat miktarının ise arttığını belirtmiştir. Kompostlama ortamına biyokömür eklenmesi ile birlikte kompostlama sürecinin ilk haftasında ortam pH'ının düştüğünü buna bağlı olarak da amonyak kayıplarının azalarak, salınan amonyağın amonyum formunda biyokömür tarafından tutulmuş olabileceğini belirtmiş, aynı zamanda oluşan amonyumun nitrifikasyonu sonucunda nitrat miktarının da artmış olduğunu belirtmiştir (Bekçi., 2019).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Toprak Materyali

Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nde laboratuvar ortamında kolon denemesi olacak şekilde bir sistem kurulmuştur.



Şekil 3. 1. Laboratuvar Alanında Kolon Düzenegi

Çalışmada Adıyaman ilinde bulunan çiftçi arazisinden 0 – 30 cm derinlikten alınan tınlı toprak kullanılmıştır.



Şekil 3. 2. Toprak Örneği

Araştırmada çalışma materyali olarak GAP (Güneydoğu Anadolu Projesi) bölgesinde yaygın olarak kullanılan Tütün Sapı (TS) ve Zeytin Posası (ZP) kullanılmıştır.



Şekil 3. 3. Zeytin Posası ve Tütün Sapı Biyokömürünün Ana Materyal ve Biyokömür Halleri

Kolon denemesinde kullanılan toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri **Çizelge 3.1.** ve **Çizelge 3.2.** 'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. Kolon Denemesinde Kullanılan Toprağın Kimyasal Özellikleri

DERİNLİ K (cm)	pH (1:2.5)	EC (1:2.5) (μ S/cm)	Su Tutma Kapasitesi i (%)	Gravimetri k Nem (%)	Volumetri k Nem (%)	KDK (cmol/kg)
0-30	7.87	101.00	5.03	7.41	11.11	44.4

Çizelge 3. 2. Kolon Denemesinde Kullanılan Toprağın Fiziksel Özellikleri

Derinlik (cm)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Tekstür
0-30	45	22.5	32.5	L(Tınlı)

3.1.2. Biyokömür Materyali

Biyokömür materyali olarak Harran Ovası'nda tarımı yapılan ve endüstriyel atık olarak kullanılan Tütün Sapı ve Zeytin Posası kullanılmıştır. Çiftçi arazilerinden elde edilen bu tarımsal atıkların biyokömüre dönüştürülmesinde Okimori ve ark. (2003), Ogawa ve ark. (2006) ve Saygan (2017) tarafından belirtilen karbonizasyon yöntemi kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan biyokömürlerin tanımlayıcı özellikleri ve makro ve mikro element içerikleri **Çizelge 3.3.** ve **Çizelge 3.4.** 'te verilmiştir.

Çizelge 3. 3. Denemede Kullanılan Biyokömürlerin Tanımlayıcı Özellikleri

BİYOKÖMÜR	KDK (mg/kg)	Ca (mg/kg)	N (%)	Toplam C (%)	Su Tutma Kapasitesi (%)
Tütün Sapı (TS)	67,15	213,17	1,05	49,57	386,0
Zeytin Posası (ZP)	24,49	210,0	0,530	41,18	114,5

Çizelge 3. 4. Denemede Kullanılan Biyokömürlerin Makro ve Mikro Element İçerikleri

Biyokömür	Cu	Zn	Mg	Na	K	P	Fe	Mn
	-----mg/kg-----							
Tütün Sapı (TS)	0,076	0,185	21,41	3,17	85,76	1,22	10,18	0,37
Zeytin Posası (ZP)	0,064	0,09	15,94	6,8	20,24	0,92	20,94	2,95

3.2. Yöntem

3.2.1. Toprak ve Biyokömür Materyallerinin Analiz Yöntemleri

3.2.1.1. Toprak Analizleri

a) Toprak pH ve EC

pH adsorban ve su (1:2.5) karışımında hidrojen konsantrasyonu pH-metre ile EC ise kondaktivite metodu ile ölçülmüştür (Richards, 1954).

b) Toprak Tekstürü

Toprak tanelerinin büyüklük dağılımı (toprak tekstürü) bozulmuş toprak örneklerinin 2 mm' lik elekten geçirilmiş ve Bouyoucos tarafından belirtilen esaslara dayanarak hidrometre metodu ile yapılmıştır. (Gee ve Bauder, 1986).

c) Toprak Gravimetrik ve Volumetrik Nemi

Toprak örnekleri 105°C' de 24 saat kurutulduktan sonra ortaya çıkan ağırlık azalması dikkate alınarak hesaplanmıştır. Volumetrik nem ise gravimetrik nem yüzdesinin toprakların hacim ağırlıkları ile çarpılması sonucunda hesaplanmıştır.

d) Drenaj Suyu Nitrat (NO_3^-) ve Amonyum (NH_4^+) Analizi

Yıkama sonucunda toplanan süzüklerdeki yıkama suyunun NH_4^+ ve NO_3^- oranı iyon kromatografisi ile belirlenmiştir. (HÜBTAM)

e) Toprak Su Tutma Kapasitesi

Toprak numunelerinin alt kısmına 2 kat tülbent geçirip lastik ile sabitleyip, küçük silindir şeklindeki kaplara koyarak yüzeyleri buharlaşmayı engellemek maksadı ile kapalı tutulmuş ve 48 saat sature edilmiştir. Numuneler 48 saat sonra tartılıp, fırında 105°C 'de 24 saat kurutulup tekrardan tartılmıştır. Su tutma kapasitesi % ağırlık hesabına göre belirlenmiştir (Bodur 2016).

3.2.1.2. Biyokömür Analizleri**a) Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)**

Biyokömür örnekleri önce sodyum ve daha sonra amonyum ile doyurulması sonucu ortaya sodyum miktarının alev fotometresinde okuması yapılmıştır (Chapman, 1965).

b) Toplam Karbon (C) ve Azot (N)

Biyokömür örnekleri kurutulup, 0.5mm'lik elekten geçirildikten sonra kuru yakma ile THERMO C/N/H/S elementer analiz cihazı kullanılarak ASTM D5373 metoduna göre yapılmıştır (ASTM, 2020).

c) Ekstrakte Edilebilir Amonyum (NH_4) ve Nitrat (NO_3)

Biyokömür örneği 2M NaOH çözeltisi ile kjeldahl distilasyon ünitesi kullanılarak ekstrakte edilmiş ve titrasyon metodu ile NH_4 içerikleri belirlenirken,

aynı çözelti içerisinde Devarda's Alloy eklenerek $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ miktarı yine titrasyon ile belirlendikten sonra NO_3 miktarı belirlenmiştir (Mulvaney, 1996).

d) Su Tutma Kapasitesi

Biyokömürlerden alınan örneklerin altına 2 kat tülbent geçirilmiş ve lastikle oturtulan boş silindir kaplara doldurulduktan sonra suyla dolu silindir kabın içerisine koyularak üst kısmı buharlaşmayı önlemek amacı ile kapatılacaktır. Biyokömür örnekleri 48 saat boyunca doymuş hale getirme işlemi yapılacaktır. Doymuş örnekler tabanında önceden ıslatılıp boşaltılmış kum bulunan başka kaba alınacaktır. Örnekler 48 saat bitiminde tartılmış ve sonra fırında 105°C 'de 24 saat kurutulup tekrar tartılacaktır. Biyokömür su tutma kapasitesi % olarak belirlenecektir (Klute, 1986).

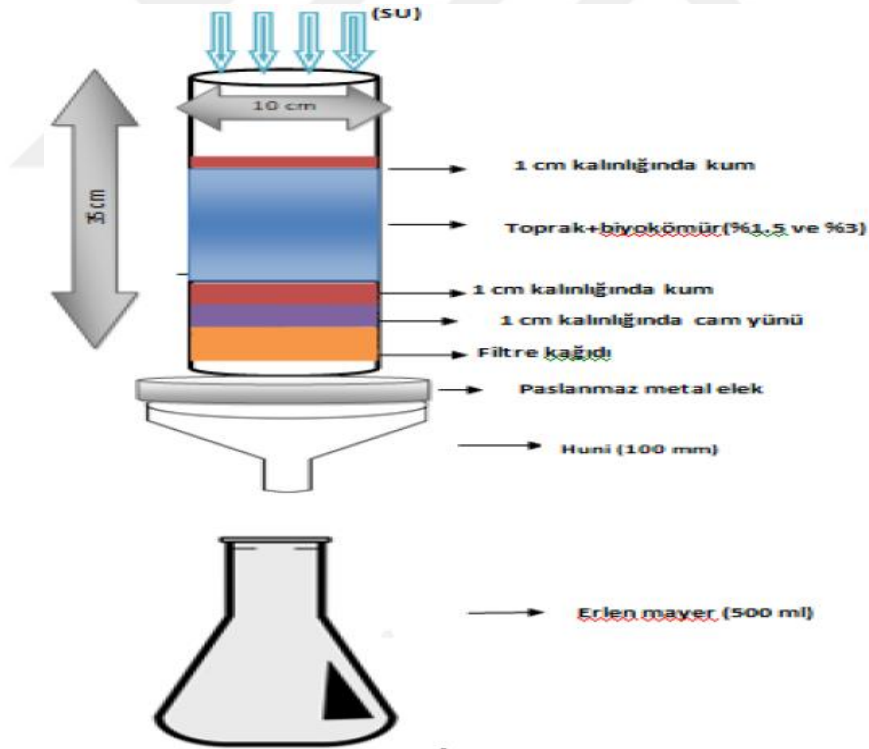
e) Elementer İçerikleri

Biyokömür elementer analizi için farklı yakma sistemleri karşılaştırmış, çalışma sonucunda yaş yakma yöntemi önerilmiştir. Bu nedenle proje kapsamında üretilecek biyokömür örneklerinin Ca, Na, Mg, K, P, Fe, Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Co, Cr, Mn içerikleri modifiye edilmiş yaş yakma yöntemi ($\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$) kullanılıp çözündürülerek, bu işlem sonunda okumaya hazır hale getirilen süzükler Harran Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında (HÜBTAM) ICP cihazı ile belirlenecektir (Enders ve Lehmann, 2012).

3.2.2. Kolondan yıkama denemesi

Boyutları 11 cm çapında ve 35 cm boyunda olan PVC boruların taban kısmı için kaba filtre kâğıdı kesilecek, 1 mm çaplı paslanmaz metal elek içine yerleştirilecek ve borunun tabanına sabitlenecektir. Filtre kâğıdının da üst kısmına toprak kaybına mâni olmak amacıyla 1 cm kalınlığında cam yünü, 1 cm kalınlığında da yıkanmış kaba kum ilave edilecektir. Üst kısmı toprak kurummasına izin vermek ve anaerobik koşulları önlemek için açık tutulacaktır. Toprak + biyokömür karışımları kolona koyulduktan sonra kuru hacim ağırlıkları 1.5 g cm^{-3} oluncaya kadar kolon içinde sıkıştırılacaktır.

Deneme iki biyokömür dozu uygulaması (%1,5 ve %3) ile oluşacak, üç tekerrürlü olacaktır ve kontrol altı tekerrürlü olacaktır. Şekil 3.4.'deki gibidir.



Şekil 3. 4. Örnek Bir Kolon Düzenegi

Yukarıdaki şekil (Şekil 3.1.) örnek bir kolonu temsil etmektedir. Bu kolonlar özel olarak PVC borularının çapı dikkate alınarak tasarlanmış kolon tezgahında açılan boşluklara yerleştirilip sabit durması sağlanacaktır.

Araştırma tesadüf parsellerinde bölünmüş parseller deneme desenine göre iki biyokömür çeşidi (Tütün Sapı (TS) ve Zeytin Posası (ZP)) ve iki uygulama dozu (1.5 – 3.0) ile Control (Toprak+NH₄NO₃) ve üç tekerrürlü olarak oda koşullarında ± 28 °C’ ta kurulmuştur. Ana parsellerde biyokömür çeşidi bulunurken, alt parsellerde ise uygulama dozları yerleştirilmiştir.

BİYOKÖMÜR	DOZ	TEKERRÜR		
Control (Toprak + AN)	%0	1	2	3
		4	5	6
Tütün Sapı (TS)	%1.5	1	2	3
	%3	1	2	3
Zeytin Posası (ZP)	%1.5	1	2	3
	% 3	1	2	3

Şekil 3. 5. Yıkama Uygulamasının Deneme Deseni

3.2.3. Su Uygulama ve Yıkama Çalışması

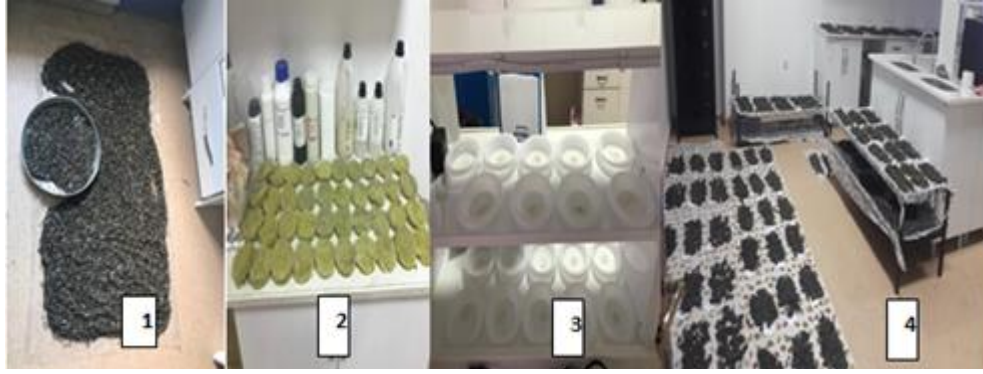
PVC boruları laboratuvar koşullarında bulunan özel yıkama tezgâhı düzeneğine koyulmuş ve amonyum nitrat gübresi verilmeden önce tüm PVC boruları doygun hale getirilerek deneme öncesinde yıkanmıştır. Doygun hale getirme işlemi; uygulanan su, PVC borularının alt kısmından damlalar şeklinde akana kadar suyun verilmesi devam etmiştir ve PVC borularında önceden var olan NO_3 ve NH_4 ortamdan uzaklaştırılması sağlanmıştır (Günel ve ark., 2017).

Bu çalışmada kullanılacak su miktarı pamuğun üretim sezonu süresince tüketmiş olduğu rapor edilen 800-950 mm'dir (Harran Üniversitesi, Araştırma ve Uygulama Merkezi). Yıkama işlemi 6 hafta boyunca haftada bir (100 mm olacak şekilde), tekrar edilmiş olup, her bir seferde, kolon boyutlarına göre 750 ml/kolona eşdeğer olarak yapılmıştır.

Her bir kolona içindeki toprak karışımının yüzeyine homojen olacak şekilde 116 mg Amonyum Nitrat denemenin başladığı gün ilave edilmiştir (Pamuk için dekara 16 kg azot olması koşulu ile hesaplanmıştır).

Bunun üzerine de 1 cm olacak şekilde yıkanmış kaba kum ilave edilmiştir. Her hafta her bir kolon için erlenmayerde toplanan süzüklerin pH ve EC değerleri ve toplam süzük miktarı ölçülerek belirlenmiştir. Ayrıca haftalık olarak alınan süzük sularının filtre kâğıdı ile süzülmesinin akabinde NH_4 ve NO_3 içerikleri Shimadzu HIC 20A marka iyon kromatografi cihazı ile kesinleştirilmiştir.

Altı haftanın akabinde, yıkama işlemi tamamlandıktan sonra her bir kolonun içindeki toprak karışımından üç ayrı derinlikten (örneğin yaklaşık 7 şer cm' lik kısımlardan olacak şekilde) 2'şer paralelli olarak kontrol (toprak+ NH_4NO_3) ve karışım (toprak + biyokömür) örnekleme yapılmış ve bu topraklarda NH_4 ve NO_3 ekstraksiyonu 2M KCl ile yapıldıktan sonra yine NH_4 ve NO_3 miktarı Kjeldahl Azot Destilasyon cihazı ile distile edildikten sonra titrasyon ile belirlenmiştir.



Şekil 3. 6. Çalışmaya Ait Bazı Görüntüler



Şekil 3. 7. Çalışmaya Ait Bazı Görüntüler

3.3. İstatistiksel Analizler

Deneme süresince var olacak veriler SPSS 20 paket programı kullanılarak istatistiksel veriler değerlendirilmiştir. Araştırma bulgularının istatistiksel analizlerinde tek yönlü varyans analizi %5 ($p < 0,005$) önem seviyesinde uygulanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

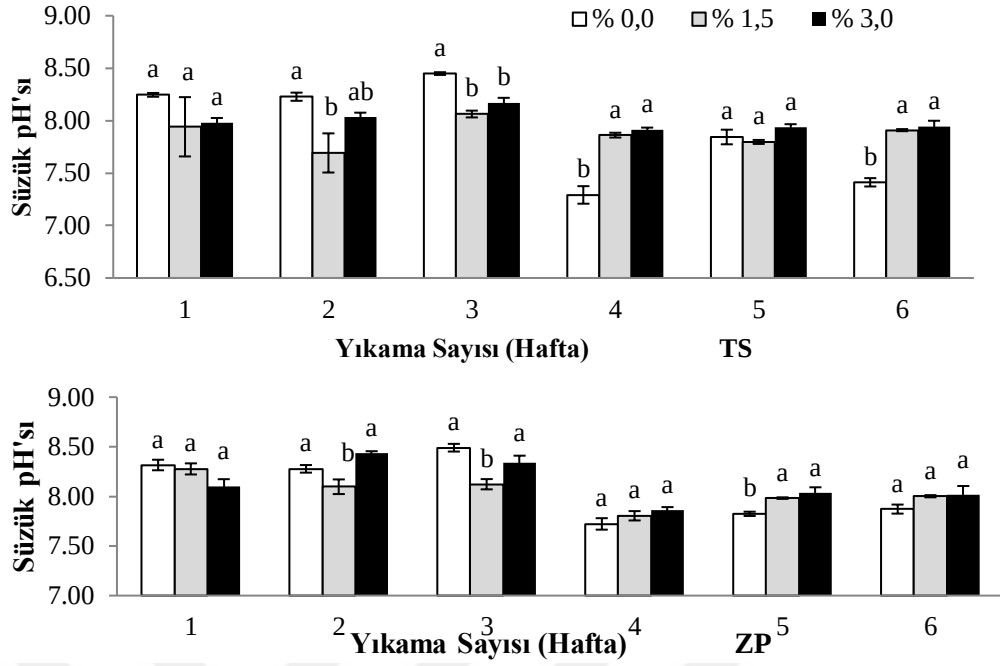
4.1. Yıkama Sürecinde Süzüklerin Kimyasal Özelliklerinin Zamansal Değişimi

4.1.1. Süzüklerin pH Değerleri

Araştırmada artan dozda biyokömür çeşitleri ile karıştırılmış toprak kolonunun haftalık olarak yıkanması sonrasında oluşan yıkama suyunun pH değerlerine ait ortalama değerler Şekil 4.1.'de verilmiştir. Tütün sapı biyokömürü ve zeytin posası biyokömürü uygulanmış toprakların yıkama suları pH değerlerinin varyans analizi sonuçlarına göre biyokömür dozlarının kolon yıkama sularının pH değeri üzerine ($p>0.05$) etkilerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Biyokömür uygulama dozları bakımından; tütün sapı ve zeytin posası biyokömürünün artan dozlarda (%1.5 ve % 3.0) uygulaması sonucunda yıkama suyu pH değerinin kontrol toprağı yıkama suyu pH değerine göre değişim göstermediği belirlenmiştir (Şekil 4.1). Araştırma bulgularına göre tütün sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulama dozlarının artmasıyla birlikte yıkama suyunun pH değerinin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.1).

Araştırma sonuçlarımıza benzer olarak, Özyavuz (2017) patlıcan bitkisi yetiştirilen toprağı artan dozlarda biyokömür uyguladıkları araştırmalarında biyokömür uygulamasıyla birlikte toprak pH değerinin kontrol toprağına göre önemli miktarda azaldığı belirtilmiştir. Sonuçlarımıza zıt olarak, Bodur (2016) biyokömür uygulaması yaptıkları toprakların yıkanması sonucunda elde ettikleri yıkama suyunun pH değerinin artan doz artışına bağlı olarak düştüğünü, yıkama sayısının artmasına bağlı olarak ise yıkama suyu pH değerinin arttığını belirtmiştir. Çoğunlukla alkali karakterde olan biyokömürün toprağı uygulanması sonucunda toprakların pH'ının değerinde artışlar meydana geldiği farklı araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Chan ve ark., 2008; Gaskin ve ark., 2010; Laird ve ark., 2010; Günel, 2018).



Şekil 4. 1. Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkamaya göre pH değerleri (TS: Tütün sapı, ZP: Zeytin Posası)

Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkama suyu pH değerleri göz önünde bulundurulduğunda, yıkamanın ilk üç haftasında yıkama suyu pH değerinde önemli bir değişiklik olmaz iken, dördüncü hafta ve sonrasında yıkama suyu pH değerinde azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Yıkama suyu pH değerindeki bu değişimin inkübasyonun ilk haftalarında toprak bileşenleri tarafından kolayca tamponladığını, ancak zamana bağlı olarak biyokömürden kaynaklı pH' nın düşüşünün devam etmesi sonucunda çözelti pH değerinin de düştüğü gözlemlenmiştir.

Brewer ve Brown (2012), biyokömür ilavesi ile toprağın pH'sının yükselmesinin nedeninin biyokömür yüzeylerinde yer alan negatif yüklü grupların toprak çözeltisindeki H^+ iyonlarını bağlaması ve çözeltideki H^+ iyonları yoğunluğunun azaltılması ile açıklamışlardır.

Birçok araştırmada toprağa biyokömür ilavesi ile birlikte toprak pH'sının artışı bildirilmiş olmasına karşın, orta bünyeli bir toprağa 3 ton/da çam odunu biyokömürü

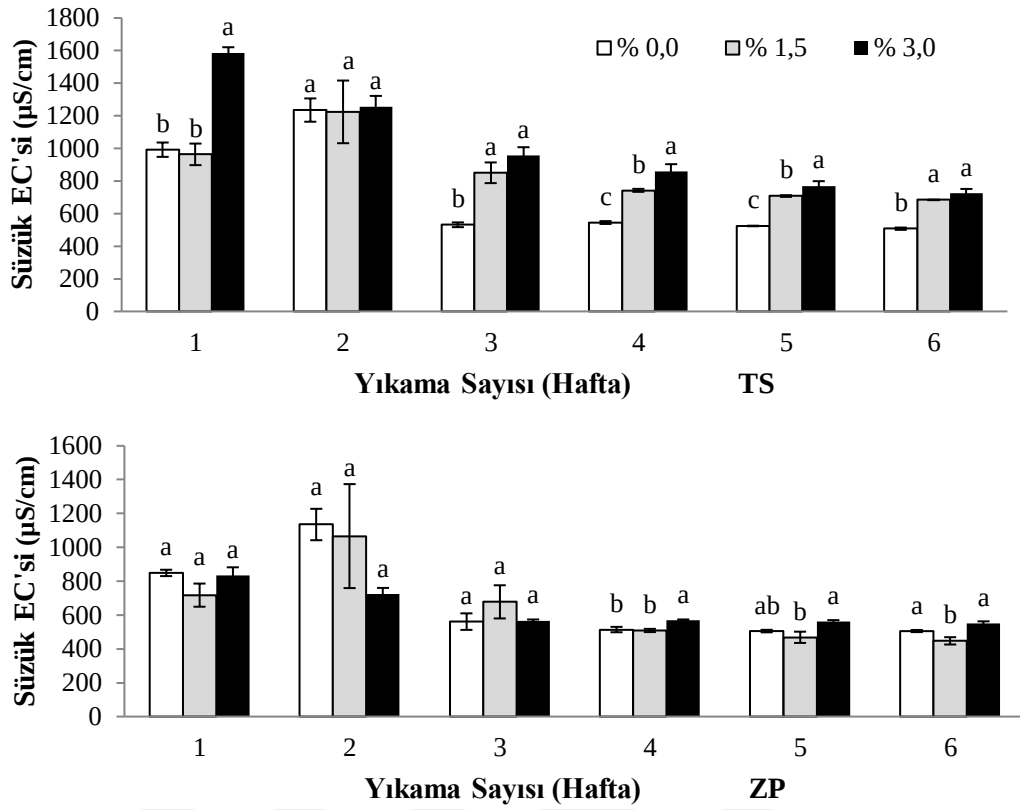
uygulayan Foster ve ark. (2016), biyokömür uygulamasının toprağın pH'ında bir değişime neden olmadığını bildirmişlerdir.

4.1.2. Süzüklerin EC değerleri

Araştırmada artan dozda biyokömür çeşitleri ile karıştırılmış toprak kolonunun haftalık olarak yıkanması sonrasında oluşan yıkama suyunun EC değerlerine ait ortalama değerler Şekil 4.2.'de verilmiştir.

Tütün sapı biyokömürü uygulanmış toprakların yıkama suları EC değerlerinin varyans analizi sonuçlarına göre biyokömür dozlarının ($p < 0.05$) etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenirken, zeytin posası biyokömürü uygulanmış toprakların yıkama suları EC değerlerinin varyans analizi sonuçlarına göre biyokömür dozlarının ($p > 0.05$) etkilerinin önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Biyokömür uygulama dozları bakımından; tütün sapı biyokömürünün artan dozlarda uygulaması sonucunda yıkama suyu EC değerinin kontrol toprağı yıkama suyuna göre %1.5 ve % 3.0 dozu uygulaması ile artış gösterdiği, zeytin posası biyokömürünün artan dozlarda uygulaması sonucunda ise yıkama suyu EC değerinin kontrol toprağı yıkama suyuna göre % 1.5 dozu ve % 3.0 dozu uygulaması ile değişim göstermediği belirlenmiştir (Şekil 4.2). Araştırma bulgularına göre tütün sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulama dozlarının artmasıyla birlikte yıkama suyunun EC değerinin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4. 2. Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkamaya göre EC değerleri
(TS: Tütün sapı, ZP: Zeytin Posası)

Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkama suyu EC değerleri göz önünde bulundurulduğunda, yıkanmanın ilk iki haftasında yıkama suyu EC değerinin sonraki haftalara göre yüksek olması, ilk haftalarda biyokömürden kaynaklı EC' yi artıran minerallerin varlığını ve iki hafta sonrasında yıkanma ile birlikte artı kalan EC' yi yükselten minerallerin toprak bileşenleri tarafından tutularak toprağı tamponladığı ve sonraki yıkamalarda yıkama suyu EC değerini yükseltecek minerallerin bulunmadığını göstermektedir.

Günel (2018) buğday yetiştirilen araziye artan dozlarda biyokömür uygulanması sonucunda toprakların EC değerlerinin arttığını belirtmiştir. Biyokömür doz artışı ile EC değerlerinin artışı Prapagdee ve Tawiteung (2017) gibi birçok araştırmacı tarafından da teyit edilmiştir. Araştırmacılar çözülebilir haldeki N'nin toprağın tuzluluğunu etkilediğini belirtirken, uyguladıkları en yüksek biyokömür dozunda (%10) toprağın N konsantrasyonunun da çok yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Benzer olarak, Saygan (2017) mısır yetiştirilen kireçli toprağı artan

dozlarda biyokömür uygulanması sonucunda toprakların çözünebilir Ca, Mg, Na ve K içeriklerinin arttığını ve buna bağlı olarak ta toprak EC değerini yükselttiğini belirtmiştir.

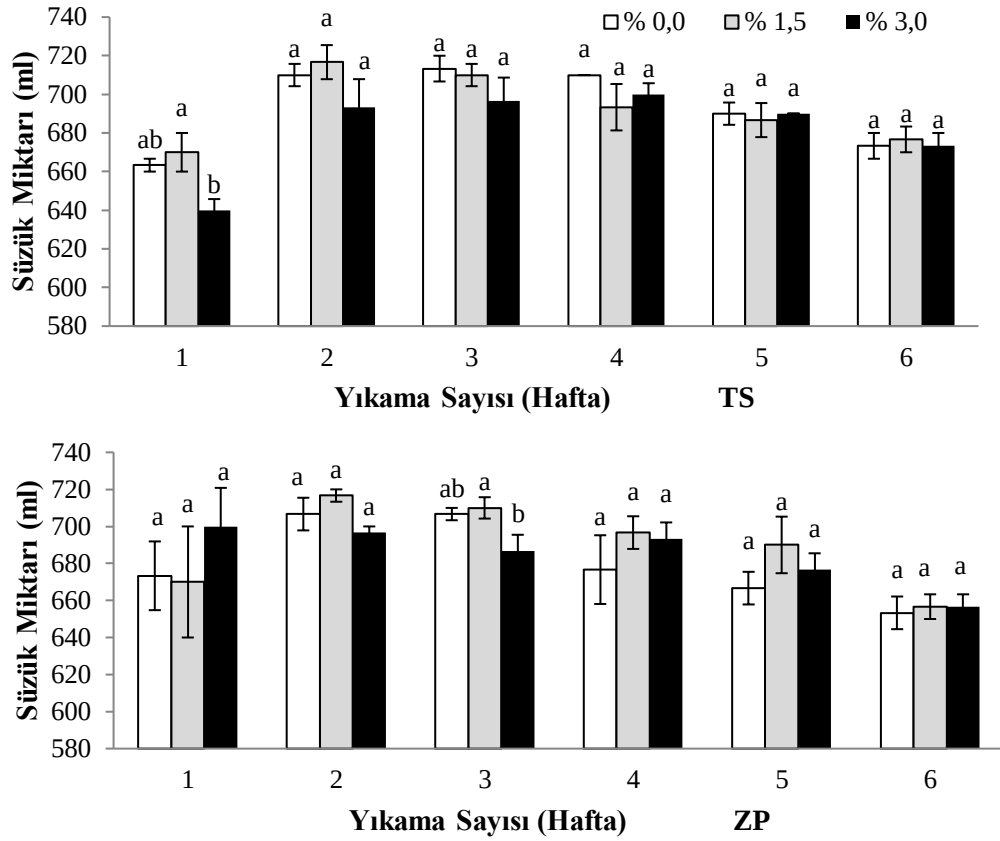
Sonuçlarımıza zıt olarak, Özyavuz (2017) patlıcan bitkisi yetiştirilen tuzlu ve tuzsuz toprağa %0-0.3-0.6 oranında biyokömür uygulanmış araştırma sonucunda artan dozlarda biyokömür uygulamasıyla birlikte toprak EC değerinin kontrol toprağına göre önemli miktarda azaldığını belirtilmiştir. Sonuçlarımıza benzer olarak, Bodur (2016) biyokömür uygulaması yaptıkları toprakların yıkanması sonucunda elde ettikleri yıkama suyunun EC değerinin artan doz artışına bağlı olarak arttığını, yıkama sayısının artmasına bağlı olarak ise yıkama suyu EC değerinin azaldığını belirtmiştir.

4.1.3. Süzük miktarları

Araştırmada artan dozda biyokömür çeşitleri ile karıştırılmış toprak kolonunun haftalık olarak yıkanması sonrasında oluşan yıkama suyunun miktarına ait ortalama değerler Şekil 4.3.'te verilmiştir.

Tütün sapı biyokömürü ve zeytin posası biyokömürü uygulanmış toprakların yıkama suları miktarının varyans analizi sonuçlarına göre biyokömür dozlarının kolon yıkama sularının miktarı üzerine ($p>0.05$) etkilerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Biyokömür uygulama dozları bakımından; tütün sapı ve zeytin posası biyokömürünün artan dozlarda (%1.5 ve % 3.0) uygulaması sonucunda yıkama suyu miktarının kontrol toprağı yıkama suyu miktarına göre değişim göstermediği belirlenmiştir (Şekil 4.3). Araştırma bulgularına göre tütün sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulama dozlarının artmasıyla birlikte yıkama suyunun miktarının değişmediği gözlemlenmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4. 3. Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkamaya göre süzük miktarı (TS: Tütün sapı, ZP: Zeytin Posası)

Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkama suyu miktarları göz önünde bulundurulduğunda, artan dozlarda biyokömür uygulanması ile birlikte topraklara uygulanan yıkama suyunun miktarında istatistiksel olarak önemli bir değişim meydana gelmemiştir. Her ne kadar istatistiksel olarak önemli olmasa da grafiklerdeki değişkenliğin hava sıcaklığına bağlı olarak yıkama ve süzme sürecinde meydana gelen buharlaşmadan meydana gelebileceği düşünülmektedir. Tütün sapı %1.5 dozunda yaklaşık olarak %8 oranında, %3 dozunda ise %9 oranında daha fazla suyu bünyesinde tutmuştur. Zeytin posası %1.5 dozunda %7 oranında, %3 dozunda ise yaklaşık olarak %9 oranında daha fazla suyu bünyesinde tutmuştur.

Bodur (2016) biyokömür uygulaması yaptıkları toprakların yıkanması sonucunda elde ettikleri yıkama suyunun miktarının artan doz uygulamasına göre değişmediğini belirtirken, yıkama sayısının artmasına bağlı olarak ise yıkama suyu miktarının azaldığını belirtmiştir. Farklı olarak, Altun (2017), Günel (2018) ve Manirakiza (2019) tarafından topraklara artan dozlarda biyokömür uygulanması

sonrasında toprakların su tutma kapasitelerinin arttığı belirtilmiştir. Yıkama işlemi sonrasında elde edilen süzük suyu miktarı biyokömür eklenmiş toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile doğrudan ilişkili olup biyokömürün eklendiği toprakların su tutma kapasitesi üzerine olumlu etki yaptıklarına dair çalışmalar bulunmaktadır (Laird ve ark., 2010; Carvalho ve ark., 2014; Dokoochaki ve ark., 2017).

Yapılan diğer bir çalışmada, biyokömür ilavesi ile toprakta tutulan su miktarının arttığı bildirilirken, bu artış biyokömürün gözenekli olan yapıları ve yüksek yüzey alanları ile ilişkilendirilmiştir (Verheijen ve ark., 2010; Sandhu ve ark., 2017).

Carvalho ve ark. (2014) okaliptüs ağacında elde elden biyokömürün uygulamadan 3 yıl sonra her bir ton/ha biyokömüre oranla kıyasladığında yarayışlı su miktarının %0.8 oranında arttığını bildirmişlerdir.

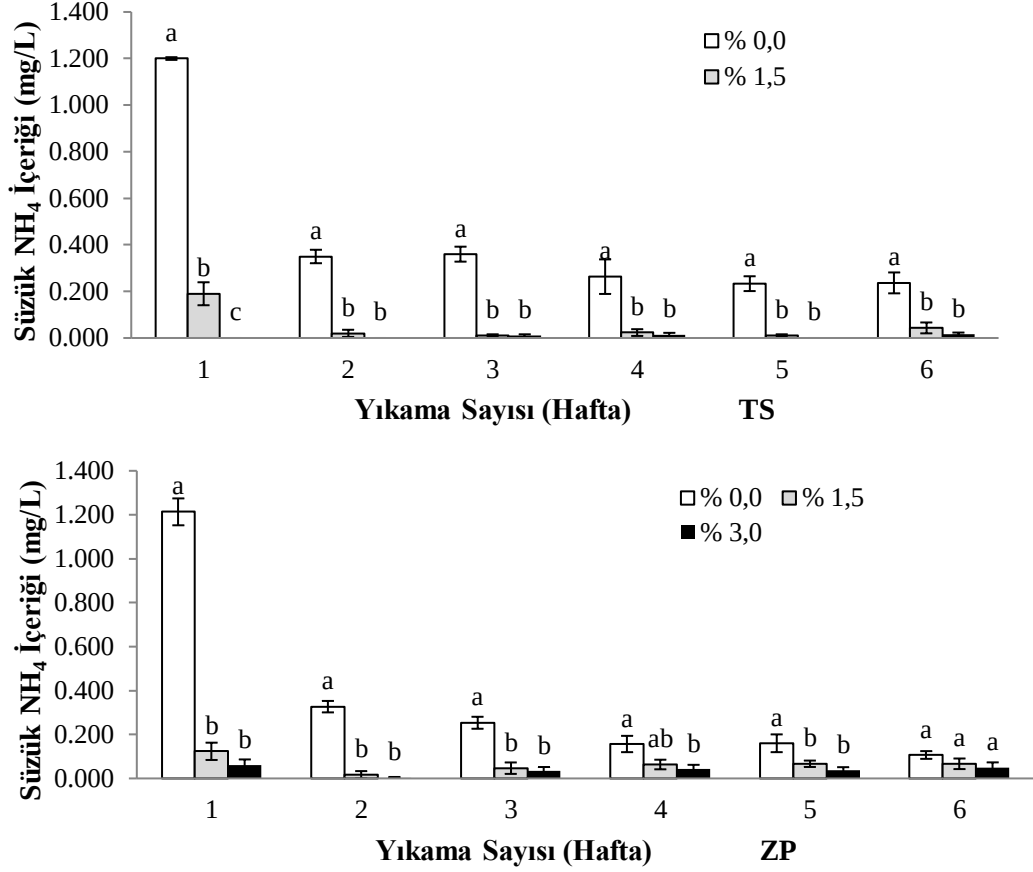
4.1.4. Amonyum İçerikleri

Araştırmada artan dozda biyokömür çeşitleri ile karıştırılmış toprak kolonunun haftalık olarak yıkanması sonrasında oluşan yıkama suyunun NH_4 içeriklerine ait ortalama değerler Şekil 4.4.'de verilmiştir.

Tütün sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulanmış toprakların yıkama suları NH_4 içeriklerinin varyans analizi sonuçlarına göre biyokömür dozlarının ($p<0.01$) etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğunu belirlenmiştir (Şekil 4.4).

Biyokömür uygulama dozları bakımından; tütün sapı biyokömürünün artan dozlarda uygulaması sonucunda yıkama suyu NH_4 içeriklerinin kontrol toprağı yıkama suyu NH_4 içeriklerine göre %1.5 ve % 3.0 dozu uygulaması ile azalış gösterdiği, yine benzer olarak zeytin posası biyokömürünün artan dozlarda uygulaması sonucunda ise yıkama suyu NH_4 içeriklerinin kontrol toprağı yıkama suyu NH_4 içeriklerine göre % 1.5 ve % 3.0 dozu uygulaması ile azalış gösterdiği

belirlenmiştir (Şekil 4.4). Araştırma bulgularına göre tütün sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulama dozlarının artmasıyla birlikte yıkama suyu NH_4 içeriklerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4. 4. Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkamaya göre NH_4 içerikleri (TS: Tütün sapı, ZP: Zeytin Posası)

Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık amonyum yıkanma miktarları göz önünde bulundurulduğunda, artan dozlarda biyokömür uygulanması ile birlikte topraklardaki yıkanan amonyumun azaldığı görüldüğü, bu azalmanın biyokömürün uygulanmasından sonraki ilk haftada bile belirgin olarak ortaya çıktığı, ikinci hafta ve altıncı hafta arasında amonyum yıkanmasının yok denecek kadar az olduğu belirlenmiştir. Tütün sapı biyokömür uygulamaları amonyum yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık %89 azaltma sağlar iken, %3 dozunda yaklaşık olarak %98 oranında bir azaltma potansiyeline sahip olmuştur. Zeytin posası biyokömür uygulamaları amonyum yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık olarak %82

oranında azaltma sağlar iken, %3 dozunda yaklaşık olarak %90 oranında bir azaltma potansiyeline sahip olmuştur.

Günel ve ark. (2017) biyokömür uygulaması yaptıkları toprakların yıkanması sonucunda elde ettikleri yıkama suyunun NH_4 içeriğinin artan doz uygulamasına göre değişmediğini belirtirken, yıkama sayısının artmasına bağlı olarak ise yıkama suyu NH_4 içeriğinin azaldığını belirtmiştir.

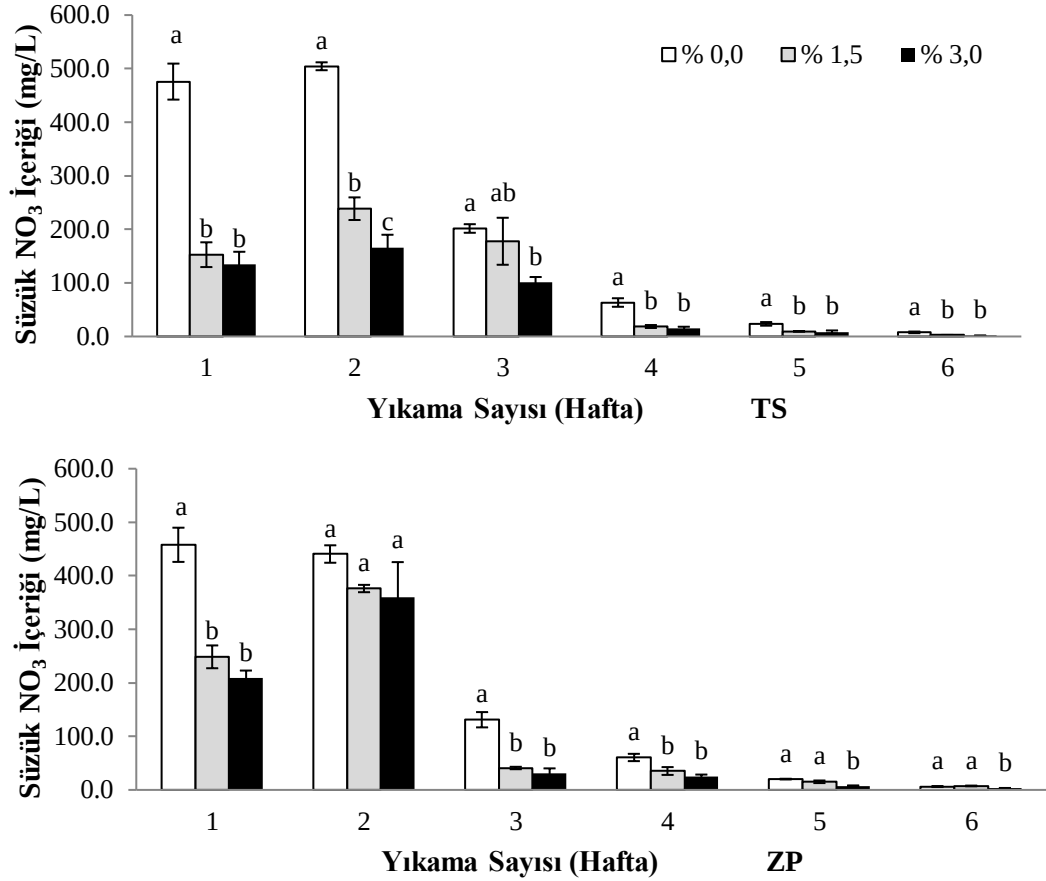
Buna zıt olarak, Sika ve Hardie (2014) Çam ağacından elde ettikleri biyokömürü toprağa %0.5-2.5-10 oranlarında karıştırdıktan sonra ve toprağa 10 kg/da amonyum nitrat gübresi uygulamışlar ve 6 hafta boyunca yıkama yapmışlardır. Araştırma sonucunda %10 biyokömür uyguladıkları konuda amonyum yıkanmasının %86 azaldığını belirtirken, Singh ve ark. (2010) ise Avustralya’da biyokömür ilavesinin Alfisol toprakta NH_4 yıkanmasını %54 ile %94 arasında azaldığını belirtmişlerdir. Biyokömür uygulanmış toprağa uygulanan amonyum biyokömür uygulaması ile birlikte artan kation değişim yüzeyleri tarafından tutulmasına bağlı olarak stabilizasyonunun arttığı farklı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Laird ve ark., 2008; Lehmann ve ark., 2011).

4.1.5. Nitrat İçerikleri

Araştırmada artan dozda biyokömür çeşitleri ile karıştırılmış toprak kolonunun haftalık olarak yıkanması sonrasında oluşan yıkama suyunun NO_3 içeriklerine ait ortalama değerler Şekil 4.5.’de verilmiştir. Tütün sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulanmış toprakların yıkama suları NO_3 içeriklerinin varyans analizi sonuçlarına göre biyokömür dozlarının ($p<0.01$) etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.5).

Biyokömür uygulama dozları bakımından; tütün sapı biyokömürünün artan dozlarda uygulaması sonucunda yıkama suyu NO_3 içeriklerinin kontrol toprağı yıkama suyu NO_3 içeriklerine göre %1.5 ve % 3.0 dozu uygulaması ile azalış gösterdiği, yine benzer olarak zeytin posası biyokömürünün artan dozlarda

uygulaması sonucunda ise yıkama suyu NO_3 içeriklerinin kontrol toprağı yıkama suyu NO_3 içeriklerine göre % 1.5 ve % 3.0 dozu uygulaması ile azalış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.5). Araştırma bulgularına göre tütün sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulama dozlarının artmasıyla birlikte yıkama suyu NO_3 içeriklerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4. 5. Biyokömür uygulanmış toprakların haftalık yıkamaya göre NO_3 içerikleri (TS: Tütün sapı, ZP: Zeytin Posası)

Ayrıca biyokömür uygulanmış toprakların haftalık nitrat yıkanma miktarları göz önünde bulundurulduğunda, artan dozlarda biyokömür uygulanması ile birlikte topraklardaki yıkanan nitratin azaldığı görülmeye rağmen, ilk üç hafta toprakta var olan nitratin önemli bir kısmı yıkanırken, dördüncü hafta ve sonrasındaki yıkanmaların oldukça az olduğu belirlenmiştir. Çünkü artık toprakta yıkanacak nitrat kalmamıştır. Biyokömür nitrati kendi bünyesinde tutmuştur. Tütün sapı nitrat yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık olarak %53 azaltma sağlar iken, %3 dozunda yaklaşık olarak %66 oranında azaltma potansiyeline sahip olmuştur. Zeytin posası nitrat yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık olarak %35 oranında

azaltma sağlar iken, %3 dozunda yaklaşık olarak %43 oranında azaltma potansiyeline sahip olmuştur.

De Luca ve ark. (2015) odundan elde edilen biyokömürün orman topraklarına uygulanması sonucunda nitrifikasyon oranının arttığını,

Novak ve ark. (2010) ceviz kabuğundan elde edilen biyokömürün nitrat yıkanma oranını azalttığını, Sika ve Hardie (2014) artan dozlarda çam ağacı biyokömürünün tarım topraklarına uygulanan nitratin yıkanma oranının %96 azalttığını belirtmişlerdir. Benzer olarak, Altland ve Locke (2012) ise turba yosunundan elde edilen biyokömürünün artan dozlarda (%0-1-5-10) uygulaması sonucunda biyokömür dozunun artmasına bağlı olarak nitratin belli bir süre tutularak yıkanmanın geciktiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, Laird ve ark. (2008) biyokömürlerin anyon değişim yüzeylerinin de bulunduğunu ve bu yüzeylerde nitrati tutabildiğini, Case ve ark. (2012) ise biyokömürlerin poroziteli yapıları içerisinde nitrati fiziksel olarak tutabildiklerini belirtmişlerdir.

Günel ve ark. (2017) biyokömür uygulaması yaptıkları toprakların yıkanması sonucunda elde ettikleri yıkama suyunun NO_3 içeriğinin artan doz uygulamasına göre ve yıkama sayısının artmasına bağlı olarak azaldığını belirtmiştir.

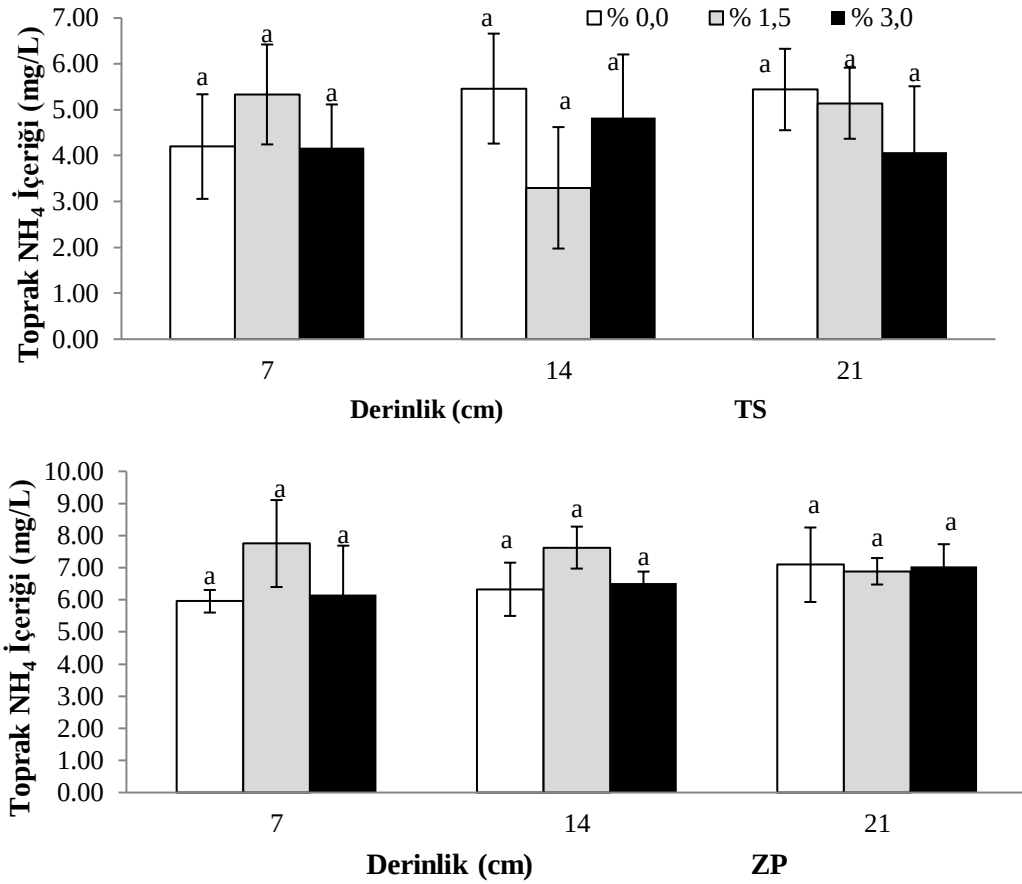
4.2. Yıkanma Sonrasında Kolon Topraklarının NH_4 ve NO_3 İçerikleri

4.2.1. Amonyum İçerikleri

Araştırmada artan dozda biyokömür çeşitleri ile karıştırılmış toprak kolonunun 6 hafta boyunca yıkanması sonrasında kolon topraklarından üç farklı derinlikten (7-14-21 cm) alınan toprak örneklerinin NH_4 içeriklerine ait ortalama değerler Şekil 4.6.'da verilmiştir.

Tütün sapı biyokömürü ve zeytin posası biyokömürü uygulanmış toprakların NH_4 içeriklerinin varyans analizi sonuçlarına göre biyokömür dozlarının toprak NH_4 içerikleri üzerine ($p>0.05$) etkilerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.6).

Biyokömür uygulama dozları bakımından; tütün sapı ve zeytin posası biyokömürünün artan dozlarda (%1.5 ve % 3.0) uygulaması sonucunda toprak NH_4 içeriklerinin kontrol toprağı NH_4 içeriklerine göre değişim göstermediği belirlenmiştir (Şekil 4.6). Araştırma bulgularına göre tütün sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulama dozlarının artmasıyla birlikte toprak NH_4 içeriklerinin değişmediği gözlemlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4. 6. Biyokömür uygulanmış toprağın derinliğe göre NH₄ içerikleri (TS: Tütün sapı, ZP: Zeytin Posası)

Biyokömür dozlarının toprak NH₄ içerikleri üzerine etkisiz olduğu, artan dozlarda uygulanan farklı biyokömür çeşitlerinin toprak kolonlarının farklı derinliklerinde tutulan NH₄ içerikleri üzerine etkilerinin önemsiz olduğu, tütün sapı ve zeytin posası biyokömürlerinin artan dozlarda uygulanması sonucunda toprağın NH₄ içeriğinin kontrol toprağı NH₄ içeriklerine göre değişim göstermediği yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir. Biyokömürün aminifikasyon olaylarını teşvik etmesinin topraklarda amonyum ve nitrat konsantrasyonlarını arttıracığı belirtilmiştir.

Biyokömür uygulamaları sonrasında toprağın inorganik azot miktarının biyokömürün uygulandığı toprağın özelliklerine, biyokömürün piroliz sıcaklığına, uygulama oranına, gübre tipine ve toprak pH' ına bağlı olarak değişeceğini belirtmişlerdir (Nguyen ve ark., 2017).

Biyokömürün amonifikasyon olaylarını teşvik etmesinin toprakların amonyum ve nitrat konsantrasyonlarını arttıracakı belirtilmiştir (DeLuca ve ark., 2009; Van Zwieten ve ark., 2015). Prapagdee ve Tawinteung (2017)'da cassava bitkisinin gövdesinden hazırladıkları biyokömürün doz artışı ile topraktaki N miktarının arttığını rapor etmişler ve en yüksek N konsantrasyonunun en yüksek uygulama dozu olan %10 dozunda alındığını belirtmişlerdir.

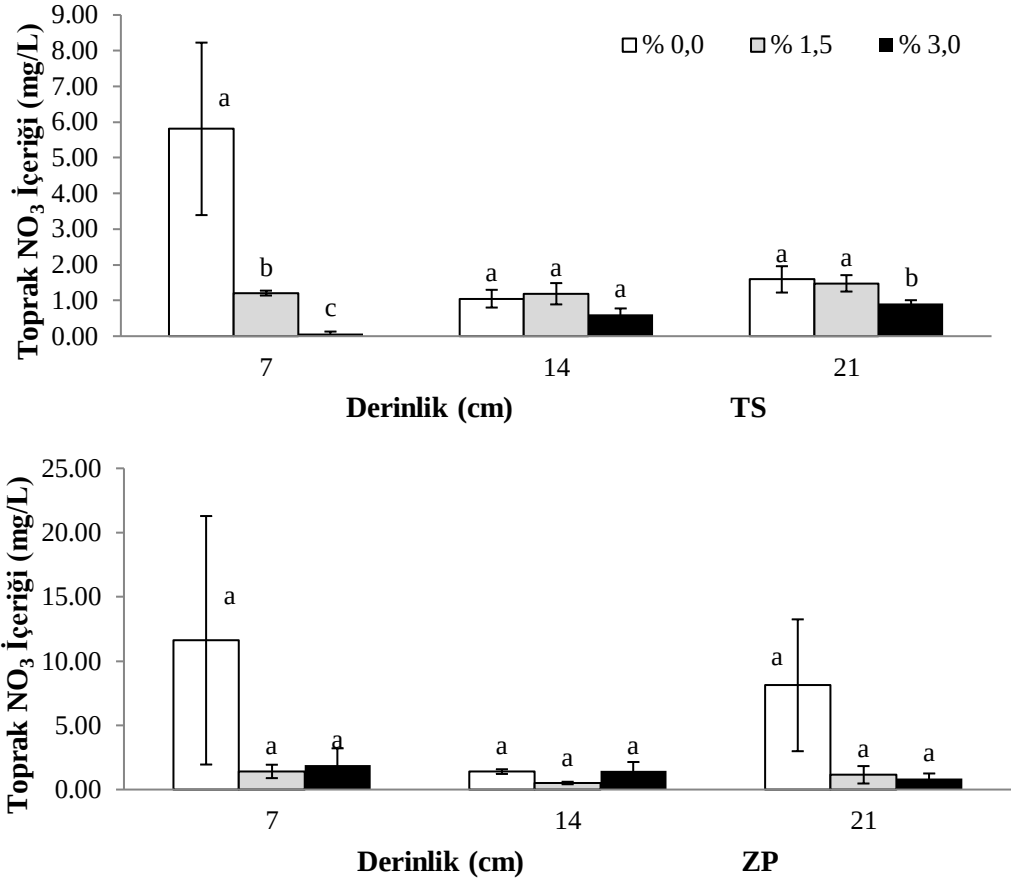


4.2.2. Nitrat İçerikleri

Araştırmada artan dozda biyokömür çeşitleri ile karıştırılmış toprak kolonunun 6 hafta boyunca yıkanması sonrasında kolon topraklarından üç farklı derinlikten (7-14-21 cm) alınan topraklarının NO₃ içeriklerine ait ortalama değerler Şekil 4.7.'da verilmiştir.

Tütün sapı biyokömürü ve zeytin posası biyokömürü uygulanmış toprakların NO₃ içeriklerinin varyans analizi sonuçlarına göre biyokömür dozlarının toprak NO₃ içerikleri üzerine ($p>0.05$) etkilerinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7).

Biyokömür uygulama dozları bakımından; tütün sapı ve zeytin posası biyokömürünün artan dozlarda (%1.5 ve % 3.0) uygulaması sonucunda toprak NO₃ içeriklerinin kontrol toprağı NO₃ içeriklerine göre değişim göstermediği belirlenmiştir (Şekil 4.7). Araştırma bulgularına göre tütün sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulama dozlarının artmasıyla birlikte toprak NO₃ içeriklerinin değişmediği gözlemlenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4. 7. Biyokömür uygulanmış toprağın derinliğe göre NO₃ içerikleri (TS: Tütün sapı, ZP: Zeytin Posası)

Artan miktarlarda uygulanan farklı biyokömür çeşitlerinin toprak kolonlarının farklı derinliklerinde tutulan NO₃ içerikleri üzerine etkisiz olduğu, biyokömür uygulama dozları bakımından tütün sapı ve zeytin posası biyokömürlerinin artan dozlarda uygulanması sonucunda toprağın NO₃ içeriklerinin kontrol toprağı NO₃ içeriklerine göre değişim göstermediği yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir.

Bodur (2016) pirina atığı biyokömürünün hafif bünyeli toprağa uygulanması sonucunda toprağa eklenen amonyum ve nitratın yıkanması üzerine etkilerini araştırdığı çalışmasında, biyokömür eklenmiş toprakların 8 haftalık yıkanması sonrasında toprakların nitrat içeriklerini belirlemişler ve uygulama dozlarının artmasıyla birlikte toprak nitrat içeriğinin azaldığını ve en yüksek nitrat içeriğinin kontrol (%0 pirina biyokömürü) kolonundan elde edildiğini belirtmiştir.

De Luca ve ark. (2015) odundan elde edilen biyokömürün orman topraklarına uygulanması sonucunda nitrifikasyon oranının arttığını, Novak ve ark. (2010) ceviz kabuğundan elde edilen biyokömürün nitrat yıkanma oranını azalttığını, Sika ve Hardie (2014) artan dozlarda çam ağacı biyokömürünün tarım topraklarına uygulanan nitratın yıkanma oranının %96 azalttığını belirtmişlerdir. Benzer olarak, Altland ve Locke (2012) ise turba yosunundan elde edilen biyokömürünün artan dozlarda (%0-1-5-10) uygulaması sonucunda biyokömür dozunun artmasına bağlı olarak nitratın belli bir süre tutularak yıkanmanın geciktğini belirtmişlerdir. Ayrıca, Laird ve ark. (2008) biyokömürlerin anyon değişim yüzeylerinin de bulunduğunu ve bu yüzeylerde nitratı tutabildiğini, Case ve ark. (2012) ise biyokömürlerin poroziteli yapıları içerisinde nitratı fiziksel olarak tutabildiklerini belirtmişlerdir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Tütün sapı ve zeytin posası biyokömürü uygulanmış toprakların 6 hafta süresince yıkanmasıyla oluşan süzüklerin bazı değerlerinin yorumlaması (pH, EC, süzük miktarı, NH_4 , NO_3) aşağıdaki gibidir;

Yıkama sularının pH değeri üzerine etkilerini ele alacak olursak; zeytin posası biyokömürü eklenen toprakların süzük pH değerlerinin tütün sapı biyokömürü eklenen toprakların süzük pH değerinden daha yüksek olduğu, artan dozlarda biyokömür uygulaması sonucunda yıkama suyu pH değerinin kontrol toprağı yıkama suyu pH değerine göre değişim göstermediği yani başka bir deyişle; biyokömür uygulama dozlarının kolon yıkama suyu pH değeri üzerine etkisiz olduğu belirlenmiştir. Biyokömür ilavesi ile toprağın pH değerinin yükselmesinin nedenin biyokömür yüzeylerinde yer alan negatif yüklerin toprak çözeltisindeki H^+ iyonları konsantrasyonu azaltması ile açıklanmıştır.

Yıkama sularının EC değeri üzerine etkilerini ele alacak olursak; biyokömür çeşitlerinin etkili olduğu tütün sapı biyokömürü eklenen toprakların süzük EC değerlerinin, zeytin posası biyokömürü eklenen toprakların süzük EC değerlerinden daha yüksek olduğu ve özellikle tütün sapı %3 dozunda daha yüksek olduğu, tütün sapı biyokömürü uygulama dozlarının yıkama suyu EC değeri üzerinde daha etkili olduğu ve yine tütün sapı biyokömüründe artan dozda biyokömür uygulaması kontrol toprağı yıkama suyuna göre EC değerleri artış göstermiş buna zıt olarak; zeytin posası biyokömüründe artan dozlarda uygulanması sonucunda ise yıkama suyu EC değerlerinin kontrol toprağı yıkama suyuna göre artan dozlarda uygulanması ile bir değişim göstermediği belirlenmiştir.

Yıkama sularının süzük miktarı üzerine biyokömür çeşitlerinin etkisiz olduğu, biyokömür uygulama dozlarının yıkama suyu miktarı üzerine etkisiz olduğu ve

biyokömür uygulama dozları bakımından tütün sapı ve zeytin posası biyokömürlerinin artan dozlarının uygulanması sonucunda yıkama suyu miktarının kontrol toprağı yıkama suyu miktarına göre değişim göstermediğı belirlenmiştir.

Başka bir deyişle; yıkama suyu miktarının dozlarla alakalı olmadığı yıkama sayısına bağılı olduğu belirlenmiştir. Yıkama suyu sayısı artarsa süzük miktarı azalır bu da biyokömürün su tutma kapasitesini yükseltir.

Yıkama sularının NH_4 içerikleri üzerine biyokömür çeşitlerinin etkili olduğu, biyokömür uygulama dozlarının yıkama suyu NH_4 içerikleri üzerine etkili olduğu, toprak kolonlarının yıkama sayısının artması ile birlikte süzüklerin NH_4 içeriğinin azaldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak biyokömür NH_4 'ü kendi bünyesinde hapsedmiştir. Tütün sapı ve zeytin posası biyokömürlerinin artan dozlarda uygulanması ile yıkama suyu NH_4 içeriklerinin kontrol toprağı yıkama suyunun NH_4 içerisine %1.5 ve %3 dozları uygulanması ile azalış gösterdiği belirlenmiştir.

Yıkama sularının NO_3 içerikleri üzerine biyokömür çeşitlerinin etkili olduğu, biyokömür uygulama dozlarının yıkama suyu NO_3 içerikleri üzerine etkili olduğu ve toprak kolonlarının yıkama sayısının artmasıyla birlikte süzüklerin NO_3 içeriklerinin azaldığı belirlenmiştir. Tütün sapı ve zeytin posası biyokömürünün artan dozlarda uygulanması sonucunda yıkama suyu NO_3 içeriklerinin kontrol toprağı (%0) NO_3 içeriklerine göre %1.5 ve %3 dozları uygulaması ile azalış gösterdiği belirlenmiştir.

Biyokömür uygulanmış toprakların 6 hafta boyunca yıkama işlemi yapılması sonucunda toprak kolonlarından farklı derinliklerden (7-14-21 cm) alınan toprak örneklerinin NH_4 ve NO_3 içerisine ait sonuçlar şunlardır;

Toprak derinliklerinin NH_4 içerikleri üzerine biyokömür çeşitlerinin etkisiz olduğu, biyokömür uygulama dozlarının toprak NH_4 içerikleri üzerine etkisiz olduğu, artan miktarlarda uygulanan farklı biyokömür çeşitlerinin toprak kolonlarının farklı derinliklerde tutulan NH_4 içerikleri üzerine etkisiz olduğu belirlenmiştir.

Toprak derinliklerinin NO_3 içeriği üzerine biyokömür çeşitlerinin etkisiz olduğu, biyokömür uygulama dozlarının toprağın NO_3 içeriği üzerine etkisiz olduğu ve uygulama dozunun artmasıyla NO_3 içeriğinin değişmediğini ve toprağın NO_3 içeriği üzerine etkisiz olduğu, toprak derinliğinin artmasıyla birlikte toprağın NO_3 içeriğinin değişmediği belirlenmiştir.

Tütün sapı biyokömürünün zeytin posası biyokömürüne oranla haftalık olarak elde edilen süzüklerinde NO_3 ve NH_4 miktarları süzüğe daha az geçmiş yani tütün sapı biyokömürü zeytin posası biyokömürüne göre NO_3 ve NH_4 daha fazla kendi bünyesinde tutmuştur. Yaptığımız çalışmada tütün sapı biyokömürü bize daha iyi ve net sonuçlar elde ettirmiştir.

Tütün sapı biyokömür uygulamaları amonyum yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık %89 azaltma sağlar iken, %3 dozunda yaklaşık olarak %98 oranında bir azaltma potansiyeline sahip olmuştur.

Tütün sapı nitrat yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık olarak %53 azaltma sağlar iken, %3 dozunda yaklaşık olarak %66 oranında azaltma potansiyeline sahip olmuştur.

Zeytin posası biyokömür uygulamaları amonyum yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık olarak %82 oranında azaltma sağlar iken, %3 dozunda yaklaşık olarak %90 oranında bir azaltma potansiyeline sahip olmuştur.

Zeytin posası nitrat yıkanma kayıplarını %1.5 dozunda yaklaşık olarak %35 oranında azaltma sağlar iken, %3 dozunda yaklaşık olarak %43 oranında azaltma potansiyeline sahip olmuştur.

5.2. Öneriler

Ülkemizde bilinçsiz bir şekilde yapılan tarımsal ilaçlama ve gübreleme gibi tarımsal faaliyetler hava, toprak ve suya kirlilik bakımından zarar verebilir.

Tarımsal kaynaklı kirliliklerin başında N (Azot) kaynaklı bileşiklerinin basit bir şekilde su ile toprak altına sızarak ve yer altı sularına karışarak sebep olduğu kirlilik en başta gelir. Azotlu bileşiklerin yer altı sularında en sık karşılaşılan formu NO_3^- tır. Nitrat yıkanması ile ilgili sorun topraklardan daha fazla miktarda ürün almak amacıyla topraklara uygulanan azotlu gübre miktarının artması ile bu kirlilik daha fazla artmaktadır. Toprağa biyokömür uygulaması ise bu artışı ortadan kaldırmakta veya tam anlamıyla kaldıramasa bile bunu en düşük seviyeye kadar indirmektedir.

Biyokömürler farklı içerik ve materyale sahip oldukları için bundan sonraki çalışmalarda bu çeşitlilik daha da arttırılabilir. Haftalık yıkama sayısı arttırılabilirdi. Dozlar daha da çeşitlendirilebilirdi ve daha düşük dozlar ekonomik açıdan daha az masraflı olacağı ve daha sağlıklı sonuçlar almamıza katkı sağlayacağı için tercih edilebilirdi. Kullanılan tütün sapı ve zeytin posası biyokömürünün pH ve EC üzerinde de etkili olduğu görülmüştür. Topraklara biyokömür ilave edilerek tarımsal arazilerin kirlenmesi önlenabilir. Azotun toprakta tutumu arttırılabilir ve daha az azotlu gübre kullanımını sağlayarak çevreye ve ekonomiye katkıda bulunabiliriz.

Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında yer alan Atatürk Barajı oldukça geniş bir göl havzasına sahiptir ve bu göl havzasına yakın tarım alanlarında çeşitli biyokömür uygulamaları yaygınlaştırılıp Atatürk Baraj suyunun nitrat ve amonyum bakımından kirlenmesini önleyerek baraj suyunun kalitesini arttırabiliriz.

Bu çalışmayı bölge toprakları bakımından asidik karakterli olan Karadeniz Bölgesi ve Trakya Bölgesi'nin birtakım alanlarında asit seviyesi yüksek olan topraklarda biyokömürlerin toprak kalitesine olan yansıması denenebilir.

Tütün sapı %1.5 dozunda yaklaşık olarak %8 oranında, %3 dozunda ise %9 oranında daha fazla suyu bünyesinde tutmuştur. Zeytin posası %1.5 dozunda %7 oranında, %3 dozunda ise yaklaşık olarak %9 oranında daha fazla suyu bünyesinde tutmuştur.

Bu sonuçlar yapmış olduğumuz çalışmanın ileriki dönemlerde yapılacak olan başka çalışmalarda fayda sağlaması açısından önemli bir başlangıç oluşturacağı değerlendirilmiştir.



KAYNAKLAR

- ABBASI, M.K., and ADAMS, W.A., 2000. Estimation of Simultaneous Nitrification and Denitrification in Grassland Soil Associated with Urea-N Using 15N and Nitrification Inhibitor. *Biology and Fertility of Soils*, 31: 38-44.
- ALTLAND, J.E., and LOCKE, J.C., 2012. Biochar Affects Macronutrient Leaching from a Soilless Substrate. *Hort Science*, 47(8): 1136-1140.
- ALTUN, O., 2017. Biyokömürün Toprağın Fiziksel Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 38s.
- ASTM., 2020. Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke. Standard number: D5373 – 16.
- AYDEMİR, S., KAYA, C., SÖNMEZ, O., DOĞAN, E., ÖKTEM, A., ve KÜÇÜK, Ç., 2016. Biyokatıların (Biochar) Organik Toprak İyileştiricisi Olarak Mısır Bitkisi Gelişimi ve Sera Gazlarının (CO₂, N₂O ve CH₄) Emisyonları Üzerine Olan Etkilerinin Belirlenmesi. TÜBİTAK Proje No: 112R005.
- BEKÇİ, U., 2019. Kompostlama İşleminde Biyokömür Kullanımının Amonyak Giderimine Etkisinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 80s.
- BODUR, S., 2016. Farklı Dozlarda Pirina ve Pirina Biyokömürü Uygulamasının, Kumlu Topraklardan Nitrat Yıkanması Üzerine Etkileri. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale, 36s.
- BRACMORT, K.S., 2009. Biochar Examination of an Emerging Concept to Mitigate Climate Change. *Analyst in Agricultural Conversation and Natural Resources Policy*, 7: 72-83.
- BREWER, C.E., BROWN, R.C., 2012. Biochar. In: Sayigh, A. (Ed.), *Comprehensive Renewable Energy*. Elsevier, Oxford, pp. 357–384.
- BROWN, R.C., 2009. Biochar Production Technology. In: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (Eds. Lehmann, J. & Joseph, S.), Earthscan.
- CARVALHO DE MELO, M.T., MAİA, A.D.H.N., MADARİ, B.E., BASTİANS, L., VAN OORT, P.A.J., HEINEMANN, A.B. and MEİNKE, H. 2014. Biochar Increases Plant a Vailable Water in a Sandy Loam Soil Under an Aerobic Rice Crop System. *Solid Earth*, 5(2), 939.
- CASE, S.D., MCNAMARA, N.P., REAY, D.S., and WHİTAKER, H., 2012. The Effect of Biochar Addition on N₂O and CO₂ Emissions from a Sandy Loam Soil–The Role of Soil Aeration. *Soil Biology and Biochemistry*, 51, 125-134.
- CHAN, K.Y., VAN ZWIETEN, L., MESZAROS, I., DOWNİE, A., and JOSEPH, S., 2008. Agronomic Values of Green Waste Biochar as a Soil Amendment. *Soil Research*, 45(8): 629-634.
- CHAPMAN, H.D., 1965. Cation Exchange Capacity. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, (Methods of soil anb)*, 891-901.

- DELUCA, T.H., GUNDALE, M.J., MACKENZIE, M.D., and JONES, D.L., 2015. Biochar Effects on Soil Nutrient Transformations. *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*, 421-454.
- DELUCA, T.H., MACKENZIE, M.D., and GUNDALE, M.J., 2009. Biochar effects on soil nutrient transformations. In "Biochar for Environmental Management: Science and Technology" (J. Lehmann and S. Joseph, Eds.), Earthscan, London.
- DOKOOHAKI, H., MÍGUEZ, F.E., LAIRD, D., HORTON, R., and BASSO, A.S., 2017. Assessing The Biochar Effects on Selected Physical Properties of a Sandy Soil: an Analytical Approach. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-12: ISO, 690.
- DOWNIE, A., CROSKY, A., and MUNROE, P., 2009. Physical Properties of Biochar. in: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (Eds. Lehmann J., and Joseph S). Earthscan Ltd. London, 13-32.
- ENDERS, A., and LEHMANN, J., 2012. Comparison of Wet-Digestion and Dry-Ashing Methods for Total Elemental Analysis of Biochar. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43:1042–1052, 2012.
- FANGUERIO, D., FERNANDES, A., COUTINHO, J., MOREIRA, N., and TRINDADE, H., 2019. Influence of Two Nitrification Inhibitors (DCD and DMPP) on Annual Ryegrass Yield and Soil Mineral N Dynamics After Incorporation with Cattle Slurry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(21-22), 3387-3398.
- FERNANDEZ-ESCOBAR, R., BENLLOCH, M., HERRERA, E., and GARCIA-NOVELO, J.M., 2004. Effect of Traditional and Slow-Release N Fertilizers on Growth of Olive Nursery Plants and N Losses by Leaching. *Sci. Hortic.* 101:39–49. Doi:10.1016/J. Scienta. 2003.09.008.
- FOSTER, E.J., HANSEN, N., WALLENSTEIN, M., COTRUFO, M.F., 2016. Biochar and Manure Amendments Impact Soil Nutrients and Microbial Enzymatic Activities in a Semiarid Irrigated Maize Cropping System. *Agric. Ecosystems & Envir.*, 233, 404-414.
- FREE, H.F., MCGILL C.R., ROWARTH, J.S., HEDLEY M.J., 2010. The Effect of Biochars on Maize (*Zea Mays*) Germination. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 53(1): 1- 4.
- FRIED, M., and H, BROESHARD., 1967. *The Soil-Plant System in Relation to Inorganic Nutrition*. Academic Press. New York, London.
- 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.
- GEE, G.W., and BAUDER, J.W., 1986. Particle-Size Analysis. in *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Klute, A., Ed. Agronomy Monograph, ASA, SSSA, Madison, WI. 383-411.
- GLASER, B., HAUMAIER, L., GUGGENBERGER, G., and ZECH, W., 2001. The Terra Preta Phenomenon: a Model for Sustainable Agriculture in the Humid Tropics. *Naturwissenschaften*, 37-41.

- GÜNAL, E., 2018. Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçarların Ekmeklik Buğdayın Gelişimi, Besin Elementi Alımı ve Toprak Kalitesine Etkileri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Tokat, 344s.
- GÜNAL, E., ERDEM, H., ve KAPLAN, A. 2017. Biyokömür İlavesinin Toprakta Nitrat ve Amonyum Yıkanmasına Etkileri. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 21(1): 73-83.
- HARDIE, M.A., OLIVER, G., CLOTHIER, B.E., BOUND, S.A., GREEN S.A., and CLOSE, D.C., 2015. Effect of Biochar on Nutrient Leaching in a Young Apple Orchard. *Journal of Environmental Quality*, 44(4), 1273-1282.
- IGARASHI, T., 1996. Soil Improvement Effect of FMP and CRH in Indonesia, JICA Pamphlet, p. 30.
- JEFFERY, S., VERHEIJEN, F.G.A., VAN DER VELDE M., and BASTOS, A.C., 2011. a Quantitative Review of The Effects of Biochar Application to Soils on Crop Productivity Using Meta-Analysis. *Agric Ecosyst Environ* 144: 175–187. Doi:10.1016/J. Agee. 2011.08.015.
- KAMEYAMA, K., MIYAMOTO, T., SHIONO, T., SHINOBI, Y., 2012. Influence of Sugarcane Bagasse-Derived Biochar Application on Nitrate Leaching in Calcaric Dark Red Soil. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1131-1137.
- KAMM, J., 2004. a New Class of Plants for a Biofuel Feedstock Energy Crop', *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 113–116: 55–70.
- KANTHLE, A.K., LENKA, N.K., LENKA, S., TEDIA, K., 2016. Biochar Impact on Nitrate Leaching as Influenced by Native Soil Organic Carbon in a Inceptisol of Central India. *Soil and Tillage Research*, 157, 65-72.
- KLUTE, A., 1986. Water retention: Laboratory methods, in Klute, A. (ed.): *Methods of Soil Analysis Part I*. 2nd edn., Agron. Monogr. No 9, ASA, Madison, WI, USA, pp. 635–662.
- KOLB, S., 2007. Understanding the Mechanisms by Which a Manure-Based Charcoal Product Affects Microbial Biomass and Activity. Phd Thesis. University of Wisconsin, Green Bay, USA, 22-35.
- LAIRD, D.A., 2008. the Charcoal Vision: a Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, While Improving Soil and Water Quality. *Agronomy Journal*, 100(1), 178-181.
- LAIRD, D.A, FLEMING, P., DAVIS, D., HORTON, R., WANG, B., KARLEN, D., 2010. Impact of Biochar Amendments on the Quality of a Typical Midwestern Agricultural Soil. *Geoderma* 158(3–4), 443–449.
- LEHMANN, C.J., and RONDON, M., 2006. Bio-char Soil Management on HighlyWeathered Soils in The Tropics. In: Uphoff. N.T. (Ed.). *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. CRC Press. Boca Raton. pp. 517-530.
- LEHMANN, J. JOSEPH S., 2009. *Biochar for Environmental Management*. ISBN 978-1- 84407-658-1.
- LEHMANN, J., 2007. Bio-Energy in the Black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: (7) 381-387.
- LEHMANN, J., and JOSEPH, S., 2009. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthsan, London, UK, p. 416.

- LEHMANN, J., RILLIG, M.C., THIES, J., MASIELLO, C.A., HOCKADAY, W.C., CROWLEY, D. 2011. Biochar Effects on Soil Biota—A Review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- LIANG, B., LEHMANN, J., SOLOMON, D., KINYANGI, J., GROSS MAN, J., O'NEILL, B., SKIEMSTAD, J.O., THIES, J., LUIZAO, F.J., PETERSEN, J., NEVES, E.G., 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity In Soils. *Soil Science Society of America Journal* 70:1719–1730.
- MANIRAKIZA, N. 2019. Effects of Compost and Biochar Applications on Soil Properties of a Sandy Soil and Corn Plant Growth. The Graduate School of Natural and Applied Science of Selçuk University. Soil Science and Plant Nutrition Department, Master's Thesis, Konya. 87p.
- MUKHERJEE, A., LAL, R., ZIMMERMAN, A.R., 2014. Impacts of Biochar and Other Amendments on Soil–Carbon and Nitrogen Stability: a Laboratory Column Study. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Doi:Http: Dx.Doi. Org/10.2136/Sssaj 2014.01.0025.
- MULVANEY, R.L., 1996. Nitrogen-Inorganic Forms. in *Methods of Soil Analyses Part 3 Chemical Methods* p:1123-1184.
- NGUYEN, M.V., LEE, B.K., 2016. a Novel Removal of CO₂ Using Nitrogen Doped Biochar Beads as a Green Adsorbent", *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 104, pp.490–498.
- NGUYEN, T.T.N., XU, C.Y., TAHMASBIAN, I., CHE, R, XU, Z., ZHOU, X., ... and BAI, S.H., 2017. Effects of Biochar On Soil Available İnorganic Nitrogen: a Review and Meta-Analysis. *Geoderma*, 288, 79-96.
- NI M., LEUNG D.Y.C., SUMATHY K., 2006. an Overview of Hydrogen Production From Biomass, *Fuel Processing Technology*, vol. 87. 461-472.
- NOVAK, J.M., BUSSCHER, W.J., WATTS, D.W., LAIRD, D.A., AHMEDNA, M.A., NIANDAOU, M.A., 2010. Short-Term CO₂ Mineralization After Additions of Biochar and Switchgrass to a Typic Kandudult. *Geoderma*, 154(3), 281-288.
- OGAWA, M., OKIMORI, Y., and TAKAHASHI, F., 2006. Carbon Sequestration by Carbonization of Biomass and Forestation: Three Case Studies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 429–444.
- OKA, H., RUNGATTANAKASIN, W., ARORATANA, U., and IDTHIPONG, S., 1993. Improvement of Sandy Soil in The NORtheast by Using Carbonized Rice Husks. *JICA Technical Report*. 13: 42-40 (in Japanese. with translation).
- OKIMORI, Y., OGAWA, M., and TAKAHASHI, F., 2003. Potential of CO₂ Emission Reductions by Carbonizing Biomass Waste from Industrial Tree Plantation in South Sumatra, Indonesia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 8, 261-280.
- ÖZYAVUZ, M., 2017. Biyokömür (Biochar) Uygulamalarının Patlıcan Bitkisi ve Toprağın Kimyasal Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi. *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa*, 62s.
- PRAPAGDEE, S., TAWINTEUNG, N., 2017. Effects of Biochar on Enhanced Nutrient Use Efficiency of Green Bean, *Vigna Radiata L.* *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10), 9460-9467.

- RICHARDS, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils: Washington, D.C.U.S. Department of Agriculture Handbook 60, 160 P.
- RONDON, M., RAMIREZ, J.A., and LEHMANN, J., 2005. Greenhouse Gas Emissions Decrease with Charcoal Additions to Tropical.
- SANDHU, S.S., and KUMAR, S., 2017. Impact of Three Types of Biochar on the Hydrological Properties of Eroded and Depositional Landscape Positions. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 878-888.
- SARİ, R., 2018. Farklı Biochar (Biyokömür) Materyallerinin Toprak Kalitesi Üzerine Etkisinin Parsel Bazında Araştırılması. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 59s.
- SAYGAN, E.P., 2017. Biyokömürün (Biochar) Toprak Düzenleyicisi Olarak Kullanım Potansiyellerinin Belirlenmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Şanlıurfa, 344s.
- SIKA, M.P., and HARDIE, A.G., 2014. Effect of Pine Wood Biochar on Ammonium Nitrate Leaching and Availability in a South African Sandy Soil. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 113-119.
- SINGH, B.P., HATTON, B.J., SINGH, B., COWIE, A.L., and KATHURIA, A., 2010. Influence of Biochars on Nitrous Oxide Emission and Nitrogen Leaching from Two Contrasting Soils. *Journal of Environmental Quality*, 39(4), 1224-1235.
- UZOMA, K.C., INOUE, M., ANDRY, H., ZAHOOOR, A., and NISHIHARA, E., 2011. Influence of Biochar Application on Sandy Soil Hydraulic Properties and Nutrient Retention. *J. Food Agric. Environ*, 9(3-4), 1137-1143.
- VAN ZWIETEN, L.V., ROSE, T., HERRIDGE, D., KIMBER, S., RUST, J., COWIE, A., and MORRIS, S., 2015. Enhanced Biological N₂ Fixation and Yield of Faba Bean (*Vicia Faba* L.) in an Acid Soil Following Biochar Addition: Dissection of Causal Mechanisms. *Plant Soil* 395, 7–20.
- VERHEIJEN, F., JEFFERY, S., BASTOS, A.C., VAN DER VELDE, M., and DIAFAS, I., 2010. Biochar Application to Soils. a Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes, and Functions. EUR, 24099, 162.
- VERHEIJEN, F.G.A., JONES, R.J.A., RICKSON, R.J., and SMITH, C.J., 2009. Tolerable Versus Actual Soil Erosion Rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94(1-4): 23-38.
- VERHEIJEN, F., JEFFERY, S., BASTOS, A.C., VAN DER VELDE, M., and DIAFAS, I., 2010. Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR 24099 EN Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 149.
- VOLK, T.A., VERWIJST, T., THARAKAN, P.J., ABRAHAMSON, L.P., and WHITE E.H., 2004. Growing Fuel: a Sustainability Assessment of Willow Biomass Crops', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2: 411–418.

