

T.C.
SIİRT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Fıstık Atıklarından Elde Edilen Biyoçarın Farklı Tekstüre Sahip Topraklarda
Besin Elementi Yıkanmasına ve Bitki Gelişimine Etkisi**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜBRA POLAT
(203123002)

Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı

Tez Danışman: Doç. Dr. Mesut BUDAK

II. Danışman : Doç. Dr. Harun BEKTAŞ

Ocak, 2023
SIİRT

TEZ KABUL VE ONAYI

Kübra POLAT tarafından hazırlanan “Fıstık Atıklarından Elde Edilen Biyoçarın Farklı Tekstüre Sahip Topraklarda Besin Elementi Yıkanmasına ve Bitki Gelişimine Etkisi” adlı tez **çalışması 13/01/2023** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hikmet GÜNAL

.....

Danışman

Doç. Dr. Mesut BUDAK

.....

Üye

Doç. Dr. Behcet İNAL

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Harun BEKTAŞ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması **Siirt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleeri Koordinatörlüğü** tarafından **2021-SİÜFEB-051** nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Kübra POLAT



ÖN SÖZ

Toprakların üretim kapasitesinin artırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından son zamanlarda toprak kalitesini arttıran, ürün verimini iyileştiren ve iyi bir karbon tutucu olan biyoçar gibi maddelerin kullanımı önemli bir ivme kazanmıştır. Zira organik atıkların piroliz edilerek biyoçara dönüştürülmesi ve tarımsal üretimde toprak düzenleyici olarak kullanılması, bir taraftan toprakların üretkenlik kapasitesini koruyup sürdürülebilirliğini sağlaması bir taraftan da atıkların yakılması ile oluşan hava kirliliği ve sıvı atıkların araziye uygulanması ile oluşan yüzey ve yüzey altı suyu kirliliği gibi sorunlara çözüm getirmesi açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu bağlamda bu tez çalışmasında fıstık kabuğundan üretilen biyoçarın buğday bitkisinin toprak üstü ve toprak altı aksamalarına ve toprakta nitrat yıkanmasına olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen veriler, günümüzde önemli bir karbon kaynağı olan tarımsal atıkların gelişigüzel yakılması veya çevreye atılması yerine toprak düzenleyici olarak kullanılmak üzere bir dizi işleminden geçirilmesi adına önemli olacaktır.

Tez çalışmamda ve lisansüstü eğitimim boyunca her aşamada bana daima yol gösteren, desteğini esirgemen, bilgi ve deneyimlerden yararlandığım, akademik hayatım boyunca örnek almaya devam edeceğim danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mesut BUDAK'a çalışma sürecimde bilgi ve deneyiminden yararlandığım, sabırla bana yol gösteren, destek olan II. Danışman hocam Sayın Doç. Dr. Harun BEKTAŞ'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca sera çalışmalarında ve laboratuvar analizleri çalışmalarında bana yardımcı olan, bu süreçte beni yalnız bırakmayan değerli arkadaşım Fatma KÖROĞLU'na ve tez yazım sürecinde bilgi ve fikir alışverişinde bulunduğum hocam Sayın Dr. Mesut SIRRI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında olduğu gibi tez çalışmam boyunca da bana maddi ve manevi destek olan, insani ve ahlaki değerleri ile örnek aldığım saygıdeğer babam Vedat POLAT ve saygıdeğer annem Filiz POLAT'a ve desteklerini her zaman hissettiren iyi ki varlar dediğim sevgili kardeşlerime çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını **2021-SİÜFEB-051** No'lu proje olarak destekleyen Siirt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Kübra POLAT
SİİRT-2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
2.1. Biyoçar Tanımı	6
2.2. Biyocharın Tarihçesi	6
3. Biyocharın Toprak Özelliklerine Etkisi	7
2.3.1. Toprakların fiziksel özelliklerine etkisi	7
2.3.2. Toprakların kimyasal özelliklerine etkisi	12
2.3.3. Toprakların biyolojik özelliklerine etkisi	16
2.4. Bitki Gelişimine Etkisi	17
2.4.1. Bitki kök gelişimine etkisi	17
2.4.2. Bitki gövdesi ve sürgünleri üzerine etkisi	19
3. MATERYAL VE METOD	21
3.1 Materyal	21
3.1.1. Biyoçar üretimi ve biyoçar hammaddesinin özellikleri	21
3.1.2. Deneme toprağının özellikleri	23
3.2. Metod	23
3.2.1. Deneme alanının kurulması	23
3.2.2. Su örneklerinin alınması	25
3.2.3. Toprak örneklerinin alınması	26
3.2.4. Laboratuvar Analizleri	26
3.2.5. Bitki kök mimarisini belirlenmesi	28
3.2.6. İstatistiksel analizler	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Farklı Dozda Biyoçar Uygulamalarının Bazı Kimyasal Toprak Özelliklerine Etkisi	33
4.2. Farklı Dozda Biyoçar Uygulamalarının Nitrat Yıkanmasına Etkisi	40
4.3. Farklı Biyoçar Dozlarının Bitki Gelişimine Etkisi	43
4.3.1. Kök Gelişimine Etkisi	43
4.3.2. Bitkinin Toprak Üstü Aksamlarının Gelişimine Etkisi	55

4.3.3 Yaprak Gelişimine Etkisi	64
4.3.4. Toplam kök uzunluğuna etkisi.....	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
6. KAYNAKÇA	73



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Biyoçar materyaline ait bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri	22
Tablo 3.2.Denemede kullanılan toprakları bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	23
Tablo 3.3.Deneme parseli kurulum şeması.....	24
Tablo 4.1. Biyoçar uygulamasının killi toprakta gövde yaş/kök kuru ağırlığına etkisi..	54



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3-1. Biyoçar üretiminde kullanılan kül fırını ve fıstık atıklarının biyoçar öncesi ve sonrası görüntüsü	21
Şekil 3-2. Öğütme ve eleme işleminden sonra elde edilen biyoçar maddesi.....	21
Şekil 3-3. Biyoçar materyalinin SEM görüntüsü.....	22
Şekil 3-4. Deneme kurulum aşamasında saksılara biyoçar dozlarının uygulanması	25
Şekil 3-5. Nitrat analizinde renk dönüşümü	28
Şekil 3-6. Denemenin 32. gününde bitki gelişim durumu	29
Şekil 3-7. Saksılarda büyütülen bitkilerin köklerini topraktan ayırma işlemi	29
Şekil 3-8. Bitki Toprak üstü ve toprak altı aksamlarının ölçülmesi	30
Şekil 4-1. Biyoçar uygulamasının toprağın organik madde içeriğine etkisi.....	34
Şekil 4-2. Biyoçar uygulamasının toprağın alınabilir P içeriğine etkisi	35
Şekil 4-3. Biyoçar uygulamasının toprağın Toplam N içeriğine etkisi	36
Şekil 4-4. Biyoçar uygulamasının toprak reaksiyonuna (pH) etkisi	37
Şekil 4-5. Biyoçar uygulamasının toprağın elektiriksel iletkenlik değerine etkisi	38
Şekil 4-6. Biyoçar uygulamasının toprağın katyon değişim kapasitesine etkisi.....	40
Şekil 4-7. Biyoçar uygulamasının toprakta nitrat yıkanmasına etkisi (1. Sulama).....	42
Şekil 4-8. Biyoçar uygulamasının topraktanitrat yıkanmasına etkisi (2. Sulama).....	43
Şekil 4-9. Biyoçar uygulamasının topraktanitrat yıkanmasına etkisi (3. Sulama).....	43
Şekil 4-10. Biyoçar uygulamasının killi toprakta kök hacmine etkisi.....	44
Şekil 4-11. Biyoçar uygulamasının kumlu tıntoprakta kök hacmine etkisi.....	45
Şekil 4-12. Biyoçar uygulamasının killi toprakta kök yaş ağırlığına etkisi.....	46
Şekil 4-13. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta kök yaş ağırlığına etkisi.....	46
Şekil 4-14. Biyoçar uygulamasının killi toprakta kök kuru ağırlığına etkisi.....	47
Şekil 4-15. Biyoçar uygulamasının kumlu tın topraktakök kuru ağırlığına etkisi.....	47
Şekil 4-16. Kumlu Toprakta Biyoçar Uygulanmayan Bitkide Kök Gelişimi.....	48
Şekil 4-17. Kumlu Toprakta %2 Biyoçar Uygulanan Bitkide Kök Gelişimi	48
Şekil 4-18. Kumlu Toprakta %4 Biyoçar Uygulanan Bitkide Kök Gelişimi	49
Şekil 4-19. Killi Toprakta Biyoçar Uygulanmayan Bitkide Kök Gelişimi.....	49
Şekil 4-20. Killi Topraklarda%2 Biyoçar Uygulanan Bitkide Kök Gelişimi	50
Şekil 4-21. Killi Topraklarda %4 Biyoçar Uygulanan Bitkide Kök Gelişimi	50
Şekil 4-22. Biyoçar uygulamasının killi toprakta gövde yaş/kök yaş ağırlığına etkisi...	52
Şekil 4-23. Biyoçar uygulamasının bitkinin gövde yaş/kök yaş ağırlığına etkisi.....	52
Şekil 4-24. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta gövde kuru/kök kuru ağırlığına etkisi.....	53
Şekil 4-25. Biyoçar uygulamasının killi toprakta bitki boyuna etkisi	56
Şekil 4-26. Biyoçar uygulamasının kumlu tın bitki boyuna etkisi	56
Şekil 4-27. Kumlu Topraklarda %4 Biyoçar Uygulamasının Bitki ve Kök Gelişimi	57
Şekil 4-28. Killi Topraklarda %2 Biyoçar Uygulamasının Bitki ve Kök Gelişimi	58
Şekil 4-29. Biyoçar Uygulanmayan Killi Toprakta Bitki ve Kök Gelişimi.....	59
Şekil 4-30. Biyoçar uygulamasının killi toprakta gövde çapına etkisi	60
Şekil 4-31. Biyoçar uygulamasının kumlu tın topraktagövde çapına etkisi	61

Şekil 4-32. Biyoçar uygulamasının killi topraktagövde yaş ağırlığına etkisi	62
Şekil 4-33. Biyoçar uygulamasının kumlu tın topraktagövde yaş ağırlığına etkisi	63
Şekil 4-34. Biyoçar uygulamasının killi topraktagövde kuru ağırlığına etkisi	63
Şekil 4-35. Biyoçar uygulamasının kumlu tın topraktagövde kuru ağırlığına etkisi	64
Şekil 4-36. Biyoçar uygulamasının killi topraktayaprak boyuna etkisi	65
Şekil 4-37. Biyoçar uygulamasının kumlu tın topraktayaprak boyuna etkisi	66
Şekil 4-38. Biyoçar uygulamasının killi topraktayaprak enine etkisi	66
Şekil 4-39. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta yaprak enine etkisi	67
Şekil 4-40. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta yaprak alanına etkisi	67
Şekil 4-41. Biyoçar uygulamasının killi toprakta yaprak alanına etkisi	68
Şekil 4-42. Farklı gübre dozlarının toplam kök uzunluğuna etkisi	69
Şekil 4-43. Farklı biyoçar dozlarının toplam kök uzunluğuna etkisi	70
Şekil 4-44. Farklı biyoçar ve farklı gübre doz uygulamalarının kumlu ve killi topraklardatoplam kök uzunluğuna etkisi	70

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
EC	: Elektriksel İletkenlik
pH	: Toprak Reaksiyonu
KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
OM	: Organik Madde
SG	: Sıfır Gübre
YG	: Yarım Gübre
TG	: Tam Gübre
S	: Kumlu Tın Toprak
C	: Killi Toprak
B	: Biyoçar

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
H	: Hidrojen
Mg	: Magnezyum
N	: Azot
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
NO₃⁻	: Nitrat

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fıstık Atıklarından Elde Edilen Biyoçarın Farklı Tekstüre Sahip Topraklarda Besin Elementi Yıkanmasına ve Bitki Gelişimine Etkisi

Kübra Polat

**Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı**

Danışman : Doç. Dr. Mesut BUDAK

II. Danışman : Doç. Dr. Harun BEKTAŞ

2023, 92+XII Sayfa

Organik atıkların piroliz edilmesi ile elde edilen biyoçarın tarıma, çevreye ve iklime sağladığı potansiyel faydaları son zamanlarda araştırmaya haiz bir konu olmuştur. Bu tez çalışmasında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde önemli bir ekim alanı ve atık kapasitesine sahip olan fıstık yetiştiriciliğinden elde edilen atıkların pirolizi ile toprak ve bitki gelişimine etkileri incelenmiştir. Fıstık atıklarından biyoçar elde edilmiş ve iki farklı tekstüre (kumlu ve killi) sahip topraklara farklı dozlarda uygulanmıştır. Biyoçarın, nitrat yıkanmasına, toprakların bazı kimyasal (organik madde (OM), yarıyışlı fosfor (P), kation değişim kapasitesi (KDK), toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC)) özelliklerine ve buğday toprak üstü ve toprak altı aksamalarının (kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, gövde yaş ağırlığı, gövde kuru ağırlığı, gövde/kök yaş ağırlığı, gövde/kök kuru ağırlığı, bitki boyu, yaprak boyu, yaprak eni, yaprak alanı, gövde çapı, toplam kök uzunluğu (TRL), ortalama toplam kök uzunluğu (Ortalama TRL) ve ana kök uzunluğu (TapRL) ve kök hacmi) gelişimine etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda kumlu tın ve killi tekstüre sahip 2 farklı toprakta ekmeklik buğday olan Bezostaja 1 çeşidi yetiştirilip, 5 farklı biyoçar (% 0, %0.5, %1, %2, %4) ve 3 (% 0, %50 ve %100) gübre dozu uygulanmıştır. 3 tekerrürlü olarak yapılan deneme sonucunda biyoçar dozu arttıkça toprakların OM içeriğinin her iki tekstürde de önemli düzeyde arttığı ve bu artışın en yüksek killi toprakta %4'lük biyoçar dozunda olduğu görülmüştür. Ayrıca hem biyoçar hem de gübre dozlarının toprakta azot ve fosfor içeriğini önemli düzeyde arttırdığı görülmüştür. Kumlu toprakta sıfır gübre uygulamasında %4'lük biyoçar uygulamasının %0 biyoçar dozuna göre azot içeriğini yaklaşık %100 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Biyoçarın toprak pH'sına olan etkisinin sıfır gübre dozlarında her iki toprakta daha net görüldüğü ve biyoçar dozunun artması ile toprak pH'sında artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Farklı doz gübre ile farklı doz biyoçarın toprağın EC'sine olan etkisi incelendiğinde %0 biyoçar dozunda uygulanan gübre dozlarının EC değerlerini arttırdığı görülmüştür. 3 farklı sulama sonrası atık suda nitrat içeriği incelenmiş ve gübre dozu arttıkça yıkanan nitrat miktarının arttığı, biyoçar dozlarının ilk sulamada nitrat yıkanmasına çok etki etmediği, ikinci sulama ile uygulanan Üre gübresinden sonra nitrat yıkanmasını azalttığı tespit edilmiştir. Biyoçar ve gübre uygulamalarının bitki kök ve gövde gelişimine etkileri incelendiğinde, en yüksek kök hacminin %2 biyoçar, kök yaş ağırlığının %2-4 biyoçar uygulamalarında elde edilmiştir. Bitki boyuna en belirgin etki kumlu topraklarda %1-4 arası biyoçar uygulamalarında görülmüştür. Gövde çapı, gövde yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak boyu ve eni biyoçar uygulamalarında kontrol uygulamalarına göre anlamlı düzeyde artmıştır. Toplam kök uzunluğu hem killi topraklarda hem de kumlu topraklarda %2 ve 4 biyoçar uygulamalarında daha iyi sonuç vermiştir. Ekmeklik buğdayda gübre ve biyoçar uygulamalarının toprak özellikleri ve bitki gelişimine etkilerinin incelendiği tez çalışmasında tüm biyoçar dozları etkili bulunmuşken, farklı bitki özelliklerinde farklı dozların etkili olduğu gözlemlenmiştir. Biyoçar uygulamalarının bitki gelişimi ve toprak özelliklerinin iyileştirilmesinde iyi bir toprak düzenleyici olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitki Gelişimi, Biyoçar, Nitrat Yıkanması, Tarımsal Atıklar, Toprak Düzenleyici

ABSTRACT

MS THESIS

Effect of Biochar Obtained from Pistachia Wastes on Nutrient Washing and Plant Development in Different Textures Soils

Kübra POLAT

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University
The Degree of Master of Science In Agricultural Biotechnology**

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mesut BUDAK

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Harun BEKTAŞ

2023, 92 + XII Pages

The potential benefits of biochar obtained by the pyrolysis of organic wastes to agriculture, environment, and climate have been a subject of research recently. In this thesis, pyrolysis of the wastes obtained from pistachio cultivation, which has an important cultivation area and waste capacity in the Southeastern Anatolia Region, and its effects on soil and plant growth were investigated. Biochar was obtained from pistachio waste and different doses were applied to soils with two different textures (sandy and clayey). The effects of biochar on nitrate leaching, some chemical properties (organic matter (OM), available phosphorus (P), cation exchange capacity (KDK), soil reaction (pH), and electrical conductivity (EC)) of soils, and the development of above-ground and below ground components of wheat (root fresh weight, root dry weight, stem fresh weight, stem dry weight, stem/root fresh weight, stem/root dry weight, plant height, leaf height, leaf width, leaf area, stem diameter, total root length (TRL), mean total root length (Mean TRL) and main root length (TapRL) and root volume) were investigated. In this context, bread wheat variety Bezostaja 1 was grown in 2 different soils with sandy loam and clay texture, and 5 different biochar (0, 0.5%, 1%, 2%, 4%) and 3 different fertilizer doses (0, 50% and 100%) were applied. As a result of the experiment with 3 replications, it was observed that as the dose of biochar increased, the OM content of the soils increased significantly in both textures, and this increase was observed at the highest dose of 4% biochar in clayey soils. In addition, it was observed that both biochar and fertilizer doses significantly increased the nitrogen and phosphorus content of the soil. It was determined that 4% biochar application in zero fertilizer application in sandy soil increased the nitrogen content by approximately 100% compared to 0% biochar dose. It was observed that the effect of biochar on soil pH was seen more clearly in both soils at zero fertilizer doses, and the soil pH increased with the increase in biochar dose. When the effect of different doses of fertilizer and different doses of biochar on the EC of the soil was examined, it was seen that the fertilizer doses applied at 0% biochar dose increased the EC values. The nitrate content of the wastewater after 3 different irrigations was examined and it was determined that as the fertilizer dose increased, the amount of nitrate washed increased, the biochar doses did not affect the nitrate washing in the first irrigation, and it decreased the nitrate washing off after the urea fertilizer applied with the second irrigation. When the effects of biochar and fertilizer applications on plant root and shoot development were examined, the highest root volume was obtained with 2% biochar and root fresh weight on 2-4% biochar applications. The most significant effect on plant height was observed in 1-4% biochar applications in sandy soils. Shoot diameter, shoot and root dry weights, leaf length, and width increased significantly in biochar applications compared to the control. Total root length was the highest in both clay soils and 2% and 4% biochar applications. In the thesis study examining the effects of fertilizer and biochar applications on soil properties and plant growth in bread wheat, it was observed that while all biochar doses were found to be effective, different doses were found to be effective on different plant properties. It is thought that biochar applications can be a good soil conditioner in improving plant growth and soil properties

Keywords: Plant Growth, Biochar, Nitrate Leaching, Agricultural Wastes, Soil Conditioner

1. GİRİŞ

Hızla gelişen endüstriyel faktörlerin yanısıra artan dünya nüfusuna bağlı olarak tarım ürünlerine olan talep artışı tarım toprakları üzerinde antropojenik baskı oluşturmakta ve nihayetinde de toprakların üretim kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır. Zira 2050 yılında dünya nüfusunun 9.8 milyara ulaşacağı varsayımı (Koppitke ve ark., 2019), tarım toprakları üzerinde oluşacak baskının ne denli artacağını daha net bir şekilde ortaya koymaktadır. Araştırmalar gelecekte daha ciddi beslenme ve çevre problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmamak için tarım arazilerinin üretim kapasitelerinin iyileştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Howell (2001) artan nüfusun beslenme gereksinimini karşılamak için, 2050 yılına kadar tarım arazi alanlarının artırılarak veya toprakların üretim kapasiteleri iyileştirilerek üretimde en az iki kat artış sağlanması gerektiğini bildirmiştir. Bu nedenle son zamanlarda tarım arazilerinde ürün verimini ve sürdürülebilirliğini iyileştirmek için düşük verimli toprakların rehabilite edilmesine artan bir ilgi bulunmaktadır (El-Naggar ve ark., 2019).

Verimli toprak, bitki gelişimini engelleyebilecek herhangi bir toksik elemente sahip olmadan bitki büyümesi için gerekli besinleri ve suyu tedarik edebilme yeteneğine sahip topraktır (El-Naggar ve ark., 2019). Zira toprak verimliliği toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri tarafından kontrol edilmektedir (Igalavithana ve ark., 2015) ve tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamak için bu özellikler kritik bir öneme sahiptir (El-Naggar ve ark., 2019). Fiziksel kimyasal ve biyolojik toprak özellikleri iyileştirilerek toprakların üretkenlik kapasitelerini arttırmak için toprakların doğru bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Modern tarımda birim alandan daha fazla verim alabilmenin en önemli şartlarından biri bitkinin gereksinim duyduğu besin elementlerinin organik veya inorganik gübre şeklinde toprağa ilave edilmesi ve toprak özelliklerini iyileştiren uygulamaların benimsenmesidir. Nitekim yapılan araştırmalar gübre uygulamalarının yapıldığı tarım arazilerindeki verimin, gübre uygulanmayan koşullara kıyasla %30 ile %50 arasında artış gösterdiğini ortaya koymuştur (Chaudhary ve ark., 2017; Günal ve Erdem, 2018). Ancak birim alandan daha fazla verim alabilmek için uygulanan kimyasal gübreler toprakta tuzluluk ve kirlilik sorunları yansırı yer altı su kaynaklarını kirleterek önemli bir çevresel soruna neden olmaktadır. Özellikle organik madde içeriği düşük tarım arazilerinde bu sorun çok daha ciddi boyutlara ulaşabilmektedir. Tian ve ark. (2018), kimyasal gübre şeklinde toprağa uygulanan azotlu gübrelerin önemli miktarının yüzey akışı, NH_3 şeklinde volatilizasyonu ve NO_3

şeklinde yıkanması gibi nedenlerle topraktan uzaklaştığını ve yüzey/yüzey altı sularında kirlenmeye neden olduğunu rapor etmiştir.

Günümüze kadar yapılan birçok çalışmada toprakların organik maddece zenginleştirilmesinin topraktaki besin elementlerinin alınabilirliğini arttırdığı ve toprakta tutunmasını sağlayarak yıkanmalarını azalttığı rapor edilmiştir (Gupta ve ark., 1992; Narwal ve Antil, 2005; Antil ve Singh, 2007; Elbl ve ark., 2013; Günal ve Erdem, 2018; Lu ve ark., 2021; Gao ve ark., 2022). Bu nedenle, toprakların üretim kapasitesinin artırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından toprağın organik maddesi ile temel besin elementlerinin biyolojik döngüsünün uygun bir seviyede tutulması gerekmektedir. Yapılan birçok çalışmada organik gübrelerin (hayvan gübresi, yeşil gübre, organik atıklar, kompost) toprakların organik madde kapsamını arttırdığı ve sonuçta fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerini iyileştirdiği rapor edilmiştir (Martinez ve ark., 2018; Li ve ark., 2019). Son 20 yılda tarımsal ve hayvansal ürünlere ait atıkların piroliz edilmesiyle elde edilen biyoçarın fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerini iyileştirerek toprak verimliliğini artırdığı rapor edilmiştir (Güenal, 2018; Güenal ve Erdem, 2018; Wang ve ark., 2018; Jin ve ark., 2019; Chen ve ark., 2020). Biyoçar, üretkenlik kapasitesini artırmakla beraber katyon değişim kapasitesini de arttırdığından, besin elementlerinin toprakta adsorpsiyonlarını ve yarayışlılıklarını sağlamakta ve yıkanma nedeni ile gerçekleşecek besin elementi kayıplarını azaltmaktadır (Dong ve ark., 2015).

Bu nedenle, toprakların üretim kapasitesinin artırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından toprağın organik maddesi ile temel besin elementlerinin biyolojik döngüsünü uygun bir seviyede tutulması gerekmektedir. Yapılan birçok çalışmada organik gübrelerin (hayvan gübresi, yeşil gübre, organik atıklar, kompost, biyoçar) toprakların organik madde kapsamını arttırdığı ve sonuçta fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerini iyileştirdiği rapor edilmiştir (Martinez ve ark., 2018; Li ve ark., 2019). Bu yüzden son zamanlarda toprak kalitesini arttıran, ürün verimini iyileştiren ve iyi bir karbon tutucu olan biyoçara olan ilgi arttırmıştır. Son 20 yıldır organik atıkların piroliz edilmesiyle elde edilen biyoçar'ın toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek toprak verimliliğini artırdığı rapor edilmiştir (Güenal, 2018; Güenal ve Erdem, 2018; Wang ve ark., 2018; Jin ve ark., 2019; Chen ve ark., 2020).

Toprak kalitesinin iyileştirilmesi ve bitkisel üretkenliğin artırılması amacı ile biyoçar kullanımı son zamanlarda önemli bir araştırma konusu olmuştur (Liu ve ark.,

2017). Bu nedenle, biyoçarın tarımsal üretime etkisi konusunda da oldukça fazla çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Özellikle de toprak verimliliğini arttırması, toprakların karbon depolama kapasitesini geliştirmesi, toprak nemini koruyabilmesi, yüzey akışı veya yıkanma ile kaybolacak besin elementi miktarını azaltması gibi nedenlerle biyoçar, tarımsal üretimde kullanımı yönüyle önemli bir potansiyele sahiptir (Günel, 2018). Laghari ve ark. (2015) kumlu çöl toprağına biyoçar uygulamış ve toprağın su tutma kapasitesinin %32, toplam karbonun (C) %11, toprakta tutulan toplam fosforun (P) %70 ve toplam potasyumun (K) %42 kadar arttığını rapor etmiştir. Woolf ve ark. (2010) ise biyoçar kullanımı ile net karbondioksit, metan ve azot oksit emisyonlarının %12 düzeyinde azaltılabileceğini rapor etmiştir. Günel (2018), iki farklı tekstüre sahip toprağı sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmiş farklı biyoçar çeşitlerinin buğday bitkisinin gelişimine ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olan etkilerini incelemiştir. Araştırmada biyoçar uygulaması sonucu toprağın yarayışlı su içeriğı ve yarayışlı potasyum içeriğinin arttığı, özellikle de kumlu toprakta besin elementi tutma kapasitesinin arttığı rapor edilmiştir. Buğday bitkisinde ise kuru madde verimi ile bitkinin azot, potasyum, fosfor, çinko ve demir gibi besin elementi konsantrasyonlarının, toprak tekstürüne, dönemsel yetiştiriciliğe ve uygulanan gübre miktarına bağılı olarak değışkenlik gösterdiği bildirilmiştir.

Lehmann ve ark.(2003), biyoçar uygulamalarının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek bitkilerin kök uzunluğunu, kök yüzey alanını, kök ağırlığını ve spesifik kök uzunluğunu artırabildiğini dolayısı ile de birim alandan ürün artışına neden olabileceğini rapor etmiştir. Nitekim bitki kök sistemi, bitki gelişimini etkileyen en önemli özelliklerden biridir. Bitkiler kökleri aracılığı ile su alımını ve besin elementi alımını sağlamaktadır (Dai ve ark., 2017). Bugüne kadar yapılan birçok çalışmada toprağı biyoçar uygulamasıyla kök biyokütlesinin artış gösterdiğini (Brennan ve ark., 2014 ; Keithve ark ., 2015), kök özelliklerinin iyileşerek, kök canlılığının arttığını ve bitki için gerekli olan besin elementi alımının kökler vasıtasıyla sağlanması (Eissenstat ve Yanai, 1999) sonucunda bitki büyümesinin hızlandığını ortaya koymuştur (Zhu ve ark., 2018).

Biyoçar, tarım, orman vb. biyokütle atıklarının oksijensiz koşullar altında piroliz edilmesi ile elde edilen kararlı ve karbon açısından zengin bir materyaldir (Xiu ve ark., 2021). Biyoçar, negatif yüzey yüküne, bozunmaya karşı dirençli olan yapıya ve yüksek spesifik yüzey alanına sahip olması nedeni ile toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirebilecek ve tarımsal üretimde verimliliğı arttırabilecek doğa dostu

bir toprak düzenleyicisi olarak kabul görmektedir (Li ve ark., 2017; Madari ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2017; Banik ve ark., 2018 Xu ve ark., 2019;). Yüzey alanı ve karbon (C) içeriği oldukça yüksek, yapısı çok gözenekli ve çoğunlukla alkali karakterde olan biyoçarın toprağa uygulanması; toprakta organik madde içeriğinin (Liu ve ark., 2017) dolayısı ile de mikroorganizma aktivitesinin artmasına (Gul ve ark., 2015), hacim ağırlığının düşmesine (Asai ve ark., 2009; Laird ve ark., 2010) ve toprak sıkışmasının azalmasına (Olmo ve ark., 2014; Liu ve ark., 2017), katkıda bulunmaktadır. Ayrıca kumlu topraklarda toplam gözenekliliğin artmasını sağlayıp (Githinji, 2014) su tutma kapasitesini (Akhtar ve ark., 2015) ve katyon değişim kapasitesinin artırır. Lorenz ve ark., (2014) biyoçar uygulamaların toprakta azot (N), karbon (C), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) gibi besin elementlerinin toprakta tutulmasını arttırdığını bildirmiştir. Ayrıca biyoçar topraktan ve atık sulardan organik ve inorganik kirleticileri uzaklaştırma (Tan ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2013), ağır metal toksitesini azaltma (Jeffery ve ark., 2011) kapasitesine sahip olduğundan önemli çevre dostu materyal olarak kabul görmektedir. Bunlara ilaveten bazı araştırmalarda biyoçar uygulamalarının iklim değişikliğinin azaltılmasına (CO₂ ve CH₄ salınımlarının azaltılması) yardımcı olduğu (Lorenz ve Lal, 2014a), toprak kalitesini iyileştirerek karbon depolama oranının artmasına ve sürdürülebilirliğine katkı sunduğu (Free ve ark., 2010) bildirilmiştir.

Ülkemizde artan tarımsal üretimle beraber, hasat atıklarının da miktarı her geçen gün artmaktadır. Günümüzde değerlendirilmeyen tarımsal atıkların önemli bir kısmı, üreticiler tarafından yakacak olarak kullanılmakta veya arazide gelişi güzel bir şekilde yakılmaktadır. Diğer önemli bir kısmı tarla kenarlarında veya drenaj kanallarının çevresinde depolanarak çürütülmekte çok az bir kısmı ise küçük parçalara ayrılarak toprağa ilave edilmektedir. Toprak için oldukça önemli bir organik madde kaynağı olan bitkisel atıkların bu şekilde bertaraf edilmeleri çok hızlı bir şekilde ayrışıp kaybolmalarına ve aynı zamanda su ve havanın da önemli düzeyde kirletilmesine yol açmaktadırlar. Hasat atıklarının yakacak olarak arazinin dışına çıkarılmaları, toprağın organik madde kapsamı ve verimliliğine de olumsuz etki yapmaktadır (Wilhelm ve ark., 2004). Organik atıkların piroliz işlemi sonucunda biyoçara dönüştürülmesi üretilen yanıcı gaz ve biyo-yakıttan dolayı hem enerji üretimini hem de toprağa karbon ve besin elementlerinin geri dönüşümünü sağlayacak alternatif bir uygulama olarak kabul edilmektedir (Laird, 2008). Bu nedenle organik atıkların piroliz edilerek biyoçara dönüştürülmesi ve tarımsal üretimde toprak düzenleyici olarak kullanılması, bir taraftan

toprakların üretkenlik kapasitesini koruyup sürdürülebilirliğini sağlaması bir taraftan da atıkların yakılması ile oluşan hava kirliliği ve sıvı atıkların araziye uygulanması ile oluşan yüzey ve yüzey altı suyu kirliliği gibi sorunlara çözüm getirmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

Dolayısı ile bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesinde önemli bir yetiştiricilik alanına ve atık kapasitesine sahip olan fıstık yetiştiriciliğinden elde edilen atıkların piroliz edilerek biyoçara dönüştürülmesi ve farklı dozlarda biyoçar uygulaması ile toprakta I) Nitratın yıkanmasına, II) toprakların kimyasal özellikleri ve III) bitki gelişimine olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Biyoçar Tanımı

Biyoçar, odun bazlı ürünlerin (talaş, ağaç kabuğu), organik ve endüstriyel (çiftlik gübresi, arıtma çamurları vb) atıkların ve tarımsal ürün (yaprak, sürgün, tohum, kabuk, koçan, bitki gövdesi vb.) atıklarının, oksijenin hiç olmadığı veya çok az oksijenin olduğu kapalı bir ortamda piroliz işlemi ile elde edilen ve yüksek miktarda karbon içeren bir maddedir (Razzaghi ve ark., 2020). Piroliz olayında biyokütlenin fiziksel ve kimyasal değişimi geri dönüşümsüz olarak gerçekleşir ve bu işlem sonucunda katı olarak oluşan materyalden biyoçar, sıvı olarak elde edilen materyalden biyo-yağlar ve gaz olarakta sentetik gazlar elde edilir (Günel, 2018). Biyoçar üretimi farklı sıcaklıklarda yavaş, orta ve hızlı piroliz işlemleri olmak üzere üç şekilde gerçekleştirilebilir. Bu üç işlem de elde edilen katı, sıvı ve gaz materyallerin miktarları değişen sıcaklığa göre farklılık göstermektedir. Yavaş piroliz işleminde (400°C sıcaklıkta) genel olarak kullanılan materyalin %35'i katı (biyoçar) %30'u sıvı %35'i gaz formuna dönüşmektedir. Orta piroliz işleminde (yaklaşık 500°C 10 ve 20 saat sürede) kullanılan materyalin %20'si biyoçar, %50 sıvı ve %30 gaz formuna iken 500°C 1 saat sürede hızlı piroliz edilen atığın %12'si biyoçar, %75 sıvı ve %13 gaz haline dönüşmektedir (Verheijen ve ark., 2010).

2.2. Biyoçarın Tarihçesi

Biyoçar ile ilgili yapılan çalışmalar biyoçar üretiminin milattan önceki tarihlere dayandığını göstermektedir (Chen ve ark., 2019). Li (1996), yaklaşık 7 bin yıl önce Hemudu bölgesinde çıkarılan kalıntılarda kömürle karıştırılmış siyah çanakların bulunduğunu rapor etmiştir. You (2012), 1971'de, yaklaşık 2100 yıl önce gömülen Han hanedanından Mawangdui Mezarı ortaya çıkarıldığında vücut yapısının hala iyi korunduğu ve bunun sebebinin mezarda çıkarılan ve yaklaşık 5 ton olan özel bir odun kömüründen kaynaklanabildiği rapor edilmiştir. Ayrıca 1960'larda Hollandalı bir toprak bilimcisi olan Wim Sombroek tarafından Amazon Havzasında keşfedilen Terra Preta toprakları, biyokömürün toprak ortamına uygulanmasına güzel bir örnek olarak kabul edilmektedir. Günümüzde Kızılderelilerin kara toprağı anlamına gelen Terra Preta toprakları organik madde, nitrojen (N), fosfor (P), potasyum (K) ve diğer bitki besin elementlerince zengindir. Arkeologların yaptığı incelemelerde karbonca zengin olan

TerraPreta toprak bileşenlerinde insanlar tarafından yakılmış odun, seramik karbon kalıntısı, bitkisel ürün kalıntıları ve çeşitli hayvanlardan kemik kalıntılarını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar içindeki siyah karbon içeriğinden dolayı toprakta 1000 yıl veya daha uzun süre kalabildiğinden toprağın önemli bir bileşeni olarak kabul edildiğini bildirmiştir (Chen ve ark., 2019). Glaser (2007) ise bu siyah topraklardaki kömürün oluşumunun, insanoğlunun faaliyetlerinin bir sonucu olduğunu rapor etmiştir. Lehmann ve ark. (2003) ise bu toprakların Amazon yerlilerinin topladıkları ağaç ve dalları açtıkları çukurlarda yakarak kömüre dönüştürmeleri ve bunu toprağa gömmeleri sonucu oluştuğunu ifade etmiştir.

TerraPreta topraklarının içerdiği siyah karbonun tarımsal üretimde olumlu etkilerinin keşfedilmesinden sonra özellikle de son 20 yıldır bu konudaki çalışmalar artmış ve önemli bir ivme kazanmıştır. Nitekim toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirebilmesi, tarımsal üretimde verimliliği artırması ve yüzey ve yüzey altı suyu kirliliği gibi sorunlara çözüm getirmesi nedeni ile günümüzde organik kökenli atıkların biyoçara dönüştürülüp kullanıldığı birçok araştırma bulunmaktadır (Lehmann ve ark., 2012; Jien ve Wang, 2013; Rees ve ark., 2014; Glab ve ark., 2016; Blanco-Canqui, 2017; Günal, 2018; Günal ve Erdem, 2018; Razzaghi ve ark., 2020; Ren ve ark., 2021; Kamali ve ark., 2022)

2. 3. Biyoçarın Toprak Özelliklerine Etkisi

2.3.1. Toprakların fiziksel özelliklerine etkisi

2.3.1.1. Toprak tekstürüne etkisi

Besin elementlerinin tutumu, su tutma kapasitesi, toprak havalanması, agregat oluşumu, gözeneklik ve mikrobiyal biyokütle gibi toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri toprağın tekstürüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Farklı tekstüre sahip topraklarda verimliliği artırmak amacıyla son zamanlarda biyoçar kullanımı artmıştır. Yapılan araştırmalar biyoçar uygulamalarının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek toprak verimliliğini arttırdığını ortaya koymuştur (Güenal, 2018; Güenal ve Erdem, 2018; Wang ve ark., 2018; Jin ve ark., 2019; Chen ve ark., 2020). Biyoçarın yüksek spesifik yüzey alanı ve çok gözenekli yapısı (Uzoma ve ark., 2011) düşük su tutma kapasitesine sahip kumlu topraklarda su tutma kapasitesini artırır (Glab ve ark., 2016). Uzoma ve ark., (2011), kumlu bir toprağa hayvan gübresinden üretilen biyoçar uygulaması ile bir takım toprak özelliklerinin

iyileştirdiğini gözlemlemiş, su tutma kapasitesinde %91 artış, toprak pH'sı ve kation değişim kapasitesinde de önemli oranda artış sağlayarak toprakta değişebilir kationların (Ca, K, Mg) alımını artırdığını bildirmiştir.

Bitki tarafından alınabilir su genellikle toprakta mezogözeneklerde bulunmaktadır (Edeh ve ark., 2020). Killi topraklarda bulunan mezo gözenekler, kumlu topraklarda bulunan mezo gözeneklerden daha fazla hacime sahiptir, bu nedenle kumlu topraklara biyoçar uygulanmasıyla gözenek hacmi killi topraklara oranla daha fazla artış göstermektedir (Zhan ve ark., 2021). Kumlu, siltli tınlı ve killi toprağa biyoçar uygulaması sonucunda su tutma kapasitesi kumlu topraklarda %57, siltli tınlı topraklarda %20 ve killi topraklarda %2 oranında artış gösterdiği bildirilmiştir (Zhan ve ark., 2021). Biyoçarın gözenekli yapısı, kaba dokulu ve ince dokulu topraklarda fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri iyileştirici özelliği ile sürdürebilir toprak verimliliğine katkı sunmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009). Killi toprağa, meyve ağaçlarında üretilen biyoçar uygulaması, toprakta makro gözenekte artış sağlayarak toprak havalanmasını önemli oranlarda artırmaktadır (Castellini ve ark., 2015). Li ve ark., (2018), siltli killi toprağa biyoçar uygulaması ile azot kaybında %8.3 ve %17 oranında azalma olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca biyoçarın gözenekli yapısı kumlu topraklarda nitrat kaybında azaltmaktadır (Uzoma, 2011).

2.3.1.2. Hacim ağırlığına etkisi

Fiziksel toprak kalitesinin önemli bir göstergesi olan hacim ağırlığı tarımsal uygulamalardan önemli derecede etkilenmektedir (AhmadBhat ve ark., 2022). Yapılan birçok bilimsel çalışmada hacim ağırlığındaki artışların toprakta su ve hava hareketlerini olumsuz etkilediği, bitki kök gelişimini yavaşlatığı, besin elementlerinin alınabilirliğini azalttığı bildirilmiştir (Logsdon ve Karlen 2004; Saffih-Hdadi ve ark., 2009; Lin ve ark., 2022a). Nitekim yüksek hacim ağırlığının olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için organik kökenli materyallerin kullanımı birçok araştırmacı tarafından dile getirilmektedir (Günel, 2018; AhmadBhat ve ark., 2022). Biyoçar gözenekli bir yapıya ve mineral topraktan daha küçük olan bir hacim ağırlığına ($0.05 - 0.57 \text{ kg m}^{-3}$) sahiptir (AhmadBhat ve ark., 2022). Bu nedenle biyoçar uygulamalarının toprak hacim ağırlığını düşürmesi beklenmektedir. Zira Laird ve ark., (2010) Biyoçar uygulamalarının toprak hacim ağırlığını önemli ölçüde azalttığını rapor etmiştir. Ayrıca Verheijen ve ark. (2019), kumlu topraklara biyoçar uygulaması ile hacim ağırlığının önemli derecede düştüğünü bildirmiştir.

2.3.1.3. Toprak agregatlaşmasına etkisi

Toprak agregatı, toprak taneciklerinin (kum, silt ve kil) topraktaki çimentolayıcı (organik madde, kireç, kil içeriği, Al-Fe oksitler) maddeler sayesinde bir araya gelerek oluşturdukları küçük yapılardır. Agregatlar, toprak yapısının korunmasında olduğu kadar verimliliğinde de kritik bir rol oynar (Mustafa ve ark., 2020). İyi bir agregatlaşmaya sahip toprak, bitki için yararlı olan su miktarının artmasına, besin elementlerinin daha fazla tutulmasını sahip olması yansın organik maddeyi bozulmadan koruyabilme yeteneğine sahiptir (Borselli ve ark; 1996). Özellikle de yarı kurak iklim bölgelerinde toprak agregat stabilitesi toprağın fiziksel özelliklerini yansıtır ve toprak kalitesinin değerlendirilmesi için kullanılabilecek temel parametrelerin (toprak gözenekliliği, su tutma kapasitesi, geçirgenlik, erozyonu karşı direnç vb) korunmasında önemli bir rol oynar (Liu ve ark., 2021). Agregatların dayanıklılığı ve aralarındaki gözenekler, suyun hareketini ve depolanmasını, havalandırmayı, erozyonu, biyolojik aktiviteyi ve bitkilerin büyümesini etkiler. Bu nedenle toprakta agregat stabilitesinin oluşumu önemlidir. Toprakta agregat oluşumunu teşvik eden en önemli faktör toprak organik maddesidir (Annabi ve ark., 2007). Nitekim bugüne kadar yapılan birçok çalışmada organik katkılı maddelerin toprağa ilavesinin agregat stabilitesini arttırdığı ve bunun sonucunda toprağın fiziksel yapısını iyileştirerek ürün verimini arttırıldığı ve toprak taneciklerinin bir araya gelerek erozyona karşı direnç gösterdiğini rapor etmiştir (Karami ve ark., 2012; Sun ve ark., 2014; Ma, 2016; He ve ark., 2018; Ma ve ark., 2021). Zira Ouyang (2013), siltli killi ve tınlı kumlu tekstüre sahip iki farklı toprağa biyoçar ilave etmiş ve bunun sonucunda özellikle tınlı kumlu toprakta agregatlaşmanın önemli ölçüde artış gösterdiğini bildirmiştir. Odunsu atıklardan üretilen biyoçar killi toprağa uygulandığında agregat stabilitesini %13 fazla bir oranda artırmıştır. Agregat stabilitesindeki bu artış biyoçarın güçlü yapıda organik madde içermesi ve mineralizasyona uğramasından ileri gelmektedir (Soinne ve ark., 2014).

Toprak agregat stabilitesi toprakta yaşayan mikroorganizmalardan ve organik madde içeriği gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Six ve ark., 2004). Dong ve ark., (2016) kireçli bir arazi toprağına pirinç kabuklarından ve pamuk çekirdeği kabuklarından üretilen biyoçarın toprağına ilave edilmesi ile makroagregat oranında %28 ve %57 oranında bir artış gerçekleştiğini bildirmiştir. Zheng ve ark. (2018) ise 500°C'de 3 saat boyunca piroliz edilen mısır atıklardan oluşan biyoçarı siltli killi toprağına uygulamış ve agregat stabilitesinin %54,2 gösterdiği rapor edilmiştir.

2.3.1.4. Toprak gözenekliliğine etkisi

Toprakların toplam gözenekliliği toprağın tekstürüne, strüktürüne, gözenek büyüklük dağılımına, organik madde içeriğine, mevcut nem içeriğine ve arazi üzerindeki trafiğin yoğunluğuna bağlı olarak önemli değişimler göstermektedir. Toprak gözenekliliğinde oluşacak değişimler toprakların su tutma kapasitesini, ısı, su ve hava hareketlerini etkilediğinden bitki gelişimi ve verimi üzerinde önemli etkilere neden olmaktadır (Fu ve ark., 2016). Kil içeriği yüksek topraklarda toplam gözeneklilik ile berebar mikro gözenekliliğin fazla olması su ile doygun koşulların (havasız koşullar) oluşmasına neden olurken kaba tekstürlü topraklarda makro gözeneklilik ile beraber toplam gözenekliliğin düşük olması düşük su tutma kapasitesine neden olmaktadır. Her iki durumda (yağış veya sulama dönemlerinde killi topraklarda oksijensiz ortam, kumlu topraklarda kurak dönemlerde nem içeriğinin düşük olmasından dolayı kuraklık stresi) zaman zaman bitkiler stres yaşamaktadır. Yapılan birçok çalışma organik kökenli materyallerin toprağa ilave edilmesi ile killi topraklarda havalanmayı, kumlu topraklarda da su tutma kapasitesinin arttığı bildirilmiştir (Dexter, 2004; Chaudhari ve ark., 2013; Ahad ve ark., 2015; Karamina ve Fikrinda, 2020). Liu ve ark. (2017), kumlu toprağa biyoçar uygulandıktan sonra toprakta toplam gözeneklikte artış sağlanarak su tutma kapasitesinde %127 oranında önemli bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Biyoçar gözenekli yapısı sayesinde toprakta gözenek yapısının artmasını sağlar (Herath ve ark; 2013). Githinji (2014) fıstık kabuklarından elde edilen biyoçarı tınlı kumlu tekstüre sahip toprağa ilave etmiş ve toprakta toplam gözenekliğin biyoçarda bulunan gözenekliğe bağlı olarak artış gösterdiğini, bunun sonucunda da toprağın birçok fiziksel özelliklerinde iyileştirme sağlayarak domates bitkisinde bitki gelişimine teşvik ettiğini bildirmiştir. Obia ve ark. (2016), 350 °C'de piroliz edilen mısır koçanlarından üretilen biyoçarın toprağa uygulanması ile toprakta mikrogözeneklikte ve nihayetinde de ($p < 0.01$) toplam gözenekliliğinde artış olduğunu ve bu artışın toprağın su tutma kapasitesinde, mikroorganizma sayısında ve toprak agregatlaşmasında önemli artışların olduğunu bildirmiştir. Jin ve ark. (2020) soya yetiştiriciliğinde yaptığı çalışmada mısır koçanından üretilen NPK'lı gübre karışımının uygulandığı durumlarda bitkilerin besin elementlerini toprakta daha fazla aldığını, toprak toplam gözenekliğin %11.3 oranında artış gösterdiğini ve buna bağlı olarak soya fasulyesinin veriminde önemli artışlar olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca biyoçarın yüksek gözeneklik yapısı (Lehmann ve ark., 2011) toprakta toplam gözenek sayısını artırarak mikroorganizmaların yaşamı için bir habitat oluşturmakta ve toprakta bitkinin ihtiyacı olan enzimatik işlevlerinin

gerçekleşmesini sağlamaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009; Kookana ve ark., 2011; Lehmann ve ark., 2011; Liu ve ark., 2012; Partey ve ark., 2015). Zira Abujabbar ve ark. (2016) tınlı kum tekstüre sahip toprağa biyoçar ve kompost uygulanmasıyla bakteri sayısında %18 oranında artış olduğunu rapor etmiştir.

2.1.3.5. Toprak su tutma kapasitesine etkisi

Toprağın su tutma kapasitesi, bitki büyümesi için karbon dağılımını, besin döngüsünü ve fotosentez oranını etkileyen en önemli toprak faktörlerinden biridir (Minasny ve McBratney, 2018). Bugüne kadar dünyanın birçok farklı yerinde yapılan bilimsel çalışmalarda, toprağın su tutma kapasitesinin, ürün verimini ve değişkenliğini kontrol ettiğini ve organik madde ilavesiyle toprağın su tutma kapasitesinin arttığı rapor edilmiştir (Yang ve ark., 2014; Williams ark., 2016). Organik karbonca zengin olan ve yüksek gözenekli yapısı sayesinde biyoçar uygulamalarının toprakta su tutma kapasitesini arttırdığı ve bitkinin gelişimi için gerekli olan suda çözünebilen besin elementlerinin tedarikini sağladığı rapor edilmiştir (Lehmann ve Joseph, 2009). Günümüze kadar yapılan bilimsel çalışmalar, biyoçar uygulamasının, yüksek gözenekliliği, hidrofilik alanların varlığı ve biyoçarın geniş spesifik yüzey alanı sayesinde toprakta su tutulmasını etkilediğini göstermektedir. Ancak bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Nitekim biyoçarın toprakta su tutma kapasitesini arttırdığını rapor eden çalışmalar (Glab ve ark., 2018, Villagra-Mendoza ve Horn, 2018) olduğu gibi toprakta su tutma kapasitesini düşürdüğü (Carvalho ve ark., 2016; Madari ve ark., 2017) veya hiç değiştirmedikçe rapor eden çalışmalarda bulunmaktadır (Obia ve ark., 2016; Baiamonte ve ark., 2019). Ancak bu karşıt görüşlerin olmasının temel nedeni çalışma yapılan toprakların farklı tekstüre sahip olmasından ileri gelmektedir. Zira Razzaghi ve ark. (2020) farklı tekstüre sahip topraklarda yaptıkları biyoçar uygulamalarından sonra kaba tekstürlü (kumlu) topraklarda biyoçar uygulamalarının su tutma kapasitesini arttırdığı killi topraklarda ise düşürdüğünü rapor etmiştir. Yu ve ark. (2013) tınlı kumlu toprağa odunsu atıklardan elde edilen biyoçar uygulanmasıyla su tutma kapasitesinde %16'lık bir artış gösterdiği bununda besin alımını sağlayarak bitki büyümesini teşvik ettiğini rapor etmiştir. Herath ve ark. (2013) farklı tekstüre sahip topraklarda yürüttüğü biy oçar denemelerinde kumlu toprakta su tutma kapasitesinin artış gösterdiği, killi topraklarda hiç artış olmadığı, tınlı topraklarda çok az miktarlar da artış gösterdiğini bildirmiştir.

2.3.2. Toprakların kimyasal özelliklerine etkisi

2.3.2.1. Toprak pH'sına etkisi

Biyοçar yüksek miktarlarda karbon içerir ve biyokütle çeşitlerine baēlı olarak yapısında deēiēen oranlarda K, Ca ve Mg gibi bazik katyonlarını bulundurur (Novak ve ark., 2019). Bazik karakterli özelliēi nedeni ile de biyοçar asitli topraklarda pH'yı yükselterek kireçleme görevi görmektedir. Zira bazik karakter özelliēinden dolayı biyοçar, asidik topraklar için önemli bir toprak pH düzenleyicisi olarak kabul görmektedir (Laird ve ark., 2008; Rees ve ark., 2014; Günal, 2018). Asidik topraklara uygulanan biyοçar toprak pH'sını dengeleyerek besin elementlerinin alınabilirliğini dolayısı ile de ürün verimi ve kalitesini artırmaya yardımcı olmaktadır. Chan ve Xu 2009, asit karakterli toprakta buēday yetiētirdiēini ve biyοçar uygulanması sonucunda toprak pH'sının artıēını ve bu artıēa baēlı olarak buēday bitkisinde büyümenin teşvik edildiēini bildirmiētir. Elbetteki toprak pH'sını olan etkisi biyοçar üretiminde kullanılan biyokütle ve piroliz sıcaklıēına baēlı olarak deēişim göstermektedir. Nitekim asidik bir topraēa mısır ve çim atıklarından üretilen biyοçarları uygulayan Chinttala ve ark., (2014) mısır biyokütlesinden üretilen biyοçarın yapısında daha fazla bazik katyon bulunduēundan çim biyokütlesine göre toprak asitliēin daha fazla giderdiēini bildirilmiētir.

Biyοçarın toprak pH'sını arttırması besin elementi alımını kolaylaştırması yansıra toprak pH'sını düzenleyerek ağır metallerin emilimini de engelleyebilmektedir. Rees ve ark. (2014) ağır metal içeren asidik ve alkali topraklara biyοçar uygulanarak toprak reaksiyonunu gözlemlemiē asidik toprakta pH'nın 5.8'den 6.9'a çıkarak önemli bir artıē alkali toprakta ise 7.2'den 7.4'e yükselterek küçük bir artıē saēladığı ve bunun sonucunda da asidik toprakta artan pH ile Pb, Cu, Cd, Zn ve Ni'in, alkali toprakta ise Cu ve Zn'nun çözünabilirliēinin önemli oranda azaldığını rapor etmiēlerdir.

2.3.2.2. Toprak organik karbon içeriēine etkisi

Toprak için önemli bir organik madde kaynaēı olan bitkisel atıkların biyοçara dönüētürölüp topraēa uygulanması, toprak organik karbon içeriēini zenginleētirmesi (Günal, 2018) yanı sıra toprakta uzun süre stabil kalıp karbon salınımını azaltmaktadır (Cross ve Sohi, 2011). Biyοçarın yoğun karbon içeriēi negatif yüklü olmasını saēlar. Buda toprakta organik maddenin tutulmasını ve böylelikle de organik karbon birikimini saēlamaktadır. Biyοçarın bu özelliēi yenilenebilir enerji kaynaēı olarak görölmektedir

(Lehmann, 2007). Toprakta karbon birkimi CO₂ atmosfere yavaş salınımına katkı sunması yanısıra biyoçarın uzun sürede ayrışabilme özelliği küresel ısınmanın azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bu durum küresel ısınmanın bir sonucu olan iklim değışiklerinin azalmasına da katkıda bulunmaktadır (Lorenz ve Lal, 2014b; Han ve ark., 2020; Lehmann ve ark., 2021). Busscher ve ark. (2010), tarafından yapılan bir çalışmada ceviz kabuklarından elde edilen biyoçarın toprak karbonunu artırdığı rapor edilmiştir. Ayrıca Vaccari ve ark. (2011), organik maddece fakir tarım arazilerinde biyoçar uygulamalarının toprak organik maddesini artırdığını rapor etmiştir.

Biyoçarın kararlı yapısı sayesinde toprakta karbon uzun yıllar boyunca kalabilir (Schmidt ve ark., 2002). Biyoçarın bu özelliği toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin uzun vade de değıştirip toprak kalitesini iyileştirilebilmektedir (Bolan ve ark., 2012). Steinbeiss ve ark. (2009) siltli kil tekstüre sahip bir toprağa odunsu atıklardan üretilen biyoçar eklenmesiyle toprakta karbonun %27 oranında artış gösterdiğini ve bu artışın toprakta on yıl süreyle kalıp toprak kalitesini iyileştirerek ürün verimini artırabileceğini rapor etmiştir. Ancak farklı biyokütller nedeniyle toprakta organik karbon artışı farklılık gösterebilir. Zira pirinç atığından elde edilen biyoçarın toprağa uygulanmasıyla 5 ay süre içerisinde toplam organik karbonda %0.09 artış (Pathak ve ark; 2006) sağlanırken buğday atığından elde edilen biyoçarın toprağa uygulanmasıyla 5 yıl süre içerisinde toplam organik karbonda %76.9 artış (Zhang, 2018) olduğu rapor edilmiştir. Bununla beraber pirinç ve mısır atığından elde edilen biyoçarın toprağa uygulanmasıyla 2 yıl süre içerisinde toplam organik karbonda %9,63 artış (Witt ve ark., 2000), kauçuk ağacı atığından elde edilen biyoçarın toprağa uygulanmasıyla 54 gün süre içerisinde toplam organik karbonda %0.52 oranında artış (Shanthi, 2013) olduğu bildirilmiştir. Woolf ve ark. (2010) ise biyoçar kullanımı ile net karbondioksit, metan ve azot oksit emisyonlarının %12 düzeyinde azaltılabileceğini rapor etmiştir.

2.3.2.3.Toprak besin elementlerine etkisi

Biyoçar uygulamaları, toprakta besin elementi miktarlarını arttırmakla beraber toprakta mevcut besin elementlerinin yarıyışlılığı veya tutunması üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Zira toprağa uygulanan biyoçar bitkiler ve toprak mikroorganizmaları için bir besin kaynağı olması yanısıra (Li ve ark., 2017), bir besin havuzu görevi görerek besinlerin hareketliliğini ve biyoyararlanımını (Gul ve

Whalen,2016) ve bir toprak düzenleyici olarak, besin maddelerinin reaksiyonlarını ve döngüsünü etkilemektedir (Lusiba ve ark., 2017).

Biyoçarın ham maddesini oluşturan tarımsal veya organik kökenli atıklar farklı dozlarda azot(N), fosfor (P), potasyum (K) ve diğer besin elementlerini içerdiğinden toprağı besin elementlerince zenginleştirmektedir (Purakayastha ve ark., 2019). Leng ve ark. (2020) biyoçar üretim aşamasında bir miktar azot ve kükürtün piroliz sırasında gaz emisyonu yoluyla kaybolduğunu ancak diğer besin elementlerinin çoğunun toprakta biyoçarın ayrışması sırasında toprağı salındığını ve bitkiler için kullanılabilir hale geldiğini rapor etmiştir. Proliz aşamasında artan sıcaklıkla beraber N içeriğı azalırken (Leng ve ark., 2020), kül içeriğindeki artış nedeniyle P ve K içerikleri artmaktadır (Tomczyk ve ark., 2020). Steiner ve ark. (2010), yürüttükleri çalışmada kümes hayvanı çöpünden elde ettikleri kompost ve aynı kompostta biyoçar ilave ederek toprakta nitrat yıkanmasına olan etkisine bakmışlardır. Araştırmacılar topraktaki azot kaybının, yalnız kompost uygulaması ile %20 biyoçar eklenmiş kompost ile %52 oranında azaldığını bildirmiştir.

Ayrıca biyoçar toprakta besin elementlerini toprakta depo ederek yıkanmasını ve gaz emisyonu yolu ile toprakta kayıplarını önemli derece azaltmaktadır. Biyoçarın besin tutma kapasitesi, biyoçarın gözenekliliğine ve yüzey yüküne (katyon ve anyon değişim kapasitesi) bağlıdır. Biyoçar uygulaması, yıkanma yoluyla N, P ve K kaybını ve azot oksit emisyonu yoluyla N kaybını azaltmaktadır (Hossain ve ark, 2020). Liao ve ark. (2020) biyoçar yapısında bulunan organik azotun çok yavaş mineralize olması ve yavaş salınım özelliğı sayesinde bitki için gerekli N ihtiyacını önemli oranlarda karşılayabildiğini rapor etmiştir. Novak ve ark.(2009) tarafından yapılan çalışmada ise fıstık kabuğundan elde edilen ve bir miktar N içeren biyoçarın %0.5 ve %1 oranında toprağı uygulanması ile toplam C ve N oranında önemli bir artış sağlandığı bildirilmiştir. Ayrıca Chan ve ark. (2007), yeşil atıklardan oluşan biyoçarın toprağı uygulanmasıyla turp veriminde fosfor alımının artış gösterdiğini rapor etmiştir. Laird ve ark. (2010) toprağı biyoçar uygulamasıyla toprakta fosfor kayıplarının %11 ve %69 oranında azaldığını bildirmiştir. Bu nedenle, toprakların besin elementi alımını artırmak ve besin elementi kaybını azaltmak, üretim kapasitesinin artırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından biyoçar tarımsal üretimde bir alternatif olarak kullanılmaktadır. Laghari ve ark. (2015) kumlu çöl toprağına biyoçar uygulamış ve toprağın su tutma kapasitesinin %32, toplam karbonun (C) %11, toprakta tutulan toplam fosforun (P) %70 ve toplam potasyumun (K) %42 kadar arttığını rapor etmiştir. Günal,

(2018) iki farklı tekstüre sahip toprağa sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmiş farklı biyoçar çeşitlerinin buğday bitkisinin gelişimine ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olan etkilerini incelemiştir. Araştırmada biyoçar uygulaması sonucu toprağın yarayışlı su içeriği ve yarayışlı potasyum içeriğinin arttığı, özellikle de kumlu toprakta besin elementi tutma kapasitesinin arttığı rapor etmiştir.

2.3.2.4. Toprak katyon değişim kapasitesine etkisi

Biyoçar düşük katyon kapasitesine sahip topraklarda iyileştirici özelliğe sahiptir. Biyoçarın yüksek spesifik yüzey alanına sahip olması nedeniyle toprakta katyon değişim kapasitesini artırması (Pimenta ve ark., 2019) toprak verimliliği açısından önem arz etmektedir. Zira piroliz işlemi sonucunda biyoçarın negatif yükleri artar (Chen ve ark., 2008; Mia ve ark., 2017). Artan bu negatif yükler biyoçarın katyon değişim kapasitesi özelliğini arttırmaktadır. Toprakta katyon değişim kapasitesinde görülen artışlar besin elementi alımının artmasına ve nihayetinde de bitki büyümesini teşvik ederek ürün veriminde önemli bir artış sağlamaktadır. Bugüne kadar toprağa biyoçar uygulayarak çalışma yürüten birçok araştırmacı biyoçarın uygulanması ile toprakta negatif yüklerin artış gösterdiği dolayısı ilede KDK'nın arttığını rapor etmiştir (Novak ve ark., 2009; Van Zwieten ve ark., 2010). Jiang ve ark. (2012) asit karakterli bir toprağa %3 ve %5 oranında biyoçar ilavesiyle toprağın katyon değişim kapasitesinin önemli oranda artış gösterdiği bildirmiştir. Ghorbani (2019) ise tınlı kumlu ve killi tekstüre sahip topraklara 0, %1, %3 oranlarında biyoçar ilave etmiş ve kontrol grubuna göre biyoçar eklenen tınlı kumlu topraklarda sırasıyla %20 ve %30 oranında, killi toprakta ise sırasıyla %9 ve %19 oranında KDK'nın artış gösterdiğini rapor etmiştir. Chen ve ark. (2020) ise tınlı kumlu ve tınlı siltli toprağa pirinç atıklarından elde edilen biyoçar uygulamış ve toprak KDK'sının %0.93 ile %40.28 oranında artış sağlandığını bildirmiştir. Ayrıca araştırmacılar KDK'da görülen artışın özellikle tınlı siltli toprakta daha fazla olduğunu ve bu artış sebebiyle topraktaki toplam fosfor konsantrasyonunun arttığı bunun sonucunda daha iyi bir bitki gelişimi olduğunu bildirmiştir. Ayrıca Pandian ve ark.(2016), tınlı kumlu tekstüre sahip bir toprağa biyoçar uygulanmasıyla katyon değişim kapasitesinin arttığı ve bu artış ile beraber potasyum alımının arttığı ve biyoçarın azot alımına olumlu etkisi ile birlikte yer fıstığı bitkisinde gövde büyümesinin daha fazla olduğu rapor etmişlerdir.

2.3.3. Toprakların biyolojik özelliklerine etkisi

Toprağa biyoçar uygulaması ile mikrobiyal popülasyon uyarılmakta, hareketsiz toprak mikroorganizmaları harekete geçmekte ve mikrobiyal solunumda önemli artışlar meydana gelmektedir (Ameloot ve ark., 2013). Biyokömür ilavesinden sonra CO₂ akışlarında önemli artışlar olmaktadır. Bunun nedenleri; a) bazı biyoçar bileşenlerinin biyotik tüketimi (Zimmerman ve ark., 2011), (b) biyoçar-C'nin abiyotik salınımı (Bruun ark., 2008) ve/veya (c) biyoçar ve doğal toprak organik maddesi (SOM) havuzları arasındaki etkileşimlerdir (Zimmerman ve ark., 2011). Ayrıca biyoçar, gözenekli yapısı nedeniyle mükemmel bir habitat sunarak ve sorpsiyon yoluyla çeşitli toprak toksinlerinin biyoyararlanımını azaltarak toprak organizmalarını dolaylı olarak uyabilir (Ameloot ve ark., 2013).

Thies ve Rillig (2009), gözenekli yapıya sahip olan biyoçarın mikroorganizmalar (toprak hayvanları, algler, mantarlar) için barınak görevi üstlendiğini ve mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetleri için uygun bir habitat oluşturduğunu bildirmiştir (Lin ve ark., 2022b). Zira yapılan bilimsel çalışmalarda su, besin tutumu ve toprak havalanmasını sağlama kapasitesi yüksek olan biyoçarın oksijenli ve oksijensiz ortamlarda yaşayan tüm mikroorgaizmalara yaşamsal faaliyetler için ideal bir ortam oluşturduğu bildirilmiştir (Manirakiza ve ark., 2019; Palansooriya ve ark., 2019). Sial ve ark.(2019) siltli kil tekstüre sahip bir toprak ile deneme kurmuşlar ve denemede kontrol, ve %1 ve %2 muz kabuğundan elde edilmiş biyoçar olmak üzere 5 uygulamalı bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırmacılar elde ettikleri bulgularda biyoçarın muz kabuğuna göre sırası (%1ve %2 biyoçar) ile CO₂ emisyonlarında %24.3 ve %42.3 oranında azalma, üreaz enzim aktivitesinde %48.2 ve %54.3, fosfataz enzim aktivitesinde ise %6 ve %12 oranında artış olduğunu rapor etmişlerdir.

Toprağa biyoçar takviyesi toprakta enzimatik aktiviteyi arttırıp (Ameloot ve ark., 2013) dehidrojenazların aktivitesinde önemli bir artış sağlar (Warnock ve ark., 2007). Biyoçar gözenekli yapısı, yüksek spesifik alanı ve yapısında ayrılan karbon ve azot bulundurmaıyla bakterilerin toprağa tutunmasını sağlayıp toprakta bakteri sayısının kayıplarında önemli derecede azaltmaktadır (Pietikainen ve ark., 2000). Mierzwa-Hersztek ve ark. (2016), kanatlı hayvan atığından elde edilen biyoçarı tınlı kumlu toprağa uygulayarak enzimatik aktiviteyi gözlemlemiş ve üreazların aktivitesinin %44 oranında dehidrojenaz aktivitesinin ise %19 oranında artış gösterdiğini rapor etmiştir.

Araştırmacılar bunun nedeninin biyoçarın toprak pH' sını artırıcı özellikte olmasından kaynaklandığını bildirmiştir. Zira enzimatik aktivetiler asidik topraklarda işlevlerini azaltıp alkali topraklarda artırır (Ouyang ve ark., 2014; Ducey ve ark., 2015).

Toprak özelliklerinin iyileştirilmesi, toprakta bulunun besin elementlerine (Lehmann ve ark., 2003) ve biyolojik özelliklerinin iyileşmesine (Paz-Ferreiro ve ark., 2012), bağlı olduğundan toprağa yüksek karbon içeren biyoçar ilavesi ile toprak ve ürün verimliliği artabilmektedir. Biyoçar ile ilgili başka bir çalışma yürüten Bera ve ark. (2016), akça ağaç, meşe ve kayın ağaçlarının karışımından elde ettiği biyoçar, sıvı hayvan gübresi ve NPK gübresini ayrı ayrı ve beraber toprağa uygulamışlar ve iki farklı (0-15 cm ve 15-30 cm) derinlikteki toprağın kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerine olan etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, biyoçar olmadan yapılan NPK ve sıvı hayvan gübresi uygulamalarında asit fosfataz enzim aktivitesinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Biyoçarlı ve biyoçarsız uygulamaların tamamında ilk derinlikte (0-15cm) asit fosfataz enzim aktivitesinin ikinci derinlikten (15-30 cm)%53 oranında daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Ayrıca sıvı hayvan gübresi ve NPK ile birlikte biyoçar uygulandığında asit fosfataz enzim aktivitesinin, sadece biyoçarın uygulandığı uygulamalara kıyasla daha yüksek olmuştur. En yüksek asit fosfataz enzim aktivitesinin ilk derinlikte NPK+biyoçar uygulamasında gerçekleşmiştir. Tüm uygulamalarda ilk derinlikteki asit fosfataz enzim aktivitesini ikinci derinliktekenden ortalama %35 daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca β -glikosidaz aktivitesinde asit fosfataz enzim aktivitesine benzer şekilde ilk derinlikte ikinci derinliğe kıyasla %119 daha fazla bulunmuştur.

2.4. Bitki Gelişimine Etkisi

2.4.1. Bitki kök gelişimine etkisi

Bitki gelişiminde bitki kök sistemi önemli bir rol oynamaktadır. Kökler, bitki için su ve besin elementi alımı dışında, fotosentetik ve biyosentez olaylarında, hormonal büyümede (Aiken ve Smucker., 1996) ve toprakta karbon tutunmasında da önemli rol oynamaktadır (Matamala ve ark., 2003; Nie ve ark., 2013). Ayrıca kökler, mikrobiyal topluluğa (bakteri, mantar, algler) sinyaller salgılayıp bunları toprağa çekip çoğalmalarını sağlayarak bitki gelişimini teşvik etmektedir (Droque ve ark., 2013). Bitki köklerinin bitki için gerekli bu fonksiyonları yerine getirmesi toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir (Rogers ve Benfey,

2015). Bu nedenle iyi bir kök gelişimi için toprak özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Organik atıkların piroliz edilmesiyle elde edilen biyoçar'ın toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek toprak verimliliğini artırdığı dolayısı ile de bitki gelişimi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu rapor edilmiştir (Günel, 2018; Günel ve Erdem, 2018; Wang ve ark., 2018; Jin ve ark., 2019; Chen ve ark., 2020). Biyoçarın doğrudan köklerle temas etmesi, kök özelliklerinin gelişmesine ve kök büyümesinin artmasına katkı sunmaktadır (Albuquerque ve ark., 2015). Zira Abiven ve ark. (2015) Zambiya'da toprak üretkenlik kapasitesi azalmış olan farklı topraklara hektara 4 ton mısır koçanlarından üretilmiş biyoçar uygulamışlardır. Araştırmacılar biyoçarın kök sistem boyutunda ve kök gövde oranında önemli artışların olduğunu bildirmiştir. Zhu ve ark. (2018), kumlu topraklarda farklı dozlarda (%0, %0.15, %0.75 ve %1.5 biyoçar/toprak) biyoçar uygulayarak 2 farklı soya fasulyesinde kök gelişimini incelemişlerdir. Araştırmacılar çimlenmeden 7 gün sonra biyoçarın kök büyümesini hafif miktarda artırdığını çimlenmeden sonraki 10. günde %1,5'lik biyoçarın, kontrol parseline göre toplam kök uzunluğunu ve toplam kök yüzey alanını sırasıyla %48.4 ve %27.4 ($P < 0.05$) artırdığını bildirmiştir. Aynı çalışmada elde edilen gözlemler sonucunda biyoçarın kök morfolojisi üzerindeki olumlu etkilerinin özellikle ince kökler ($< 0,5$ mm) üzerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kök canlılığı ve yaprakta çözünen şeker içeriğinin, hem %0.75 hem de %1.5 biyoçar uygulamalarında önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Sürgün biyokütlesinde ise, kontrole kıyasla %1.5 biyoçar uygulamasında maksimum %65.6 artmıştır. Sürgün gelişiminin tersine kök gövde oranında ise çimlenmeden sonraki 7 ve 10. günde (%1.5 biyoçar uygulamasında) sırasıyla %32.3 ve %23.5'lik bir azalma olduğu tespit edildiği bildirilmiştir. Araştırmacılar biyoçarın kök morfolojisini ve kök canlılığını iyileştirerek soya fasulyesi fidesinin büyümesi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Feng ve ark. (2021) biyoçarın bitki kök mimarisine olan etkisini incelediği çalışmada toprak yüzeyine biyoçar uygulanması (37.28 g biyoçar/kg toprak) ile bitki kök sisteminin iyi geliştiği ve azot asimilasyon etkinliğini önemli ölçüde artırarak kullanılan üre gübresinde %25'lik bir tasarruf sağlandığını ifade etmişlerdir.

Biyoçarın bitki kök sistemi üzerine etkisini inceleyen Ren ve ark. (2021), 3 yıl boyunca süren bir arazi denemesinde toprağa farklı dozlarda (600, 1.200, 1.800, 2.400 ve 3.000 kg/ha biochar) biyoçar uygulamıştır. Araştırmacılar biyoçar uygulaması ile kök canlılığının önce arttığını sonra azaldığını, son yılda biyoçar uygulamaları arasında önemli bir fark elde edilmediğini ancak denemenin ilk yılında 1800 kg/ha biyoçar

uygulamasının, denemenin son iki yılında ise 2400 kg/ha biyoçar uygulamasının kök canlılığını maksimum değere ulaştırdığını bildirmiştir. Özellikle kontrol parseline göre 2400 kg/ha biyoçar uygulamasının bütün bitkisinde kök gelişimini %164.12 oranında daha fazla arttırdığını bildirilmiştir. Ayrıca 2400 kg/ha biyoçar uygulamasının kök canlılığını %177.8 ve kök ucu sayısını %100.9 oranında artırdığı rapor edilmiştir.

2.4.2. Bitki gövdesi ve sürgünleri üzerine etkisi

Bir bitkinin gelişmesi için ihtiyaç duyduğu besin elementi ve suyu tedarik etmesi ve bitkisel üretkenliğin artırılması amacı ile biyoçar kullanımı son zamanlarda önemli bir araştırma konusu olmuştur (Liu ve ark., 2017). Biyoçar bitkiye sağladığı besin elementi ve su ile bitki gelişimine önemli oranlar da katkı sunmaktadır. Major ve ark. (2010), 4 yıl süren arazi denemesinde mısır ve soya bitkilerine inorganik gübre ile farklı dozlarda biyoçar uygulamıştır. Araştırmacılar ilk iki yıl içinde biyoçarın toprakta besin elementi tutumunu arttırdığı ve toprak pH'sını düzenleyerek bitki gelişimini teşvik ettiğini rapor etmiştir.

Bitkilerin gelişimini etkileyen en önemli faktör toprakta besin elementlerinin uzun süreli bir şekilde depolanması ve gerekli durumlarda çözünebilir forma geçmesidir. Özellikle toprakta karbon tutumu ve azot gibi besin elementlerinin toprakta uzun süreli depolanması bitki gelişimi için hayati önem taşımaktadır (Marris, 2006). Kumlu ve tınlı tekstüre sahip iki farklı toprakta kompost ve kayın ağacından elde edilen biyoçarın yulaf bitkisinin gelişimi üzerine olan etkisini incelendiği çalışmada kontrol parseline göre biyoçar uygulanan parselde bitki boyunda %33'lük bir artış olduğu bildirmiştir. Ayrıca aynı çalışmada toprağa uygulanan biyoçar miktarı arttıkça toprakta depolanan besin elementi konsantrasyonun arttığı ifade edilmiştir (Schulz ve ark., 2013).

Biyoçarın bitkisel üretimde verim üzerine olan etkisini ortaya koymak için 155 farklı çalışmayı inceleyen Dai ve ark. (2020), biyoçar uygulamalarının bitkinin verimine ortalama %16'luk bir etki ettiği, ancak bazı çalışmalarda biyoçarın bitki verimi üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı bazı çalışmalarda ise bitki üzerinde %97.4'lük bir etki ettiğini rapor etmiştir. Araştırmacılar biyoçar uygulamalarının bitki gelişimi üzerindeki bu denli farklılığın kullanılan biyoçar miktarından veya farklı toprak koşullarından kaynaklandığını bildirmiştir. Nitekim 2017'de benzer bir çalışma yapan Jeffrey ve ark. biyoçarın ılıman iklimlerde bitkide verim artışına neredeyse hiç etkisinin

olmadığını, ancak tropik iklim koşullarına sahip bölgelerde bitki gelişiminin ortalama %25 oranında artış sağladığını bildirmiştir. Araştırmacılar tropik bölgelerdeki toprakların asidik pH'lara sahip olması ($\text{pH} = 5.7$) ve ayrışmanın fazla olması nedeni ile verimliliğin düşük olduğu, yüksek pH'ya sahip biyoçar uygulamasının toprak pH'sını iyileştirdiğinden bu topraklarda bitki verimliliğini arttırdığını bildirmiştir.



3. MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

3.1.1. Biyoçar üretimi ve biyoçar hammaddesinin özellikleri

Denemede kullanılan biyoçar, Siirt ilinde bulunan bahçelerden toplanan içi boş Siirt Fıstığının kabuklarının toplanıp piroliz edilmesi ile elde edilmiştir. Temin edilen hammadde kurutulduktan sonra Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesinde bulunan kül fırınında 500 °C’de yavaş yavaş piroliz işlemine tabi tutularak biyoçar haline getirilmiştir (Şekil 3.1). Piroliz işlemi kül fırınında özel hazırlanmış krom çelik kaplarda gerçekleştirilmiştir. Piroliz işlemi tamamlandıktan sonra biyoçar öğütölüp 4 mm elekten geçirilerek uygulamaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3-1. Biyoçar üretiminde kullanılan kül fırını ve fıstık atıklarının biyoçar öncesi ve sonrası görüntüsü

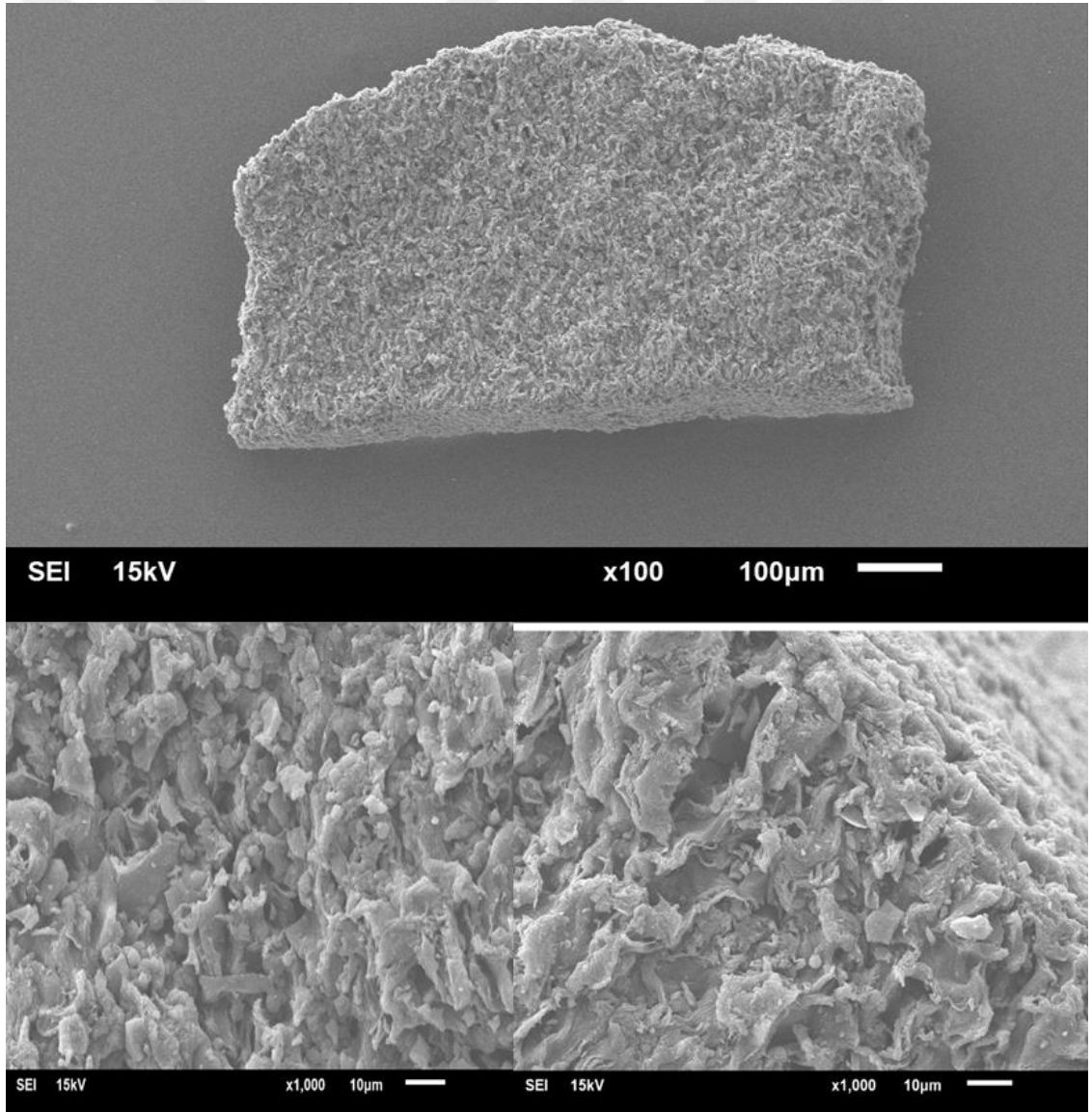


Şekil 3-2. Öğütme ve eleme işleminden sonra elde edilen biyoçar maddesi

Denemede kullanılan biyoçara ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Biyoçar materyallerinin katyon değişim kapasitesi 9.47 meq/100gr, fosfor içeriği 59 mg kg⁻¹ azot içeriği ise %49.0 olan biyoçar materyalinin organik karbon içeriği %73’dir. Oldukça önemli bir gözenekliliğe ve yüzey alanına sahip biyoçarın SEM (Taramalı elektron mikroskobu; scanning electron microscope) Şekil 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.1. Biyoçar materyaline ait bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri

	KDKmeq/100gr	P mg/kg	pH	EC dS m ⁻¹	Toplam C %	Toplam N %	C:N
Biyoçar	9.47	59	9.08	1.32	73.1	0.49	152



Şekil 3-3. Biyoçar materyalinin SEM görüntüsü

3.1.2. Deneme toprağının özellikleri

Biyoçarın toprak verimliliğine, buğdayda kök gelişimine ve bitki gelişimine olan etkisinin tekstüre bağlı değişkenliğini ortaya koymak için çalışmada kaba ve ince tekstürlü olmak üzere 2 farklı toprak kullanılmıştır. Denemede kullanılan farklı tekstüre sahip 2 toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 3.2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan ince tekstürlü toprak killi, kaba tekstürlü toprak ise kumlu tın tekstür sınıfındadır. Her iki toprak alınabilir K bakımından zengin olsa da fosfor ve azot içeriği bakımından fakirdir.

Tablo 3.2. Denemede kullanılan toprakları bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Örnek	% Kil	% Silt	% Kum	Tekstür Sınıfı	pH	EC dS/m	OM %	P ₂ O ₅ kg/da	K ₂ O kg/da	KDK meq/100gr	Kireç %	Toplam N %
1. Toprak	54.29	17.96	27.75	Killi	7.44	0.67	1.86	1.85	207.47	29.5	4	0.09
2. Toprak	12.79	30.09	57.12	Kumlu Tın	7.91	0.18	1.95	1.7	69.91	13.3	15	0.06

3.2. Metod

3.2.1. Deneme alanının kurulması

Çalışma Siirt üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü bitki büyütme odasında yürütülmüştür. Deneme, tek dönemde ve 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede bitki çeşidi olarak ekmeklik buğday kullanılmıştır. Denemede 1 kg’lık saksılar kullanılmış ve hacimleri göz önünde bulundurularak killi topraktan 700 gr, kumlu topraktan ise 750 gr toprak tartılıp saksılara konulmuştur. Çalışmada 2 farklı tekstür, 3 gübre dozu ve 5 biyoçar dozu ve 3 tekerrür olmak üzere (2*3*5*3) 90 saksı kullanılmıştır. Biyoçar (Biyoçar/Toprak =%0, %0,5, %1, %2 ve %4) ve gübre (0, 1/2 ve 1/1) dozları ile ilgili bilgi şekil 3.3’te verilmiştir. Topraklara farklı dozlarda biyoçarlar sadece ilk bitki yetiştirme döneminin başlangıcında uygulanmıştır. Gübre ihtiyacı için taban gübresi olarak DAP üst gübre olarak ise Üre kullanılmıştır. Deneme 11.05.2022 tarihinde kurulmuş olup buğday bitkisi %50 sapa kalktıktan sonra deneme tamamlanmıştır (Şekil 3.6). Çalışmada sulama suyu her bir saksıda en az 50 ml su alttan sızdıracak şekilde tüm örneklerde 300 ml su ile sulama yapılmıştır. Sulama suyunun belirlenmesi için saksılar bir kap üzerine konulup yavaş yavaş su verilmiş ve 24 saat sonra toplam 50 ml atık su oluşacak şekilde belirlenmiştir.

Tablo 3.3.Deneme parseli kurulum şeması

Kumlu Toprak						Killi Toprak					
Biyoçar Uygulaması gr/toprak	Örnek No		Toprak Ağırlığı	DAP mg/kg	Üre mg/kg	Biyoçar Uygulaması %	Örnek No		Toprak Ağırlığı	DAP mg/kg	Üre mg/kg
0	1	1	750	0	0	0	16	1	700	0	0
	1	2	750	0	0		16	2	700	0	0
	1	3	750	0	0		16	3	700	0	0
3.75	2	1	750	0	0	3.5	17	1	700	0	0
	2	2	750	0	0		17	2	700	0	0
	2	3	750	0	0		17	3	700	0	0
7.5	3	1	750	0	0	7	18	1	700	0	0
	3	2	750	0	0		18	2	700	0	0
	3	3	750	0	0		18	3	700	0	0
15	4	1	750	0	0	14	19	1	700	0	0
	4	2	750	0	0		19	2	700	0	0
	4	3	750	0	0		19	3	700	0	0
30	5	1	750	0	0	28	20	1	700	0	0
	5	2	750	0	0		20	2	700	0	0
	5	3	750	0	0		20	3	700	0	0
0	6	1	750	185	130	0	21	1	700	173	121
	6	2	750	185	130		21	2	700	173	121
	6	3	750	185	130		21	3	700	173	121
3.75	7	1	750	185	130	3.5	22	1	700	173	121
	7	2	750	185	130		22	2	700	173	121
	7	3	750	185	130		22	3	700	173	121
7.5	8	1	750	185	130	7	23	1	700	173	121
	8	2	750	185	130		23	2	700	173	121
	8	3	750	185	130		23	3	700	173	121
15	9	1	750	185	130	14	24	1	700	173	121
	9	2	750	185	130		24	2	700	173	121
	9	3	750	185	130		24	3	700	173	121
30	10	1	750	185	130	28	25	1	700	173	121
	10	2	750	185	130		25	2	700	173	121
	10	3	750	185	130		25	3	700	173	121
0	11	1	750	370	260	0	26	1	700	347	242
	11	2	750	370	260		26	2	700	347	242
	11	3	750	370	260		26	3	700	347	242
3.75	12	1	750	370	260	3.5	27	1	700	347	242
	12	2	750	370	260		27	2	700	347	242
	12	3	750	370	260		27	3	700	347	242
7.5	13	1	750	370	260	7	28	1	700	347	242
	13	2	750	370	260		28	2	700	347	242
	13	3	750	370	260		28	3	700	347	242
15	14	1	750	370	260	14	29	1	700	347	242
	14	2	750	370	260		29	2	700	347	242
	14	3	750	370	260		29	3	700	347	242
30	15	1	750	370	260	28	30	1	700	347	242
	15	2	750	370	260		30	2	700	347	242
	15	3	750	370	260		30	3	700	347	242



Şekil 3-4. Deneme kurulum aşamasında saksılara biyoçar dozlarının uygulanması

3.2.2. Su örneklerinin alınması

Saksı denemesi kurulduktan sonra ekim ile beraber biyoçar ve DAP gübresi aynı (11.05.2022) gün verilmiştir. Ekim işlemi tamamlandıktan sonra her saksıya 300 ml su yavaş yavaş verilmiştir. Sulamadan 24 saat sonra saksı altında toplanan su uygun bir şekilde alınıp kaba aktarılmış ve analiz edilmek üzere laboratuvara götürülüp karanlık ortamda soğuk zincirde bekletilmiştir. 2. sulama toprak nemine bağlı olarak 15 gün sonra yapılmıştır. Sulamadan önce bitkili çıkışları ve gelişimleri gözlenmiş ve Üre gübresi uygulanmıştır. Gübrelemeden sonra 300 ml su verilmiş ve 24 saat sonra 2. kez saksı altındaki kaptaki biriken su uygun koşullarda alınıp analiz için laboratuvara

götürülmüştür. 3. sulama sonrası birkez daha tüm saksılardan örnek alınarak toplam 3 ayrı sulama sonrası 90 saksıdan olmak üzere toplam 270 su örneği analiz için alınmış ve nitrat analizi yapılmıştır.

3.2.3. Toprak örneklerinin alınması

Deneme tamamlandıktan sonra iki farklı tekstür için hazırlanan saksılardan her 3 tekerrürden analize yetecek kadar toprak alınarak etiketlenmiş ve analiz edilmek üzere laboratuara götürülmüştür.

3.2.4. Laboratuvar Analizleri

3.2.4.1. Biyoçarların karakterizasyonu

Denemede kullanılan biyoçar materyallerinin uygulama öncesinde bir kısım fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Bu özellikler ve kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

pH: 1/5 (materyal/su) oranındaki karışımdan pH metre ile belirlenmiştir (Thomas, 1996).

Elektriksel İletkenlik (EC): 1/5 (materyal/su) oranındaki karışımdan EC metre ile belirlenmiştir (Thomas, 1996).

Toplam Karbon ve Toplam Azot: Toplam karbon ve toplam azot Dumas yanma yöntemi ile Elementel Analiz Cihazı kullanılarak yapılmıştır (EA 3000 EurovectorSpA, Milan, Italy).

Kasyon Değişim Kapasitesi: Amonyum Asetat yöntemine göre yapılmıştır (Sumner ve Miller, 1996).

Spesifik Yüzey Alanı: Etilen Glikol Monoetilen Eter (EGME) yöntemine göre yapılmıştır (Cerato ve Lutenegeger, 2002).

Toplam Fosfor ve Potasyum: Örnekler agat değirmeninde öğütülerek ve 0.2 g tartılacak ve sonrasında mikro dalgada yaş yakma metoduna göre $H_2O_2-HNO_3$ asit karışımı ile yakılıp ICP-OES cihazında okunmuştur (Kacar ve İnal, 2008).

3.2.4.2. Toprak analiz yöntemleri

Deneme kurulmadan önce kullanılan 2 farklı toprak ve deneme tamamlandıktan sonra tüm saksılardan alınan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Bu analizlere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Tekstür: Toprakların % kil, silt ve kum içeriklerini belirlemek için “Bouyoucos Hidrometresi” metodu kullanılmıştır (Gee ve Bauder, 1986). (Sadece başlangıçta her iki toprakta yapılmıştır)

Toprak pH'sı: 20 g toprak tartılıp 40 ml saf su ile (1:2 oranında) sulandırılıp süspansiyon cam baget yardımıyla ara sıra karıştırılarak 30 dakika bekledikten sonra cam elektrodlu Neel pH'metresi ile belirlenmiştir (Staff, 1954).

Elektriksel İletkenlik (EC): Toprak örneklerinin EC'sini belirlemek üzere hazırlanmış saf su ile 1:2 oranında sulandırılmış süspansiyonda pH ölçümü yapıldıktan sonra aynı süspansiyonda digital EC metre ile ölçüm yapılmıştır (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954).

Yarayışlı Fosfor: Topraklarda bitkiye yarayışlı P miktarı Olsen ve ark. (1954) tarafından geliştirilen yöntemle belirlenmiştir.

Yarayışlı Potasyum: 1N amonyum asetat ile ekstraksiyon yöntemine göre belirlenmiştir (Thomas, 1982). (Sadece başlangıçta her iki toprakta yapılmıştır)

Organik Madde: Modifiye edilmiş Walkey-Black metoduna göre yapılmıştır (NelsonveSommers, 1982).

Mineral Azot: 2 N KCl ile ekstrakte edilen toprak numunelerinde NO_3 ve NH_4 okumaları kjeldahl buhar destilasyon cihazında yapılmıştır (Bremner, 1965).

Kasyon Değişim Kapasitesi (KDK): Toprak örnekleri 1,0 normal sodyum asetat (pH = 8,2) ile doyurulduktan sonra sodyumun fazlası %95'lik etil alkol ile yıkanıp 1,0 normal amonyum asetat (pH = 7.0) ile ekstrakte edilmiştir. Daha sonra fleymfotometre yardımıyla ekstraksiyon çözeltisinin sodyum miktarı belirlenip hesaplanarak kasyon değişim kapasitesi elde edilmiştir (Jakson, 1958).

3.2.4.3. Su analizi

Suda nitrat analizi; Nitratın Burucine-Sülfanik asit ile olan sarı renk (Şekil 3.6) oluşumu 410 nm'de spektrofotometrede okunmuştur (Strickland ve Parson, 1972)



Şekil 3-5. Nitrat analizinde renk dönüşümü

3.2.5. Bitki kök mimarisini belirlenmesi

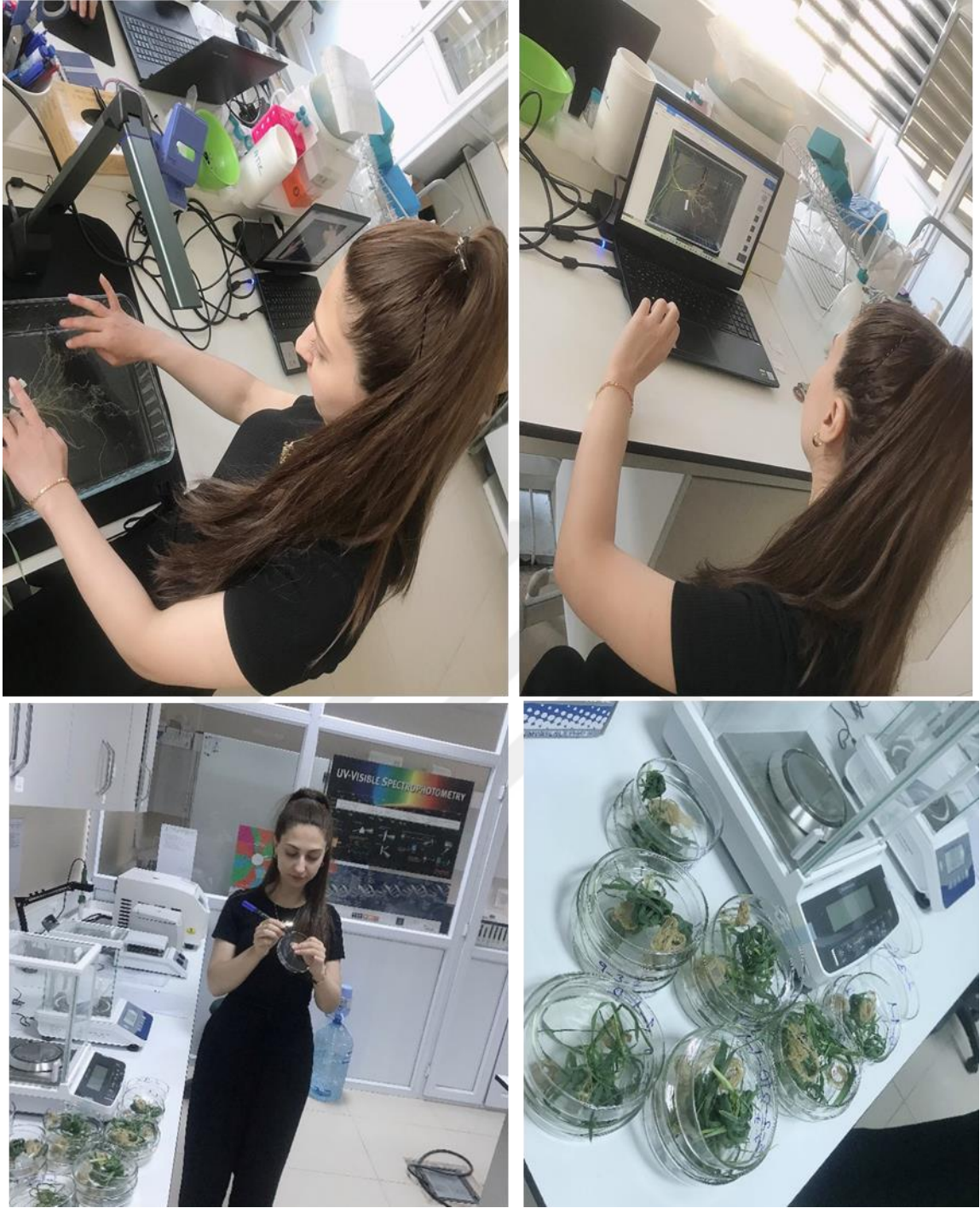
Deneme üç tekerrürlü ve her tekerrürde 2 bitki olacak şekilde yürütülmüştür (Şekil 3.7). Denemenin tamamlanması sonucu her saksıdaki bitki köklerinin zarar görmeyecek şekilde alınabilmesi için toprak örnekleri alındıktan sonra çeşme suyu ile yıkayarak kökler topraktan ayırt edilmiştir (Şekil 3.7). Daha sonra kök numuneleri, tepegöz tipi tarayıcı (Viisan V13 tarayıcı) ile 600 DPI'da Rn renk ölçeğinde taranmıştır (Şekil 3.8). Elde edilen kök Görüntüleri, ImageJ (Rueden ve ark., 2017) ve RhizovisionExplorer (Seethepalli ve ark., 2021) yazılımları kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, gövde yaş ağırlığı, gövde kuru ağırlığı, gövde/kök yaş ağırlığı, gövde/kök kuru ağırlığı, bitki boyu, yaprak boyu, yaprak eni, yaprak alanı, gövde çapı, toplam kök uzunluğu (TRL), ortalama toplam kök uzunluğu (OrtalamaTRL) ve ana kök uzunluğu (TapRL) ve kök hacmi belirlenmiştir.



Şekil 3-6. Denemenin 32. gününde bitki gelişim durumu



Şekil 3-7. Saksılarda büyütülen bitkilerin köklerini topraktan ayırma işlemi



Şekil 3-8. Bitki toprak üstü ve toprak altı aksamalarının ölçülmesi

3.2.5.1. Toprak Altı ve Toprak Üstü Aksamaların Analiz Yöntemleri

Deneme sonunda bitki toprak üst aksamaları toprak seviyesinden kesilerek aşağıdaki toprak üstü ve altı parametrelerin ölçümleri Waines ve Ehdaie (2007), Bektas (2016) ve Hohn (2016)' ya göre yapılmıştır.

Bitki boyu (cm): Fide boyu kök boğazından en uç noktaya kadar ölçülerek, biyoçar uygulamasının toprak üstü bitki boyu ve gelişimine etkisi incelenmiştir.

Toprak üstü kuru ağırlığı (g): Bitkilerin toprak üstü kısımları kök boğazından kesilerek ayrıldıktan sonra kâğıt torbalara konularak etüvde 80 °C’de 48 saat bekletilerek ve hassas terazide tartılarak bulunmuştur.

Gövde çapı: Her bir bitkinin kök boğazına en yakın kısmından dijital kumpas yardımıyla gövde çapı ölçülerek elde edilmiştir.

Embriyonik-primer kök sayısı (adet): Akan su altında köklere zarar vermeden kök topraktan ayrıştırıldıktan sonra tohum taslağından çıkmış olan embriyonik (Seminal) kök sayımı yapılarak bulunmuştur.

Sekonder kök sayısı (adet): Her bitkiye ait bitki başına sekonder (gövdeden çıkan:crown-nodal) kök sayısı adet olarak hesaplanmıştır.

Toplam kök sayısı (adet): Embriyonik ve sekonder kök sayılarının toplanması sonucu, bitki başına kök sayısı bulunmuştur.

Toplam Kök uzunluğu: El tipi tarayıcı yardımıyla köklerin 600 DPI çözünürlükte görüntüleri alınarak ve Imagej (Rueden ve ark., 2017) görüntü analiz yazılımında ölçülmesi ile elde edilmiştir.

Embriyonik Kök uzunluğu: El tipi tarayıcı yardımıyla köklerin 600 DPI çözünürlükte görüntüleri alınarak ve Imagej (Rueden ve ark., 2017) görüntü analiz yazılımında ölçülmesi ile elde edilmiştir.

Sekonder Kök uzunluğu: El tipi tarayıcı yardımıyla köklerin 600 DPI çözünürlükte görüntüleri alınarak ve Imagej (Rueden ve ark., 2017) görüntü analiz yazılımında ölçülmesi ile elde edilmiştir.

Kök uzunluğu/ağırlığı oranı: Toplam kök uzunluğunun kuru kök biyomasına oranı ile elde edilmiştir.

Kök uzunluk dağılımı: Sekonder ve embriyonik kök uzunluğunun oranlanması sonucu elde edilmiştir.

Kök kuru ağırlığı (g): Yaş olarak elde edilen kökler kâğıt torbalara konularak etüvde 80 °C’de 48 saat bekletilerek ve hassas terazide tartılarak bulunmuştur.

Kök/toprak üstü kuru ağırlığı oranı: Kök kuru ağırlığının toprak üstü kuru ağırlığına bölünmesiyle bulunmuştur.

Kök/toplam kuru ağırlık oranı (%): Kök kuru ağırlığının toplam kuru ağırlığa bölünmesiyle bulunmuştur.

Yaprak Boyu (cm): Yaprak boyu manuel olarak yaprak sapından en uç noktasına

kadar cetvel ile ölçülmüştür.

Yaprak Eni (cm) : Yaprak eni manuel olarak yaprağın en geniş noktasından cetvel ile ölçülmüştür.

Yaprak Alanı: Yaprak alanı hesaplaması yaprak boyu ve eni ölçümlerine göre Montgomery (1911)'e göre hesaplanmıştır.

Toprak üstü yaş Ağırlığı (g): Bitki, kök boğazından kesilmiş ve hassas terazi ile gövde yaş ağırlık alınmıştır.

Kök Yaş Ağırlık (g): Bitki, kök boğazından kesilmiş ve kök ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüştür.

Kök hacmi (cm³): Kök hacmi mezur-taşıma tekniği ile ölçülmüştür.

Kök/toprak üstü yaş ağırlığı oranı (%): Kök yaş ağırlığının gövde yaş ağırlığına bölünmesiyle bulunmuştur.

3.2.6. İstatistiksel analizler

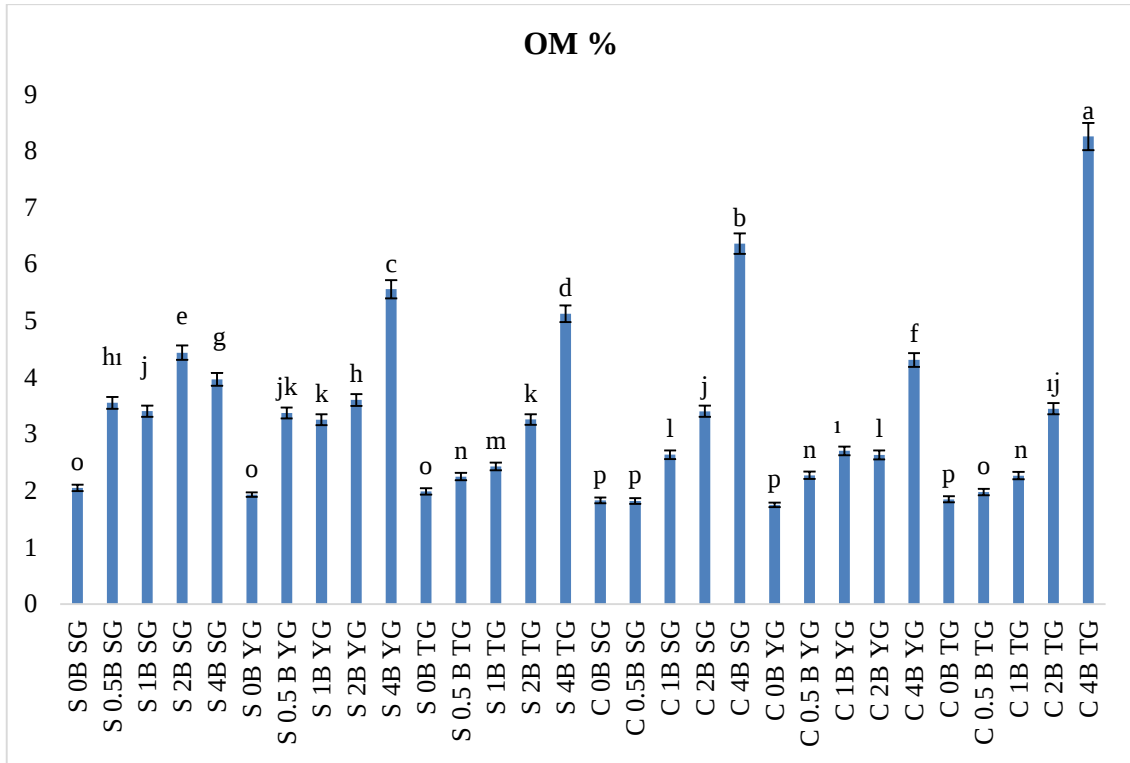
Farklı biyoçar ve gübre dozlarının toprak özelliklerine ve bitki gelişimine olan etkisinin farklı olup olmadığını ortaya koymak için SPSS paket (IBM SPSS 22 IBM Corp) ve Statistix 10 (Analytical Software, Tallahassee, Fl, USA) yazılımları kullanılarak LSD (En küçük önemli fark) analizi yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tezin bu kısmında biyoçar uygulamalarının toprağın bazı kimyasal özelliklerine, nitrat yıkanmasına ve bitki toprak üstü/toprak altı aksamalarına olan etkisi ayrı ayrı başlıklar halinde tartışılmıştır.

4.1. Farklı Dozda Biyoçar Uygulamalarının Bazı Kimyasal Toprak Özelliklerine Etkisi

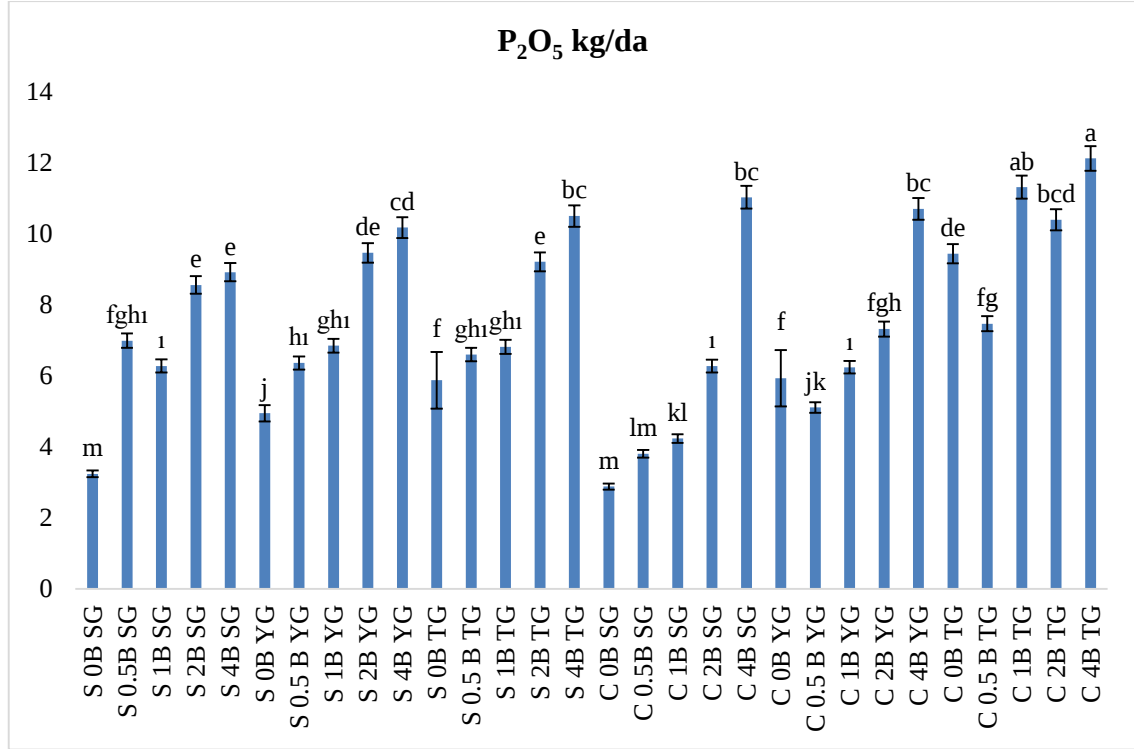
Deneme sonucu elde edilen bulgular farklı dozlarda uygulanan biyoçarın toprak organik maddesini önemli derecede arttırdığını ve en büyük artışın killi topraklarda %4'lük biyoçar uygulamalarında gerçekleştiğini göstermiştir (Şekil 4.1). Denemede kullanılan biyoçarın toplam C içeriği %73.1'dir (Çizelge 3.1). Toprakta organik maddenin %58'i organik C olarak kabul gördüğünden (Tabatabai, 1996) toprağa uygulanan biyoçarın organik madde düzeylerini arttıracığı beklenmektedir. Deneme sonrası toprak özellikleri incelendiğinde %0.5 biyoçar uygulamasından %4 biyoçar uygulamasına kadar biyoçar doz miktarı arttıkça organik madde içeriğinin arttığı ve bu değişimin hem yarım hemde tam gübre uygulamalarında benzer olduğu tespit edilmiştir. Liu ve ark.(2017), biyoçar uygulamalarının toprağın organik madde içeriğini önemli derecede arttırdığını rapor etmiştir. Toprak organik maddesine kıyasla daha kararlı bir karbon yapısına sahip olan biyoçar ayrılmaya oldukça dayanıklıdır. Nitekim odundan elde edilen biyoçarın toprakta yaklaşık olarak 1000 yıl kadar kaldığını rapor eden Lehman ve Josep (2009), biyoçarın topraktaki organik maddeyi arttırması ve toprak kalitesini iyileştirmesi bakımından iyi bir toprak düzenleyicisi olduğunu ifade etmiştir. Doktora tez çalışmasında 3 farklı biyoçar (Fasulye hassat attığı, Çeltik Kavuzu ve Mısır koçanından elde edilen biyoçarlar) çeşidinin toprağın bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olan etkisini inceleyen Günal (2018), biyoçar uygulamalarının toprağın organik madde içeriğini önemli düzeyde arttırdığını ve biyoçarın bu yönü ile iyi bir toprak düzenleyici olduğunu rapor etmiştir. Farklı dozlarda biyoçar uygulamalarının birbirinden farklı olup olmadığını ortaya koymak için yapılan LSD analizine göre farklı biyoçar uygulamalarının organik madde içeriğine olan etkisinin istatistiksel anlamda farklı olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4-1. Biyoçar uygulamasının toprağın organik madde içeriğine etkisi
S: Kumlu Tın, C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır Gübre; YG; Yarım Gübre; TG; Tam Gübre

Farklı dozlarda uygulanan biyoçar toprağın fosfor konsantrasyonunu hem kumlu hem killi topraklarda önemli derecede arttırmıştır. Ancak en büyük artışın killi topraklarda %4'lük biyoçar uygulamalarında gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 4.2). Denemede kullanılan biyoçarın toplam fosfor içeriği 59 mg/kg'dir (Çizelge 3.1). Yapılan çalışmada artan biyoçar dozuyla (%0.5, %1, %2, %4) fosfor konsantrasyonu kumlu topraklarda yarım gübre ve tam gübrede, killi topraklarda sıfır gübre, yarım gübre ve tam gübre dozlarında artış göstermiştir. Yapılan benzer bir çalışmada 500 °C 'de piroliz edilen ağaç atıklarından elde edilen biyoçarın asidik toprağa uygulanması ile fosfor konsantrasyonun %16 artış gösterdiği rapor edilmiştir (Chen ve ark., 2018). Deneme sonrasında biyoçarın toprağa ilavesi ile bitki alımı için alınabilir fosforun arttığı birçok çalışmada ifade edilmiştir (Günel, 2018; Chan ve ark., 2007; Chen ve ark., 2018). Ayrıca Laird ve ark. (2010) toprağa biyoçar uygulamasıyla toprakta fosfor kayıplarının %11 ve %69 oranında azaldığını bildirmiştir. Biyoçar fosfor alınımlı, fosforun toprakta tutulmasını ve bitkiler için alınabilirliğini sağlayan önemli bir maddedir. Zira Chan ve ark. (2007), yeşil atıklardan oluşan biyoçarın toprağa uygulanmasıyla bitki tarafından alınan fosfor miktarının arttığı, bunun sonucunda da turp veriminde önemli bir artış olduğu bildirilmiştir. Uzun yıllar süren yoğun gübreleme nedeniyle toprakta yüksek miktarlarda kararsız fosfor konsantrasyonları bulunur ve

çözünür fosfor miktarlarında kayıplar görülür (Sharpleyve Withers, 1994). Fosforun bu sınırlayıcı etkisi artan biyoçar dozlarıyla azalmaktadır (Novak ve ark., 2009). Bu nedenle biyoçar toprakta fosfor konstrasyonunu ve alınabilirliğini artıran bir etkiye sahiptir.

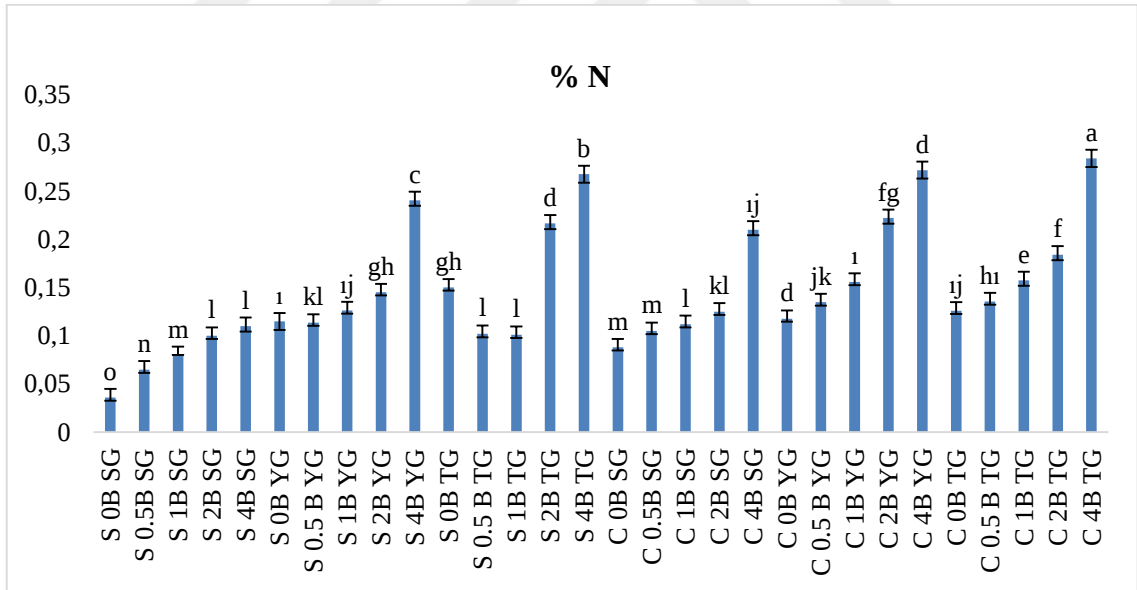


Şekil 4-2. Biyoçar uygulamasının toprağın alınabilir P içeriğine etkisi

S: Kumlu Tın, C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarı gübre; TG; Tam Gübre

Deneme sonrası saksılardan alınan toprakların azot konsantrasyonuna ait veriler Şekil 4.3'te verilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular farklı dozlarda uygulanan biyoçarın toprağın toplam azot konsantrasyonunu önemli derecede arttırdığını ve en iyi artışın %4'lük biyoçar uygulamalarında gerçekleştiğini göstermiştir. Denemede kullanılan biyoçarın toplam azot içeriği %0.49'dir. Deneme sonucunda artan biyoçar dozuyla her iki toprak çeşidinde de toplam azot artış göstermiştir. Bunun nedeni biyoçarın azot yıkanmasını azaltmasının yanı sıra piroliz işleminden sonra azotlu yapıların biyoçarın içeriğinde yüksek oranlarda bulunmasından kaynaklanmaktadır (Gaskin ve ark., 2010). Novak ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada fıstık kabuğundan elde edilen bir miktar N içeren biyoçar %0.5 ve %1 oranında toprağa uygulandığında toplam C ve N oranında önemli bir artış sağlandığı rapor edilmiştir. Biyoçar, yapısında yüksek oranda organik azot bulundurur ve bulunan bu azotun mineralizasyonu toprakta uzun sürede gerçekleşmektedir. Bu yavaş salınım

sayesinde bitkinin ihtiyaç duyduğu N topraklardan uzun yıllar içerisinde önemli oranlarda karşılanabilmektedir (Chan ve Xu, 2009). Toprakta uzun yıllar varlığını sürdüren biyoçar, nihayetinde bitki büyümesini etkileyebilmektedir (Liu ve ark., 2018). Liu ve ark. (2017), kumlu ve tınlı iki farklı toprağa biyoçar uygulaması sonrasında kumlu topraklarda azot miktarının kontrol grubuna kıyasla %8.83–9.06 oranında arttığını, tınlı topraklarda N kaybının %26.46 ve %26.82 oranında azaldığını tespit etmiştir. 7 ay boyunca süren çalışmada, tınlı kum tekstüre sahip toprağa mısır koçanından elde edilen biyoçar eklenmesi sonucunda azot oranında önemli miktarlarda ($P < 0.05$) artış görülmüştür (Nelissen ve ark., 2012). Biyoçarın toprakta azot artışını sağlaması, biyoçarın içeriğindeki yüksek oranda C:N kaynaklanabilir. Biyoçarın içerisindeki bu C mikroorganizmaları uyarıp organik azot mineralizasyonu gerçekleşmesini sağlayabilmektedir (Zimmerman ve ark., 2011). Ayrıca toprakta tam doz gübre uygulamaları sonucunda azot içeriğinin daha fazla olması beklenen bir durumdur. Burada özellikle biyoçar ile beraber gübre uygulamaları toprakta azot içeriğini önemli derecede arttırmıştır.

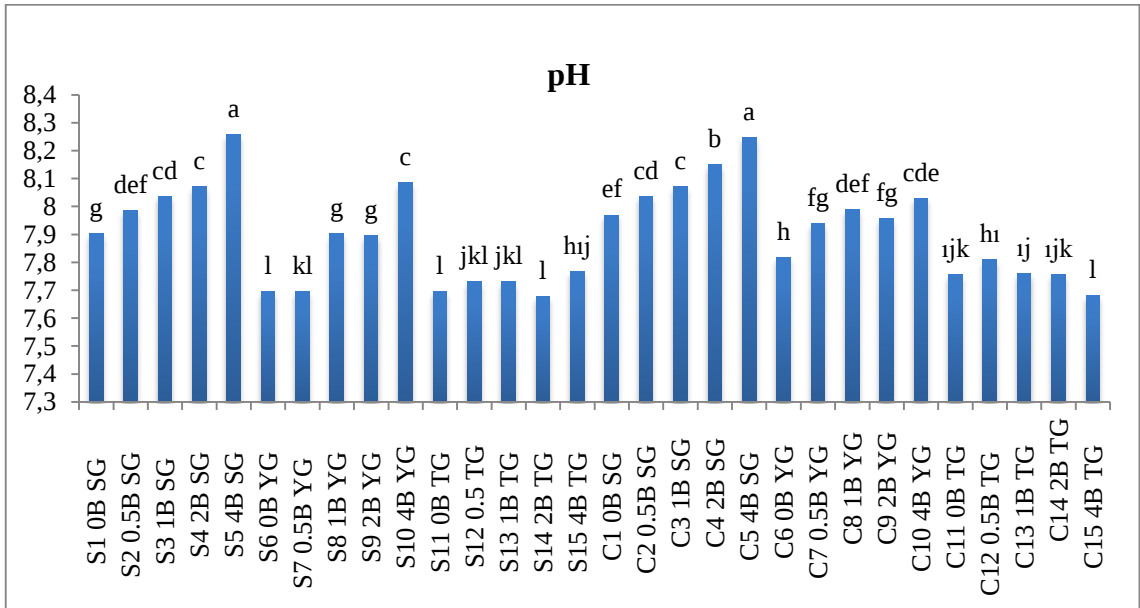


Şekil 4-3. Biyoçar uygulamasının toprağın Toplam N içeriğine etkisi

S: Kumlu Tın, C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre

Deneme sonucu elde edilen bulgular farklı dozlarda uygulanan biyoçarın toprak pH'sını önemli derecede arttırdığını ve en büyük artışın kumlu topraklarda %4'lük biyoçar uygulamalarında gerçekleştiğini göstermiştir (Şekil 4.4). Bunun temel nedeni deneme kurulmadan önce yapılan toprak analiz sonuçlarına göre kumlu toprakların (pH: 7.91) killi topraklara (pH: 7.44) göre daha yüksek bir pH içeriğine sahip olmasından

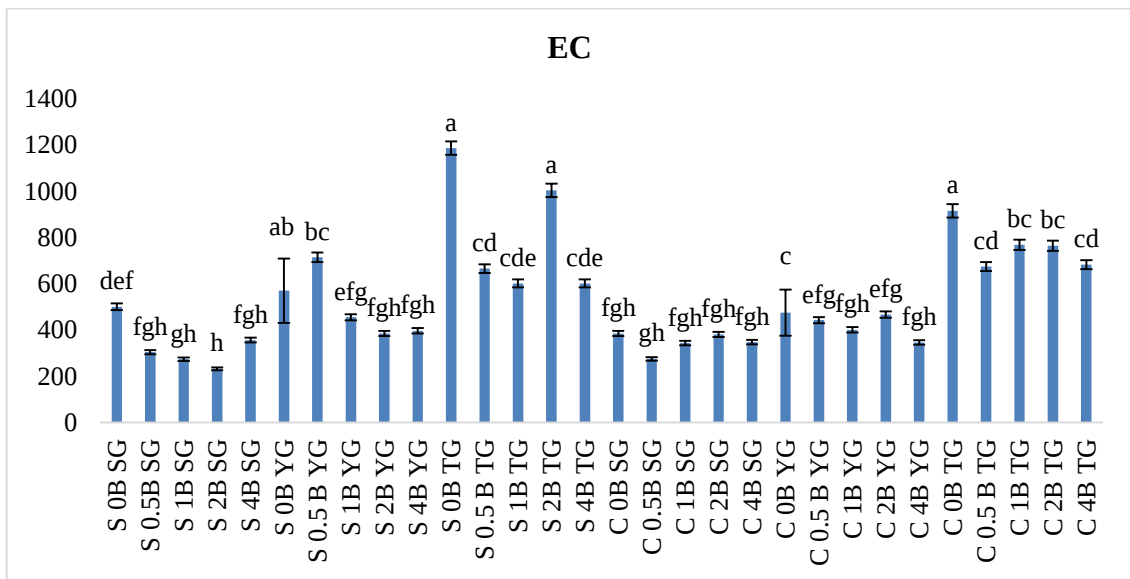
ileri gelmektedir. Zira toprağa göre daha yüksek bir pH içeriğine sahip biyoçar (pH: 9.08) uygulamaları toprak pH'sının da artmasını sağlayacaktır. Alkali karakterde olan biyoçarın toprak pH'sını artırmasının nedeni, biyoçarın içerisinde bulunan negatif yüklü fenolik, hidroksi lve karboksil gruplarının varlığı ile açıklanmıştır (Brewer ve Brown., 2012). Chan ve Xu (2009), asitli toprağa biyoçar uygulanması sonucunda toprak pH'sının arttığını tespit etmiştir ve pH'daki bu artışın buğday bitkisinde büyümeyi teşvik ettiğini rapor etmiştir. Hailegnaw ve ark., (2019), sera denemesinde 700 °C'de elde ettikleri biyoçarı toprağa %0.5, %2, %4 ve %8 oranında uygulamış ve özellikle %8 biyoçar uygulamasının toprak pH'sında önemli bir artışa neden olduğunu bildirmiştir. Biyoçar yüksek miktarlarda karbon içerir ve biyokütle çeşitlerine bağlı olarak yapısında değişen oranlarda K, Ca ve Mg bazik katyonlarını bulundurur (Novak ve ark., 2019). Bu nedenle toprak pH'sını arttırabilir. İki yıl boyunca süren arazi denemesinde 580 °C sıcaklıkta proliz edilen sert ağaç kabuklarından elde edilen biyoçarı uygulayan Adekiya ve ark. (2019), toprağa bazik katyonlardan K, Ca ve Mg besin elementlerinin dâhil olduğu bu nedenle biyoçarın toprak pH'sını artırma potansiyeline sahip olduğunu bildirmişlerdir. Toprak pH'sının artması biyoçarda kullanılan biyokütle ve piroliz sıcaklığına bağlı değişim göstermektedir. Asidik bir toprağa Chintala ve ark. (2014), mısır ve çim atıklarından üretilen biyoçar uygulandığında mısır biyokütlesinden üretilen biyoçarın yapısında daha fazla bazik katyonun bulunması nedeniyle çim biyokütlesine göre toprak asitliğinin daha fazla giderdiğini tespit etmişlerdir.



Şekil 4-4. Biyoçar uygulamasının toprak reaksiyonuna (pH) etkisi

S: Kumlu Tın, C: Killi, B: Biyoçar, SG: Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre

Farklı dozlardaki biyoçar ile gübrelemenin toprak EC'sine olan etkisini değerlendirmek için elde edilen veriler Şekil 4.5'te verilmiştir. Deneme sonucu elde edilen veriler farklı dozlarda uygulanan biyoçarın toprak EC'sine fazla etki etmediği ancak farklı dozlarda kullanılan kimyasal gübrelerin (DAP ve Üre) toprakta EC'yi arttırdığı gözlemlenmiştir. Hem killi hemde kumlu toprakta % 0 biyoçar ve tam gübreleme uygulamalarında EC değeri nispeten diğer uygulamalara göre daha yüksektir. Bu durum gübrelemenin toprakta tuzluluğu artırıcı özelliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Üç yıl boyunca süren bir çalışmada üç farklı atıktan (Talaş, Buğday samanı ve bağ budamaları) oluşan biyoçarın toprakta EC değerine olan etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar talaş atığı biyoçarında EC değerinde önemli artış olduğunu bildirmiş ve üç yılın sonunda ölçülen EC değerinde bir azalma olduğunu fakat bu azalmanın en az talaş ve bağ budama atığı biyoçarında görüldüğünü rapor etmişlerdir (Burrell ve ark. 2016). Asidik bir toprağa Chintala ve ark. (2014) mısır koçanı biyokütlesinden elde ettikleri biyoçarı toprağa uygulaması ile EC değerinin artan biyoçar dozuyla beraber önemli oranlarda arttığını bunun nedenin biyoçarda kullanılan biyokütle çeşidinden ve biyoçardaki CaCO_3 içeriğine bağlı olabileceğini bildirmişlerdir. Pirinç ve bambu atıkları biyokütlesinden elde ettikleri biyoçarı Yang ve ark. (2016), kumlu tınlı toprağa eklemesi sonucunda pirinç atıklarından oluşan biyoçarda toprağın EC değerini önemli düzeyde arttığını fakat bambu atıklarından oluşan biyoçarın toprağın EC değeri üzerinde önemli farklılık oluşturmadığını tespit etmişlerdir.

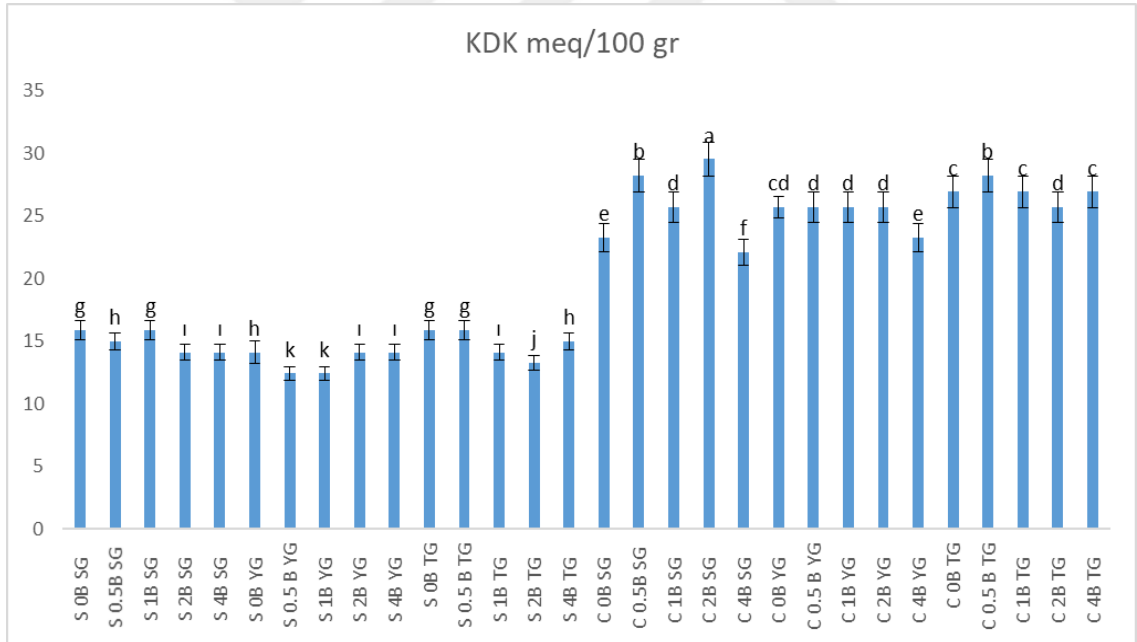


Şekil 4-5. Biyoçar uygulamasının toprağın elektiriksel iletkenlik değerine etkisi
S: Kumlu Tın, C: Killi, B: Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre

Farklı dozdaki biyoçar uygulamalarının kumlu ve killi topraklarda katyon değişim kapasitesine olan etkisini ortaya koymak için elde edilen veriler Şekil 4.6'da verilmiştir. Deneme öncesi toprakların KDK'sı killi toprakta 29.5 meq/100 gr, kumlu toprakta ise 13.3 meq/100 gr'dır. Deneme sonucunda elde edilen veriler düşük KDK içeriğine sahip biyoçar uygulamasının toprakların KDK'sine pek fazla etki etmediğini göstermiştir. Ancak kumlu topraklarda genel olarak KDK'nin biyoçar uygulamaları ile bir miktar arttığı killi topraklarda ise düştüğü gözlemlenmiştir. Denemede kullanılan biyoçarın katyon değişim kapasitesi 9.47 meq 100 gr⁻¹ dir (Çizelge 3.1). Killi topraklarda KDK'nin azalmasının en önemli nedeni olarak biyoçarın ilk zamanlarda ayrışma durumundan ileri gelen düşük KDK'sına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Farklı tarımsal atıklardan elde edilen biyoçarların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini inceleyen Bayram (2015), piroliz sonucu kavak talaşından elde edilen biyoçarın KDK'sının 5.03 meq/100 gr, biber atıklarından elde edilen biyoçarın KDK'sının ise 80.08 meq/100 gr olduğunu rapor etmiştir. Brewer (2012), ligno-sellüloz içeriği yüksek olan materyallerden elde edilen biyoçar materyallerinin yüzey fonksiyonel gruplarının çoğunlukla hidroksil (-OH) karboksil (COOH) ve az miktarda da metil (-CH₃) gibi alkil zincirlerinden oluştuğunu bu nedenle de bu tür biyokütlelerin hidrofilik özellikte ve oldukça reaktif olduğunu bildirmiştir. Biyoçar hammaddesi piroliz edilirken yüzey kimyasında önemli değişiklikler olmaktadır. Biyoçarın yapısındaki oksijen, hidrojen ve azot gibi fonksiyonel grupların çoğu buharlaşmakta, yerlerinde aromatik C yüzeyleri kalmaktadır. Bu durum biyoçara hidrofobik (molekülün sudan kaçması) yapı özelliği kazandırmaktadır. Ancak zamanla hava ile temas ettiklerinde hidroksil, karbonil ve karboksilik asit gibi oksijen içeren yeni aromatik fonksiyonel grupları oluşmaktadır (Bayram, 2015). Fıstık kabuğunda buna benzer bir özelliğe sahip olması daha düşük bir KDK'ya sahip olmasına, neden olduğu düşünülmektedir. Bu durumda ilk zamanlarda toprakların KDK'sının düşmesine neden olan biyoçarın süreçle toprakta KDK'yı artıracak bir etkiye sahip olacağı beklenmektedir.

Revell ve ark. (2012), kumlu tınlı ve siltli tınlı toprağa çam talaşı ve kümes hayvanı altlığı atıklardan oluşan biyoçarın uygulanmasıyla katyon değişim kapasitesinin kumlu tınlı toprakta önemli artış gösterdiğini, siltli tınlı toprakta ise azalma gösterdiğini ve bunun nedeninin belirsiz olduğunu bildirmişlerdir. Katyon değişim kapasitesi topraklarda pH'yı düzenler, besin mevcudiyetini sağlar ve negatif yükleri sayesinde K,

Mg, Ca gibi besin maddelerinin bitki tarafından alınımını sağladığı için (Novak ve ark., 2009; Van Zwieten ve ark., 2010), bitki büyümesi için önemli bir toprak göstergesidir. Ultisol topraklara odun atıkları biyoçarı uygulayan Jien ve Wang (2013), %0 %2,5 ve %5 oranında biyoçar uygulanması ile sırasıyla toprakta 7.41'den 9.26'ya (%2,5) ve 10.8 cmol (+) kg⁻¹(%5)'e arttığını (p < 0,05), değişebilir K, Ca ve Mg katyon içeriklerinde %6.40'tan %14.2'ye (%2.5) ve %26.0'a (%5) arttığını (p < 0,05) rapor etmişlerdir. Biyoçar, yüksek spesifik yüzey alanına sahip olması sayesinde toprakta katyon değişim kapasitesinin artırmasına (Pimenta ve ark., 2019) ve çok gözenekli yapıda olması ile besin elementlerinin alınımını ve tutumunu sağlamaktadır (Herathve ark., 2013). Pandian ve ark.(2016), tınlı kumlu toprağa biyoçar uygulanmasıyla katyon değişim kapasitesinin arttığını bununla beraber potasyum alımının arttığını ve biyoçarın azot alınımına etkisi ile birlikte yer fıstığı bitkisinde gövde büyümesini önemli oranda teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Genel olarak literatür çalışmalarında kumlu topraklarda biyoçar uygulamalarının toprağın KDK'sini artırdığını ortaya koymuştur.



Şekil 4-6. Biyoçar uygulamasının toprağın katyon değişim kapasitesine etkisi
S: Kumlu Tın, C: Killi, B: Biyoçar, SG: Sıfır gübre; YG: Yarım gübre; TG: Tam Gübre

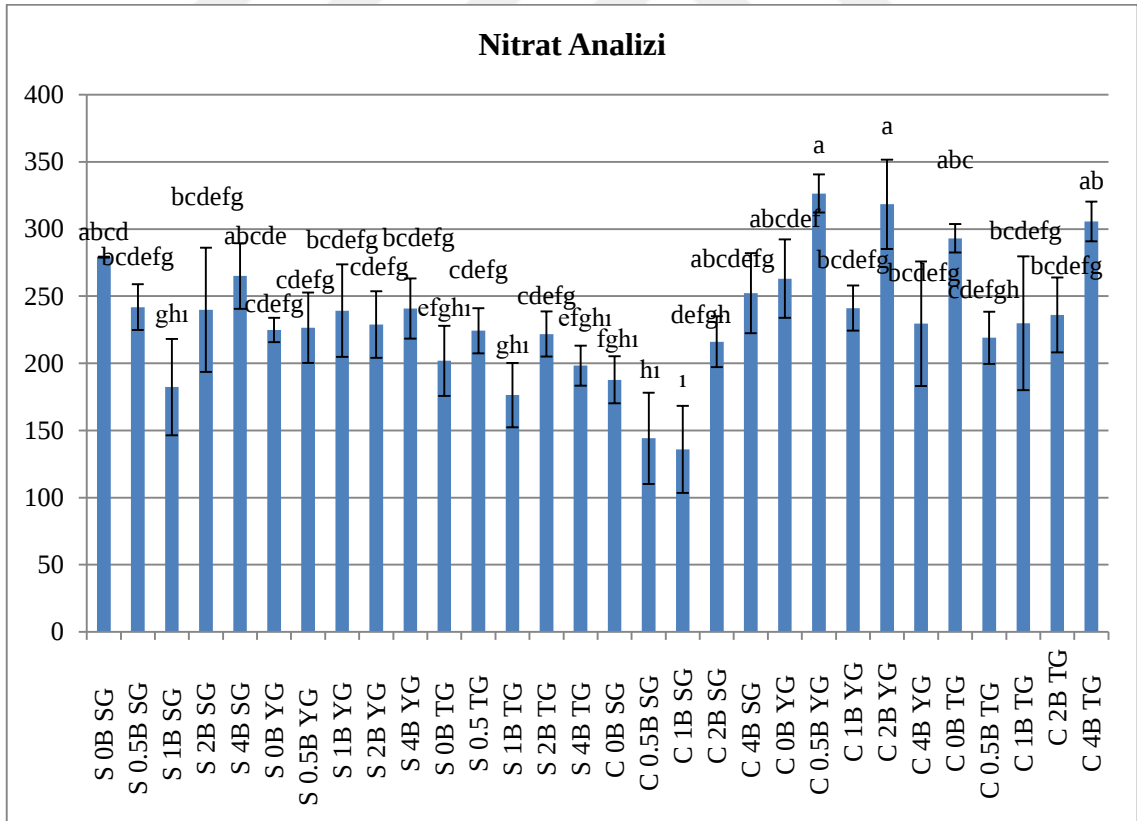
4.2. Farklı Dozda Biyoçar Uygulamalarının Nitrat Yıkanmasına Etkisi

Toprakta nitrat yıkanması, tarımsal verimlilikte kayıp yaşanmasının yanı sıra aynı zamanda insan sağlığı ve çevre kirliliği konusunda da dünya çapında önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Nitrat kayıpları, atmosferi azot birikimine maruz bırakarak hava kirliliğine dolaylı olarak asit yağmurlarına ve iklim değişikliklerine neden

olmaktadır (Borken ve Matzner., 2004; Cameron ve ark., 2013). Aynı zamanda nitratın (NO_3^-), toprak suyuyla aşağı doğru hareket etmesi yüzey sularının ve yeraltı sularının kirliliğine yol açmaktadır (Ju ve ark., 2006; Gianquinto ve ark., 2013). Toprakta yıkanan nitrat içme sularına, nehirlerle ve göllere karışması sonucunda ekolojik dengeyi değiştirerek su kirliliğine neden olmaktadır (Kirchmann ve ark., 2002). Nehir ve göl sularına karışan nitrat, alg popülasyonunun artmasına yol açtığından dolayı balık kayıplarına neden olabilir (Cameron ve ark., 2013). Ayrıca içme sularına sızan yüksek nitrat konsantrasyonları, insan sağlığında olumsuz olarak etkilemektedir. Nitratın (NO_3^-), nitrite indirgenmesiyle (NO_2^-) bebeklerde ‘mavi bebek sendromu’, yetişkinlerde ise mide kanseri hastalıklarını ortaya çıkarabilmektedir (Hester ve ark., 1996). Midede bulunan mikropların nitratı, nitrite dönüştürmesiyle mide de et gibi bir proteinin parçalanması sonucu oluşan ikincil bir aminle nitrit reaksiyona girer ve oluşan bileşikler kanserojen olup mide kanserine yol açmaktadırlar (Hester ve ark., 1996).

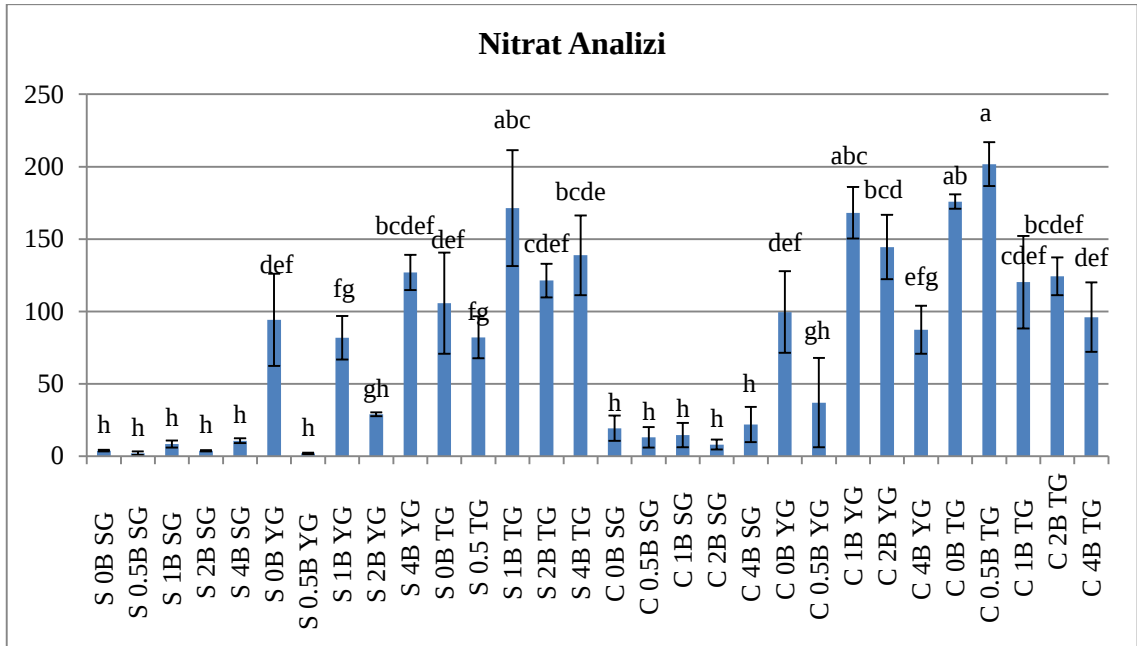
Şekil 4.7. incelendiğinde birinci dönem alınan sulama suyu örneklerinde nitrat yıkanmasının en fazla killi topraklarda % 0.5’lik biyoçar uygulamalarında gerçekleştiği tespit edilmiştir. İkinci dönem alınan sulama suyu örneklerinde, besin elementi yıkanmasının kumlu topraklarda %1’lik ve killi topraklarda %0,5’lik biyoçar uygulamalarında görülmektedir (Şekil 4.8). Üçüncü dönem alınan sulama suyu örnekleri, nitrat yıkanmasının en fazla kumlu topraklarda %4’lük ve killi topraklarda %1’lik biyoçar uygulamalarında gerçekleştiğini göstermiştir (Şekil 4.9). Bulgular değerlendirildiğinde birinci dönemde nitrat yıkanmasının fazla olmasının deneme başında gübrelemenin yapılması yanısıra biyoçar yüzeyinde tutulan azotun önemli bir kısmının yıkanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Üre gübrelemesinden sonra ikinci sulama ve üçüncü sulamadan sonra alınan örneklerde nitrat yıkanmasının gübre uygulanan dozlarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca killi topraklarda gübre uygulanmayan dozda nitrat yıkanmasının kumlu topraklara göre biraz daha fazla olduğu görülmüştür. Üçüncü dönem sulamadan sonra alınan su örneklerinde nitrat yıkanmasının devam etmesi biyoçar uygulaması ile nitrifikasyonda artış olması (Ghorbani ve ark., 2019), biyoçarın yapısında azot bulundurması ve aynı zamanda kimyasal gübre şeklinde uygulanan azotun toprakta hala tutulduğu ile ilişkilendirilebilir. Biyoçarın çok gözenekli yapıya sahip olması, besin elementlerinin tutumunu sağlamakta ve besin elementlerinin kayıplarını azaltmaktadır (Cao ve Harris, 2010). Bir elma bahçesine şeftali ve asma biyoçarı kullanan Ventura ve ark. (2013), nitrat yıkanmasının biyoçardan ilk dört ayda etkilenmediği ancak takiben bir yıl sonunda

kontrole göre nitrat yıkanmasının %75 oranında önemli ölçüde azaldığını ($p < 0.05$) bildirmişlerdir. Xu ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, mısır biyokütlesinden elde edilen biyoçarın toprağa uygulanması sonucunda nitrat yıkanmasının %16.0 - %19.3 oranında önemli ölçüde ($p < 0.05$) azaldığını rapor etmişlerdir. Steiner ve ark. (2010), yürüttükleri çalışmada kümes hayvanı çöpünden elde ettikleri kompost ve aynı kompostta biyoçar ilave ederek toprakta nitrat yıkanmasının biyoçar ve kompost uygulaması ile %52 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Nitrat yıkanmasında ki bu azalma biyoçarın yüzeyinde bulunan negatif yüklü nitrat iyonlarının pozitif yüklü katyonlarla bağlanması sonucunda nitratın toprakta tutunmasıyla açıklanabilir (Deenik ve ark., 2010). Zira Li ve ark. (2018), killi siltli toprağa %1, %2, %4 biyoçar uygulaması sonucunda toprakta nitrat yıkanmasının kontrole göre %2'lik biyoçar uygulamasında %17.0 oranında önemli ölçüde azaldığını, %4 ve %1 biyoçar uygulamalarında ise önemli ölçüde farklılık olmadığını tespit etmişlerdir. Pirinç kabuğu biyoçarını kullanan Ghorbani ve ark.(2019), hem kumlu tın hem killi topraklarda nitrat yıkanmasının önemli oranda ($p < 0.05$) azaldığını belirtmişlerdir.

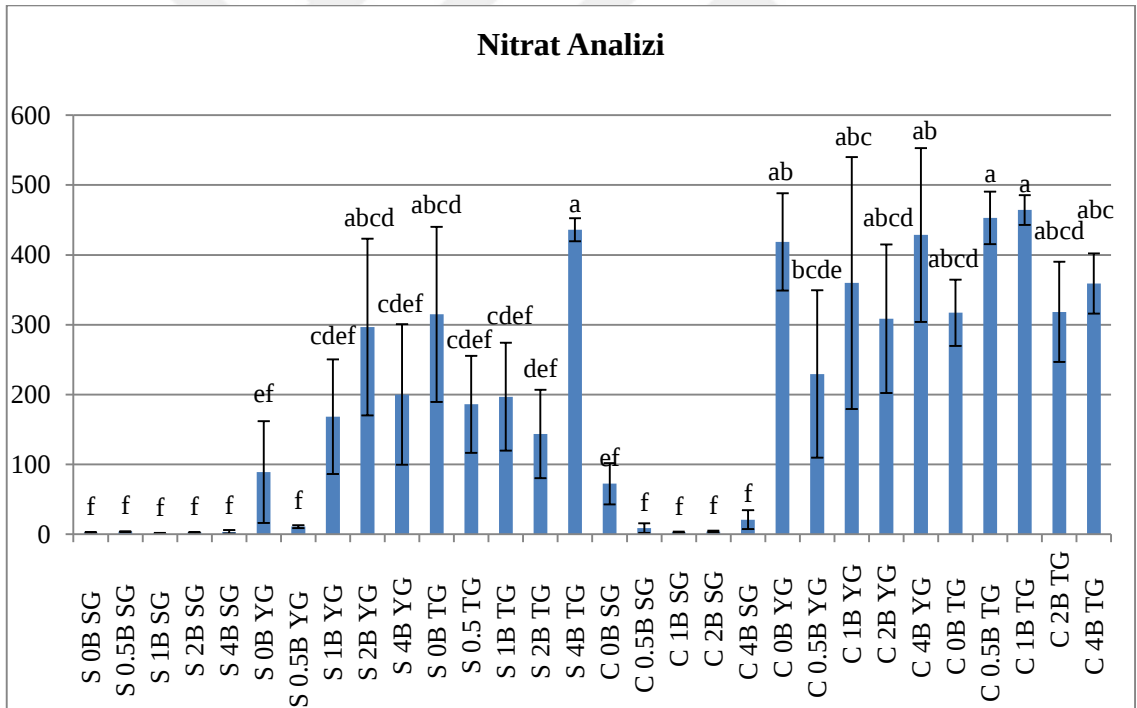


Şekil 4-7. Biyoçar uygulamasının toprakta nitrat yıkanmasına etkisi (1. Sulama)

S: Kumlu Tın, C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre



Şekil 4-8. Biyoçar uygulamasının topraktanitrat yıkanmasına etkisi (2. Sulama)
S: Kumlu Tın, C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre



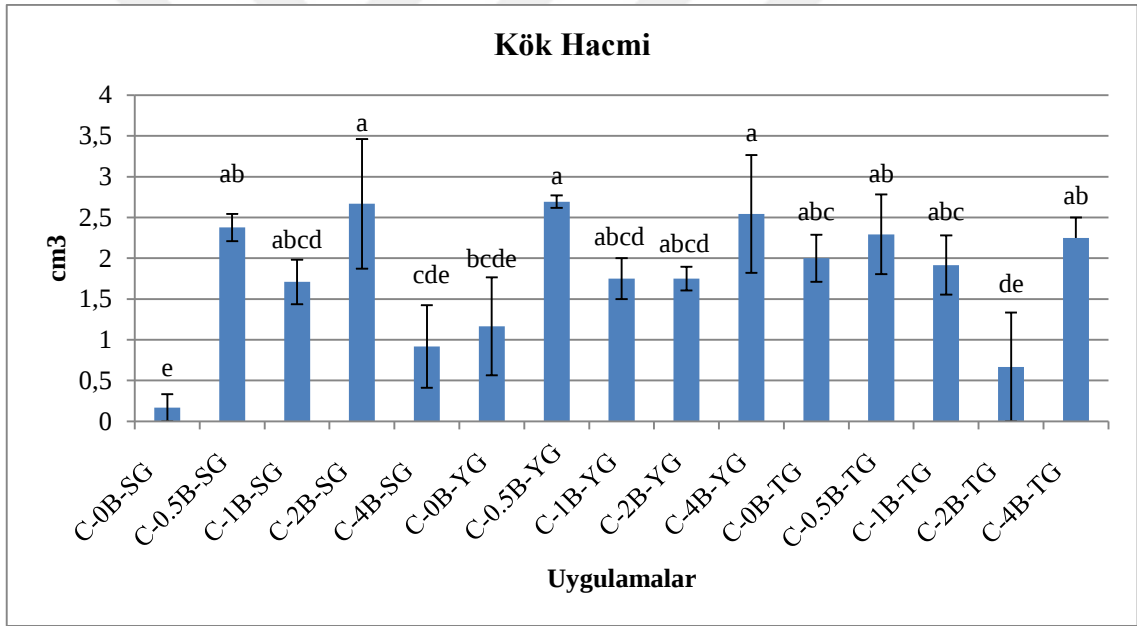
Şekil 4-9. Biyoçar uygulamasının topraktanitrat yıkanmasına etkisi (3. Sulama)
S: Kumlu Tın, C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre

4.3. Farklı Biyoçar Dozlarının Bitki Gelişimine Etkisi

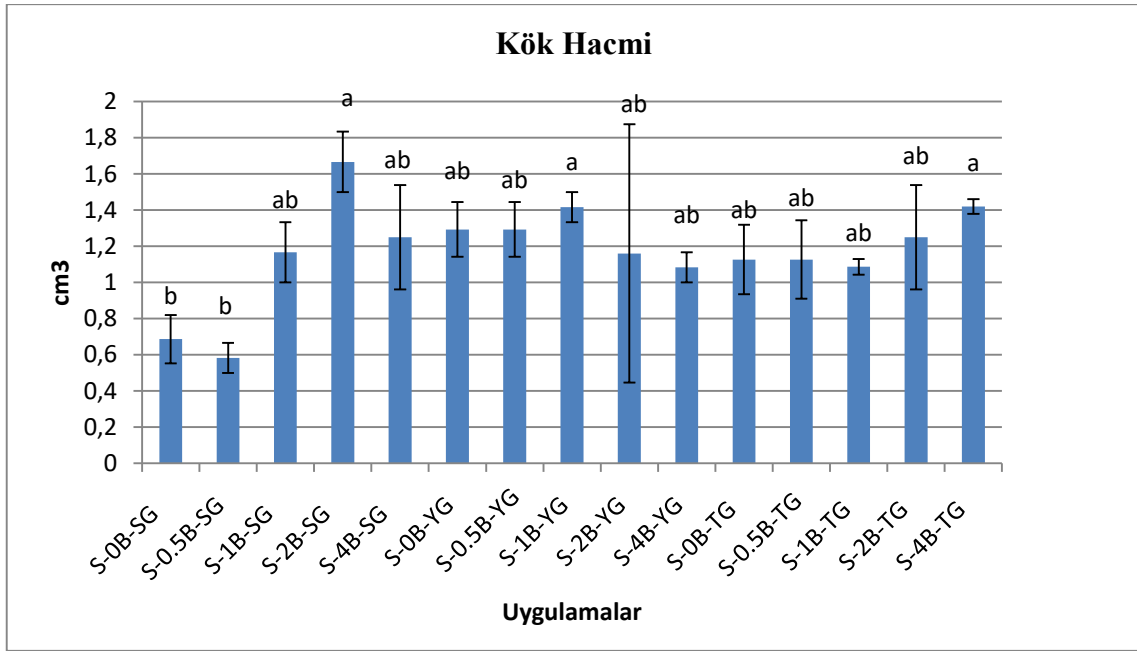
4.3.1. Kök Gelişimine Etkisi

Deneme sonucu elde edilen bulgular, farklı dozlarda uygulanan biyoçarın, bitkinin kök hacminde önemli derecede artış sağladığını ve en önemli farklılıkların killi topraklarda %0.5'lik (Şekil 4.10), kumlu topraklarda ise %2'lik (Şekil 4.11) biyoçar

uygulamalarında gerçekleştiğini göstermiştir. Jabborova ve ark. (2021), kumlu toprağa %1, %2 ve %3'lük biyoçar uygulamaları sonucunda %2'lik ve %3'lük biyoçar uygulamasında fesleğen bitkisinin kök hacminde sırasıyla %35 ve %45 oranında önemli artışın olduğunu bildirmişlerdir. 450 °C'de piroliz edilen pirinç kabuğu biyoçarının kumlu bir toprağa uygulanması sonucunda soya fasulyesinde kök hacmini %60.3, kök yüzey alanını %45.1 oranında arttığı rapor edilmiştir (Zhu ve ark., 2018). Yüksek spesifik yüzey alanına ve çok gözenekli yapıya sahip olan biyoçar ince köklerin oluşumunu arttırmaya yardımcı olmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009). Zira artan ince kökler ve kaba köklerde kök hacminin artışında rol oynayabilmektedir (Zhu ve ark., 2018). Üç yıl boyunca süren bir arazi denemesinde toprağa biyoçar ilave edilmesiyle soya fasulyesinde kök hacminin %31.91 oranında artması yansıra kök yüzey alanı ve kök uzunluğunda da önemli artış görüldüğü bildirilmiştir (Wu ve ark. 2022).

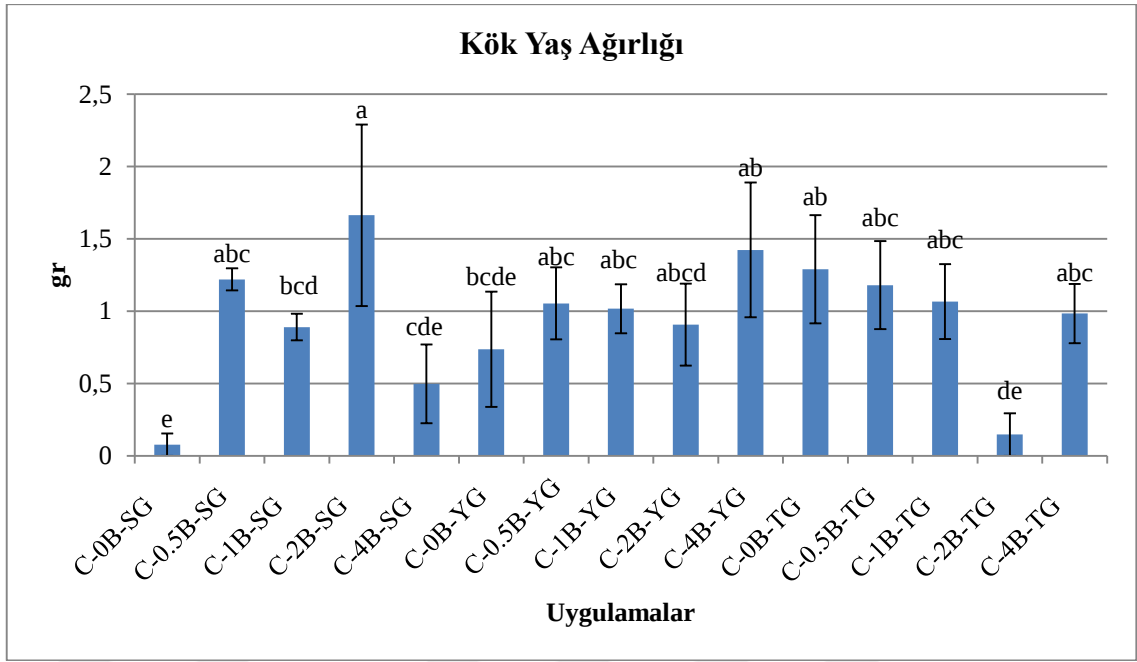


Şekil 4-10. Biyoçar uygulamasının killi toprakta kök hacmine etkisi
C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarı gübre; TG; Tam Gübre

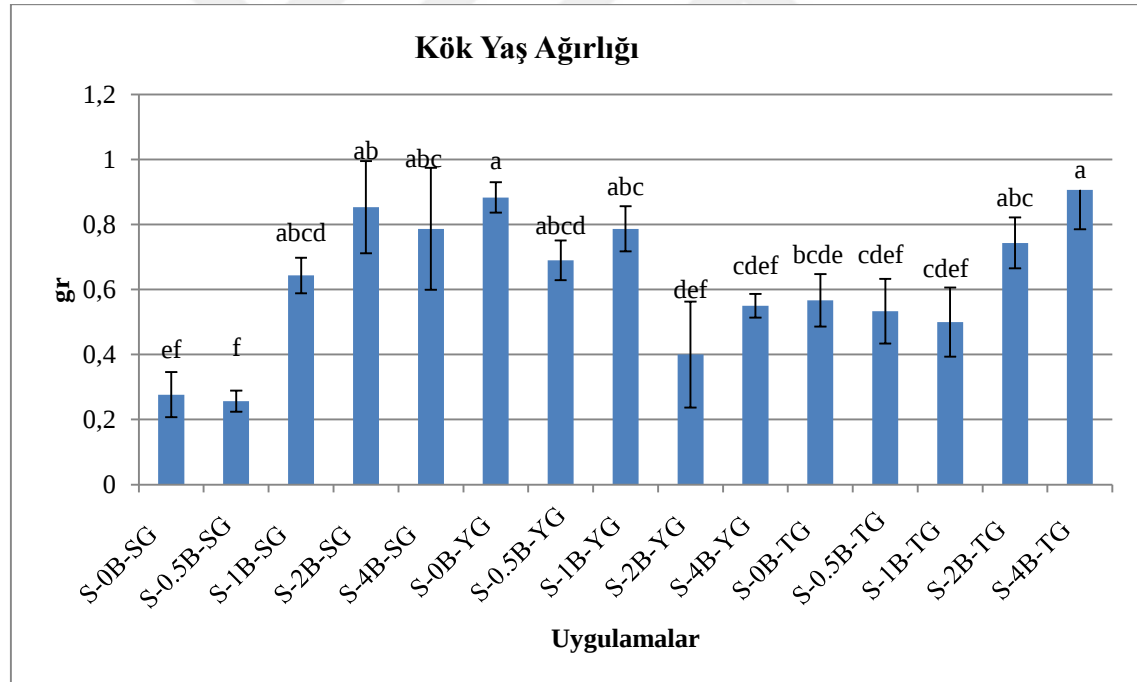


Şekil 4-11. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta kök hacmine etkisi
S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre

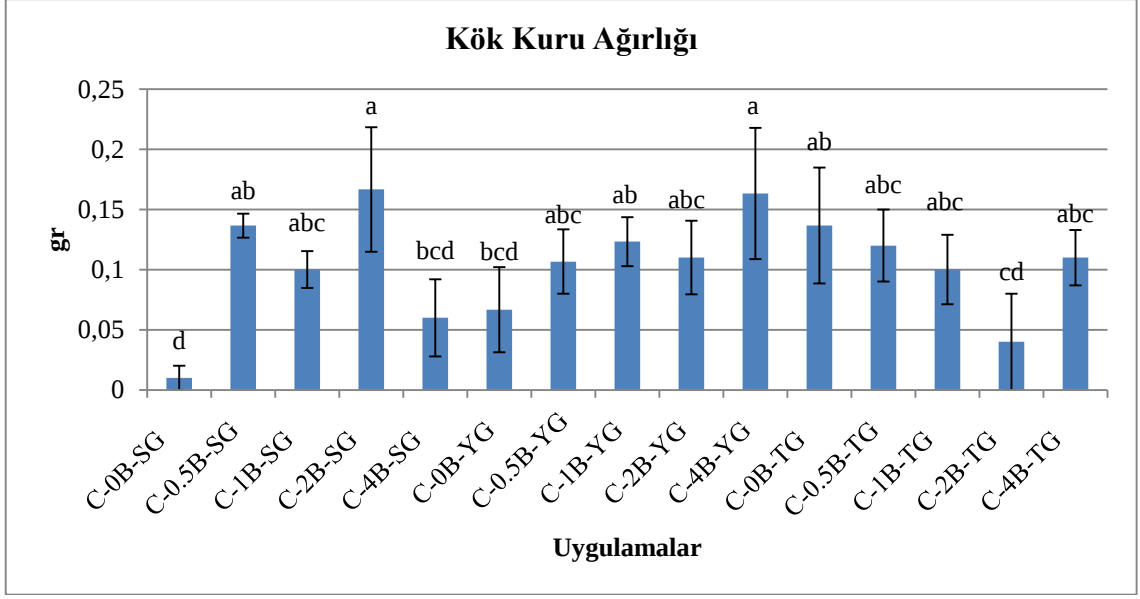
Farklı dozlarda uygulanan biyoçarın, bitkinin kök yaş ağırlığında ve kök kuru ağırlığında önemli derecede artış sağlamıştır ve en önemli farklılıkların killi topraklarda kök yaş ve kök kuru ağırlığında %2'lik (Şekil 12-14), kumlu topraklarda ise kök yaş ve kök kuru ağırlığında %4'lük (Şekil 13-15) biyoçar uygulamalarında gerçekleşmiştir. Jabborova ve ark. (2021), sera denemesinde odunsu biyoçarı saksı topraklarına uygulaması sonucunda kök yaş ağırlığında %56 ve kök kuru ağırlığında %52 artışın olduğunu bildirmişlerdir. Farhangi-Abriz ve Torabian. (2017), tuz stresi altında yetişen fasulye fidelerine, ağaç atıkları biyoçarını kullanarak kök kuru ağırlığın önemli oranda arttığını belirtmişlerdir. Kumlu tınlı toprağa asma biyoçarı kullanan Videgain-Marco ve ark. (2020), biyoçarın bitkinin kök kuru ağırlığında önemli ($p < 0.05$) bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Benzer şekilde Prapagdee ve ark. (2017) biyoçar uygulaması ile kök yaş ağırlığını ve kuru ağırlığının önemli derecede arttığını rapor etmişlerdir. Biyoçarın doğrudan köklerle temas etmesi (Prendergast-Miller ve ark., 2014) kök özelliklerini etkiler ve kök büyümesini sağlayabilir (Albuquerque ve ark., 2015). Çalışma sonucunda %0, %2 ve %4 biyoçar uygulamalarının bitki kök gelişimine olan etkileri incelenmiş ve özellikle hem % 2 hem de % 4 biyoçar uygulamalarının kontrol bitkisine göre hem kumlu tınlı hemde killi topraklarda daha fazla bir kök büyümesi ve hacmine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 16-21).



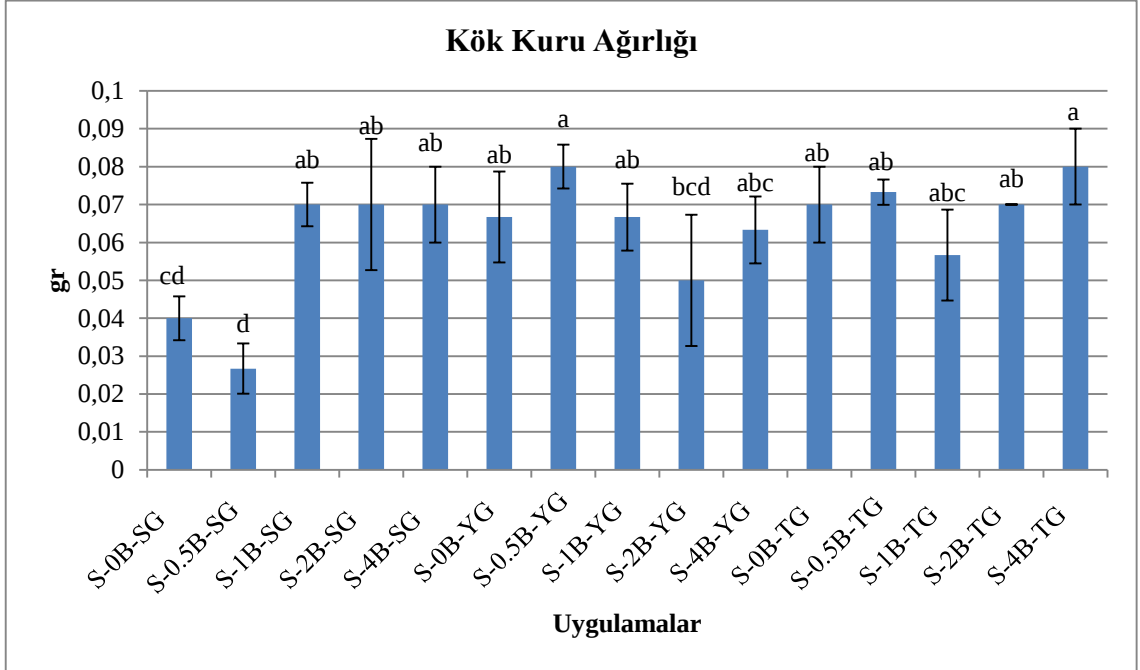
Şekil 4-12. Biyoçar uygulamasının killi toprakta kök yaş ağırlığına etkisi
C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre



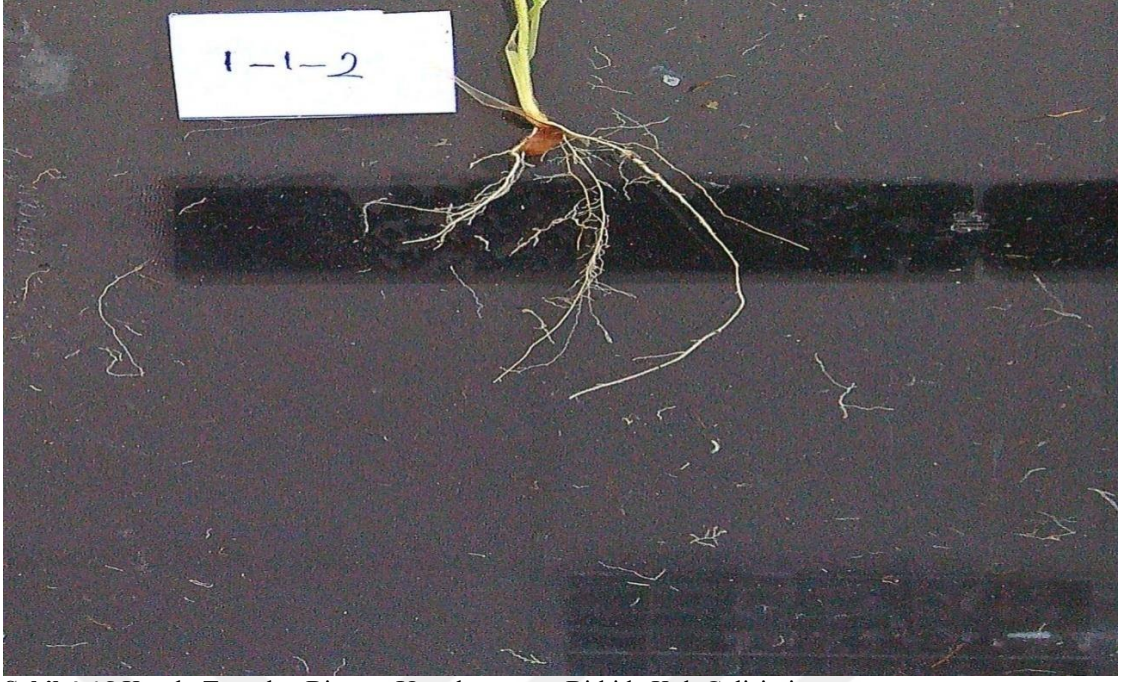
Şekil 4-13. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta kök yaş ağırlığına etkisi
S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre



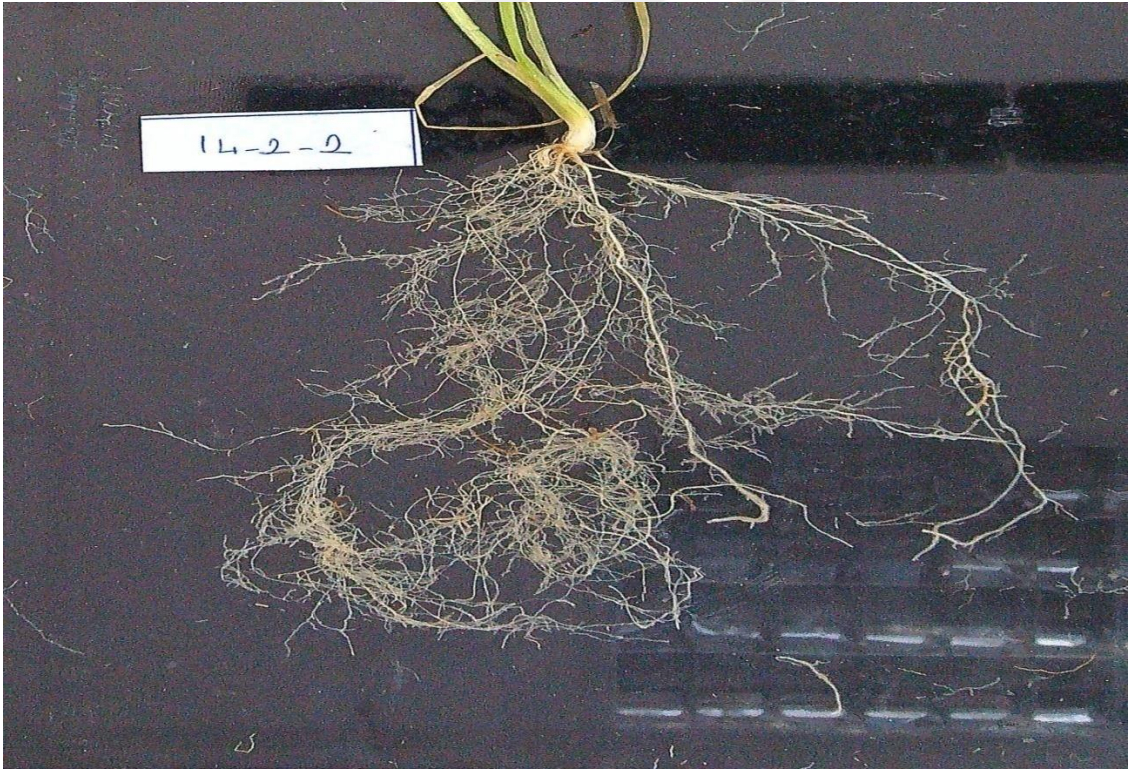
Şekil 4-14. Biyoçar uygulamasının killi toprakta kök kuru ağırlığına etkisi
C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre



Şekil 4-15. Biyoçar uygulamasının kumlu tın topraktakök kuru ağırlığına etkisi
S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre



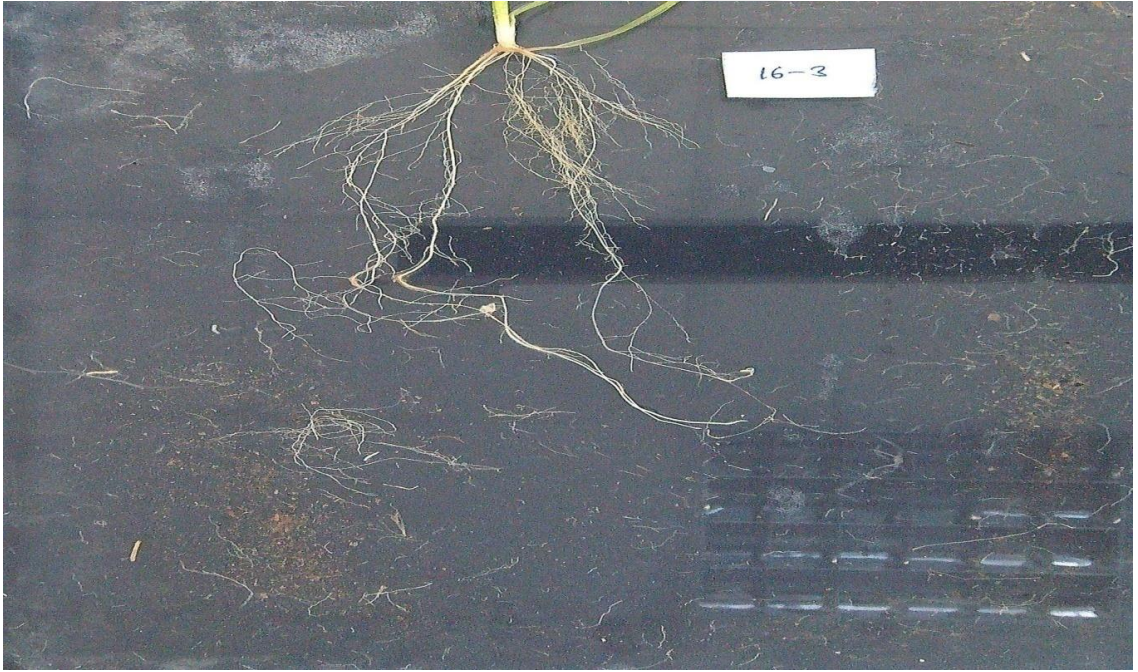
Şekil 4-16. Kumlu Toprakta Biyoçar Uygulanmayan Bitkide Kök Gelişimi



Şekil 4-17. Kumlu Toprakta %2 Biyoçar Uygulanan Bitkide Kök Gelişimi



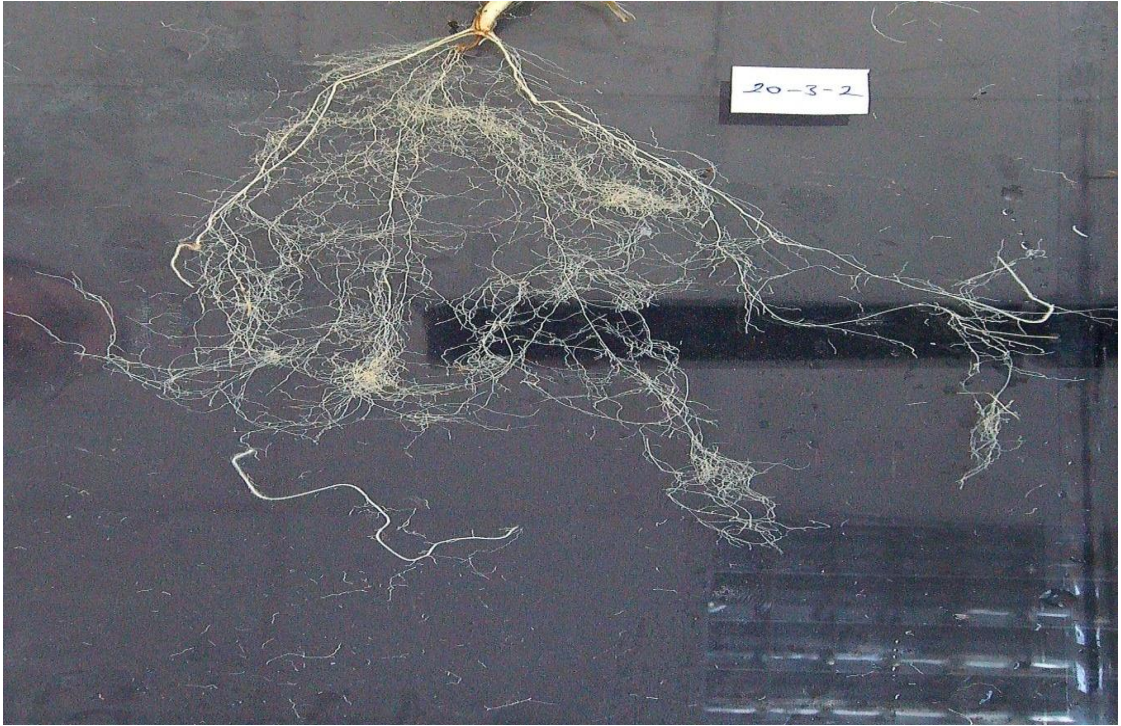
Şekil 4-18. Kumlu Toprakta %4 Biyoçar Uygulanan Bitkide Kök Gelişimi



Şekil 4-19. Killi Toprakta Biyoçar Uygulanmayan Bitkide Kök Gelişimi



Şekil 4-20. Killi Topraklarda %2 Biyoçar Uygulanan Bitkide Kök Gelişimi

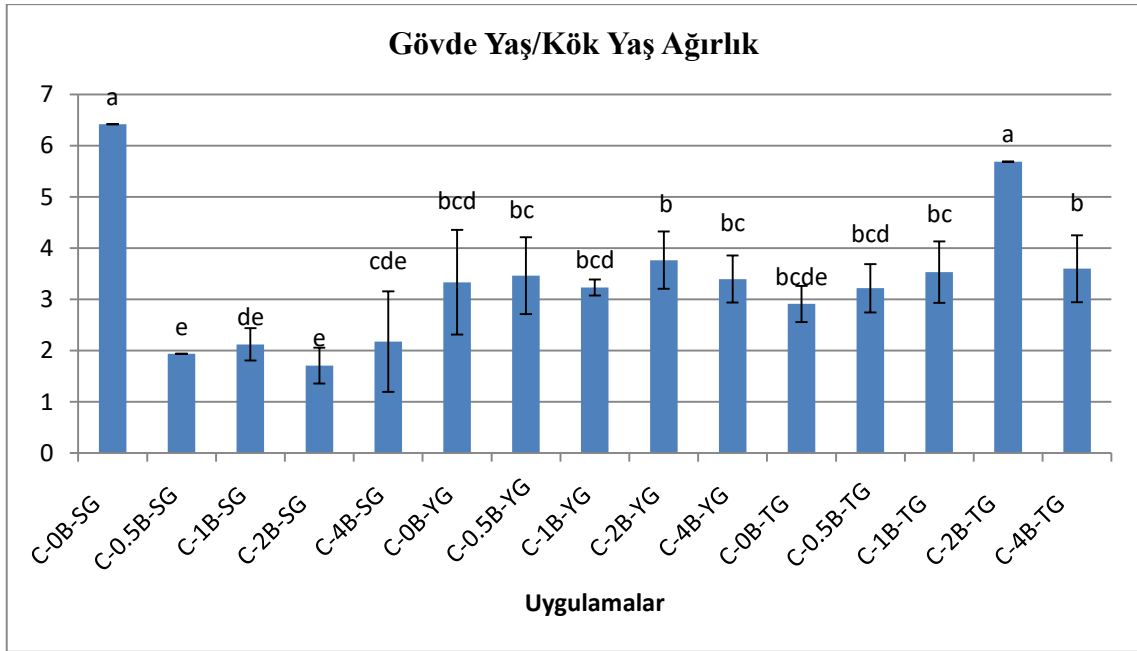


Şekil 4-21. Killi Topraklarda %4 Biyoçar Uygulanan Bitkide Kök Gelişimi

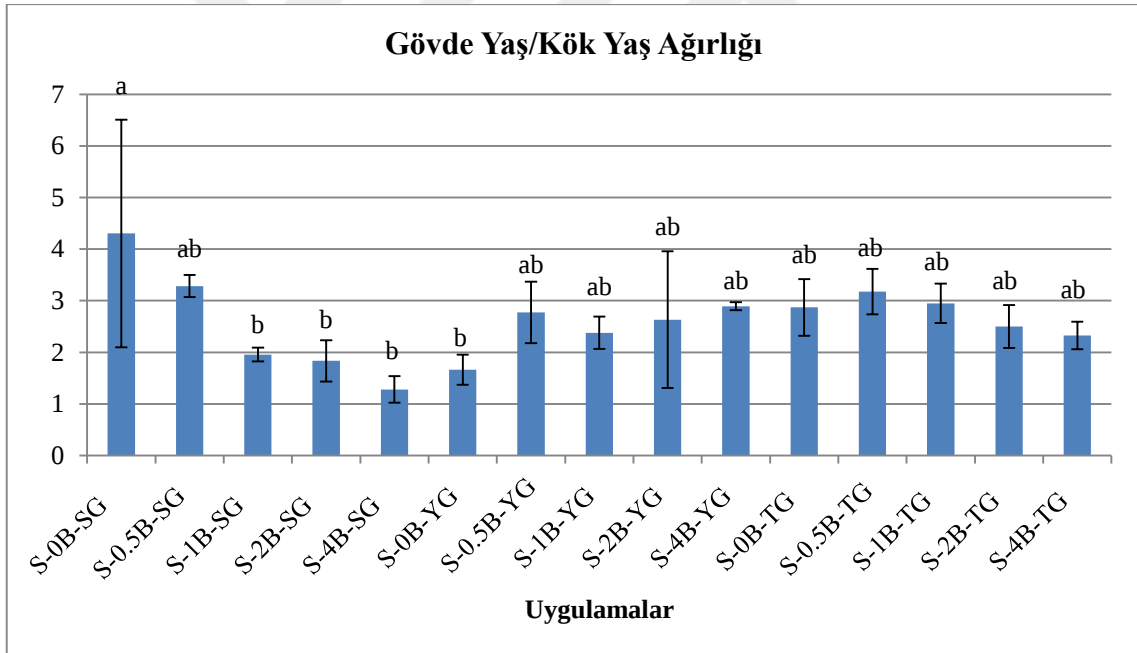
Araştırma sonucunda killi topraklarda, gövde yaş/kök yaş ağırlığında önemli farklılık %2'lik biyoçar ve yarım gübreleme doz uygulamalarında görülmüştür (Şekil 4.22). Kumlu topraklarda gövde yaş/kök yaş ağırlığında 0.5'lik biyoçar ve tam gübreleme dozunda farklılık oluşmuştur (Şekil 4.23). Gövde kuru/kök kuru ağırlığında ise %1'lik biyoçar ve tam gübreleme doz uygulamasında artış göstermiştir (Şekil 4.24).

Killi topraklarda ise gövde kuru/kök kuru ağırlığı incelendiğinde LSD çoklu karşılaştırma istatistiksel analizde tam gruplanma görülmemiştir (Tablo 4.1) Fakat 0B-SG doz uygulaması tüm biyoçar ve gübre uygulamaları ile istatistiksel farklılık oluşturmuştur. 0.5B-SG doz uygulamaları ise 0B-YG, 0.5B-YG, 1B-YG, 2B-YG, 4B-YG, 0B-TG, 0.5B-TG, 1B-TG, 2B-TG, 4B-TG biyoçar ve gübre dozları ile istatistiksel farklılık oluşturmuştur. 1B-SG uygulamaları incelendiğinde 0B-YG, 0.5B-YG, 1B-YG, 2B-YG, 4B-YG, 0B-TG, 0.5B-TG, 1B-TG, 2B-TG, 4B-TG doz uygulamalarında istatistiksel farklılık gerçekleştiği görülmektedir. 2B-SG istatistiksel olarak değerlendirildiğinde 0B-YG, 0.5B-YG, 1B-YG, 2B-YG, 4B-YG, 0B-TG, 0.5B-TG, 1B-TG, 2B-TG, 4B-TG uygulamaları ile farklılık oluşturulduğu görülmektedir. 4B-SG uygulamalarının bulguları incelendiğinde 0B-YG, 1B-YG, 2B-YG, 4B-YG, 0B-TG, 0.5B-TG, 1B-TG, 4B-TG uygulamaları ile istatistiksel farklılık gözlemlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında biyoçar uygulamasının sadece toprak altı aksamda ya da sadece toprak üstü aksamda yoğunlaşabildiği görülmektedir. Simiele ve ark. (2022), siltli tınlı toprağa biyoçar kullanarak fidelerde gövde/kök ağırlık oranının kontrol grubuna göre yaklaşık iki kat artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Sera denemesinde Hashemi ve ark. (2017), 350 °C’de piroliz edilen badem atığı biyoçarı kullanarak gövde kuru/kök kuru ağırlığında önemli bir fark olduğunu tespit etmişlerdir. Kumlu toprağa, odun biyoçarı uygulayan Sefiddashti (2012), buğday bitkisinde en yüksek gövde/kök ağırlığının en düşük biyoçar (0.23) dozunda gerçekleştiğini rapor etmiştir. Zira Abiven ve ark. (2015) Zambiyada toprak üretkenlik kapasitesi azalmış olan farklı topraklara hektara 4 ton mısır koçanlarından üretilmiş biyoçar uygulamışlardır. Araştırmacılar biyoçarın kök sistem boyutunda ve gövde/kök oranında önemli artışların olduğunu bildirmiştir.

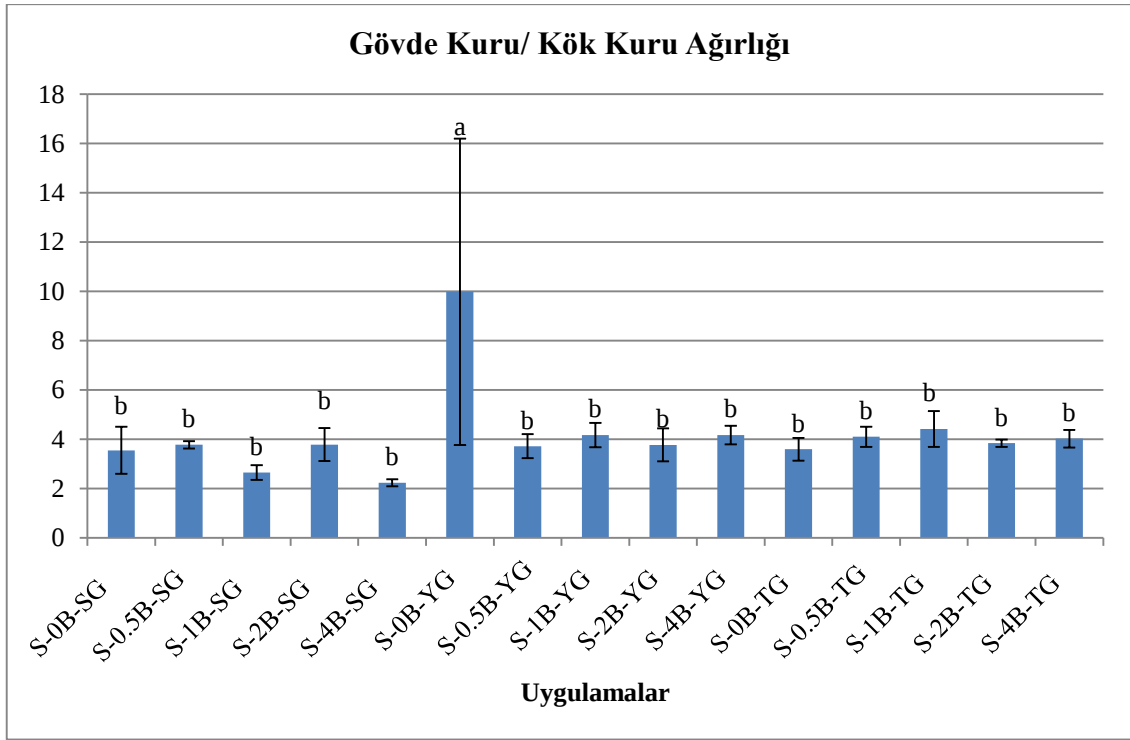
İyi bir kök gelişimi için toprak özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Organik atıkların piroliz edilmesiyle elde edilen biyoçarın toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek toprak verimliliğini artırdığı dolayısı ile de kök gelişimi ve bitki gelişimi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu rapor edilmiştir (Günel, 2018; Günel ve Erdem, 2018; Wang ve ark., 2018; Zhu ve ark., 2018; Jin ve ark., 2019; Feng ve ark., 2021).



Şekil 4-22. Biyoçar uygulamasının killi toprakta gövde yaş/kök yaş ağırlığına etkisi
C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre



Şekil 4-23. Biyoçar uygulamasının bitkinin gövde yaş/kök yaş ağırlığına etkisi
S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre



Şekil 4-24. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta gövde kuru/kök kuru ağırlığına etkisi
S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre

Tablo 4.1. Biyoçar uygulamasının killi toprakta gövde yaşı/kök kuru ağırlığına etkisi

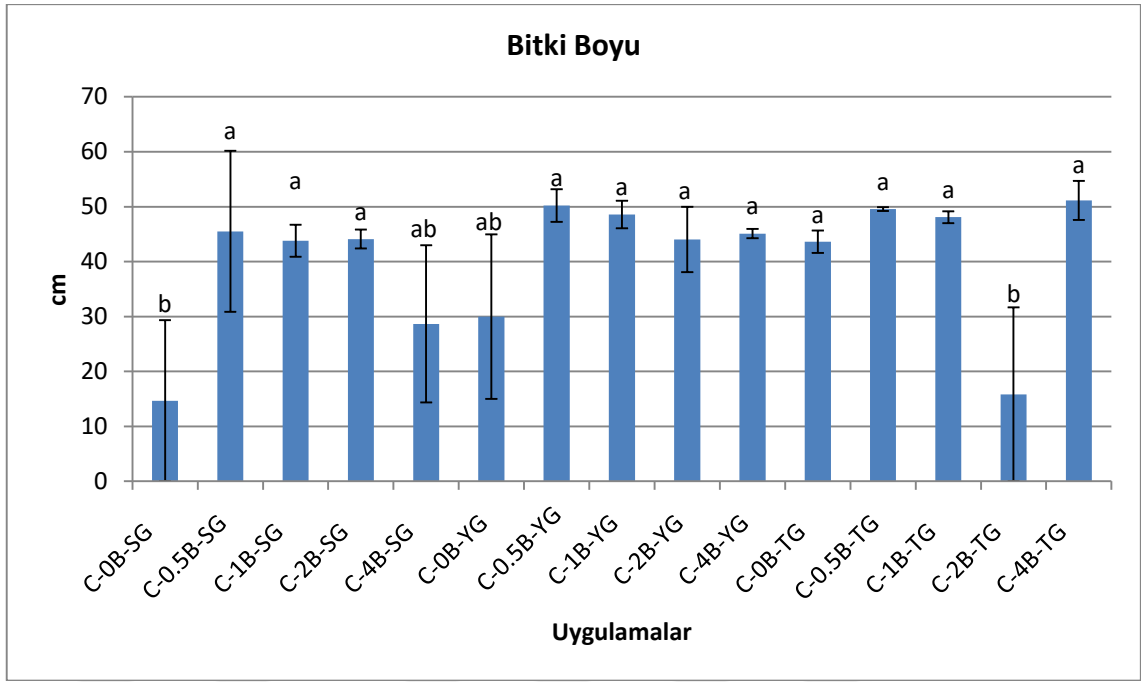
UYGULAMA	C-0B-SG	C-0.5B-SG	C-1B-SG	C-2B-SG	C-4B-SG	C-0B-YG	C-0.5B-YG	C-1B-YG	C-2B-YG	C-4B-YG	C-0B-TG	C-0.5B-TG	C-1B-TG	C-2B-TG
C-0.5B-SG	4.30*													
C-1B-SG	4.06*	0.24												
C-2B-SG	4.56*	0.26	0.50											
C-4B-SG	4.08*	0.22	0.02	0.48										
C-0B-YG	2.19*	2.11*	1.87*	2.38*	1.89*									
C-0.5B-YG	2.27*	2.03*	1.79*	2.30*	1.81*	0.08								
C-1B-YG	2.65*	1.65*	1.41*	1.91*	1.43	0.46	0.38							
C-2B-YG	2.44*	1.85*	1.62*	2.12*	1.64*	0.26	0.18	0.20						
C-4B-YG	2.51*	1.79*	1.55*	2.05*	1.57*	0.32	0.24	0.14	0.07					
C-0B-TG	2.32*	1.98*	1.74*	2.24*	1.76*	0.13	0.05	0.33	0.13	0.19				
C-0.5B-TG	2.17*	2.13*	1.89*	2.39*	1.91*	0.02	0.10	0.48	0.28	0.34	0.15			
C-1B-TG	1.72	2.58*	2.34*	2.84*	2.36*	0.47	0.55	0.93	0.72	0.79	0.60	0.45		
C-2B-TG	2.45*	1.85	1.61	2.12*	1.63	0.26	0.18	0.20	0.00	0.06	0.13	0.28	0.73	
C-4B-TG	2.00*	2.09*	1.85*	2.35*	1.87*	0.02	0.06	0.44	0.23	0.30	0.11	0.04	0.49	0.24

C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre

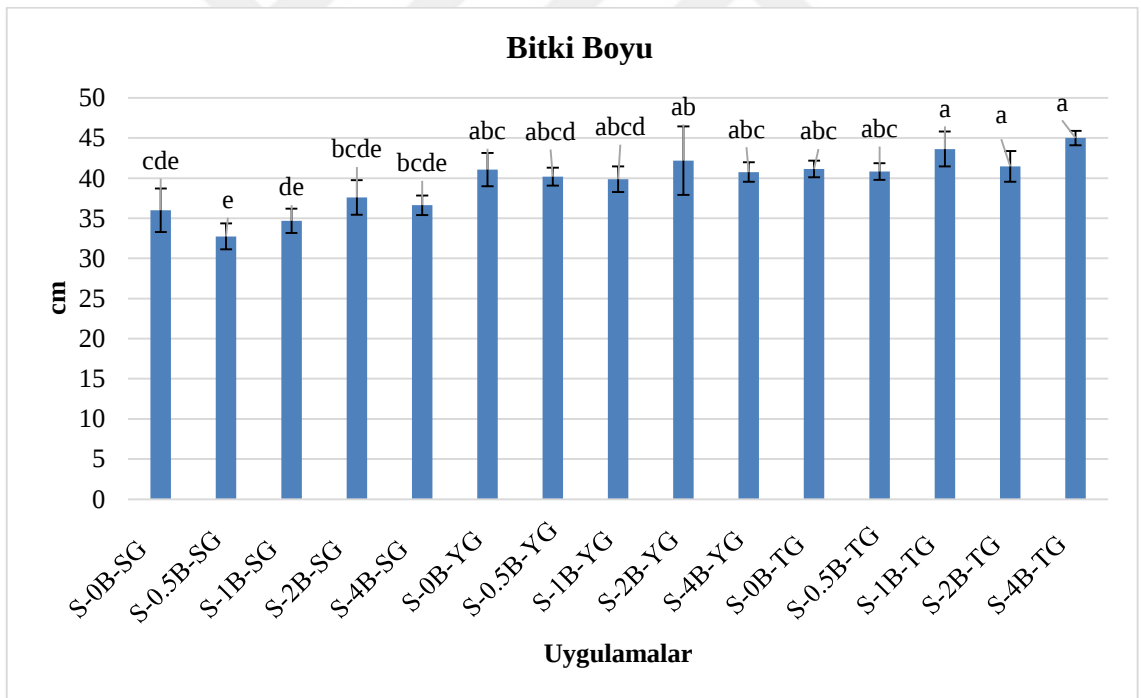
4.3.2. Bitkinin toprak üstü aksamalarının gelişimine etkisi

Farklı dozlardaki biyoçar ile gübrelemenin bitkinin boyuna olan etkisini değerlendirmek için elde edilen veriler Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'de verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen verilere göre killi topraklarda Şekil (4.25) ve kumlu topraklarda Şekil (4.26), bitki boyunda en önemli artış %4'lük biyoçar uygulamasıyla gerçekleşmiştir. Chen ve ark. (2021), pirinç atıklarından oluşan biyoçarı toprağa uyguladıktan sonra pirinç bitkisinde, artan biyoçar dozları ile bitki boyunun 2.88-13.64 cm artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Saksı denemelerinde pirinç kabuğu biyoçarı kullanan Carter ve ark. (2013), gübreleme ve biyoçar uygulanan saksılarda bitki boyunda önemli oranda artış olduğunu rapor etmişlerdir. Biyoçar, negatif yüzey yüküne ve yüksek spesifik yüzey alanına sahip olması nedeni ile besin elementlerinin tutumunu sağladığından bitki gelişimine önemli etki edebilmektedir (Chan ve Xu, 2009; Li ve ark., 2017). Nitekim Pfister ve Saha. (2017) asidik bir toprağa biyoçar ve gübre uygulaması sonucunda ayçiçeğinde bitki boyunun %11 artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

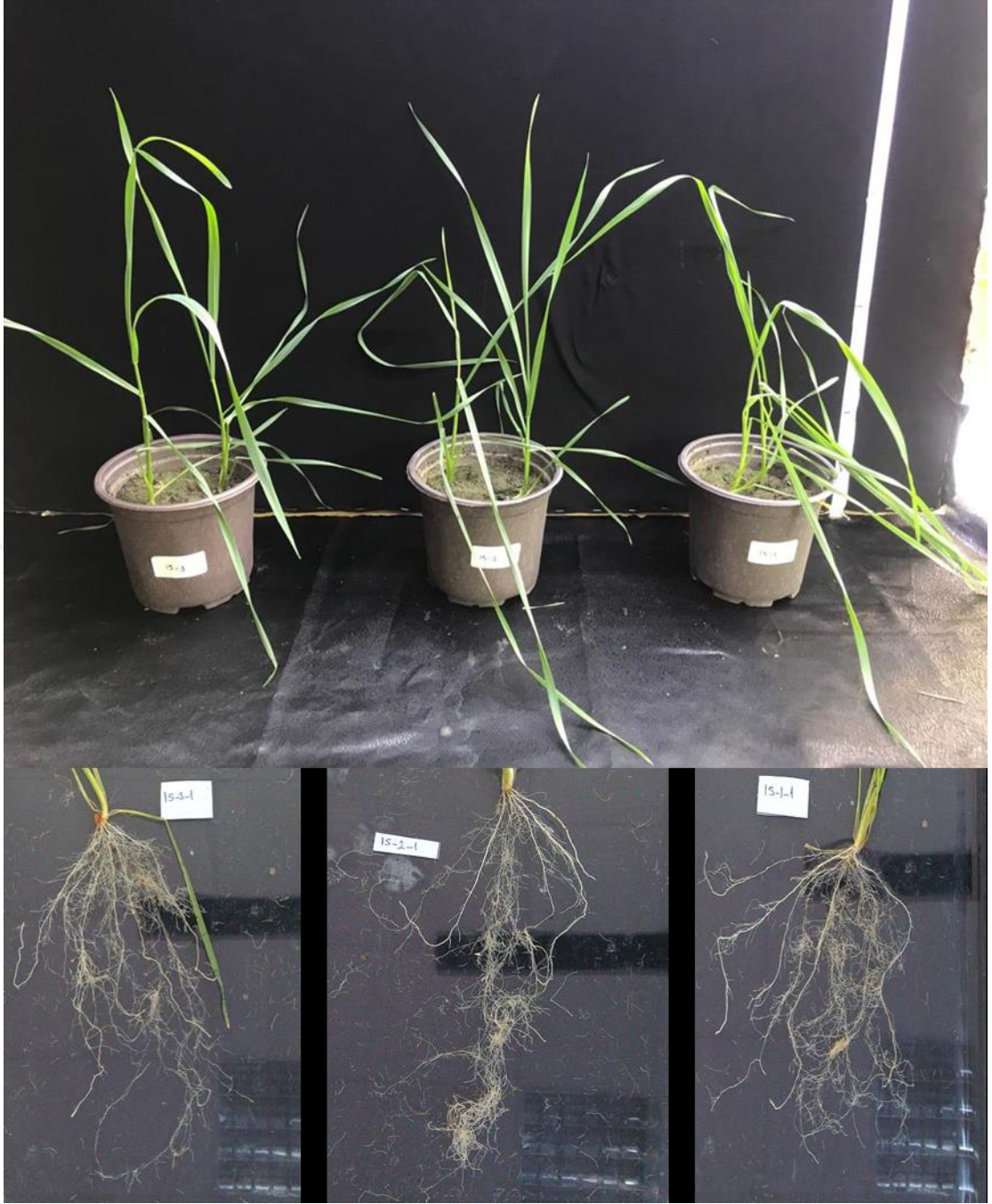
Tez çalışması kapsamında biyoçarın toprak altı ve üstü aksamalarına olan etkisini net bir şekilde görmek için bitki boyu ve kökleri taranmış ve görseller karşılaştırılmıştır (Şekil 27-29). Nitekim hem Şekil 27 (kumlu tınlı toprak), hemde Şekil 28 (killi toprak) incelendiğinde biyoçar uygulamalarının bitki kök gelişimini ve bitki boyunu artırdığı görülecektir. Ayrıca killi topraklarda biyoçar uygulanamayan saksılara (Şekil 29) kök gelişiminin zayıf kaldığı buna bağlı olarak bitki boyunun biyoçar uygulananlara göre daha az olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4-25. Biyoçar uygulamasının killi toprakta bitki boyuna etkisi
C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre



Şekil 4-26. Biyoçar uygulamasının kumlu tın bitki boyuna etkisi
S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre



Şekil 4-27. Kumlu Topraklarda %4 Biyoçar Uygulamasının Bitki ve Kök Gelişimi

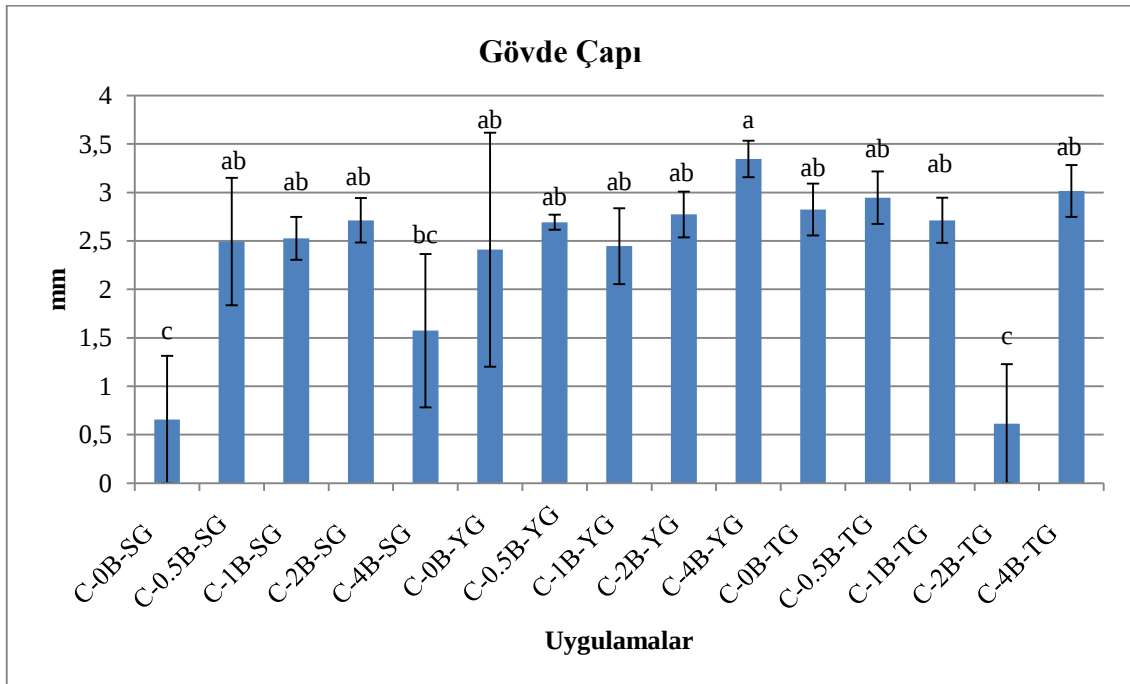


Şekil 4-28. Killi Topraklarda %2 Biyoçar Uygulamasının Bitki ve Kök Gelişimi

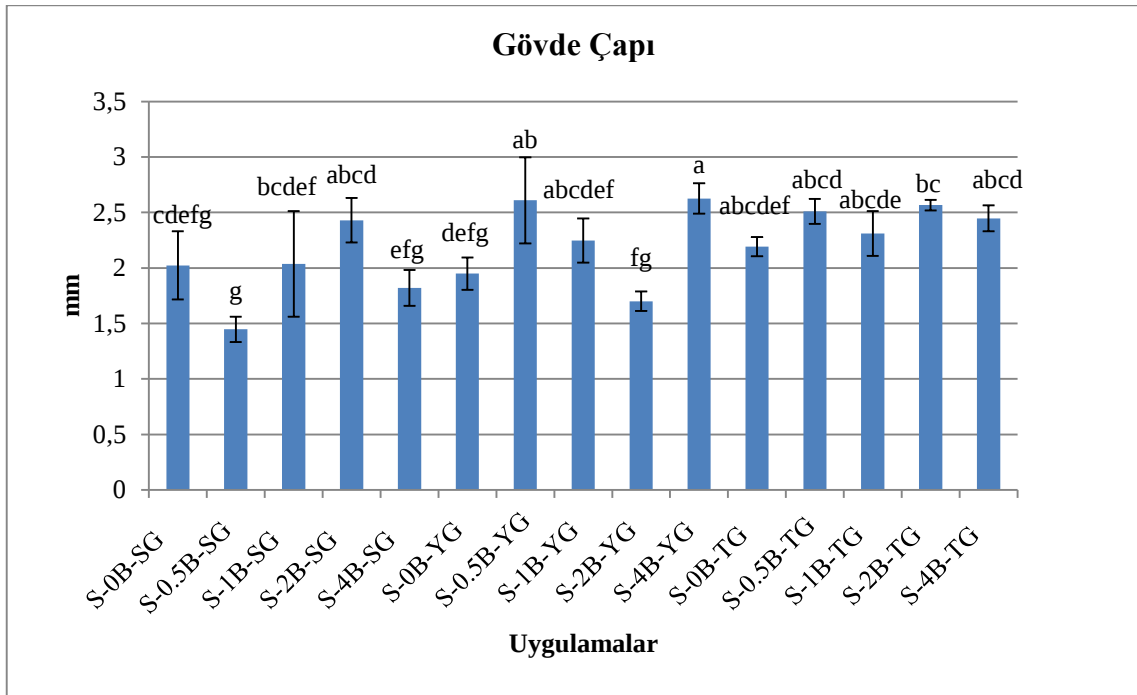


Şekil 4-29.Biyoçar Uygulanmayan Killi Toprakta Bitki ve Kök Gelişimi

Deneme sonrası saksılardan alınan killi ve kumlu toprak çeşitlerine, beş farklı biyoçar dozu ve üç farklı gübre dozu uygulanmış ve elde edilen bitki gövde çaplarına ait veriler Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de verilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular killi ve kumlu tınlı topraklarda gövde çapı artışının %4’lük biyoçar uygulamalarında önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Gövde çapı, biyoçar ile pozitif yönlü bir etkileşim kurarak bitki beslemede biyoçarın alternatif bir ürün olarak kullanacağını doğrulamıştır (Günel 2018). Zira Fagbenro ve ark. (2013), talaş tozundan elde edilen biyoçar uygulaması ile fidelerde gövde çapında önemli bir artışın olduğunu rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Silva ve ark. (2020), biyoçar uygulamasıyla domates bitkisinde gövde çapında önemli oranda artışın gerçekleştiğini bildirilmişlerdir. Su stresine maruz kalan meşe fidelerine, ağaç atıklarından elde edilmiş biyoçarı uygulayan Zoghi ve ark. (2019), gövde çapının kontrol grubuna göre önemli ölçüde arttığını ($p < 0.01$) rapor etmişlerdir. Biyoçar bitkiye sağladığı besin elementi ve su ile bitki gelişimine önemli oranlar da katkı sunmaktadır. Nitekim on üç hafta süren bir çalışmada Fagbenro ve ark. (2015), kumlu toprağa biyoçar ve inorganik gübre uygulayarak gövde çapında önemli ölçüde artış ($p < 0.05$) olduğunu bildirmişlerdir. Dört yıl süren bir elma bahçesi denemesinde yeşil ağaç atıklarından oluşan biyoçarı kullanan Eyles ve ark. (2015), gövde çapında birinci yıl sonunda %10 artış olduğunu, üçüncü yıl etkilenmediği ancak dördüncü yılda %9 artış görüldüğünü bildirmişlerdir.



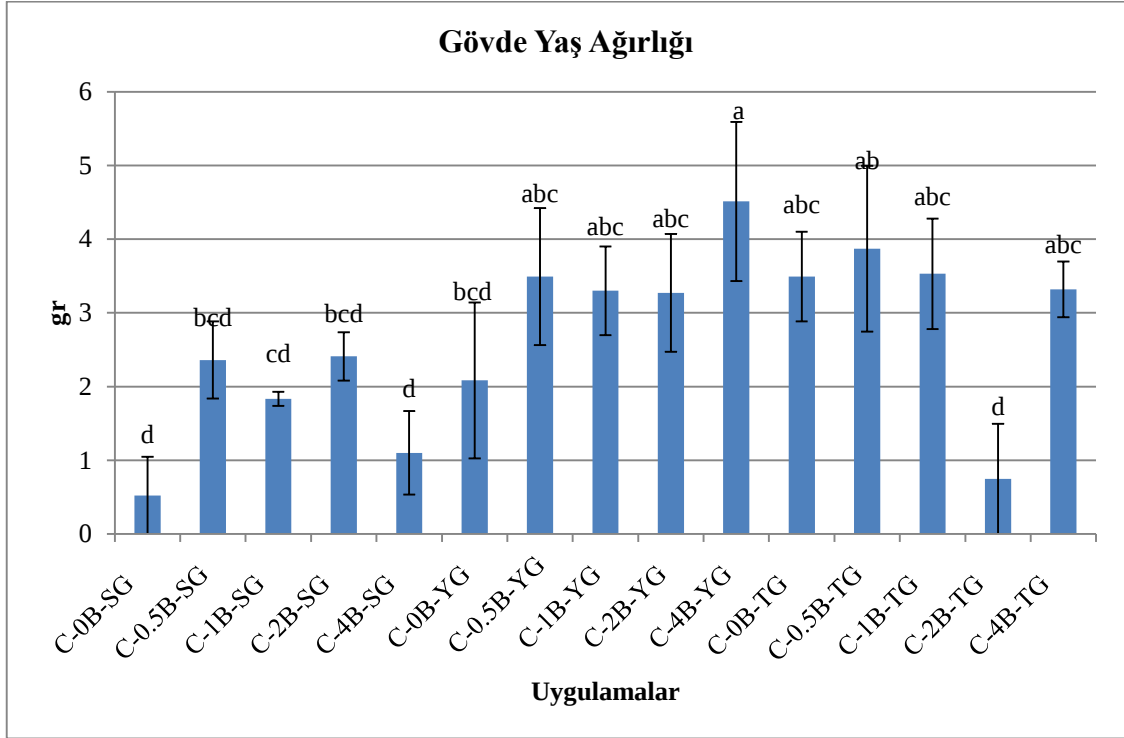
Şekil 4-30. Biyoçar uygulamasının killi toprakta gövde çapına etkisi
C: Killi, B: Biyoçar, SG: Sıfır gübre; YG: Yarım gübre; TG: Tam Gübre



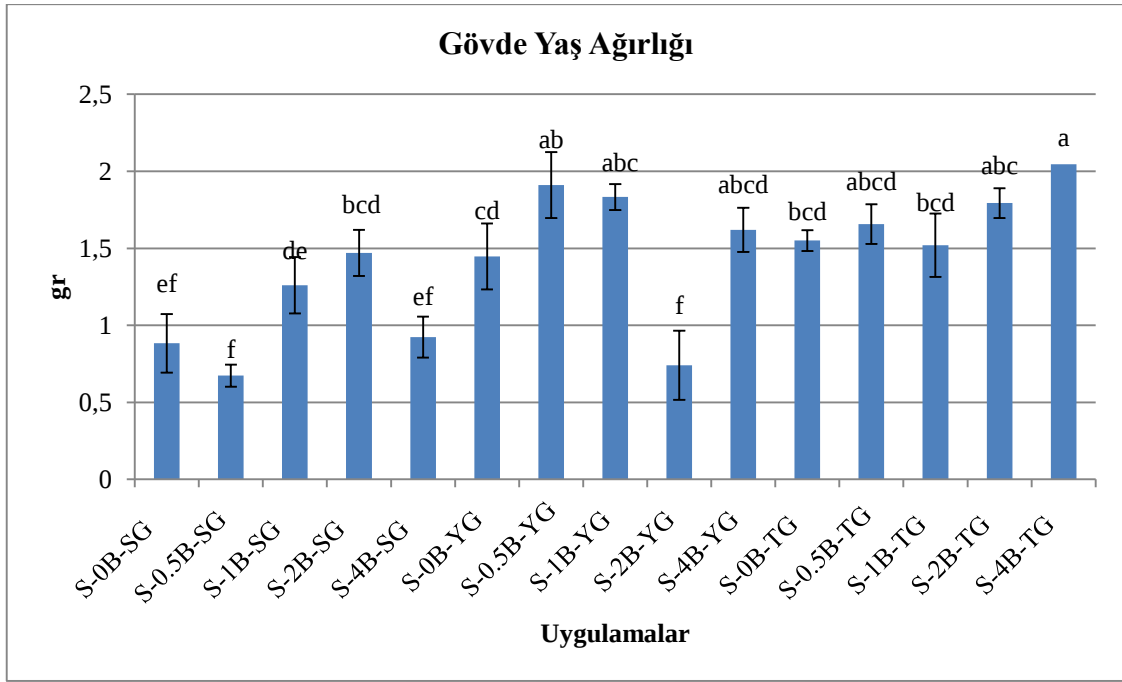
Şekil 4-31. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta gövde çapına etkisi
S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre

Araştırma bulguları killi (Şekil 4.32) ve kumlu (Şekil 4.33) topraklarda %4 biyoçar doz uygulamalarının gövde yaş ağırlığını önemli düzeyde etkilediğini göstermiştir. Gövde kuru ağırlığı incelendiğinde, killi topraklarda %4 biyoçar uygulamalarının istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu (Şekil 4.34), kumlu topraklarda ise biyoçar doz uygulamalarının istatistiksel olarak önemli fark oluşturmadığı görülmüştür (Şekil 4.35). Jaaf ve ark. (2022) tarafından yürütülen bir çalışmada kümes altlığı ve mısır koçanı biyoçarı kullanılarak biberde gövde yaş ve gövde kuru ağırlığında önemli ölçüde ($P < 0.01$) artış olduğunu bildirmiştir. Ağır metal kirliliğine maruz kalan toprağa Lebrun ve ark. (2018) odun ve ağaç atıklardan oluşan biyoçar uygulaması sonucunda bitkide artan biyoçar dozlarıyla gövde kuru ağırlığında önemli artış görüldüğünü rapor etmişlerdir. Benzer bir çalışmada ağır metal stresinde yetişen pamuk bitkisi toprağına biyoçar kullanan Zhu ve ark. (2020), kontrol grubuna göre biyoçar uygulanan bitkide gövde kuru ağırlığının %3.22 oranında arttığını belirtmişlerdir. Biyoçar uygulamaları toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek toprak verimliliğini artırır ve dolayısıyla bitkisel üretkenliğe fayda sağlamaktadır (Günel, 2018; Günel ve Erdem, 2018; Wang ve ark., 2018; Jin ve ark., 2019; Chen ve ark., 2020). Nitekim Prapagdee ve Tawinteung (2017) bitki sap atıkları biyoçarı kullanarak, toprak verimliliğinin arttığını ve yeşil fasulyede gövde yaş ve gövde kuru

ağırlığında önemli artış görüldüğünü belirtmişlerdir. Bir başka çalışmada ise Majeed ve ark. (2018) kavak ağacı biyokütlesinden elde edilen biyoçarın mısırdaki gövde kuru ağırlığında önemli düzeyde bir artış olduğu bildirilmiştir. 120 gün boyunca süren saksı denemesinde limon otu biyoçarı kullanan Saha ve ark. (2019) toprak özelliklerinin iyileşmesi sonucunda gövde kuru ağırlığında ve kök kuru ağırlığında önemli düzeyde etki olduğunu açıklamışlardır.

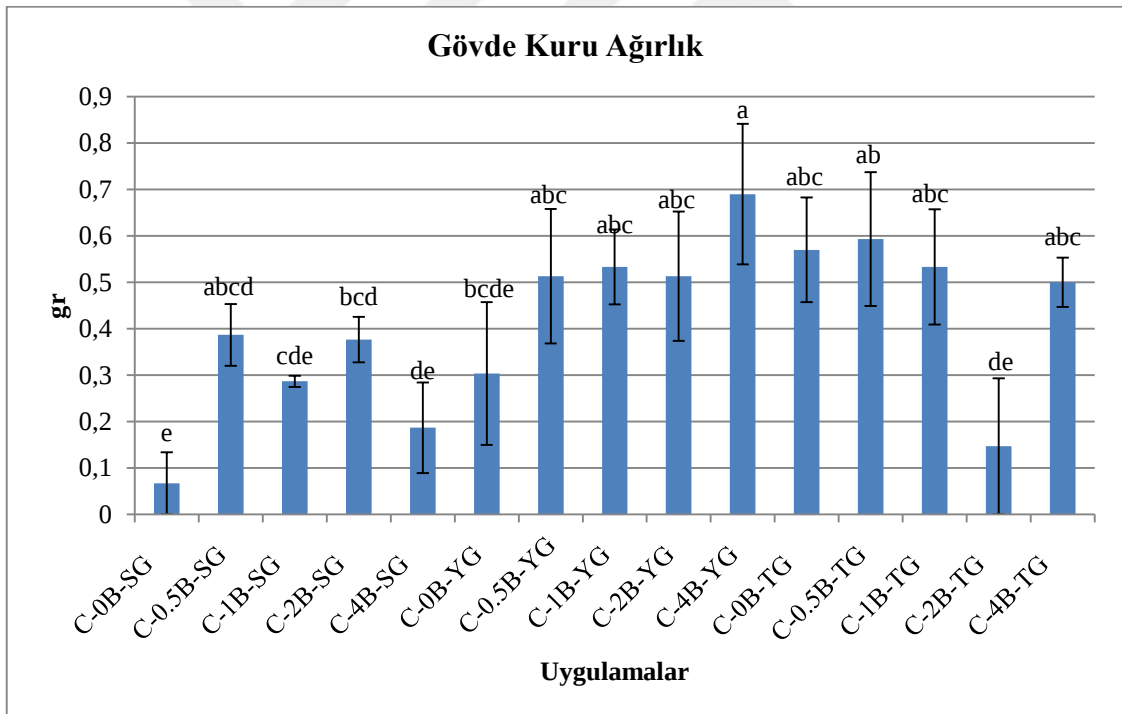


Şekil 4-32. Biyoçar uygulamasının killi toprakta gövde yaş ağırlığına etkisi
S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre



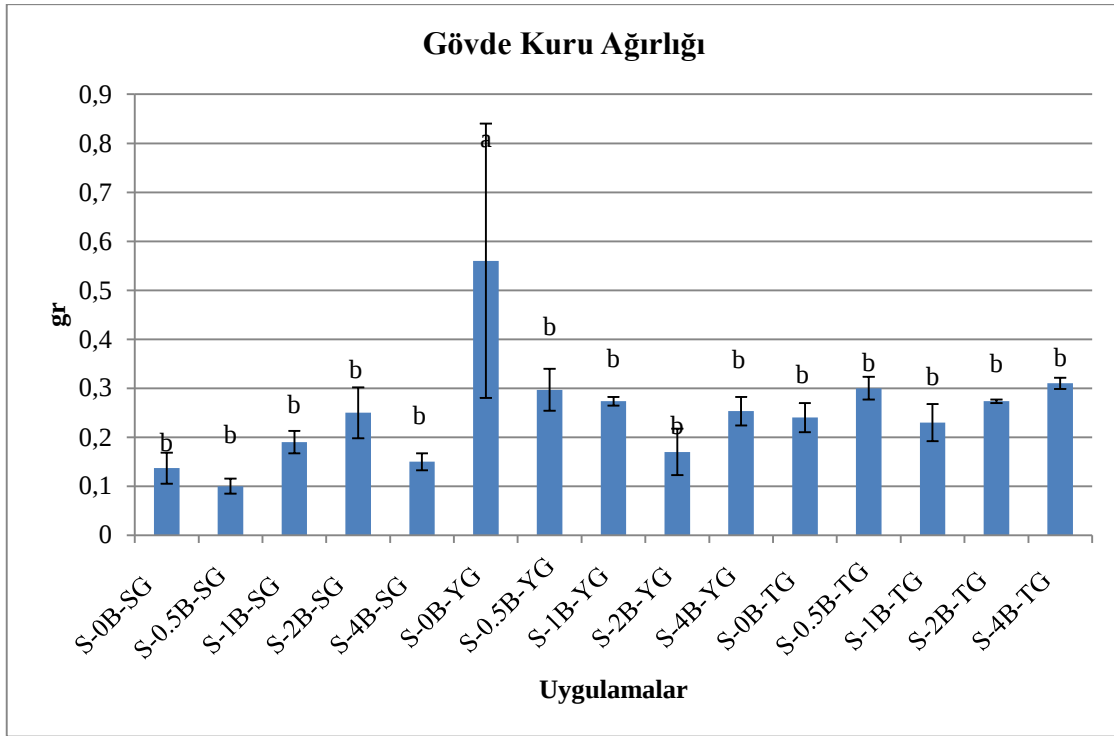
Şekil 4-33. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta gövde yaş ağırlığına etkisi

S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre



Şekil 4-34. Biyoçar uygulamasının killi toprakta gövde kuru ağırlığına etkisi

S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre

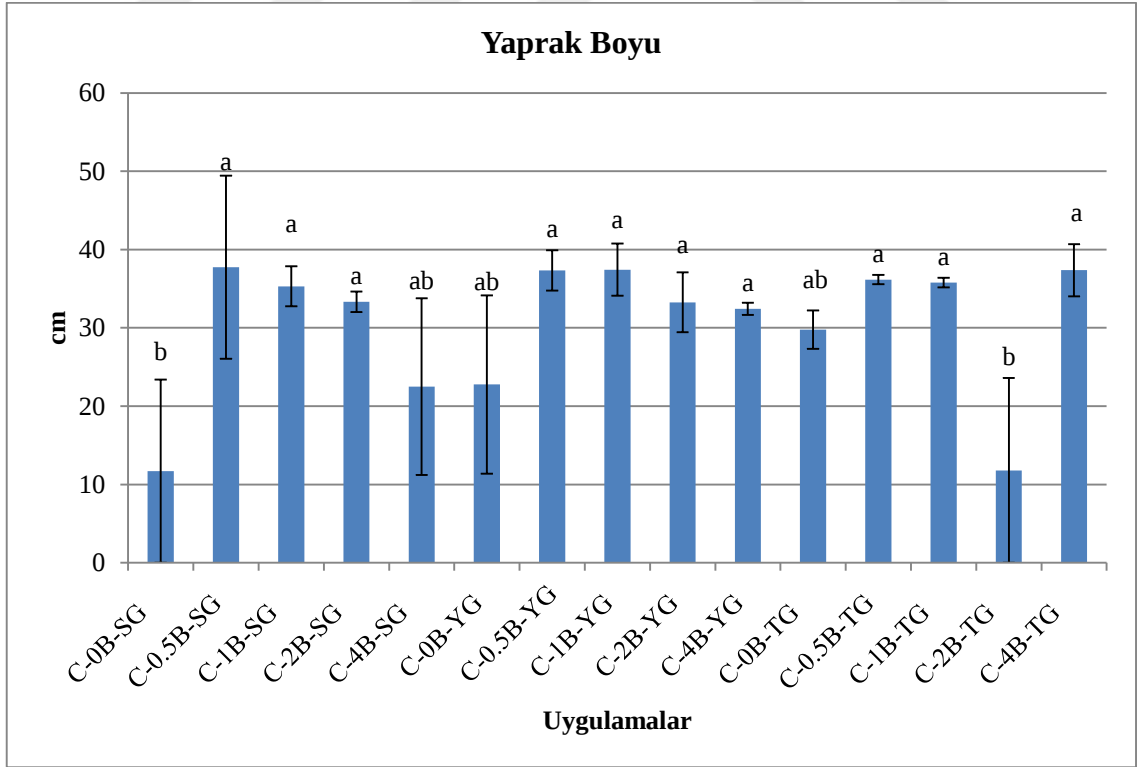


Şekil 4-35. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta gövde kuru ağırlığına etkisi
S: Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre

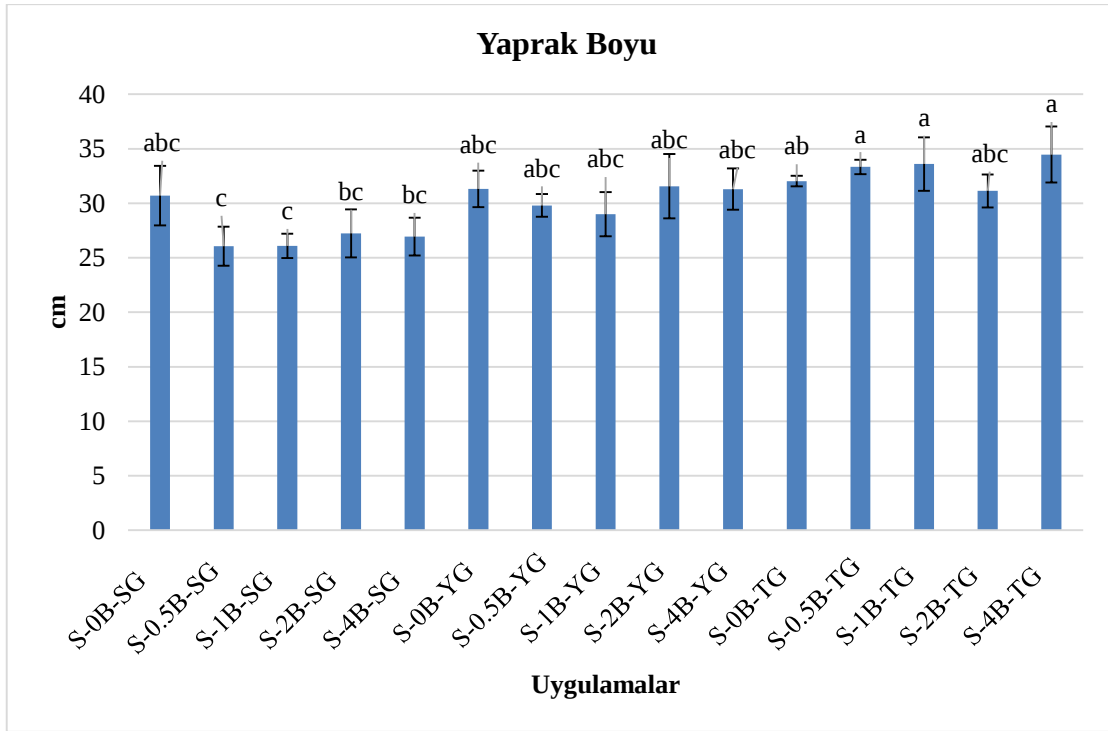
4.3.3 Yaprak Gelişimine Etkisi

Çalışma sonucunda biyoçar dozlarının bitkide yaprak boyuna etkisi Şekil 4.34, Şekil 4.35'te verilmiştir. Killi ve kumlu topraklarda %4'lük biyoçar uygulamalarında istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Yaprak eni parametresinde killi topraklarda %4'lük (Şekil 4.38), kumlu topraklarda %1'lik (Şekil 4.39) biyoçar uygulamalarında en önemli artış görülmüştür. Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de yaprak alanına ait bulgular incelendiğinde killi topraklarda 0.5'lik biyoçar ve yarım gübreleme uygulamalarında (Şekil 4.38), kumlu topraklarda %1'lik biyoçar ve yarım gübreleme uygulamalarında (Şekil 4.39) en önemli artışın olduğu gözlenmiştir. Graber ve ark. (2010), tarafından yapılan bir çalışmada topraksız tarımda biber ve domates yetiştiriciliğinde narenciye atıklarından elde edilen biyoçar uygulaması ile hem biber hem domates bitkisinde yaprak alanının kontrol grubuna göre %19 - %25 daha fazla olduğu ve yaprak boyunda önemli bir artışın olduğunu bildirmiştir. Üç yıl boyunca süren bir arazi denemesinde Ren ve ark. (2021), biyoçar uygulaması sonucunda tütün bitkisinde ilk yıl yaprak alanın kontrolden %73, ikinci yıl %26.15 ve üçüncü yıl %60.38 daha fazla olduğunu ve biyoçar uygulamalarının tütün bitkisinin gelişimini ve ürün verimini artırdığını rapor etmişlerdir. Biyoçarın kararlı yapısı sayesinde toprakta karbon ve besin elementleri uzun yıllar boyunca kalabildiği bilinmektedir (Schmidt ve ark., 2002).

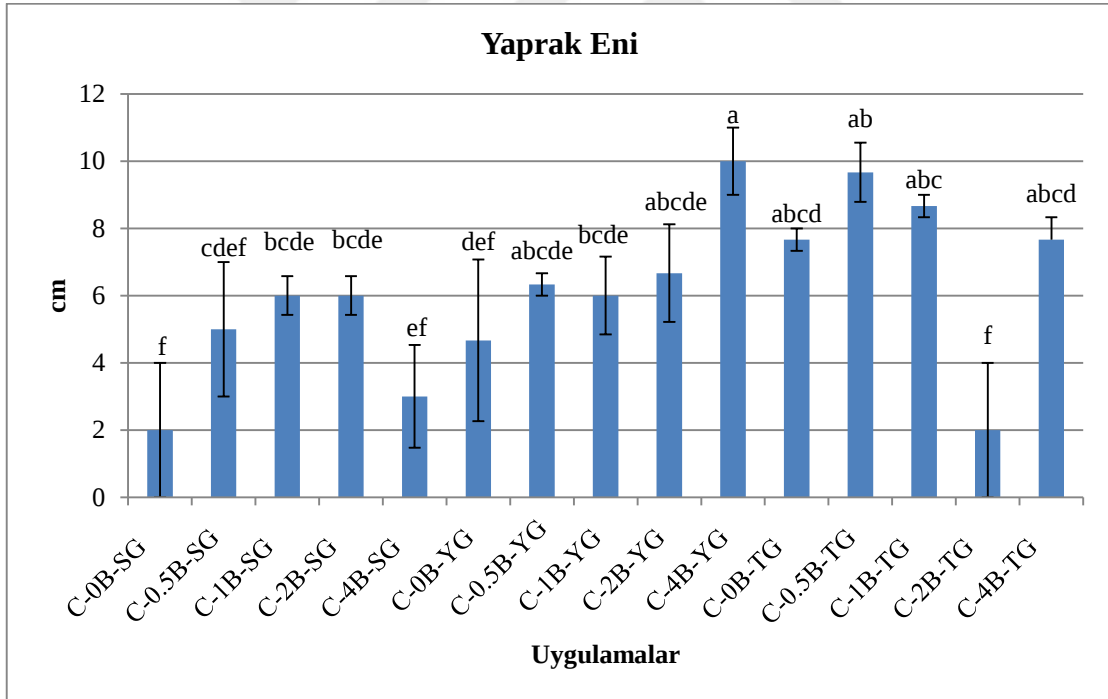
Kumlu siltli toprağa biyoçar kullanan Jabborova ve ark. (2021), fesleğen bitkisinde yaprak boyunda %24, yaprak sayısında %27 ve yaprak eninde %50 önemli ölçüde artış görüldüğünü belirtmişlerdir. Varela Milla ve ark. (2013), bir arazi denemesinde pirinç kabuğu ve odunsu biyoçarı kullanarak yaprak uzunluğunda %37 ve yaprak eninde %52.1 artışın gerçekleştiğini ve bitki biyokütlesinin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Sathe ve ark. (2021), 600 °C’de piroliz edilen yer fıstığı kabuklarından elde edilen biyoçarın toprağa uygulandığında sorgum bitkisinde kontrol uygulamasına göre yaprak alanında 4 kat artış gösterdiği belirtilmiştir. Bitkide artan yaprak alanı ile fotosentez için daha fazla yüzey alanı oluşmakta ve bitkiyi vejetatif büyümeye teşvik edebilmektedir (Sathe ve ark., 2021). Jabborova ve ark. (2021), %2’lik ve %3’lük biyoçar uygulamasıyla zencefil bitkisinde sırasıyla yaprak eninde %54 ve %73 oranında, yaprak boyunda sırasıyla %36 ve %57 artış olduğunu belirtmişlerdir. Bir bitkinin gelişmesi için ihtiyaç duyduğu besin elementi ve suyu tedarik etmesi, bitkisel üretkenliğin artırılması amacıyla ve birim alandan daha fazla verim elde etmek için biyoçar kullanımı bitki gelişimine önemli oranlar da katkı sunmaktadır (Major ve ark., 2010; Liu ve ark., 2017).



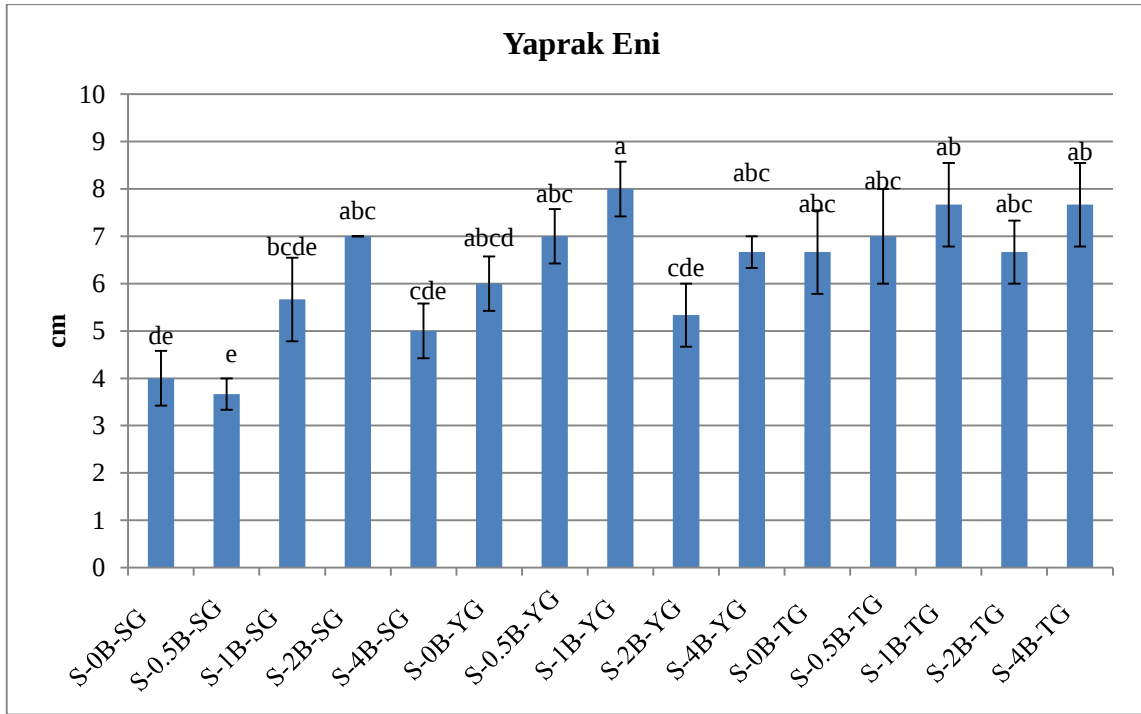
Şekil 4-36. Biyoçar uygulamasının killi toprakta yaprak boyuna etkisi
C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre



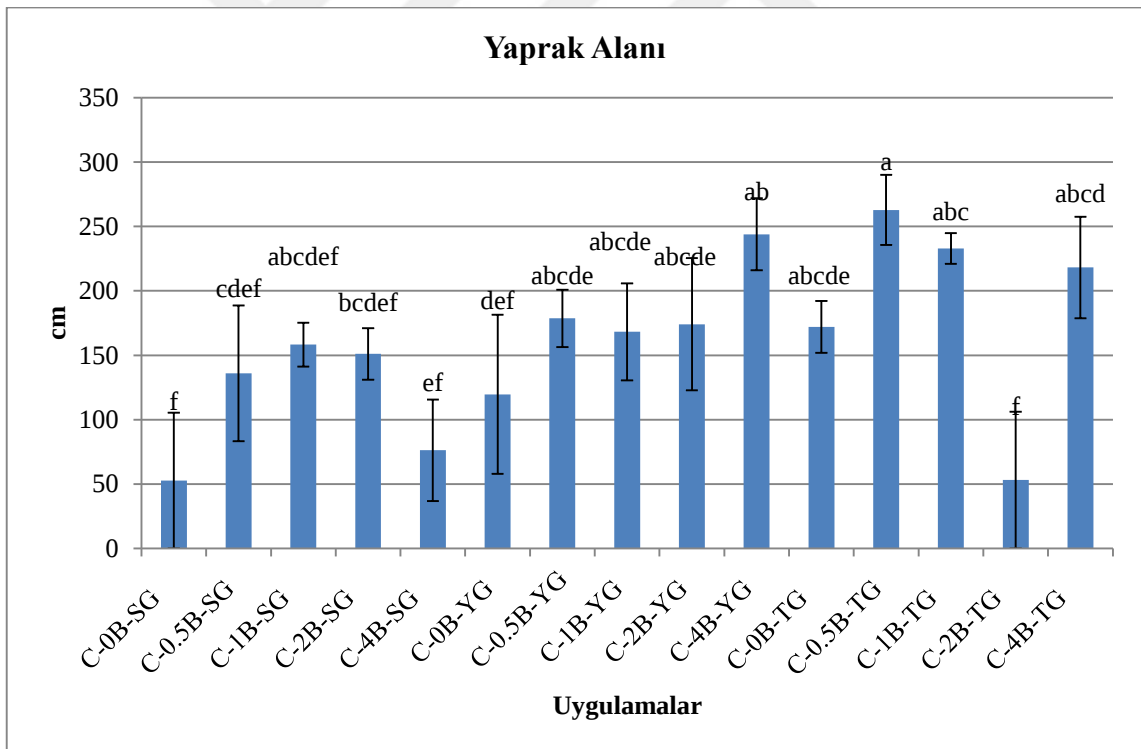
Şekil 4-37. Biyoçar uygulamasının kumlu tın topraktayaprak boyuna etkisi
S; Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre



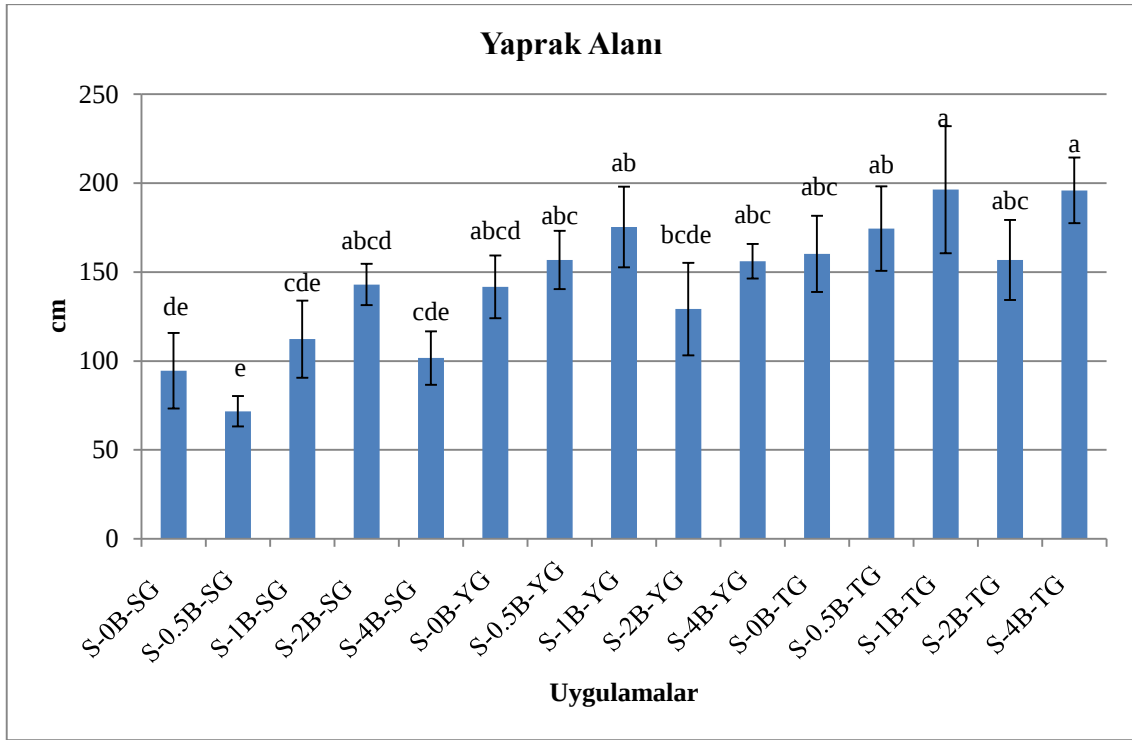
Şekil 4-38. Biyoçar uygulamasının killi toprakta yaprak enine etkisi
C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre



Şekil 4-39. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta yaprak enine etkisi
S; Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre



Şekil 4-40. Biyoçar uygulamasının kumlu tın toprakta yaprak alanına etkisi
S; Kumlu Tın, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarıml gübre; TG; Tam Gübre

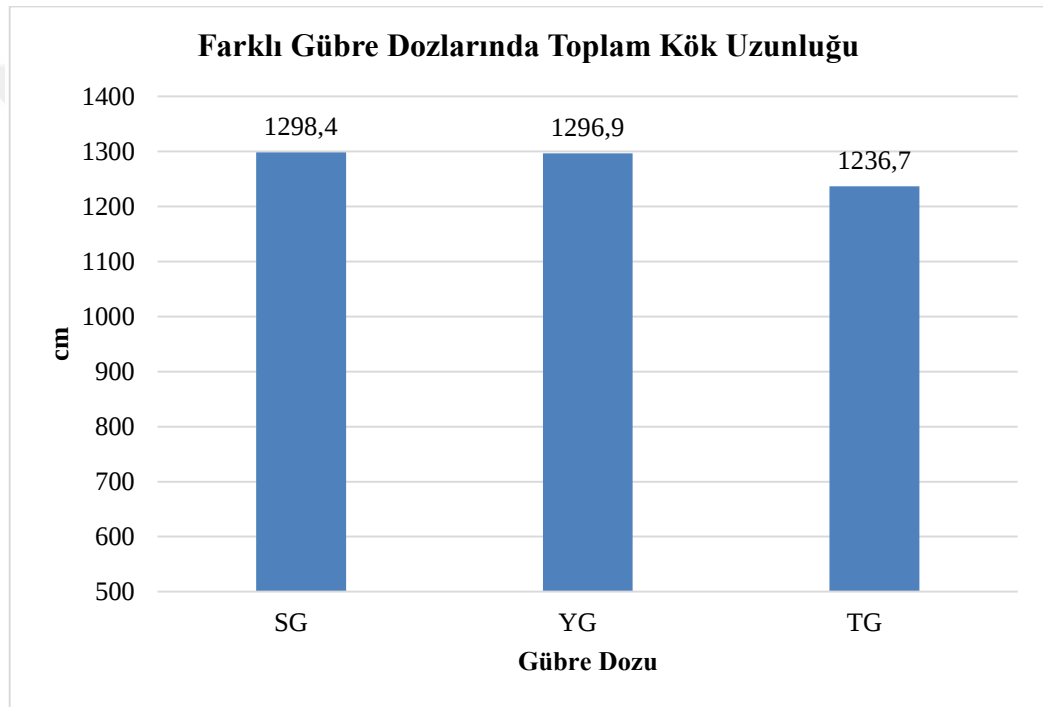


Şekil 4-41. Biyoçar uygulamasının killi toprakta yaprak alanına etkisi
C: Killi, B; Biyoçar, SG; Sıfır gübre; YG; Yarım gübre; TG; Tam Gübre

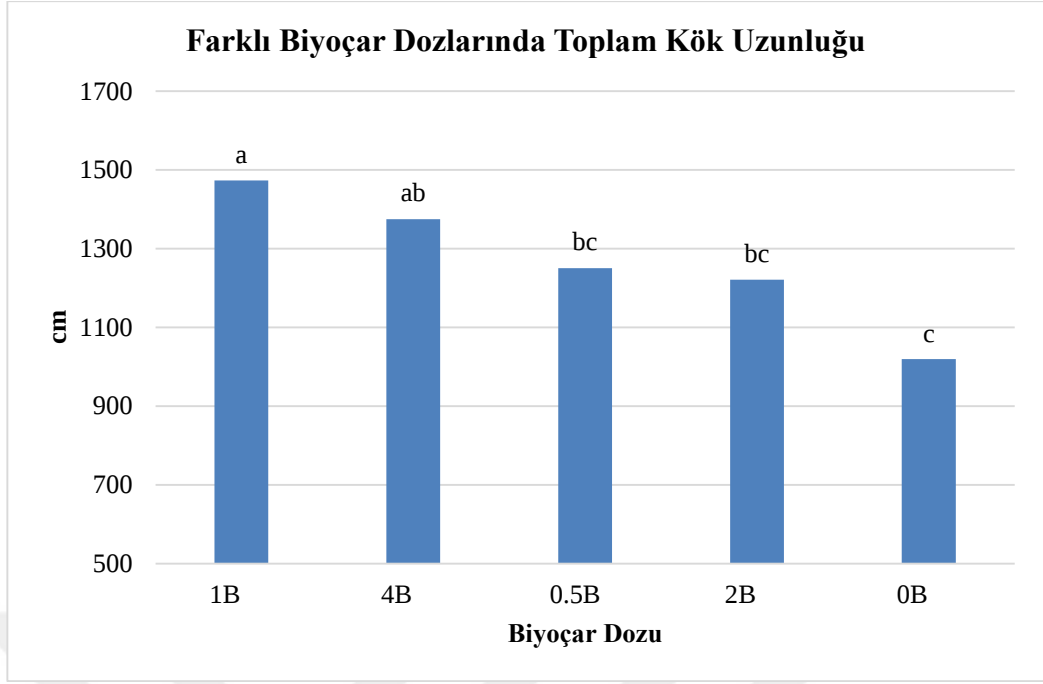
4.3.4. Toplam kök uzunluğuna etkisi

Çalışma bulguları incelendiğinde toplam kök uzunluğuna, biyoçar uygulamaları (Şekil 4.43) ve toprak tipi (Şekil 4.44) istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermiştir. Fakat gübre uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermediği görülmüştür (Şekil 4.42). Biyoçar uygulamalarının toplam kök uzunluğuna etkisi incelendiğinde en önemli farklılık %1 biyoçar dozunda gerçekleşmiştir (Şekil 4.43). %1 biyoçar doz uygulamasında toplam kök uzunluğu ortalama 1473.1 cm olarak ölçülmüştür. Toprak tipinin toplam kök uzunluğuna etkisi incelendiğinde ise killi topraklarda biyoçar uygulamalarının kumlu topraklara göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.44). Killi topraklarda toplam kök uzunluğu ortalama 1979 cm olarak ölçülmüştür. Biyoçarın doğrudan kökler ile temas etmesi, kök özelliklerinin gelişmesine ve kök büyümesinin artmasına katkı sunmaktadır (Albuquerque ark., 2015). Zira Razaq ve ark. (2017) tarafından yapılan bir arazi çalışmasında biyoçar uygulaması sonucunda pirinç bitkisinde toplam kök uzunluğunun önemli düzeyde arttığı rapor edilmiştir. Pirinç kabuğundan 450°C’de ürettikleri biyoçarı uygulayan Zhu ve ark. (2018) soya fasulyesinde toplam kök uzunluğunun %25.6 arttığını bildirmişlerdir. Song ve ark. (2020), yürüttükleri bir arazi çalışmasında buğday samanı biyoçarı kullanarak mısırdaki toplam kök uzunluğunun kontrol grubuna göre %74 artış gösterdiğini rapor etmişlerdir.

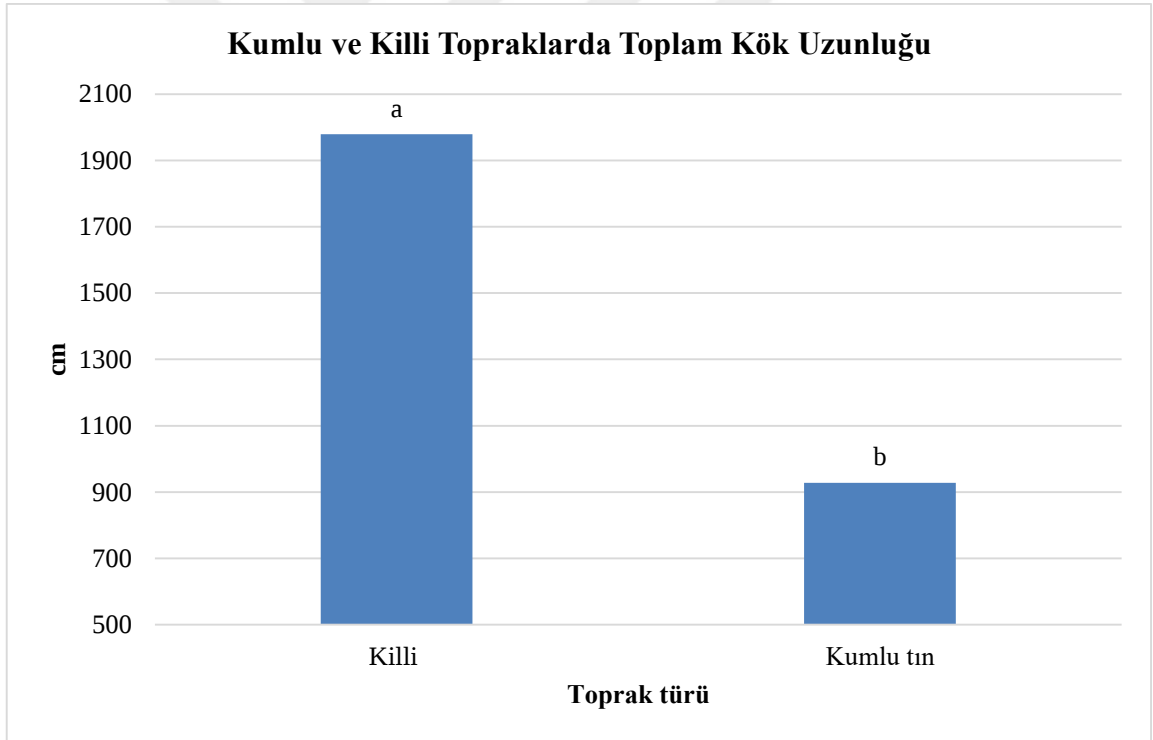
Mısır atıklarından elde edilen biyoçarı kullanan Li ve ark. (2022), soya fasulyesinde toplam kök uzunluğunun önemli ölçüde arttığını tespit etmişlerdir. Bir bitkide toplam kök uzunluğu, bitkinin besin elementi alınımı ve su alınımı gösteren önemli bir parametredir (Li ve ark., 2022). Dolayısıyla biyoçarın doğrudan köklere temas etmesi kök uzunluğunu artırarak, bitkide iyi bir kök gelişiminin oluşmasına katkı sunmaktadır (Albuquerque ve ark., 2015). Nitekim Wu ve ark. (2022), üç yıl boyunca süren çalışmalarında, fasulye bitkisine biyoçar uygulayarak kök morfolojisine olan etkilerini takip etmişlerdir. Araştırmacılar biyoçarın toplam kök uzunluğunu %68.9 artırdığını ve kök özelliklerini değiştirerek verimin arttığını bildirmişlerdir.



Şekil 4-42. Farklı gübre dozlarının toplam kök uzunluğuna etkisi



Şekil 4-43. Farklı biyoçar dozlarının toplam kök uzunluğuna etkisi



Şekil 4-44. Farklı biyoçar ve farklı gübre doz uygulamalarının kumlu ve killi topraklarda toplam kök uzunluğuna etkisi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çevresel ve tarımsal sistemler için biyoçar kullanımı, toprak kalitesini artırabilen, karbon tutumunu iyileştirebilen ve çeşitli çiftlik atıklarını azaltabilen önemli bir uygulamadır. Ayrıca bir toprak düzenleyici olarak kullanılabilmesi uzun vadede çevreye, tarıma ve ekonomiye birçok fayda sağlayacaktır.

Tez çalışması kapsamında uygulanan farklı biyoçar dozlarının toprağın bazı kimyasal özelliklerine olumlu etki etmesi yanısıra, besin elementlerinin yıkanmasını azalttığı ve özellikle bitki toprak üstü ve toprak altı aksamalarına önemli derecede olumlu etki ettiği görülmüştür. Elde edilen bulgular incelendiğinde hem kumlu hem de killi topraklarda artan biyoçar dozları ile toprak pH'sında arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum biyoçarın yüksek bazik özellikte olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle bazik karakterdeki biyoçarın toprak pH'sına olan olumlu etkisi daha çok asidik topraklarda görülmektedir. Bu nedenle de asidik topraklarda iyi bir pH düzenleyici olarak biyoçar kullanılabilir.

Denemede kullanılan kumlu tın ve killi tekstüre sahip toprakta %4'lük biyoçar doz uygulamalarının incelendiğinde kimyasal toprak özelliklerinden toplam N, alınabilir P ve organik madde özelliklerini önemli derecede arttırdığını göstermiştir. Özellikle kumlu tın toprakta biyoçarın toplam azot içeriğine olan etkisi incelendiğinde %4'lük biyoçar uygulamasının %0 biyoçar dozuna göre azot içeriğini yaklaşık %100 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Yıkanma kapasitesi oldukça yüksek olan kumlu topraklarda besin elementlerinin toprakta tutulması ve bitkilerin farklı gelişim dönemlerinde besin elementi ihtiyacının karşılanması ve çevre kirliliğinin azaltılması adına biyoçar kullanımı önemli bir avantaj sağlayacaktır.

Biyoçar uygulamaları ile farklı gübre dozlarının toprağın EC değerine olan etkisi incelendiğinde, %0 biyoçar doz uygulamalarında denemede kullanılan kimyasal gübrelerin (DAP ve Üre) biyoçar uygulanan diğer örneklerle göre EC değerini daha fazla arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durum özellikle kimyasal gübrelerin toprak tuzluluğuna olan etkisini azaltmak adına biyoçar kullanımının önemini ortaya koymaktadır.

Biyoçar dozlarının bitki gelişimine olan etkisi incelendiğinde ekmeklik buğday çeşidinde bitki kök ve gövde gelişimi üzerinde oldukça önemli pozitif etkisi olmuştur. Kumlu topraklarda %2'lik biyoçar dozunu, killi topraklarda ise %0.5 biyoçar dozunun bitki kök hacmini önemli oranda arttırmıştır. Kök yaş ve kök kuru ağırlığında ise kumlu topraklarda %4, killi topraklarda %2 doz biyoçar uygulamalarında en önemli artışın

olduğu tespit edilmiştir. Kumlu topraklarda gövde yaş/kök ağırlığında %0.5, gövde kuru/kök kuru ağırlığında ise %1 biyoçar uygulamalarında önemli artış olduğu belirlenmiştir. Killi topraklarda ise gövde yaş /kök yaş ağırlığında %2 biyoçar dozunda artış tespit edilmiş fakat gövde kuru/kök kuru ağırlığında LSD çoklu karşılaştırma testine göre dozlar arasında önemli bir farklılık olmamıştır. Toplam kök uzunluğunda ise hem killi topraklarda hem de kumlu topraklarda %2 ve %4 biyoçar uygulamalarında önemli düzeyde artış olduğu tespit edilmiştir.

Her iki toprakta da gövde çapı %4 biyoçar dozunda artış göstermekle beraber gövde yaş ve gövde kuru ağırlığı killi topraklarda %4 biyoçar uygulamalarında istatistiksel olarak önemli düzeyde artışı fakat kumlu topraklarda ise biyoçar doz uygulamalarının istatistiksel olarak önemli fark oluşturmadığı görülmüştür. Biyoçarın bitki boyuna ve yaprak boyuna etkisi incelendiğinde her iki toprakta %4 biyoçar dozunda artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Yaprak eni, killi topraklarda %4 ve kumlu topraklarda %1, yaprak alanı ise killi topraklarda %0.5 ve kumlu topraklarda %1 dozunda en önemli artışın olduğu tespit edilmiştir.

Tezden elde edilen veriler kapsamında toprak kalitesinin iyileştirilmesi, bitkisel üretkenliğin arttırılması ve tarımsal atıklar nedeniyle oluşan arazi, su ve hava kirliliğini azaltması bakımından biyoçarın tarımsal üretimde kullanımı önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirebilecek ve bitki gelişimine katkı sunacak doğa dostu bir ürün olan biyoçarın iyi bir toprak düzenleyici olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca tarımsal atıkların gelişi güzel bertaraf edilmesi yerine tarımda kullanılması, toprak kalitesini iyileştirmesi ve sürdürülebilirliğini sağlaması yanısıra az gübre kullanımı ile verim artış sağlaması ekonomi açısından da önemli olacaktır.

6. KAYNAKÇA

- Abiven, S., Hund, A., Martinsen, V., Cornelissen, G., 2015. Biochar amendment increases maize root surface areas and branching: a shovelomics study in Zambia. *Plant and soil*, 395(1), 45-55.
- Abujabhah, I. S., Bound, S. A., Doyle, R., Bowman, J. P., 2016. Effects of biochar and compost amendments on soil physico-chemical properties and the total community within a temperate agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 98, 243-253.
- Adekiya, A. O., Agbede, T. M., Aboyeji, C. M., Dunsin, O., Simeon, V. T., 2019. Effects of biochar and poultry manure on soil characteristics and the yield of radish. *Scientia horticulturae*, 243, 457-463.
- Ahad, T., Kanth, T. A., Nabi, S., 2015. Soil bulk density as related to texture, organic matter content and porosity in kandi soils of district Kupwara (KashmirValley), India. *Geography*, 4(1), 198-200.
- Aiken, R. M. and Smucker, A. J. M., 1996. Root system regulation of whole plant growth. *Annual review of phytopathology*, 34(1), 325-346.
- Akhtar, S.S., Andersen, M.N., Liu, F., 2015. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. *Agricultural Water Management*, 158, 61-68.
- AhmadBhat, S., Kuriqi, A., Dar, M. U. D., Bhat, O., Sammen, S. S., Towfiqul Islam, A. R. M., Heddham, S. 2022. Application of biochar for improving physical, chemical, and hydrological soil properties: a systematic review. *Sustainability*, 14(17), 11104.
- Alburquerque, J. A., Cabello, M., Avelino, R., Barrón, V., del Campillo, M. C., Torrent, J. 2015. Plant growth responses to biochar amendment of Mediterranean soils deficient in iron and phosphorus. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(4), 567-575.
- Ameloot, N., Graber, E. R., Verheijen, F. G., De Neve, S. 2013. Interactions between biochar stability and soil organisms: review and research needs. *European Journal of Soil Science*, 64(4), 379-390.
- Annabi, M., Houot, S., Francou, C., Poitrenaud, M., Bissonnais, Y. L., 2007. Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. *Soil Science Society of America Journal*, 71(2), 413-423.
- Antil, R. S. and Singh, M., 2007. Effects of organic manures and fertilizers on organic matter and nutrients status of the soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 53(5), 519-528.

- Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Horie, T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1), 81-84.
- Baiamonte, G., Crescimanno, G., Parrino, F., De Pasquale, C. 2019. Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. *Catena*, 175, 294-303.
- Banik, C., Lawrinenko, M., Bakshi, S., Laird, D.A., 2018. Impact of pyrolysis temperature and feedstock on surface charge and functional group chemistry of biochars. *J. Envir. Qual.*, 47:452–461.
- Bayram, Ö., 2015. Farklı Tarımsal Atıklardan Üretilen Biyoçarların Çeşitli Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. s. 58. YÖK Tez No: 420461.
- Bektas, H., 2016. Determination of Root Traits in Wild, Landrace and Modern Wheats and Dissection of Quantitative Trait Loci (QTL) for Root Characters in Bread Wheat. Doktora tezi, *University of California, Riverside, CA, ABD*.
- Bera, T., Collins, H. P., Alva, A. K., Purakayastha, T. J., & Patra, A. K., 2016. Biochar and manure effluent effects on soil biochemical properties under corn production. *Applied Soil Ecology*, 107, 360-367.
- Blanco-Canqui, H., 2017. Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 687-711.
- Bolan, N. S., Kunhikrishnan, A., Choppala, G. K., Thangarajan, R., Chung, J. W., 2012. Stabilization of carbon in composts and biochars in relation to carbon sequestration and soil fertility. *Science of the Total Environment*, 424, 264-270.
- Borselli, L., Carnicelli, S., Ferrari, G.A., Pagliai, M. and Lucamante, G., 1996. Effects of gypsum on hydrological, mechanical and porosity properties of a kaolinitic crusting soil. *Soil technology*, 9(1-2), 39-54.
- Bremner, J. M., 1965. Total nitrogen. In C. A. Black (ed.) *Methods of soil analysis*, Part. 2. *Agronomy* 9, 1149-1178.
- Brennan A, Jiménez EM, Puschenreiter M et al., 2014 Effects of biochar amendment on root traits and contaminant availability of maize plants in a copper and arsenic impacted soil. *Plant and Soil*, 379, 351– 360.
- Borken, W. and Matzner, E., 2004. Nitrate leaching in forest soils: an analysis of long-term monitoring sites in Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(3), 277-283.
- Bruun, S., Jensen, E. S., Jensen, L. S., 2008. Microbial mineralization and assimilation of black carbon: Dependency on degree of thermal alteration. *Organic Geochemistry*, 39(7), 839-845.

- Bruun, S., Thomsen, I. K., Christensen, B. T., Jensen, L. S., 2008. In search of stable soil organic carbon fractions: a comparison of methods applied to soils labelled with ^{14}C for 40 days or 40 years. *European Journal of Soil Science*, 59(2), 247-256.
- Brewer, C.E., Brown, R.C. 2012. Biochar. In: Sayigh, A. (Ed.), *Comprehensive Renewable Energy*. Elsevier, Oxford, pp. 357–384.
- Busscher, W. J., Novak, J. M., Evans, D. E., Watts, D. W., Niandou, M. A. S., Ahmedna, M., 2010. Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand. *Soil Science*, 175(1), 10-14.
- Brewer, C. E., 2012. Biochar characterization and engineering. Iowa State University.
- Burrell, L. D., Zehetner, F., Rampazzo, N., Wimmer, B., Soja, G. 2016. Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma*, 282, 96-102.
- Cameron, K. C., Di, H. J., Moir, J. L., 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of applied biology*, 162(2), 145-173.
- Castellini, M., Giglio, L., Niedda, M., Palumbo, A.D., Ventrella, D., 2015. Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil. *Soil and Tillage Research*, 154, 1-13.
- Cao, X. and Harris, W., 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. *Bioresource technology*, 101(14), 5222-5228.
- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. B., Haefele, S. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3(2), 404-418.
- Carvalho, M. T. M., Madari, B. E., Bastiaans, L., Van Oort, P. A. J., Leal, W. G. O., Heinemann, A. B., Meinke, H., 2016. Properties of a clay soil from 1.5 to 3.5 years after biochar application and the impact on rice yield. *Geoderma*, 276, 7-18.
- Cerato, A. and Luttenegger, A., 2002. Determination of surface area of fine-grained soils by the ethyleneglycolmonoethylether (EGME) method. *Geotechnical Testing J.* 25(3), 1-7.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S., 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, 45(8), 629-634.
- Chan, K. Y. and Xu, Z. 2009. Biochar for environmental management: Science and technology. UK: *Earthscan*, 67-84.
- Chan, K.Y, Xu, Z., 2009. Biochar: nutrient properties and their enhancement. Chapter 5. In: Lehmann, J, Joseph, S, editors. *Biochar for environmental management science and technology*. London: *Earthscan*; p. 67–84.

- Chaudhary, S., Dheri, G.S, Brar, B.S., 2017 Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice-wheat cropping system. *Soil Tillage & Research* 166: 59-66.
- Chaudhari, P. R., Ahire, D. V., Ahire, V. D., Chkravarty, M., Maity, S., 2013. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Co imbatore soil. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(2), 1-8.
- Chen, B., Zhou, D., Zhu, L., 2008. Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures. *Environmental science & technology*, 42(14), 5137-5143.
- Chen, L., Liu, M., Ali, A., Zhou, Q., Zhan, S., Chen, Y., Pan, X., Zeng, Y., 2020. Effects of biochar on paddy soil fertility under different water management modes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(4), 1810-1818.
- Chen, M., Alim, N., Zhang, Y., Xu, N., Cao, X. 2018. Contrasting effects of biochar nanoparticles on the retention and transport of phosphorus in acidic and alkaline soils. *Environmental pollution*, 239, 562-570.
- Chen, W., Meng, J., Han, X., Lan, Y., Zhang, W., 2019. Past, present, and future of biochar. *Biochar*, 1(1), 75-87.
- Chen, X., Yang, S., Ding, J., Jiang, Z., Sun, X. 2021. Effects of biochar addition on rice growth and yield under water-saving irrigation. *Water*, 13(2), 209.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., Julson, J. L., 2014. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(3), 393-404.
- Cross, A. and Sohi, S. P., 2011. The priming potential of biochar products in relation to labile carbon contents and soil organic matter status. *Soil biology and biochemistry*, 43(10), 2127-2134.
- Dai, L. Y., Zhu, H. D., Yin, K. D., Du, J. D., Zhang, Y. X. 2017. Seed priming mitigates the effects of saline-alkali stress in soybean seedlings. *Chilean journal of agricultural research*, 77(2), 1.
- Dai, Y., Zheng, H., Jiang, Z., Xing, B. 2020. Combined effects of biochar properties and soil conditions on plant growth: a meta-analysis. *Science of the total environment*, 713, 136635.
- Deenik, J. L., McClellan, T., Uehara, G., Antal, M. J., Campbell, S., 2010. Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations. *Soil Science Society of America Journal*, 74(4), 1259-1270.
- Dexter, A. R., 2004. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120(3-4), 201-214.

- Dong, D., Feng, Q., McGrouther, K., Yang, M., Wang, H., Wu, W., 2015. Effects of biochar amendment on rice growth and nitrogen retention in a water logged paddy field. *Journal of Soils and Sediments*, 15(1),153-162.
- Dong, X., Guan, T., Li, G., Lin, Q., Zhao, X., 2016. Long-term effects of biochar amount on the content and composition of organic matter in soil aggregates under field conditions. *Journal of soils and sediments*, 16(5), 1481-1497.
- Droge, B., Combes Meynet, E., Moënnelocoz, Y., WisniewskiDyé, F., Prigent Combaret, C., 2013. Control of the cooperation between plant growth promoting rhizobacteria and crops by Rhizosphere signals. *Molecular microbial ecology of the rhizosphere*, 1, 279-293.
- Ducey, T. F., Novak, J. M., Johnson, M. G., 2015. Effects of biocharblends on microbial community composition in two coastal plain soils. *Agriculture*, 5(4), 1060-1075.
- Edeh, I. G., Mašek, O., Buss, W., 2020. A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties–New insights and future research challenges. *Science of the Total Environment*, 714, 136857.
- Eissenstat, D.M, Yanai, R.D., 1997The ecology of root lifespan. *Advances in Ecological Research*, 27, 1– 60.
- Elbl, J., Plošek, L., Kintl, A., Záhora, J., Přichystalová, J., Hynšt, J. 2013. Effect of organic-waste compost addition on leaching of mineral nitrogen from arable land and plant production. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 7(6), 463-468.
- El-Naggar, A., Lee, S. S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., ... & Ok, Y. S., 2019.Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma*, 337, 536-554.
- Eyles, A., Bound, S. A., Oliver, G., Corkrey, R., Hardie, M., Green, S., Close, D. C. 2015. Impact of biochar amendment on the growth, physiology and fruit of a young commercial apple orchard. *Trees*, 29(6), 1817-1826.
- Fagbenro, J. A., Oshunsanya, S. O., Onawumi, O. A., 2013. Effect of SawDustBiochar and NPK 15: 15: 15 Inorganic Fertilizer on Moringa oleifera Seedlings Grown in an Oxisol. *Agrosearch*, 13(1), 57-68.
- Fagbenro, J. A., Oshunsanya, S. O., Oyeleye, B. A., 2015. Effects of gliricidiabiochar and inorganic fertilizer on moringa plant grown in an oxisol. *Communications in soilscience and plant analysis*, 46(5), 619-626.
- Farhangi-Abri, S. and Torabian, S., 2017. Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, 137, 64-70.

- Feng, L., Xu, W., Tang, G., Gu, M., Geng, Z., 2021. Biochar induced improvement in root system architecture enhances nutrient assimilation by cotton plant seedlings. *BMC plantbiology*, 21(1), 1-14.
- Free, H.F., McGill, C.R., Rowarth, J.S., Hedley, M.J., 2010. The effect of biochars on maize (*Zea mays*) germination. *New Zealand J. of Agric. Res.*, 53(1), 1-4.
- Fu, T., Chen, H., Fu, Z., Wang, K., 2016. Surface soil water content and its controlling factors in a small karst catchment. *Environmental Earth Sciences*, 75(21), 1-11.
- Gao, Y., Fang, Z., Van Zwieten, L., Bolan, N., Dong, D., Quin, B. F., ... Chen, W., 2022. A critical review of biochar-based nitrogen fertilizers and their effects on crop production and the environment. *Biochar*, 4(1), 1-19.
- Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S. 2010. Effect of peanuthull and pine chipbiochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*, 102(2), 623-633.
- Gee, G.W. and Boudet, J. W., 1986. Particle Size Analysis. In: A. Clute (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part I Agronomy* No: 9 AmSoc. Of Agron. Madison, Wisconsin, USA.
- Ghorbani, M., Asadi, H., Abrishamkesh, S., 2019. Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and claysoil. *International soil and water conservation research*, 7(3), 258-265.
- Githinji L., 2014 Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60(4), 457-470.
- Gianquinto, G., Muñoz, P., Pardossi, A., Ramazzotti, S., Savvas, D., 2013. 10. Soil fertility and plant nutrition. *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops*, 205.
- Glaser, B., 2007. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1478), 187-196.
- Głąb, T., Palmowska, J., Zaleski, T., Gondek, K., 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*, 281, 11-20.
- Głąb, T., Żabiński, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopec, M., Mierzwa-Hersztek, M., Tabor, S., 2018. Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. *Geoderma*, 315, 27-35.
- Graber, E. R., Meller-Harel, Y., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., Rav David, D., ... Elad, Y., 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and soil*, 337(1), 481-496.

- Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., Deng, H., 2015. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 46-59.
- Gul, S., Whalen, J. K., 2016. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 1-15.
- Gupta, A.P., Narwal, R.P., Antil, R.S., Dev, S., 1992. Sustaining soil fertility with organic-C, N, P and K by using farmyard manure and fertilizer-N in a semi-aridzone: A long-term study. *Arid Soil Res Rehab*, 6, 243-251.
- Günel, E., ve Erdem, H., 2018. Biyokömür; Tanımı, Kullanımı ve Tarım Topraklarındaki Etkileri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 87-93.
- Günel E, 2018. Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçarların Ekmeklik Buğdayın Gelişimi, Besin Elementi Alımı ve Toprak Kalitesine Etkileri. *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*. s. 345.YÖK Tez No: 516795.
- Hailegnaw, N. S., Mercl, F., Pračke, K., Száková, J., Tlustoš, P., 2019. Mutual relationships of biochar and soil pH, CEC, and exchangeable base cations in a model laboratory experiment. *Journal of Soils and Sediments*, 19(5), 2405-2416.
- Han, L., Sun, K., Yang, Y., Xia, X., Li, F., Yang, Z., Xing, B. 2020. Biochar's stability and effect on the content, composition and turnover of soil organic carbon. *Geoderma*, 364, 114184.
- Hashemi, S. B., Momayezi, M., Taleei, D. 2017. Biochar effect on cadmium accumulation and phytoremediation factors by Lavender (*Lavandula stoechas* L.). *Open Journal of Ecology*, 7(07), 447.
- He, Y., Xu, C., Gu, F., Wang, Y., Chen, J. 2018. Soil aggregate stability improves greatly in response to soil water dynamics under natural rains in long-term organic fertilization. *Soil and Tillage Research*, 184, 281-290.
- Herath, H.M.S.K., Camps-Arbestain, M., Hedley, M. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209, 188-197.
- Hester, R.E., Harrison, R.M., Addiscott, T.M., 1996. Fertilizers and nitrate leaching. Hester, R.E., R.M. Harrison (Eds.), *Agricultural Chemicals and the Environment*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp. 1-26, [10.1039/9781847550088-00001](https://doi.org/10.1039/9781847550088-00001).
- Hohn, C.E. 2016. Discovery and Verification of Quantitative Trait Loci (QTLs) for Seminal Root Traits and Insights Into Root to Shoot Tradeoffs in Hexaploid Wheat (*Triticum aestivum* L.). Doktora tezi, *University of California, Riverside*, CA, ABD.

- Hossain, M.K., Strezov, V., Nelson, P.F., 2015. Comparative assessment of the effect of waste water sludge biochar on growth, yield and metal bioaccumulation of cherry tomato. *Pedosphere*, 25(5), 680-685.
- Howell, T.A., 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy journal*, 93(2), pp.281-289.
- Igalavithana, A. D., Shaheen, S. M., Park, J. N., Lee, S. S., Ok, Y. S., 2015. Potentially toxic element contamination and its impact on soil biological quality in urban agriculture: A critical review. *Heavy metal contamination of soils*, 81-101.
- Jaaf, S. M. M. A., Li, Y., Günal, E., El Enshasy, H. A., Salmen, S. H., Sürücü, A., 2022. The impact of corn cob biochar and poultry litter on pepper (*Capsicum annuum* L.) growth and chemical properties of a silty-clay soil. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2998-3005.
- Jabborova, D., Wirth, S., Halwani, M., Ibrahim, M. F., Azab, I. H. E., El-Mogy, M. M., Elkelish, A., 2021. Growth response of ginger (*Zingiber officinale*), its physiological properties and soil enzyme activities after biochar application under green house conditions. *Horticulturae*, 7(8), 250.
- Jabborova, D., Annapurna, K., Paul, S., Kumar, S., Saad, H. A., Desouky, S., ...Elkelish, A., 2021. Beneficial features of biochar and arbuscular mycorrhiza for improving spinach plant growth, root morphological traits, physiological properties, and soil enzymatic activities. *Journal of Fungi*, 7(7), 571.
- Jabborova, D., Ma, H., Bellingrath-Kimura, S. D., Wirth, S., 2021. Impacts of biochar on basil (*Ocimum basilicum*) growth, root morphological traits, plant biochemical and physiological properties and soil enzymatic activities. *Scientia Horticulturae*, 290, 110518.
- Jakson, M.L., 1958. Soil Chemical Analysis. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs*, New Jersey U.S.A.
- Jeffery, S., Verheijen, F.G., Van Der Velde, M., Bastos, A.C., 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 144(1), 175-187.
- Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A. C., Van Groenigen, J. W., Hungate, B.A., Verheijen, F., 2017. Biochar boost tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*, 12(5), 053001.
- Jiang, J., Xu, R. K., Jiang, T. Y., Li, Z., 2012. Immobilization of Cu (II), Pb (II) and Cd (II) by the addition of rice straw derived biochar to a simulated polluted Ultisol. *Journal of hazardous materials*, 229, 145-150.
- Jien, S.H. and Wang, C.S., 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110, pp.225-233.
- Jin, Z., Chen, C., Chen, X., Hopkins, I., Zhang, X., Han, Z., ... Billy, G., 2019. The

- crucial factors of soil fertility and rapeseed yield-A five year field trial with biochar addition in upland redsoil, China. *Science of the Total Environment*, 649, 1467-1480.
- Jin, L., Wei, D., Yin, D., Zhou, B., Ding, J., Wang, W., Wang, L., 2020. Investigations of the effect of the amount of biochar on soil porosity and aggregation and crop yields on fertilized black soil in northern China. *Plos one*, 15(11), e0238883.
- Ju, X. T., Kou, C. L., Zhang, F. S., Christie, P., 2006. Nitrogen balance and ground water nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental pollution*, 143(1), 117-125.
- Kacar, B. İnal, A. 2008. Bitki Analizleri. *Nobel Yayın No:1241*, 892 s.
- Kamali, M., Sweygers, N., Al-Salem, S., Appels, L., Aminabhavi, T. M., Dewil, R. 2022. Biochar for soil applications-sustainability aspects, challenges and future prospects. *Chemical Engineering Journal*, 428, 131189.
- Karamina, H. and Fikrinda, W., 2020. Soil amendment impact to soil organic matter and physical properties on the three soil types after second corn cultivation. *AIMS Agriculture and food*, 5(1), 150-169.
- Karami, A., Homae, M., Afzalnia, S., Ruhipour, H., Basirat, S., 2012. Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148, 22-28.
- Keith, A., Singh, B., Dijkstra, F.A., 2015. Biochar reduces the Rhizosphere priming effect on soil organic carbon. *Soil Biology Biochemistry*, 88, 372– 379.
- Kirchmann, H., Johnston, A. J., Bergström, L. F., 2002. Possibilities for reducing nitrate leaching from agricultural land. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 31(5), 404-408.
- Kookana, R. S., Sarmah, A. K., Van Zwieten, L., Krull, E., Singh, B., 2011. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Advances in agronomy*, 112, 103-143.
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., Lombi, E., 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment international*, 132, 105078.
- Laghari, M., Mirjat, M. S., Hu, Z., Fazal, S., Xiao, B., Hu, M., Guo, D., 2015. Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. *Catena*, 135, 313-320.
- 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., 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.
- Lebrun, M., Miard, F., Nandillon, R., Léger, J. C., Hattab-Hambli, N., Scippa, G. S., Morabito, D., 2018. Assisted phytostabilization of a multi contaminated mine technosol using biochar amendment: Early stage evaluation of biochar feedstock and particle size effects on As and Pb accumulation of two Salicaceae species (*Salix viminalis* and *Populus euramericana*). *Chemosphere*, 194, 316–326.
- Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B., 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and soil*, 249(2), 343–
- Lehmann, J., 2007. A handful of carbon. *Nature*, 447(7141), 143–144.
- Lehmann, J., Joseph, S., 2009. Biochar for Environmental Management: An Introduction. Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.). Biochar for environmental management: science and technology. *Earthscan*. pp. 1–12.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W.C., Crowley, D., 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812–1836.
- Lehmann, J., Czimczik, C., Laird, D., Sohi, S., 2012. Stability of biochar in soil. In Biochar for environmental management (pp. 215–238). *Routledge*.
- Lehmann, J., Cowie, A., Masiello, C. A., Kammann, C., Woolf, D., Amonette, J. E., Whitman, T., 2021. Biochar in climate change mitigation. *Nature Geoscience*, 14(12), 883–892.
- Leng, L., Xu, S., Liu, R., Yu, T., Zhuo, X., Leng, S., Huang, H., 2020. Nitrogen containing functional groups of biochar: An overview. *Bioresourcel technology*, 298, 122286.
- Li, S., Couet, J., Lisanti, M. P., 1996. Src tyrosine kinases, Gα subunits, and H-Ras share a common membrane-anchored scaffolding protein, caveolin: caveolin binding negatively regulates the auto-activation of Src tyrosine kinases. *Journal of Biological Chemistry*, 271(46), 29182–29190.
- Li, H., Dong, X., da Silva, E. B., de Oliveira, L. M., Chen, Y., Ma, L. Q., 2017. Mechanisms of metal sorption by biochars: biochar characteristics and modifications. *Chemosphere*, 178, 466–478.
- Li, S., Zhang, Y., Yan, W., Shangguan, Z., 2018. Effect of biochar application method on nitrogen leaching and hydraulic conductivity in a silty clay soil. *Soil and Tillage Research*, 183, 100–108.

- Li, M., Wang, J., Guo, D., Yang, R., Fu, H., 2019. Effect of land management practices on the concentration of dissolved organic matter in soil: A meta-analysis. *Geoderma*, 344, 74-81.
- Li, Q., Fu, Q., Li, T., Liu, D., Hou, R., Li, M., Gao, Y., 2022. Biochar impacts on the soil environment of soybean root systems. *Science of The Total Environment*, 821, 153421.
- Liao, J., Liu, X., Hu, A., Song, H., Chen, X., Zhang, Z., 2020. Effects of biochar-based controlled release nitrogen fertilizer on nitrogen-use efficiency of oilseedrape (*Brassica napus* L.). *Scientific reports*, 10(1), 1-14.
- Lin, L., Han, S., Zhao, P., Li, L., Zhang, C., Wang, E., 2022a. Influence of soil physical and chemical properties on mechanical characteristics under different cultivation durations with Mollisols. *Soil and Tillage Research*, 224, 105520.
- Lin, Q., Tan, X., Almatrafi, E., Yang, Y., Wang, W., Luo, H., ... Zhang, C., 2022b. Effects of biochar-based materials on the bioavailability of soil organic pollutants and their biological impacts. *Science of The Total Environment*, 153956.
- Liu, J., Schulz, H., Brandl, S., Miehtke, H., Huwe, B., Glaser, B., 2012. Shortterm effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(5), 698-707.
- Liu, Y., Lonappan, L., Brar, S. K., Yang, S., 2018. Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: a review. *Science of the total environment*, 645, 60-70.
- Liu, Q., Liu, B., Zhang, Y., Lin, Z., Zhu, T., Sun, R., ... Lin, X., 2017. Can biochar alleviate soil compaction stress on wheat growth and mitigate soil N₂O emissions?. *Soil Biology and Biochemistry*, 104, 8-17.
- Liu, Z., He, T., Cao, T., Yang, T., Meng, J., Chen, W. 2017. Effects of biochar application on nitrogen leaching, ammonia volatilization and nitrogen use efficiency in two distinct soils. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(2), 515-528.
- Liu, D., Ju, W., Jin, X., Li, M., Shen, G., Duan, C., Fang, L., 2021. Associated soil aggregate nutrients and controlling factors on aggregate stability in semiarid grassland under different grazing prohibition time frames. *Science of the Total Environment*, 777, 146104.
- Logsdon, S. D. and Karlen, D. L., 2004. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. *Soil and Tillage Research*, 78(2), 143-149.
- Lorenz, K., Lal, R. 2014a. Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(5), 651-670.

- Lorenz, K. and Lal, R., 2014b. Soil organic carbon sequestration in agro forestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 443-454.
- Lu, Z., Zhang, H., Shahab, A., Zhang, K., Zeng, H., Nabi, I., Ullah, H., 2021. Comparative study on characterization and adsorption properties of phosphoric acid activated biochar and nitrogen-containing modified biochar employing Eucalyptus as a precursor. *Journal of Cleaner Production*, 303, 127046.
- Lusiba, S., Odhiambo, J., Ogola, J., 2017. Effect of biochar and phosphorus fertilizer application on soil fertility: soil physical and chemical properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(4), 477-490.
- Ma, N., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., Yu, C., Yin, G., Ma, X. 2016. Biochar improves soil aggregate stability and water availability in a mollisol after three years of field application. *PloS one*, 11(5), e0154091.
- Ma, S., Du, S., Pan, G., Dai, S., Xu, B., Tian, W. 2021. Organic molecular aggregates: From aggregation structure to emission property. *Aggregate*, 2(4), e96.
- Madari, B.E., Silva, M.A., Carvalho, M.T., Maia, A.H., Petter, F.A., Santos, J.L., Zeviani, W.M. 2017. Properties of a sandy clay loam Haplic Ferralsol and soybean grain yield in a five-year field trial as affected by biochar amendment. *Geoderma*, 305, 100-112.
- Majeed, A. J., Dikici, H., Demir, Ö. F., 2018. Effect of biochar and nitrogen applications on growth of corn (*Zea mays* L.) plants. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(3), 346-351.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., Lehmann, J., 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*, 333(1), 117-128.
- Manirakiza, E., Ziadi, N., Luce, M. S., Hamel, C., Antoun, H., Karam, A., 2019. Nitrogen mineralization and microbial biomass carbon and nitrogen in response to co-application of biochar and paper mill biosolids. *Applied Soil Ecology*, 142, 90-98.
- Marris, E., 2006. Putting the carbon back: Black is the new green. *Nature*, 442(7103), 624-626.
- Martinez, J. M., Galantini, J. A., Duval, M. E., 2018. Contribution of nitrogen mineralization indices, labile organic matter and soil properties in predicting nitrogen mineralization. *Journal of soil science and plant nutrition*, 18(1), 73-89.
- Matamala, R., Gonzalez-Meler, M. A., Jastrow, J. D., Norby, R. J., Schlesinger, W. H., 2003. Impacts of fine root turnover on forest NPP and soil C sequestration potential. *Science*, 302(5649), 1385-1387.

- Mia, S., Dijkstra, F. A., Singh, B., 2017. Aging induced changes in biochar's functionality and adsorption behavior for phosphate and ammonium. *Environmental science & technology*, 51(15), 8359-8367.
- Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., Baran, A., 2016. Effect of poultry litter biochar on soil enzymatic activity, ecotoxicity and plant growth. *Applied Soil Ecology*, 105, 144-150.
- Minasny, B., McBratney, A. B., 2018. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European journal of soil science*, 69(1), 39-47.
- Montgomery, E.G., 1911. Correlation studies in corn. *Nebraska Agr. Exp. Sta. Annu. Rep.* 24, 108-159.
- Mustafa, A., Minggang, X., Shah, S. A. A., Abrar, M. M., Nan, S., Baoren, W., Núñez-Delgado, A., 2020. Soil aggregation and soil aggregate stability regulate organic carbon and nitrogen storage in a red soil of southern China. *Journal of Environmental Management*, 270, 110894.
- Narwal, R.P. and Antil, R.S., 2005. Integrated nutrient management in pearl millet – wheat cropping system. In *Management of organic wastes for crop production*, Edited by: Kapoor, K.K., Sharma, K.K., Dudeja, S.S., Kundu, B.S., 205–213. Hisar, India: Department of Microbiology, CCS Haryana Agricultural University.
- Nelissen, V., Rütting, T., Huygens, D., Staelens, J., Ruyschaert, G., Boeckx, P. 2012. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 55, 20-27.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, Page, A.L., Miller, R.H. Keeney, D.R. (Ed) 2nd Ed. SSS of Am. Inc. Pub., Madison, Wisconsin.
- Nie, M., Lu, M., Bell, J., Raut, S., Pendall, E., 2013. Altered root traits due to elevated CO₂: a meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 22(10), 1095-1105.
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Ducey, T. D. 2009, Evaluation of designer biochars to ameliorate select chemical and physical characteristics of degraded soils. In *AICHE Annual Meeting, Nashville. 8-13 November 2009*. (conference paper).
- Novak, J. M., Ippolito, J. A., Watts, D. W., Sigua, G. C., Ducey, T. F., Johnson, M. G., 2019. Biochar compost blends facilitates witchgrass growth in mine soils by reducing Cd and Zn bioavailability. *Biochar*, 1(1), 97-114.
- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., Børresen, T., 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 35-44.

- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanable, F. S. Ve Dean, I. A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction With Sodium Bicarbonate. *USDA, Circ.*, 939, Washington, D.C.
- Olmo, M., Alburquerque, J.A., Barrón, V., Del Campillo, M.C., Gallardo, A., Fuentes, M., Villar, R., 2014. Wheat growth and yield responses to biochar addition under Mediterranean climate conditions. *Biology and Fert. of Soils*, 50(8), 1177-1187.
- Ouyang, L., Wang, F., Tang, J., Yu, L., Zhang, R., 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(4), 991-1002.
- Ouyang, L., Tang, Q., Yu, L. A., Zhang, R., 2014. Effects of amendment of different biochars on soil enzyme activities related to carbon mineralization. *Soil Res*, 52, 706-716.
- Palansooriya, K. N., Wong, J. T. F., Hashimoto, Y., Huang, L., Rinklebe, J., Chang, S. X., ... Ok, Y. S., 2019. Response of microbial communities to biochar-amended soils: a critical review. *Biochar*, 1(1), 3-22.
- Pandian, K., Subramaniayan, P., Gnasekaran, P., Chitraputhirapillai, S., 2016. Effect of biochar amendment on soil physical, chemical and biological properties and groundnut yield in rainfed Alfisol of semi-arid tropics. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(9), 1293-1310.
- Partey, S. T., Saito, K., Preziosi, R. F., Robson, G. D., 2016. Biochar use in a legume–rice rotation system: effects on soil fertility and crop performance. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(2), 199-215.
- Pathak, H., Singh, R., Bhatia, A., Jain, N., 2006. Recycling of rice straw to improve wheat yield and soil fertility and reduce atmospheric pollution. *Paddy and Water Environment*, 4(2), 111-117.
- Paz-Ferreiro, J., Gasco, G., Gutiérrez, B., Mendez, A., 2012. Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. *Biology and fertility of soils*, 48(5), 511-517.
- Razaq, M., Shen, HL, Sher, H., Zhang, P. 2017. Biyokömür ve nitrojenin Acer mono'nun ince kök morfolojisi, fizyolojisi ve kimyası üzerindeki etkisi. *Bilimsel raporlar* , 7 (1), 1-11.
- Pietikäinen, J., Kiikkilä, O., Fritze, H., 2000. Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. *Oikos*, 89(2), 231-242.
- Pimenta, A. S., de Oliveira Miranda, N., de Carvalho, M. A. B., da Silva, G. G. C., Oliveira, E. M. M. 2019. Effects of biochar addition on chemical properties of a sandy soil from northeast Brazil. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3), 1-6.

- Pfister, M. and Saha, S., 2017. Effects of biochar and fertilizer management on sunflower (*Helianthus annuus* L.) feedstock and soil properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(5), 651-662.
- Prapagdee, S. and Tawinteung, N., 2017. Effects of biochar on enhanced nutrient use efficiency of greenbean, *Vigna radiata* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10), 9460-9467.
- Prendergast-Miller, M. T., Duvall, M., Sohi, S. P., 2014. Biochar–root interactions are mediated by biochar nutrient content and impacts on soil nutrient availability. *European journal of soil science*, 65(1), 173-185.
- Purakayastha, T. J., Bera, T., Bhaduri, D., Sarkar, B., Mandal, S., Wade, P., Tsang, D. C. 2019. A review on biochar modulated soil condition improvements and nutrient dynamics concerning crop yields: Pathways to climate change mitigation and global food security. *Chemosphere*, 227, 345-365.
- Razzaghi, F., Obour, P. B., Arthur, E., 2020. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. *Geoderma*, 361, 114055.
- Rees, F., Simonnot, M. O., Morel, J. L., 2014. Short-term effects of biochar on soil heavy metal mobility are controlled by intra-particle diffusion and soil pH increase. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 149-161.
- Ren, T., Wang, H., Yuan, Y., Feng, H., Wang, B., Kuang, G., Liu, G., 2021. Biochar increases tobacco yield by promoting root growth based on a three-year field application. *Scientific Reports*, 11(1), 1-9.
- Revell, K. T., Maguire, R. O., Agblevor, F. A., 2012. Influence of poultry litter biochar on soil properties and plant growth. *Soil Science*, 177(6), 402-408.
- Rogers, E. D. and Benfey, P. N., 2015. Regulation of plant root system architecture: implications for crop advancement. *Current Opinion in Biotechnology*, 32, 93-98.
- Rueden, C. T., Schindelin, J., Hiner, M. C., DeZonia, B. E., Walter, A. E., Arena, E. T., Eliceiri, K. W., 2017. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *Bmc Bioinformatics*, 18(1), 529.
- Saffih-Hdadi, K., Défossez, P., Richard, G., Cui, Y. J., Tang, A. M., Chaplain, V., 2009. A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. *Soil and Tillage Research*, 105(1), 96-103.
- Saha, A., Basak, B. B., Gajbhiye, N. A., Kalariya, K. A., Manivel, P., 2019. Sustainable fertilization through co-application of biochar and chemical fertilizers improves yield, quality of *Andrographis paniculata* and soil health. *Industrial Crops and Products*, 140, 111607.
- Sathe, P. S., Adivarekar, R. V., Pandit, A. B., 2021. Valorization of peanut Shell biochar for soil amendment. *Journal of Plant Nutrition*, 45(4), 503-521.

- Seethepalli, A., Dhakal, K., Griffiths, M., Guo, H., Freschet, G. T., York, L. M., 2021. Rhizovision explorer: Open-source software for root image analysis and measurement standardization. *Cold Spring Harbor Laboratory*. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.1101/2021.04.11.439359>.
- Sefiddashti, P. K., 2012. Effects of charcoal addition on spring wheat: a green house study (Master's thesis, *Norwegian University of Life Sciences*, Ås).
- Schmidt, M. W., Skjemstad, J. O., Jäger, C., 2002. Carbon isotope geochemistry and nano morphology of soil black carbon: Black chernozemic soils in central Europe originate from ancient biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4), 70-1.
- Schulz, H., Dunst, G., Glaser, B., 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agronomy for sustainable development*, 33(4), 817-827.
- Shanthi, P., Renuka, R., Sreekanth, N. P., Babu, P., Thomas, A. P., 2013. A study of the fertility and carbon sequestration potential of ricesoil with respect to the application of biochar and selected amendments. *Annals of environmental science*, 7, 17-30.
- Sharpley, A. N., and Withers, P. J., 1994. The environmentally-sound management of agricultural phosphorus. *Fertilizer research*, 39(2), 133-146.
- Sial, T. A., Khan, M. N., Lan, Z., Kumbhar, F., Ying, Z., Zhang, J., Li, X., 2019. Contrasting effects of banana peels waste and its biochar on greenhouse gas emissions and soil biochemical properties. *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 366-377.
- Silva, L. G., de Andrade, C. A., Bettiol, W., 2020. Biochar amendment increases soil microbial biomass and plant growth and suppresses Fusarium wilt in tomato. *Tropical Plant Pathology*, 45(1), 73-83.
- Simiele, M., De Zio, E., Montagnoli, A., Terzaghi, M., Chiatante, D., Scippa, G. S., Trupiano, D., 2022. Biochar and/or compost to enhance nursery-produced seedling performance: a potential tool for forest restoration programs. *Forests*, 13(4), 550.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K., 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and tillage research*, 79(1), 7-31.
- Soinne, H., Hovi, J., Tammeorg, P., Turtola, E., 2014. Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil. *Geoderma*, aggregate stability, 219, 162-167.
- Song, X., Razavi, B. S., Ludwig, B., Zamanian, K., Zang, H., Kuzyakov, Y., Gunina, A., 2020. Combined biochar and nitrogen application stimulates enzyme activity and root plasticity. *Science of the Total Environment*, 735, 139393.

- Staff, M., 1954. Results of forecasting with the barotropic model on an electronic computer (BESK). *Tellus*, 6(2), 139-149.
- Steinbeiss, S., Gleixner, G., Antonietti, M., 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6), 1301-1310.
- Steiner, C., Das, K. C., Melear, N., Lakly, D., 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *Journal of environmental quality*, 39(4), 1236-1242.
- Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed. *Bull. Fish. Res. Bd Can.* 167: 1-310.
- Sumner, M.E. and Miller, W.P., 1996. Cation Exchange capacity, and Exchange coefficients. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical properties* (3rd ed.). ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI.
- Sun, F. and Lu, S., 2014. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 26-33.
- Tabatabai, M. A., 1996. Soil organic matter testing: An overview. *Soil organic matter: analysis and interpretation*, 46, 1-9.
- Tan, B., Ng, C., Nshimiyimana, J. P., Loh, L. L., Gin, K. Y. H., Thompson, J. R., 2015. Next-generation sequencing (NGS) for assessment of microbial water quality: current progress, challenges, and future opportunities. *Frontiers in microbiology*, 6, 1027.
- Tian, X., Li, C., Zhang, M., Wan, Y, Xie, Z., Chen B, Li, W., 2018 Biochar derived from corn straw affected availability and distribution of soil nutrients and cotton yield. *PLoS one* 13(1), e0189924, 1-19.
- Thies, J.E. and Rillig, M.C., 2012. Characteristics of biochar: biological properties. In *Biochar for environmental management* (pp. 117-138). *Routledge*.
- Thomas, G.W. 1982. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Page, A.L., Miller, R.H. Keeney, D.R.(ed) 2nd edition. *S.S.S. of America Inc. Publisher*, Madison, Wisconsin, 159-164.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3 – Chemical Methods*. *Soil Science Society of America*, Madison, WI, pp. 475–490.
- Tomczyk, A., Sokołowska, Z., Boguta, P., 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19(1), 191-215.

- Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., Nishihara, E., 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil use and management*, 27(2), 205-212.
- Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., Miglietta, F., 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European journal of agronomy*, 34(4), 231-238.
- VarelaMilla, O., Rivera, E. B., Huang, W. J., Chien, C., Wang, Y. M., 2013. Agronomic properties and characterization of ricehusk and wood biochars and their effect on the growth of water spinach in a field test. *Journal of soilscience and plantnutrition*, 13(2), 251-266.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., Cowie, A., 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*, 327(1), 235-246.
- Ventura, M., Sorrenti, G., Panzacchi, P., George, E., Tonon, G., 2013. Biochar reduces short-term nitrate leaching from a horizon in an apple orchard. *Journal of environmental quality*, 42(1), 76-82.
- Verheijen, F.G., Mankasingh, U., Penizek, V., Panzacchi, P., Glaser, B., Jeffery, S., Bastos, A.C., Tammeorg, P., Kern, J., Zavalloni, C., Zanchettin, G., 2017. Representativeness of European biochar research: part I—field experiments. *Journal of environmental engineering and landscape management*, 25(2), pp.140-151.
- Verheijen, F. G., Zhuravel, A., Silva, F. C., Amaro, A., Ben-Hur, M., Keizer, J. J., 2019. The influence of biochar particle size and concentration on bulk density and maximum water holding capacity of sandy vs sandy loam soil in a column experiment. *Geoderma*, 347, 194-202.
- Videgain-Marco, M., Marco-Montori, P., Martí-Dalmau, C., Jaizme-Vega, M. D. C., Manyà-Cervelló, J. J., García-Ramos, F. J., 2020. Effects of biochar application in a sorghum crop under greenhouse conditions: growth parameters and physico chemical fertility. *Agronomy*, 10(1), 104.
- Villagra-Mendoza, K., Horn, R. 2018. Effect of biochar addition on hydraulic functions of two textural soils. *Geoderma*, 326, 88-95.
- Waines, J.G. and Ehdaie, B. 2007. Domestication and crop physiology: Roots of green-revolution wheat. *Annals of Botany*, 100(5):991-998.
- Wang, C., Liu, J., Shen, J., Chen, D., Li, Y., Jiang, B., Wu, J., 2018. Effects of biochar amendment on net greenhouse gas emissions and soil fertility in a double rice cropping system: A 4-year field experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 262, 83-96.
- Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W., Rillig, M.C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and soil*, 300(1-2), 9-20.

- Wilhelm, W.W., Johnson, J.M., Hatfield, J.L., Voorhees, W.B. and Linden, D.R., 2004. Crop and soil productivity response to corn residue removal: A literature review. *Agronomy journal*, 96(1), pp.1-17.
- Williams, A., Hunter, M.C., Kammerer, M., Kane, D.A., Jordan, N.R., Mortensen, D.A., Smith, R.G., Snapp, S., Davis, A.S., 2016. Soil water holding capacity mitigates down side risk and volatility in US rainfed maize: time to invest in soil organic matter?. *PloS one*, 11(8), p.e0160974.
- Witt, C., Cassman, K. G., Olk, D. C., Biker, U., Liboon, S. P., Samson, M. I., Ottow, J. C. G., 2000. Crop rotation and residue management effects on carbon sequestration, nitrogen cycling and productivity of irrigated rice systems. *Plant and Soil*, 225(1), 263-278.
- Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J., Joseph, S., 2010. Sustainable biyochar to mitigate global climate change. *Nat. Commun.* 1. Article Number 56.
- Wu, D., Zhang, W., Xiu, L., Sun, Y., Gu, W., Wang, Y., Chen, W., 2022. Soybean yield response of biochar-regulated soil properties and root growth strategy. *Agronomy*, 12(6), 1412.
- Xiu, L., Zhang, W., Wu, D., Sun, Y., Zhang, H., Gu, W., Chen, W. 2021. Biochar can improve biological nitrogen fixation by altering the root growth strategy of soybean in Albic soil. *Science of The Total Environment*, 773, 144564.
- Xu, J., Yin, Y., Tan, Z., Wang, B., Guo, X., Li, X., Liu, J., 2019. Enhanced removal of Cr (VI) by biochar with Fe as electron shuttles. *Journal of Environmental Sciences*, 78, 109-117.
- Xu, N., Tan, G., Wang, H., Gai, X., 2016. Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure. *European journal of soil biology*, 74, 1-8.
- Yang, F., Zhang, G.L., Yang, J.L., Li, D.C., Zhao, Y.G., Liu, F., Yang, R.M., Yang, F., 2014. Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. *Journal of Hydrology*, 519, 3086-3093.
- Yang, X., Liu, J., McGrouther, K., Huang, H., Lu, K., Guo, X., Wang, H., 2016. Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(2), 974-984.
- Yu, O. Y., Raichle, B., Sink, S. 2013. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4(1), 1-9.
- You, Z., 2012. On the legend of the ancient Mawangdui corpse and the continuation of the key preservation techniques. *Hunan Provincial Museum*, Hunan, pp 91–96

- Zimmerman, A. R., Gao, B., Ahn, M. Y., 2011. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil biology and biochemistry*, 43(6), 1169-1179.
- Zhang, A., Zhou, X., Li, M., Wu, H., 2017. Impacts of biochar addition on soil dissolved organic matter characteristics in a wheat-maize rotation system in Loess Plateau of China. *Chemosphere*, 186, 986-993.
- Zhang, J., Amonette, J. E., Flury, M., 2021. Effect of biochar and biochar particle size on plant-available water of sand, silt loam, and clay soil. *Soil and Tillage Research*, 212, 104992.
- Zhang, Y., Liu, Y. R., Lei, P., Wang, Y. J., Zhong, H., 2018. Biochar and nitrates reduce risk of methyl mercury in soils under straw amendment. *Science of the Total Environment*, 619, 384-390.
- Zhang, X., Wang, H., He, L., Lu, K., Sarmah, A., Li, J., Huang, H., 2013. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(12), 8472-8483.
- Zheng, H., Wang, X., Luo, X., Wang, Z., Xing, B., 2018. Biochar-induced negative carbon mineralization priming effects in a coastal wetland soil: roles of soil aggregation and microbial modulation. *Science of the Total Environment*, 610, 951-960.
- Zhu, Q., Kong, L., Xie, F., Zhang, H., Wang, H., Ao, X., 2018. Effects of biochar on seedling root growth of soybeans. *Chilean journal of agricultural research*, 78(4), 549-558.
- Zhu, Y., Wang, H., Lv, X., Zhang, Y., Wang, W., 2020. Effects of biochar and biofertilizer on cadmium-contaminated cotton growth and the anti oxidative defense system. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- Zoghi, Z., Hosseini, S. M., Kouchaksaraei, M. T., Kooch, Y., Guidi, L., 2019. The effect of biochar amendment on the growth, morphology and physiology of *Quercus castaneifolia* seedlings under water-deficit stress. *European Journal of Forest Research*, 138(6), 967-979.