



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI**

**ASİTLEŞTİRİLMİŞ VE Zn İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ
BİYOÇARIN TOPRAK DÜZENLEYİCİ OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİ**

Doktora Tezi

Salih DEMİRKAYA

Danışman
Prof. Dr. Coşkun GÜLSER

SAMSUN

2024

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI



**ASİTLEŞTİRİLMİŞ VE Zn İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ
BİYOÇARIN TOPRAK DÜZENLEYİCİ OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİ**

Doktora Tezi

Salih DEMİRKAYA

Danışman

Prof. Dr. Coşkun GÜLSER

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.ZRT.1904.22.014 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN

2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Salih DEMİRKAYA tarafından, Prof. Dr. Coşkun GÜLSER danışmanlığında hazırlanan “ASİTLEŞTİRİLMİŞ VE Zn İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ BİYOÇARIN TOPRAK DÜZENLEYİCİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 19.2.2024 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Coşkun GÜLSER Ondokuz Mayıs Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Orhan DENGİZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Tayfun AŞKIN Ordu Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Alper TANER Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Pelin ALABOZ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

... / ... / 20...

Salih DEMİRKAYA

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : ASİTLEŞTİRİLMİŞ VE Zn İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ BİYOÇARIN TOPRAK DÜZENLEYİCİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 25.12.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 5

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

... / ... / 20...

Prof. Dr. Coşkun GÜLSER

ÖZET

ASİTLEŞTİRİLMİŞ VE Zn İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ BİYOÇARIN TOPRAK DÜZENLEYİCİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Salih DEMİRKAYA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı

Doktora, Şubat/2024

Danışman: Prof. Dr. Coşkun GÜLSER

Bu çalışmada, biyoçarın (B) asitleştirilip (A) çinko (Zn) ile zenginleştirmesinden sonra elde edilen dört farklı materyalin (B, BZn, AB, ABZn) kireçli kaba ve kireçsiz ince bünyeli topraklarda düzenleyici olarak kullanılabilirliği sera ve tarla koşullarında araştırılmıştır. Biyoçarın asitleştirilmesinde H_2SO_4 , çinko ile zenginleştirilmesinde $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ kullanılmıştır. Sera denemesinde %0.5, %1.0 ve %2.0 dozlarından elde edilen sonuçlara göre tarla denemelerinde %0.5 ve %1.0 dozları uygulanmıştır. Biyoçar uygulamalarının etkisi deneme koşullarına ve toprak tipine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Her iki toprakta da AB ve ABZn uygulamaları toprak pH'sını düşürmüş, B ve BZn uygulamaları artırmıştır. Sera denemesinde AB ve ABZn uygulamaları toprak EC'sini önemli düzeyde artırmış fakat bu etki tarla denemelerinde daha az olmuştur. Biyoçar uygulamaları her iki toprakta da organik madde miktarını artırırken, kation değişim kapasitesi, değişebilir Ca, Mg, K, yarıyışlı P ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Cu ve Mn içerikleri üzerine olan etkileri deneme koşulları ve toprak tipine göre değişkenlik göstermiştir. Sera denemesinde BZn ve ABZn uygulamaları her iki toprakta da DTPA-Zn içeriğini artırmada etkili olurken bu etki tarla denemesinde belirlenememiştir. Biyoçar uygulamalarının etkisi deneme şartlarına ve toprak tipine bağlı olmaksızın toprakların hacim ağırlığını azaltmıştır. Uygulamaların agregat stabilitesi üzerine etkileri sera denemelerinde değişkenlik gösterse de tarla denemelerinde her iki toprakta da agregat stabilite değerleri biyoçar uygulamalarıyla artmıştır. Uygulamaların toprakların tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri üzerine etkileri değişkenlik gösterirken, her iki toprakta da bitkiye yarıyışlı su miktarı biyoçar uygulamalarıyla artmıştır.

Tane verimleri incelendiğinde sera denemelerinde kontrole göre kireçli kaba bünyeli toprakta uygulamaların etkisi değişkenlik göstermiş tarla koşullarında ise yalnızca B ve BZn uygulamaları verimi artırmıştır. Kireçsiz ince bünyeli toprakta ise tüm uygulamalar hem sera hem tarla koşullarında tane verimini kontrole kıyasla artırmıştır.

Anahtar Sözcükler: Biyoçar, Asitleştirme, Çinko, Buğday, Kireçli toprak, Toprak kalitesi

ABSTRACT

USABILITY OF ACIDIFIED AND Zn ENRICHED BIOCHAR AS A SOIL CONDITIONER

Salih DEMİRKAYA

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Soil Science and Plant Nutrition

Ph.D., February/2024

Supervisor: Prof. Dr. Coşkun GÜLSER

In this study, the usability of four different materials (B, BZn, AB, ABZn) obtained by acidifying (A) and enriching with zinc (Zn) of biochar (B) was investigated as a soil conditioner in calcareous coarse and non-calcareous fine-textured soils under greenhouse and field conditions. H_2SO_4 was used for biochar acidification, and $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ was used for zinc enrichment. According to the results obtained from doses of 0.5%, 1.0% and 2.0% in greenhouse experiments, 0.5% and 1.0% doses were selected as application doses in field experiments. The impact of biochar applications varied depending on the experimental conditions and soil type. In both soils, AB and ABZn applications decreased soil pH, while B and BZn applications increased it. AB and ABZn applications significantly increased soil EC in the greenhouse experiment, but this effect was less pronounced in the field experiments. Biochar applications increased organic matter content in both soils, while their effects on cation exchange capacity, exchangeable Ca, Mg, K, available P, and DTPA-extractable Fe, Cu, and Mn content varied depending on the experimental conditions and soil type. Although BZn and ABZn applications effectively increased DTPA-Zn content in both soils in the greenhouse experiment, this effect could not be determined in the field experiment. The impact of biochar applications reduced soil bulk density regardless of the experimental conditions and soil type. While the effects of applications on aggregate stability varied in greenhouse experiments, aggregate stability values increased with biochar applications in both soils under field conditions. The effects of applications on soil field capacity and wilting point values varied, but the plant-available water content increased with biochar application in both soils.

When grain yields were examined, the impact of applications in calcareous coarse-textured soil varied in greenhouse experiments, whereas in field conditions, only B and BZn applications increased the yield. In non-calcareous fine-textured soil, all applications increased grain yield in both greenhouse and field conditions

Keywords: Biochar, Acidification, Zinc, Wheat, Calcareous soil, Soil quality

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanması ve yürütülmesiyle birlikte akademik hayatım boyunca benden yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Coşkun GÜLSER'e çok teşekkür eder saygılarımı sunarım. Tez çalışmam boyunca yaptıkları katkılardan dolayı değerli Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Orhan DENGİZ ve Doç. Dr. Alper Taner'e teşekkür ederim. Lisans ve lisansüstü eğitimim süresince değerli katkılarını eksik etmeyen Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü hocalarına teşekkür ederim.

Tez çalışmasının yürütülmesi esnasında benden yardımlarını esirgemeyen çok değerli arkadaşlarım Araş. Gör. Abdurrahman AY'a, Araş. Gör. Elif ÖZTÜRK'e, Araş. Gör. Dr. Güney AKINOĞLU'na, Araş. Gör. Dr. Ömer TAŞ'a, Araş. Gör. Dr. Gürkan BİLİR'e, Mutlu YALÇIN'a, ve Nursaç Serda KAYA'ya, teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme en içten sevgilerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde PYO.ZRT.1904.22.014 no'lu proje ile maddi katkılarından dolayı Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim. Tez çalışmasında kullanılan biyoçar materyalinin temin edildiği *Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic. A.Ş.*'ye ayrıca teşekkür ederim.

Salih DEMİRKAYA

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Materyal	13
3.1.1. Deneme Alanlarına Ait Bilgiler	13
3.1.2. Sera Denemesinde Kullanılan Toprak Örnekleri	15
3.1.3. Biyoçar Materyali	16
3.1.4. Sera ve Tarla Denemelerinde Kullanılan Bitki Materyali	16
3.2. Yöntem	17
3.2.1. Biyoçarın Asitleştirilmesi ve Çinko ile Zenginleştirilmesi	17
3.2.2. Sera Denemesinin Kurulması	18
3.2.3. Sera Denemesinin Sonlandırılması	19
3.2.4. Tarla Denemelerinin Kurulması	20
3.2.5. Tarla Denemelerinin Sonlandırılması	23
3.2.6. Toprak Örneklerinde Yapılan Kimyasal ve Fiziksel Analizler	24
3.2.7. Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler ve Ölçümler	26
3.3. İstatiksel Analizler	26
4. BULGULAR	27
4.1. Asitleştirme ve Çinko ile Zenginleştirme İşlemlerinden Sonra Elde Edilen Biyoçar Materyallerinin Bazı Özellikleri	27
4.1. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Toprakların Kimyasal Özelliklerindeki Değişim	27
4.1.1. Toprak Reaksiyonu (pH)	27
4.1.2. Elektriksel İletkenlik (EC)	30
4.1.3. Organik Madde (OM)	32
4.1.4. Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)	35
4.1.5. Değişebilir Kalsiyum (Ca)	37
4.1.6. Değişebilir Magnezyum (Mg)	40
4.1.7. Değişebilir Potasyum (K)	42
4.1.8. Değişebilir Sodyum (Na)	52
4.1.9. Bitkiye Yarayışlı Fosfor (P)	54
4.1.10. DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Demir (DTPA-Fe)	57
4.1.11. DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Bakır (DTPA-Cu)	60
4.1.12. DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Mangan (DTPA-Mn)	62
4.1.13. DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Çinko (DTPA-Zn)	65
4.2. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Toprakların Fiziksel Özelliklerindeki Değişim	67

4.2.1. Hacim Ağırlığı (HA).....	67
4.2.2. Agregat Stabilitesi (AS).....	69
4.2.3. Tarla Kapasitesi (TK)	72
4.2.4. Devamlı Solma Noktası (DSN)	74
4.2.5. Bitkiye Yarayışlı Su (BYS)	77
4.3. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Biyolojik ve Tane Verimleri.....	79
4.3.1. Biyolojik Verim (BV).....	79
4.3.2. Tane Verimi (TV)	82
4.4. Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleriyle Verim Arasındaki İlişkiler .	84
5. TARTIŞMA.....	86
5.1. Asitleştirme ve Çinko ile Zenginleştirme İşlemlerinin Biyoçarın Özelliklerine Etkisi.....	86
5.2. Biyoçar Uygulamalarının Toprakların Kimyasal Özelliklerine Etkisi	86
5.3. Biyoçar Uygulamalarının Toprakların Makro Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi	89
5.4. Biyoçar Uygulamalarının Toprakların Mikro Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi	91
5.5. Biyoçar Uygulamalarının Toprakların Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi.....	92
5.6. Biyoçar Uygulamalarının Biyolojik ve Tane Verimleri Üzerine Etkisi.....	96
6. SONUÇ	98
KAYNAKLAR.....	101
ÖZ GEÇMİŞ.....	116

SİMGELER VE KISALTMALAR

EC	: Elektriksel iletkenlik
DTPA	: Dietilentriaminpentaasetik asit
OM	: Organik madde
OC	: Organik karbon
KDK	: Katyon değişim kapasitesi
cmol	: santimol
B	: Orijinal biyoçar
BZn	: Çinko ile zenginleştirilmiş biyoçar
AB	: Asitleştirilmiş biyoçar
ABZn	: Hem asitleştirilmiş hem de çinko ile zenginleştirilmiş biyoçar

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Bafra deneme alanında tarla denemesinin kurulduğu yer	13
Şekil 3.2. Bafra ilçesi 2022 yılı aylık maksimum-minimum sıcaklık ve toplam yağış verileri.....	14
Şekil 3.3. Kampüs deneme alanında tarla denemesinin kurulduğu yer.....	14
Şekil 3.4. Samsun ili 2022 yılı aylık maksimum-minimum sıcaklık ve toplam yağış verileri	15
Şekil 3.5. Samsun ili uzun yıllar ortalama sıcaklık ve yağış değerleri	15
Şekil 3.6. Tez çalışmasında izlenen yönteme ait akış şeması	17
Şekil 3.7. H ₂ SO ₄ ilavesi ile biyoçar pH'sında meydana gelen değişim	18
Şekil 3.8. Bafra (A) ve Kampüs (B) topraklarında kurulan sera denemesinde bitki gelişim durumuna ait bir görüntü	19
Şekil 3.9. Hasat dönemine ait bir görüntü	20
Şekil 3.10. Tarla parselizasyon düzeni	20
Şekil 3.11. Bafra (A) ve Kampüs (B) deneme alanlarında ekim hazırlıklarının yapılması	21
Şekil 3.12. Biyoçar materyallerinin toprağa karıştırılması	21
Şekil 3.13. Tohum ekimlerinin yapılması.....	21
Şekil 3.14. Tarla denemelerinde farklı bitki gelişim dönemlerine ait görüntüler	22
Şekil 3.15. Parsellerin hasat edilmesi ve tartılması	23
Şekil 3.16. Sapların harman edilmesi	23
Şekil 3.17. Tanelerin separatör ile ayıklanması	24
Şekil 4.1. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının toprak pH'sına etkisi	29
Şekil 4.2. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının toprak pH'sına etkisi	29
Şekil 4.3. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının elektriksel iletkenlik değerine etkisi.....	32
Şekil 4.4. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının elektriksel iletkenlik değerine etkisi.....	32
Şekil 4.5. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının toprak organik maddesine etkisi	34
Şekil 4.6. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının toprak organik maddesine etkisi	34
Şekil 4.7. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının katyon değişim kapasitesine etkisi	36
Şekil 4.8. Kampüs deneme alanı toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda uygulamaların katyon değişim kapasitesine etkisi.....	37
Şekil 4.9. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir kalsiyum içeriğine etkisi.....	39
Şekil 4.10. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir kalsiyum içeriğine etkisi.....	39
Şekil 4.11. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir magnezyum içeriğine etkisi.....	41

Şekil 4.12. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir magnezyum içeriğine etkisi.....	42
Şekil 4.13. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir potasyum içeriğine etkisi.....	44
Şekil 4.14. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir potasyum içeriğine etkisi.....	44
Şekil 4.15. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Ca/Mg oranına etkisi.....	46
Şekil 4.16. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Ca/Mg oranına etkisi.....	47
Şekil 4.17. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Ca/K oranına etkisi.....	49
Şekil 4.18. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Ca/K oranına etkisi.....	49
Şekil 4.19. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Mg/K oranına etkisi.....	51
Şekil 4.20. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Mg/K oranına etkisi.....	52
Şekil 4.21. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir sodyum içeriğine etkisi	54
Şekil 4.22. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir sodyum içeriğine etkisi	54
Şekil 4.23. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının yarıyışlı fosfor içeriğine etkisi.....	56
Şekil 4.24. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının yarıyışlı fosfor içeriğine etkisi	57
Şekil 4.25. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Fe içeriğine etkisi.....	59
Şekil 4.26. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Fe içeriğine etkisi.....	59
Şekil 4.27. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Cu içeriğine etkisi	61
Şekil 4.28. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Cu içeriğine etkisi.....	62
Şekil 4.29. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Mn içeriğine etkisi	64
Şekil 4.30. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Mn içeriğine etkisi	64
Şekil 4.31. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA ekstrakte edilebilir çinko içeriğine etkisi.....	66
Şekil 4.32. Kampüs deneme alanı toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda uygulamaların DTPA ekstrakte edilebilir çinko içeriğine etkisi.....	67
Şekil 4.33. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının hacim ağırlığına etkisi.....	69
Şekil 4.34. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının hacim ağırlığına etkisi.....	69

Şekil 4.35. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının agregat stabilitesine etkisi	71
Şekil 4.36. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının agregat stabilitesine etkisi.....	71
Şekil 4.37. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının tarla kapasitesine etkisi	73
Şekil 4.38. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının tarla kapasitesine etkisi	74
Şekil 4.39. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının devamlı solma noktasına etkisi	76
Şekil 4.40. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının devamlı solma noktasına etkisi	76
Şekil 4.41. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının bitkiye yarayışlı su miktarına etkisi	78
Şekil 4.42. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının bitkiye yarayışlı su miktarına etkisi.....	79
Şekil 4.43. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının toprak üstü biyolojik verime etkisi.....	81
Şekil 4.44. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının toprak üstü biyolojik verime etkisi	81
Şekil 4.45. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının tane verimine etkisi.....	83
Şekil 4.46. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının tane verimine etkisi.....	84

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Çeşitli termal dönüşüm işlemlerine ait özellikler ve elde edilen ürünler (Spokas ve ark., 2012).....	5
Tablo 3.1. Her iki deneme alanına ait toprak örneklerine ve biyoçar materyaline ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler	16
Tablo 3.2. Denemelerde kullanılan buğday bitkisinin bazı özellikleri (KTAE, 2017)	17
Tablo 3.3. Sera ve tarla denemelerinde kullanılan farklı biyoçar materyalleri.....	18
Tablo 4.1. Asitleştirme ve çinko ile zenginleştirme işlemlerinden sonra elde edilen biyoçarlara ait bazı özellikler.....	27
Tablo 4.2. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama pH değerleri	28
Tablo 4.3. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama EC değerleri.....	31
Tablo 4.4. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama OM değerleri	33
Tablo 4.5. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama KDK değerleri	35
Tablo 4.6. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama değişebilir Ca değerleri	38
Tablo 4.7. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama değişebilir Mg değerleri	40
Tablo 4.8. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama değişebilir K değerleri.....	43
Tablo 4.9. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama Ca/Mg oranları.....	45
Tablo 4.10. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait Ca/K oranları	48
Tablo 4.11. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait Mg/K oranları	50
Tablo 4.12. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama değişebilir Na değerleri.....	53
Tablo 4.13. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama yarıyışlı P değerleri	55
Tablo 4.14. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama DTPA-Fe değerleri	58
Tablo 4.15. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama DTPA-Cu değerleri.....	60
Tablo 4.16. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama DTPA-Mn değerleri.....	63
Tablo 4.17. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama DTPA-Zn değerleri.....	65
Tablo 4.18. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama HA değerleri.....	68
Tablo 4.19. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama AS değerleri.....	70

Tablo 4.20. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama TK değerleri	72
Tablo 4.21. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama DSN değerleri.....	75
Tablo 4.22. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama BYS değerleri.....	77
Tablo 4.23. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama BV değerleri	80
Tablo 4.24. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama TV değerleri	82
Tablo 4.25. Deneme sonunda tüm toprak özellikleri ile bitki ve tane verimi arasındaki korelasyon ...	85



1. GİRİŞ

Sürdürülebilir tarım; güvenli, çevre sağlığını tehdit etmeyen, toprak verimliliğinin ve kalitesinin devamlılığının sağlandığı, yüzey ve yeraltı su kaynaklarının korunduğu yeni tarım uygulamalarını geliştirmek için fizik, kimya, biyoloji, ekoloji, ekonomi ve sosyal bilimlerin kapsamlı bir şekilde entegre edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Lichtfouse ve ark., 2009). Fakat son yıllarda sürdürülebilir tarımsal üretim, toprak bozunumu gibi çok ciddi bir tehditle karşı karşıya kalmaktadır (Lal, 2008, Smith ve Gregory, 2013). Toprak bozunumu, toprak organik maddesinin tükenmesiyle birlikte asitleşme, tuzlulaşma, sıkışma, su tutma kapasitesi ve kation değişim kapasitesinin azalması gibi olumsuzluklara yol açarak küresel gıda üretimini gün geçtikçe daha fazla kısıtlamaktadır ki bu da küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini hızlandırmaktadır (Smith ve ark., 2015). Bazı bölgelerde tarımsal üretim uygulamalarının ve aşırı toprak işlemenin bir sonucu olarak toprak organik karbonunun %30 ila %50 arasında azaldığı bilinmektedir (Schlesinger, 1986). Toprak bozunumunu ortadan kaldırmak ve toprak kalitesini iyileştirmek için topraklara organik madde ilavesi son yıllarda kayda değer bir şekilde artmıştır. Organik madde ilavesinin toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiği yapılan birçok çalışmayla ortaya konulmuştur (Candemir ve Gülser, 2011; Demir ve Gülser 2015; 2021; Gülser ve Candemir 2012; 2015; Gülser ve ark., 2015a; 2015b; 2017).

Toprak bozunumunun yanı sıra toprak kalitesini olumsuz etkileyen etmenlerden bir diğeri de, topraktaki yüksek kireç içeriğidir. Toprakta bitki besin elementlerinin yarıyışlılığı ile toprak özellikleri çok yakından ilişkilidir. Kireçli topraklardaki en önemli sorunların başında; besin elementlerinin yarıyışlılığının (özellikle mikroelementlerin) sınırlı olması, yüksek pH, düşük organik madde kapsamı ve düşük biyolojik aktivite gelmektedir (Rengel 2015; Abbaszadeh-Dahaji ve ark., 2019; Bityutski ve ark., 2017; Kumari ve ark., 2018). Kireçli topraklar kurak ve yarı kurak bölgelerde bulunan, çok yüksek miktarda serbest kireç içeren (CaCO_3 veya MgCO_3) ve dünyada yaklaşık 600 milyon hektar alanda yayılım gösteren topraklardır (Leytem ve Mikkelsen, 2005).

Türkiye topraklarının %57.6'sının kireç içeriği %5'den fazladır ve bu toprakların %32'si fazla ve çok fazla (%15'den fazla) kireç içermektedir. Türkiye'de başta buğday bitkisi (9.4 milyon hektar) olmak üzere tarla bitkileri üretiminin çoğunluğu da bu topraklarda gerçekleştirilmektedir. Buğday dünyada mısır ve çeltikle birlikte en çok üretilen üç tahıldan bir tanesidir. Ilıman ve serin iklim koşullarında gelişimini rahatlıkla sürdürebilmesi, değişken çevre şartlarına çok hızlı adapte olabilmesi ve yüksek besin değerine sahip olması bakımından birçok toplum için günlük olarak tüketilen temel gıda durumundadır (Li ve ark., 2018).

Türkiye 19.5 milyon ton üretim ile dünyaki toplam buğday üretiminde (783 milyon ton) %2.5'lik bir paya sahip olmuştur (Anonim, 2023). Buğday üretiminin en fazla olduğu Orta Anadolu bölgesinde topraklar organik maddece fakir, yüksek pH'ya ve kireç içeriğine sahiptir (Çakmak, 2008). Bu bölgelerde üründe kaliteli verimi olumsuz etkileyen en önemli etmenlerin başında çinko noksanlığı gelmektedir ve Türkiye topraklarında şiddetli çinko noksanlığı görülen ülkeler arasındadır (Sillanpää 1990; Çakmak ve ark., 1999; White ve Zasoski 1999; Rashid ve Ryan 2004; Alloway 2004). 1151 toprak örneğinin incelendiği bir çalışmada Türkiyede işlenen tarım topraklarının yaklaşık %50'si bitkiye yarayışlı çinko bakımından eksiklik göstermektedir (Eyupoglu ve ark., 1994). Çoğu durumda topraklarda pH'nın artması, organik madde ve nem içeriğinin azalmasıyla birlikte çinko noksanlığı daha belirgin hale gelmektedir. Bu sebeplerden dolayı çinkonun çözünürlüğü ve hareketliliği azalmakta, kil mineralleri ve metal oksitler tarafından adsorbsiyonu teşvik edilmektedir (Marschner 1993; Rashid ve Ryan 2004).

Ülkemizin yıllık biyo-atık potansiyeli 109.4 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Bunlardan bitkisel kaynaklı atıklar; odunsu (talaş, kabuk, dal), sap-saman (ayçiçeği, mısır, pamuk, buğday vs.), kabuk-kavuz (soya, çeltik, yer fıstığı) ve meyve çekirdekleridir. Hayvansal atıklar ise büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan atıklarıdır (Sümer ve ark., 2016). Ancak ülkemizde tarımsal üretimden sonra kalan atıkların önemli bir kısmı ya yakılmakta ya da tarlada bırakılmaktadır. Hasat sonrası atıklarının yakılarak arazinin dışına çıkarılmaları, toprakların organik madde düzeyini ve verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Wilhelm ve ark., 2004). Son yıllarda topraklara organik madde ilavesi amacıyla organik materyalden piroliz yoluyla elde edilen biyoçar uygulaması bir hayli önem kazanmıştır. Biyoçar

kompost, ahır gübresi, yeşil gübre vs. gibi organik materyallere kıyasla parçalanma ve ayrışmaya daha dirençli olması bakımından tercih edilmektedir. Biyoçar uygulamasıyla toprakta karbon tutulumu sağlanmakta, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri iyileşmekte ve bitki besin elementlerinin yarayışlılığı artmaktadır (Ippolito ve ark., 2012; Ippolito ve ark., 2016; Yang ve ark., 2019). Fakat biyoçar, üretildiği ham maddeye ve üretim koşullarına bağlı olmakla birlikte genellikle alkaline karaktere sahip, bazı katyonlarca zengin bir materyal olmaktadır (Hansen ve ark., 2015). Bu yüzden kireçli ve yüksek pH'ya sahip topraklara uygulanmasında zorluklar yaşanmaktadır. Son yıllarda kireçli topraklara asitleştirilmiş biyoçar uygulamasıyla toprakta kirecin olumsuz etkilerinin giderilmeye ve bitki gelişimini artırmaya yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Şahin ve ark., 2017; Sultan ve ark., 2020; Karimi ve ark., 2020; Demirkaya ve ark., 2021; Demirkaya ve Gülser, 2023). Asitleştirme işlemiyle biyoçarın pH'sı düşmekle birlikte sahip olduğu besin elementlerinin çözünürlüğü artmakta ve daha fazla negatif yük ortaya çıkmaktadır (Xu ve ark., 2021). Sahip olduğu geniş yüzey alanı ve gözenekli yapısıyla biyoçarın besin elementlerini özellikle ağır metalleri tutma özelliği çok fazladır (Sohi ve ark., 2010; Novak ve ark., 2012). Daha önceki çalışmalar, gübrelerin (inorganik veya organik) biyoçar ile birlikte uygulanmasının ürün verimini artırdığını ortaya koymuştur (Khan ve ark., 2008; Ye ve ark., 2020). Gübreye alternatif olarak, birçok araştırmacı toprak verimliliğini ve üretkenliğini artırmak için besin açısından zengin biyoçar üretimine ve uygulamasına odaklanmıştır (Chan ve Xu, 2012; Ippolito ve ark., 2015).

Tüm bu özelliklerinden dolayı asitleştirilmiş ve çinko ile zenginleştirilmiş biyoçar uygulamalarının hem toprak düzenleyici hem de bitki gelişimini teşvik edici bir materyal olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında sera ve tarla koşullarında;

- i) Asitleştirilmiş ve çinko ile zenginleştirilmiş biyoçar uygulamalarının kireçli kaba bünyeli ve kirecsiz ince bünyeli toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerini incelemek,
- ii) Çinko ile zenginleştirilmiş biyoçar uygulamalarının kireçli ve kirecsiz topraklarda buğday bitkisinin verimi üzerine etkilerini belirlemek amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Biyoçar çeşitli organik materyallerin tamamen oksijensiz veya sınırlı oksijen içeren koşullarda, materyalin termal bozunması ile üretilen karbon bakımından zengin, kararlı ve gözenekli bir madde olarak tanımlanmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009). Biyoçar diğer organik atıklara kıyasla (piroliz edilmemiş) 10 ila 100 kat daha yavaş mineralize olmaktadır (Lehmann ve ark., 2009). Bu yüzden son yıllarda biyoçar, toprak verimliliğini artırmak, sürdürülebilir tarımsal üretime yardımcı olmak ve farklı biyotik ve abiyotik streslerin olumsuz etkilerini hafifletmek için tarımsal üretimde kullanılan oldukça değerli bir girdi aracı olarak dikkat çekmektedir (Elad ve ark., 2011; Barrow, 2012; Akhtar ve ark., 2014; Akhtar ve ark., 2015). Aynı zamanda biyoçar sadece tarımsal üretkenliği artırması bakımından değil toprak ve su kaynakları üzerindeki çevresel etkileri azaltması bakımından da önem arz etmektedir (Lehmann ve ark., 2003; Liang ve ark., 2006; Bornemann ve ark., 2007).

Biyoçarın topraktaki etkileri, biyoçarın özelliklerine, uygulama biçimine, uygulanma miktarına ve uygulandığı toprağın özelliklerine göre değişim göstermektedir. Biyoçarın besin elementlerini tutarak topraktaki verimliliği artırması büyük oranda sahip olduğu spesifik yüzey alanı ve yüzeydeki yüklerin karakteristiği ile ilişkilidir (Kuppusamy ve ark., 2016; Mia ve ark., 2017). Fakat biyoçarın bu özellikleri büyük ölçüde elde edildiği ham maddeye ve piroliz koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ham madde ve piroliz koşullarındaki bu çeşitlilik biyoçarın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bir hayli değişkenlik göstermesine yol açmakta ve biyoçarın toprağa uygulandığında farklı etkiler göstermesine sebep olmaktadır (Sohi ve ark., 2010; Lehmann ve ark., 2011, Wang ve ark., 2013). Piroliz kısaca organik maddenin 250 ila 900 °C arasında oksijensiz koşullarda termal bozunmasını ifade etmektedir (Osayi ve ark., 2014). Biyokömürün elde edilmesinde çeşitli piroliz yöntemleri vardır. Bu yöntemler Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Çeşitli termal dönüşüm işlemlerine ait özellikler ve elde edilen ürünler (Spokas ve ark., 2012)

Dönüşüm Tipi	Sıcaklık (°C)	Süre	Verim (%)	Yağ (%)	Gaz (%)
Kurutma	200-320	Birkaç sa.	40-90	-	10-60
Yavaş piroliz	350-700	Birkaç sa.	15-40	20-55	20-60
Hızlı piroliz	450-550	Birkaç dk.	10-30	50-70	5-15
Ani piroliz	300-80	Birkaç sn.	30-40	-	60-70
Gazlaştırma	>800	Birkaç sn.	<10	-	90-100
Hidrotermal karbonizasyon	150-400	Birkaç dk.	5-40	20-40	2-10
Mikro dalga pirolizi	300-500	Birkaç sa.	20-30	<20	50-70

Tarımsal amaçlı kullanılmak üzere biyoçar üretiminde çoğunlukla yavaş, orta, hızlı ve ani piroliz olmak üzere dört farklı yöntem uygulanmaktadır (Kambo ve Dutta, 2015). Piroliz işlemi sırasındaki enerji dönüşümü işleminin maliyetinin düşüklüğü, yenilenebilir kaynaklara dayalı olması, su, hava ve çevre kirliliğine yol açmaması en büyük artılarıdır (Taban ve ark., 2020).

Bu çalışmada ağaç ürünleri sanayi üretimi sonunda ortaya çıkan atıklardan gazlaştırma işlemiyle enerji elde edilmesinden sonra açığa çıkan biyoçar materyali kullanılmıştır. Biyokütlelerden gazlaştırma işlemiyle enerji elde edilmesi, kullanılabilecek biyokütlelerin ve organik materyallerin çeşitliliğinden dolayı biyoenerji üretiminde önemli bir potansiyele sahiptir. Gazlaştırma işlemiyle hem enerji üretimi sağlanmış hem de açığa çıkan biyoçarın toprağa uygulanmasıyla topraktaki karbon stoğunun sürdürülmesi sağlanmış olmaktadır (Nyugen ve ark., 2013).

Genel olarak gazlaştırma gibi yüksek sıcaklarda üretilen biyoçarların spesifik yüzey alanı, toplam besin elementi içeriği ve pH'sı yüksektir (Hansen ve ark., 2015; Ippolito ve ark., 2016). Piroliz sıcaklığının artmasıyla birlikte kolayca ayrışabilen ve uçucu maddelerle birlikte O, H, N, S gibi elementlerin kaybı gerçekleşmekte ve C, Ca, Mg, K gibi elementlerin konsantrasyonu artmakta ayrıca biyoçarın katyon değişim kapasitesi de düşmektedir (Munoz ve ark., 2003; Kloss ve ark., 2012; Cantrell ve ark., 2012; Antal ve Grønli, 2003; Kim ve ark., 2012; Kinney ve ark., 2012; Lee ve ark., 2012). Bu türden biyoçarlar, asit karakterli topraklarda

kireçleme materyali olarak kullanılmasıyla toprak pH'sını ve diğer özelliklerini iyileştirerek toprak verimliliğine katkı sağlaması bakımından önemlidir. Fakat kurak ve yarı kurak bölgelerdeki yüksek pH ve kireç içeriğine sahip topraklarda bu tarz biyoçarların kullanılması uygun olmamaktadır. Bunun için düşük pH'ya sahip biyoçar üretilmesi bir hayli önem arz etmektedir. Ippolito ve ark. (2012) düşük piroliz sıcaklığı kullanarak elde edilen düşük pH'ya sahip biyoçarların kireçli topraklarda besin elementlerinin kaybını azaltarak verimliliğin artırılabilceğini bildirmişlerdir. Düşük pH'ya sahip biyoçar üretmenin bir diğer yolu da kimyasal modifikasyon işlemidir (Sahin ve ark., 2017). Biyoçar üretiminden önce veya sonra asit ilavesinin biyoçarın yüzey alanını artırdığı ve pH'sını düşürdüğü bilinmektedir (Saijadi ve ark., 2019). Ek olarak asitleştirme işlemi yüzeydeki kirleri ve metalik çökeltileri gidererek karboksilik grupların oluşmasını sağlar ve böylece biyoçarın katyon tutma kapasitesi artar (Benis ve ark., 2020).

Biyoçara asit ilavesi sadece biyoçarın pH'sını düşürmek için değil yüzey alanını artırarak ağır metal kirliliği bulunan topraklarda ve atık sularında ıslah materyali olarak kullanmak için de gerçekleştirilmektedir (Rizwan ve ark., 2020). Ayrıca biyoçar toprağa uygulandıktan sonra zamanla eskimekte ve eskiyen biyoçarın fiziksel ve kimyasal özellikleri değişir ve bunun sonucu olarak yüzey fonksiyonel grupları, özellikle karboksil ve hidroksil grupları oluşur. Sonuç olarak biyoçarın zamanla eskimesiyle yüzeyinde negatif yüklerin sayısı ve katyon değişim kapasitesi artar (Cheng ve ark., 2008; Mia ve ark., 2017). Asitleştirme ve diğer bazı kimyasalların uygulanmasıyla (örn. KOH, H₂O₂, MgO, NaOH, H₃PO₄) bu eskime yapay olarak gerçekleştirilmektedir (Ghaffar ve ark., 2015; Rajapaksha ve ark., 2016; Zheng ve ark., 2020; Bashir ve ark., 2020).

Şahin ve ark. (2017) üç farklı asit kullanıp (HNO₃, H₃PO₄ ve HNO₃+H₃PO₄) hem piroliz öncesi hem de piroliz sonrası asitleştirmenin etkilerini incelemişlerdir. Hem piroliz öncesi hem de piroliz sonrası asitleştirmenin biyoçarın pH'sını düşürdüğünü fakat biyoçar elde edildikten sonra asitleştirmenin daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca piroliz öncesi asitleştirilen biyoçarların orijinal biyoçara göre daha düşük EC'ye sahip olduğunu, piroliz sonrası asitleştirilen biyoçarların ise daha yüksek EC'ye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Piroliz sonrası HNO₃ veya

HNO₃+H₃PO₄ ilavesi biyoçarın suda çözünebilir P, Ca, Mg, K, Fe, Zn, Cu, Mn içeriğini artırmıştır.

He ve ark. (2022) tarafından çeltik sapı biyoçarı H₂O₂ ve HNO₃/H₂SO₄ kullanarak modifiye edilmiş ve asidik çeltik toprağına %3 dozunda uygulanmıştır. Toprak pH tamponlama kapasitesinin etkili bir şekilde arttığını ve çeltik toprağının asitleşmeye karşı direncinin, H₂O₂ ve HNO₃/H₂SO₄ ile modifiye edilmiş biyoçarların uygulanmasıyla arttığını bildirmişlerdir. Asitleşmeye direncin büyük oranda biyoçarın yüzeyindeki yüzey fonksiyonel gruplardan kaynaklandığını ve HNO₃/H₂SO₄ ilavesinden sonra biyoçarın karboksil gruplarının H₂O₂ çok daha fazla arttığını belirtmişlerdir.

Demirkaya ve Gülser (2023) tarafından kumlu tınlı bünyeli kireçli bir toprağı orijinal (B_{pH}9.4) ve asitle modifiye edilmiş (B_{pH}6.5 ve B_{pH}3.6) biyoçarlar %0, 1.0, 2.0 ve 4.0 dozlarında uygulanmış ve 30 ve 90 günlük inkübasyon sonunda toprakta pH, EC ve DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içeriğine etkileri araştırılmıştır. Genel olarak orijinal biyoçar uygulaması (pH 9.4) pH değerini artırırken asitleştirilmiş biyoçar uygulamaları azaltmıştır. Elektriksel iletkenlik değerleri incelendiğinde tam tersi durum gerçekleşmiş ve orijinal biyoçar uygulaması EC değerini azaltırken asitleştirilmiş biyoçar uygulamaları EC değerini artırmıştır. Kontrol uygulamasına kıyasla B_{pH}3.6 uygulamasında DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe %49, Mn %43 ve Zn %16 artarken, B_{pH}6.5 uygulamasında ise DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu içeriğı %19 oranında artmıştır.

Ginebra ve ark. (2022) üç hayvan gübresi (inek, tavuk ve domuz) ve bir ağaç (ökaliptüs ağacı) atığı kullanarak 4 farklı biyoçar elde etmiş ve bu biyoçarları 1.1 ton da⁻¹ oranında 0-10 cm toprak derinliğine uygulamışlardır. Çalışmanın sonunda ökaliptüs ağacı biyoçarın kontrol uygulamasına göre toprak pH'sını düşürdüğü, diğer uygulamaların ise artırdığı bildirilmiştir.

Sheng ve Zhu (2018) asit ve alkalın karakterli iki farklı toprak örneğine %0.5, 1.0, 2.0 ve 5.0 dozunda çeltik sapı biyoçarı uygulamışlardır. 90 günlük inkübasyon çalışmasının sonunda toprakların pH değerinin arttığını, asidik topraktaki artışın alkalın topraktakine kıyasla daha fazla olduğunu bildirilmiştir. Bunun sebebi olarak alkalın toprağın asidik topraktan daha fazla organik maddeye sahip olması,

dolayısıyla tamponlama kapasitesinin daha asidik topraktan daha yüksek olmasıyla açıklanmıştır.

İki farklı asidik toprağa (Typic Hapludox ve Typic Hapludult) 500 ve 700 °C'de üretilmiş mısır koçanı ve çeltik kavuzu biyoçarının 8 ton da⁻¹ olacak şekilde uygulandığı inkübasyon çalışmasında, topraklar deneme boyunca tarla kapasitesinin %80'inde olacak şekilde sulanmıştır. 6 haftalık inkübasyon denemesinin sonunda mısır koçanı biyoçarının Hapludox tipi toprakta pH'yı 4.2'den 5.2'ye, Hapludult tipi toprakta ise 4.9'dan 6.2'ye çıkardığı bildirilmiştir (Manso ve ark., 2019).

Hansen ve ark. (2015) buğday samanı ve çam talaşı kullanarak gazlaştırma işlemiyle elde ettikleri biyoçarları %1 ve %5 oranında kumlu tın bünyeli bir toprağa uygulamış ve inkübasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Üç farklı sürede (1, 8 ve 110. gün) yapılan örnekleme sonunda her iki biyoçarında toprakta pH değerini artırdığı belirlenmiştir. 110. Günü sonunda bu artışlar buğday samanı biyoçarında 1.13 birim, çam talaşı biyoçarında 1.36 birim olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca kontrol uygulamasına kıyasla buğday samanı biyoçarının toprakta çözünmüş organik karbon miktarını da (DOC) önemli şekilde artırdığı bildirilmiştir. Çam talaşı biyoçarının çözünmüş karbon miktarını artırmada daha az etkili olması, daha fazla kararlı karbona sahip olması bunun da biyoçar üretim aşamasında buğday samanına göre daha yüksek sıcaklık kullanılmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Mahmoud El-Sharkawy ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada pamuk sapı ve çeltik kavuzu kullanarak biyoçar üretilmiş ve daha sonra bu biyoçar H₂SO₄ kullanarak asitleştirilmiştir. Asitleştirilmiş biyoçarın uygulandığı tuzlu ve alkali toprakta kontrol uygulamasına göre katyon değişim kapasitesi, toprak organik maddesi, bitkiye yarayışlı N, P, K içeriği ve elektriksel iletkenlik değerlerinin istatistiksel olarak önemli bir şekilde arttığı bildirilmiştir. Asitleştirilmiş pamuk sapı biyoçarı uygulaması mısır ve buğday tane verimini kontrol uygulamasına göre %34.15 ve %29.82 oranında artırmıştır.

Demirkaya ve ark. (2021) kireçli bir toprağa 3 farklı biyoçarı (B; orijinal, BFe; demirle zenginleştirilmiş, ve ABFE; asitleştirilip demirle zenginleştirilmiş) 5 farklı dozda (%0, 1.0, 2.0, 4.0 ve 6.0) uygulayıp 30 günlük inkübasyon çalışması yürütmüşlerdir. Orijinal biyoçar uygulamasının %6 dozunda kontrol uygulamasına

göre organik karbon içeriğinin %54 oranında arttığı bildirilmiştir. DTPA ile ekstrakte edilebilir demir içeriğinde ise en etkili uygulama asitleştirilip demirle zenginleştirilmiş biyoçar uygulamasının %4 dozu olduğu ve bu uygulamanın DTPA-Fe içeriğini kontrol uygulamasına kıyasla %50 oranında artırdığı belirtilmiştir.

Kammann ve ark. (2011) kum bünyeli bir toprakta iki farklı biyoçar dozu (100 t ha⁻¹ ve 200 t ha⁻¹) ve iki farklı sulama suyu miktarının (maksimum su tutma kapasitesinin %60 ve %20'si) su kullanım randımanı, fizikokimyasal bitki parametreleri ve sera gazı emisyonu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Biyoçarın normal şartlardan yüksek uygulanmasının (200 t ha⁻¹) biyoçarın bitki gelişimini olumsuz etkileyecek bir üst limitinin olup olmadığını ortaya koymak için araştırıldığı ifade edilmiştir. Çalışmanın sonunda biyoçarın bitki gelişimini ve kuraklığa dayanıklılığı artırdığı, yaprak N içeriğini ve su kullanım etkinliğini olumlu etkilediği, yüksek miktarda uygulanan biyoçarın düşük miktarda uygulanana kıyasla bitki gelişimini artırmadığı bildirilmiştir. Son olarak biyoçarın topraktan N₂O emisyonunu önemli derecede azalttığı belirtilmiştir.

Olmo ve ark. (2016) zeytin ağacı budama atıklarından elde ettikleri biyoçarın toprağa karıştırıldıktan iki yıl sonra buğday bitkisi verimi üzerine etkisini inceledikleri çalışmada toprağa uygulanan biyoçar dozu ile toprak renginin koyulaşması arasında yüksek bir korelasyon olduğunu bildirmiştir. Uygulanan biyoçar dozunun artmasıyla birlikte toprakta sıkışmanın azaldığını, nem içeriği, pH, EC ve P, Ca, K, Mn, Fe ve Zn elementlerinin yayılabilirliğinin arttığı ifade edilmiştir.

Liu ve ark. (2017) Kırmızı asit, organik kahverengi ve tuzlu olarak belirttikleri üç farklı toprağa 0 (kontrol olarak), 1, 2 ve 4 t da⁻¹ olmak üzere üç farklı biyoçar dozu uygulamışlardır. Deneme sonunda biyoçarın toprakta fiziko-kimyasal özellikler, mikrobiyal biyomas, fosfataz aktivitesi, fosfat çözücü bakterilere etkisini ve bakteriyel topluluğun tanımlanmasını gerçekleştirmişlerdir. Deneme sonunda biyoçar uygulamasının toprak pH'sını 0.1 ve 0.2 birim yükselttiği, gravimetrik nem içeriğini ise %0.3 ile 1.4 arasında artırdığı belirtilmiştir. Özellikle biyoçar dozuna bağlı olarak tüm topraklarda Olsen-P miktarının ve mikrobiyal biyomas karbonun arttığı bildirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre çeltik kavuzu biyoçarı toprak bakterilerinin gelişmesine katkıda bulunmuş, toprakta fosforun ve fosforla alakalı enzimlerin miktarını artırmıştır.

Mia ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada çayır otlarından yavaş piroliz yoluyla üretilen biyoçar 10 t ha⁻¹ ve 50 t ha⁻¹ oranlarında toprağa uygulanmış ve çayır üçgülü bitkisinin köklerindeki nodüllerin %39-45 arasında daha fazla olduğunu, azot fiksasyonunun 10 t ha⁻¹ biyoçar uygulamasında %56, 50 t ha⁻¹ uygulamasında ise %48 oranında arttığı bildirilmiştir. Başka bir çalışmada kil tın toprakta yürütülen saksı denemesinde fasulye köklerindeki rizobiyum bakterileri 15 t ha⁻¹ oranında biyoçar uygulamasıyla %31 daha fazla N fikse etmiştir (Rondon ve ark., 2007).

Su tutma ve havalanma kapasitesi, gözeneklilik durumu, bitki köklerine karşı gösterilen mukavemet gibi bitkisel üretimi etkileyen birçok fiziksel toprak parametresi toprakların verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Benjamin ve ark., 2003). İyi bir strüktüre, gözenekliliğe, hidrolik iletkenliğe, hacim ağırlığına sahip toprak mikroorganizmaların gelişimini teşvik eder, toprak profili boyunca besin elementleri ve suyun hareketini kolaylaştırır, yüksek besin elementi ve suyun tutma kapasitesi kök gelişimini teşvik eder ve nihai olarak bozunmuş veya kötü fiziksel özelliklere sahip topraklara kıyasla daha yüksek bitkisel ürün sağlar.

Biyoçar uygulamasının toprakların hacim ağırlığını düşürdüğü yapılan birçok çalışmayla bilinmektedir (Glab ve ark., 2016; Liu ve ark., 2016). Fakat uygulama dozunun 1 ton da⁻¹'dan az olduğu bazı çalışmalarda hacim ağırlığında önemli bir azalma meydana gelmemiştir (Usowicz ve ark., 2016; Xiao ve ark., 2016).

Sentetik gübreler yüksek miktarda besin elementi içerdiklerinden ve bu besin elementleri suda kolayca çözünbildiklerinden dolayı organik gübrelere kıyasla daha fazla kullanılmaktadır (Olsen,1978; Vanlauwe ve ark., 2010). Fakat sürekli ve aşırı gübre kullanımı toprakta ağır metallerin birikmesine ve sonuç olarak insan ve çevre sağlığına karşı ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Gimeno-Garcia ve ark., 1996; Kelepertzis, 2014; Lin ve ark., 2019). Bu yüzden sadece sentetik gübrelerin kullanıldığı geleneksel yoğun toprak işlemeli tarımsal üretim toprak kalitesi, çevre sağlığı ve ekonomik açıdan sürdürülebilir olmamaktadır (Ding ve ark., 2016; Karer ve ark., 2015). Bu yüzden hem çevre dostu hem de ekonomik gübre çeşitleri geliştirilmesi elzemdir (Inyang ve ark., 2016; Ok ve ark., 2015).

Besin elementi biyoçar üretiminde besin elementince zengin biyokütlenin doğrudan piroliz edilmesi, ham maddeye piroliz öncesi besin elementi takviyesi ve

piroliz sonrası elde edilen biyoçara besin elementi takviyesi olmak üzere 3 farklı yöntem vardır (Ndoung ve ark., 2021). Biyoçar besin elementlerini daha yavaş bir şekilde bitkiye sunmakta ve böylece bitki daha uzun süre besin elementlerine erişim sağlamaktadır. Biyoçarın besin elementlerince zenginleştirilmesinin en büyük faydası, besin elementlerinin yarayışlı duruma geçmesi için herhangi bir mikrobiyolojik aktiviteye ihtiyaç duymamasından kaynaklanmaktadır (Khan ve ark., 2008).

Talaş ve çim karışımına kemik unu ve süperfosfat ilave edildikten sonra yavaş piroliz yoluyla biyoçar elde edilmiştir. Elde edilen biyoçarın yüksek fosfor konsantrasyonunun yanı sıra toprakta ağır metallerin stabilizasyonunu da sağladığı bildirilmiştir (Zhao ve ark., 2016).

Zenginleştirilmiş biyoçar ilavesi, zenginleştirilmemiş biyoçar ve kontrol uygulamalarına kıyasla daha yüksek toprak organik maddesi (%232-%514) ve makro besin maddeleri (%110-%230) sağladığı için toprak kalitesini iyileştirmiştir (Kizito ve ark., 2019). Zenginleştirilmiş biyoçar uygulamasından elde edilen mısır bitkisinin biyokütle verimi, kontrol ve zenginleştirilmemiş biyokömür uygulamalarına kıyasla önemli ölçüde daha yüksek bulunmuş fakat kimyasal gübre uygulamalarından elde edilen verimden biraz daha düşük olmuştur (Kizito ve ark., 2019)

Fang ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada şeker kamışı ve fıstık kabuğuna CaCl_2 ve MgCl_2 eklenmiş ve üç farklı sıcaklıkta (450, 700 ve 800 °C) biyoçar üretilmiştir. Mg ile modifiye edilerek 700°C'de üretilen şeker kamışı biyoçarının yüzeydeki pozitif yüklerinden dolayı fosforu çok hızlı bir şekilde adsorbe ettiği ve yüzey alanının arttığı ($1440 \text{ m}^2/\text{g}$) bildirilmiştir.

Ahmad ve ark. (2018) hurma ağacı biyoçarını KH_2PO_4 kullanarak fosforca zenginleştirmiş ve 5, 10, 20 ve 30 g kg^{-1} oranlarında ağır metal kirliliği bulunan maden sahası toprağına uygulayarak bitkiye yarayışlı fosfor, mısır bitkisinin gelişimi ve topraktaki ağır metaller üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kök ve sap uzunluğu ile kuru madde miktarını en fazla artıran uygulamanın fosforca zengin biyoçar uygulamasının %3 dozu olduğu, bitki tarafından en fazla fosforun da bu uygulamada olduğunu bildirmişlerdir.

Chen ve ark. (2018) eltik kavuzunu üre ve H₂O₂ ile zenginleştirerek hem yavaş yarayışlı azota zengin hem de Cd’u daha fazla adsorbe edebilecek bir biyoçar üretmek istemişlerdir. Sera denemesi sonunda zenginleştirilmiş biyoçarın toprak üstü verimi kontrol uygulamasına göre %83.58, orijinal biyoçar uygulamasına göre ise %87.79 artırdığı bildirilmiştir. Orijinal biyoçarın toprak üstü verim üzerine etkisinin önemli olmadığı fakat toprak altı verimi (kök gelişimi) hem kontrol hem de zenginleştirilmiş biyoçara göre 1.5-1.6 kat artırdığı ifade edilmiştir. Ayrıca zenginleştirilmiş biyoçarın orijinal biyoçara göre kadmiyumu %48.98 daha fazla adsorbe etmiştir.

Dong ve ark. (2020) eltik sapı biyoçarı, hümik asit ve bentonitin yavaş salınımlı gübre (%15 N, %15 P₂O₅, %15 K₂O) retiminde kaplama materyali olarak etkinliğini belirlemişlerdir. Toplam N salımında en uygun kaplama malzemesinin %25 biyoçar %10 bentonit, %4 hümik asit ve bağlayıcı olarak da modifiye mısır nişasta içeren gübrede olduğunu bildirmişlerdir. Erken bitki gelişim döneminde uygulanan besin elementleri, bitki gelişim durumu dikkate alındığında ilk başlarda fazla olurken, bitki gelişiminin ilerleyen dönemlerinde yetersiz kalmaktadır (Dong ve ark., 2020). Çalışmaların incelenmesi sonucu tahılların toprağa uygulanan azotun sadece %51’ini topraktan kaldırdığı ortaya konulmuştur (Chien ve ark., 2009).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme Alanlarına Ait Bilgiler

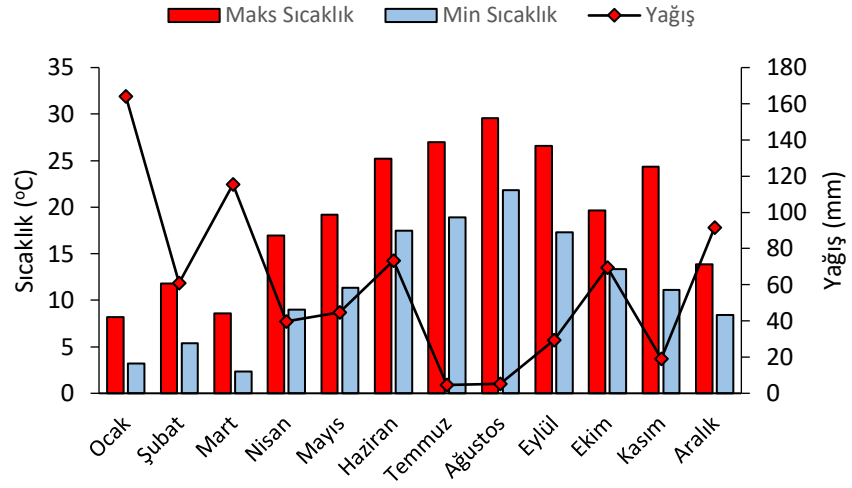
Bu çalışma Bafra (kireçli kaba bünyeli) ve Kampüs (kireçsiz ince bünyeli) Deneme Alanlarından alınan toprak örnekleriyle kurulan sera denemesi ve bu lokasyonlarda kurulan tarla denemelerinden oluşmaktadır.

Bafra deneme alanının koordinatları 41°33.36' Kuzey, 35°51.54' Doğu olup, rakımı 21 m'dir. Kızılırmak Serisinde yer alan deneme alanı toprakları, Typic Ustifluvent ordosundadır (Sarioğlu ve Dengiz, 2012).



Şekil 3.1. Bafra deneme alanında tarla denemesinin kurulduğu yer

Bafra'daki tarla denemenin yürütüldüğü yıl boyunca en yüksek sıcaklık ortalaması Ağustos ayında (30 °C) en düşük sıcaklık ortalaması ise Mart ayında (2 °C) gözlemlenmiştir. En fazla yağış Ocak ayında (164 mm) en az yağış ise Temmuz ve Ağustos aylarında (5 mm) olmuştur (Şekil 3.2).

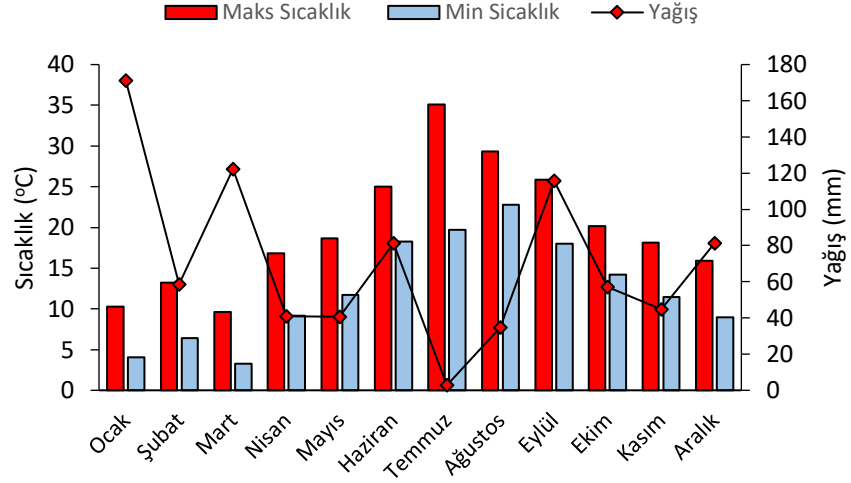


Şekil 3.2. Bafra ilçesi 2022 yılı aylık maksimum-minimum sıcaklık ve toplam yağış verileri

Kampüs deneme alanının koordinatları 41°21.86' Kuzey, 36°11.22' Doğu olup, rakımı 187 m'dir. Kurupelit Serisinde yer alan deneme alanı toprakları Vertic Haplustoll ordosuna dahildir.



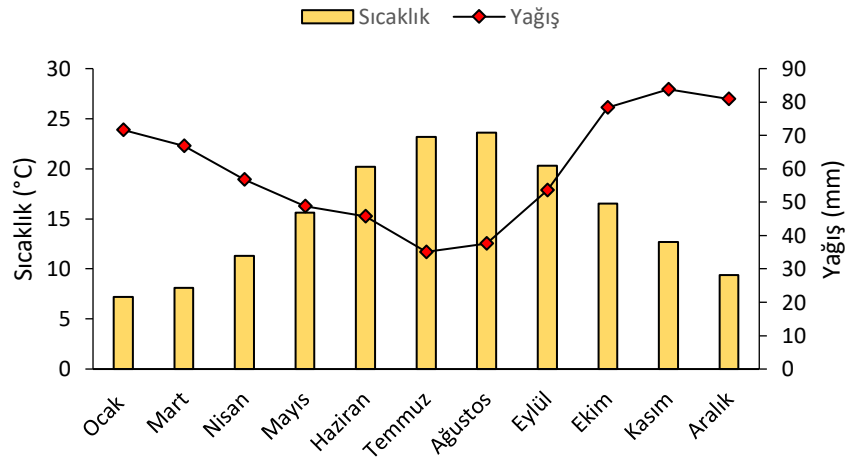
Şekil 3.3. Kampüs deneme alanında tarla denemesinin kurulduğu yer



Şekil 3.4. Samsun ili 2022 yılı aylık maksimum-minimum sıcaklık ve toplam yağış verileri

Denemenin yürütüldüğü yıl boyunca en yüksek sıcaklık ortalaması Temmuz ayında (35 °C) en düşük sıcaklık ortalaması ise Mart ayında (3 °C) gerçekleşmiştir. En fazla yağış Ocak ayında (171 mm) en az yağış ise Temmuz ayında (3 mm) olmuştur (Şekil 3.4).

Samsun ilinin uzun yıllar ortalama sıcaklık ve yağış verisi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Samsun ili uzun yıllar ortalama sıcaklık ve yağış değerleri

3.1.2. Sera Denemesinde Kullanılan Toprak Örnekleri

Bafra ve Kampüs deneme alanlarından 0-20 cm derinliğinden toprak örnekleri alınmıştır. Alınan bu topraklar hava kuru duruma getirildikten sonra 2 mm'lik

elekten elenmiş ve sera çalışmasında kullanılmıştır. Denemede kullanılan toprak örneklerine ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3.1’de verilmiştir.

3.1.3. Biyoçar Materyali

Çalışmada kullanılan biyoçar materyali ağaç atıklarından gazlaştırma (>700 °C) işlemiyle üretilmiş ve Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş’den temin edilmiştir. Biyoçarın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Her iki deneme alanına ait toprak örneklerine ve biyoçar materyaline ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Özellik	Birim	Kampüs	Bafra	Biyoçar
Kum	%	22.13	53.20	-
Silt	%	25.17	24.17	-
Kil	%	52.70	22.63	-
Hacim Ağ.	g cm ⁻³	1.10	1.35	-
Ortalama Ağ. Çap	mm	-	-	2.15
pH (1:1)	-	6.80	7.45	9.45
EC	dS m ⁻¹	0.62	0.32	0.30
Organik C	%	2.44	1.51	4.90
KDK	cmol kg ⁻¹	39.10	23.50	25.25
CaCO ₃	%	3.14	14.95	-
N	%	0.12	0.06	0.16
P	mg kg ⁻¹	19.55	11.25	0.21
K	cmol kg ⁻¹	0.72	0.51	0.92
Ca	cmol kg ⁻¹	22.14	18.40	7.52
Mg	cmol kg ⁻¹	17.15	7.72	1.61
Fe	mg kg ⁻¹	28.44	9.08	77.54
Cu	mg kg ⁻¹	2.79	1.20	10.64
Mn	mg kg ⁻¹	21.22	5.82	95.57
Zn	mg kg ⁻¹	2.15	0.71	10.93

3.1.4. Sera ve Tarla Denemelerinde Kullanılan Bitki Materyali

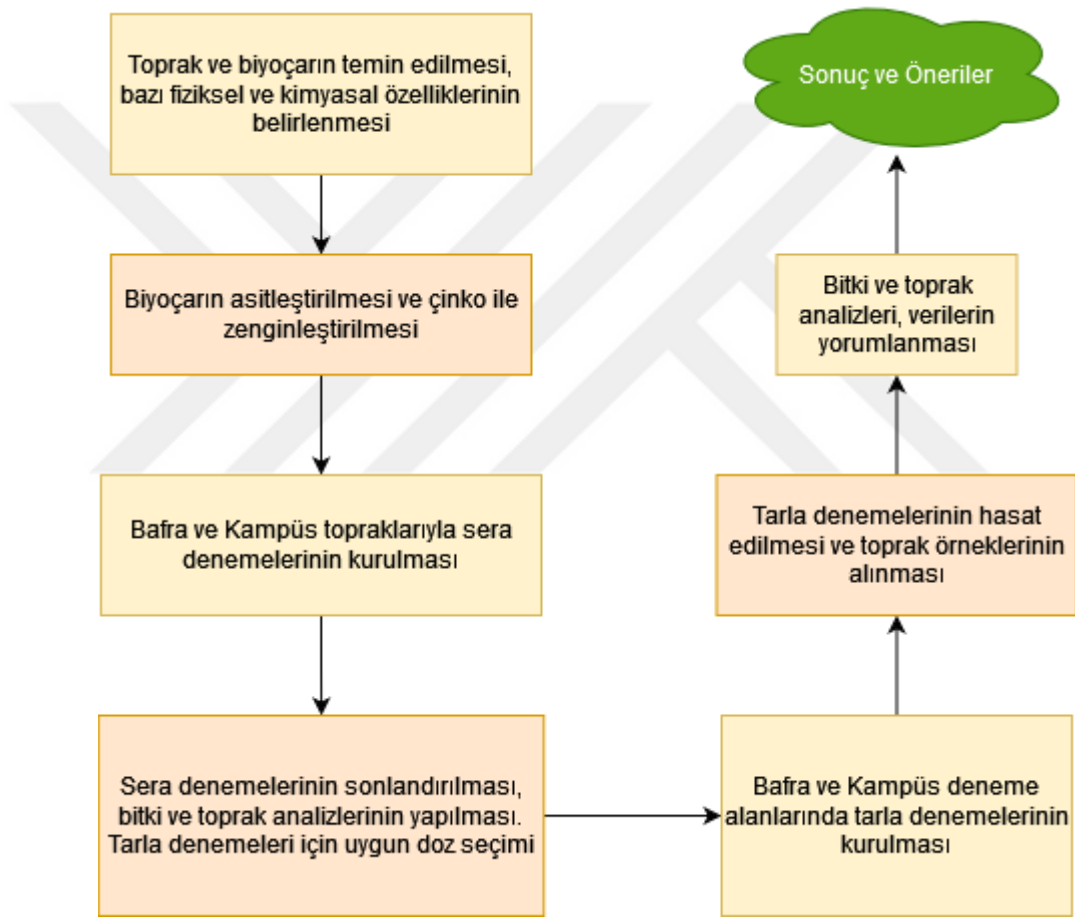
Hem sera hem de tarla denemelerinde Altındane ekmeklik buğday çeşidi kullanılmıştır. Altındane, yazlık karakterli olup, beyaz başaklı, beyaz daneli ve kılçıklı bir ekmeklik buğday çeşididir. Başaklanma gün sayısı bakımından orta erkenci grupta yer almaktadır. Optimum koşullarda 80-100 cm boya sahip olan bu çeşit Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından melezleme yoluyla geliştirilmiş ve 2012 yılında tescil ettirilmiştir. Altındane çeşidine ait bazı özellikler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Denemelerde kullanılan buğday bitkisinin bazı özellikleri (KTAE, 2017)

Özellik	Değer
Hektolitre ağırlığı	80-82 kg
Bindane ağırlığı	32-45 g
Gluten indeksi	98-99
Protein oranı	13-18 %
Un verimi	66

3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında izlenen yöntemlere ait kısa bilgiler Şekil 3.6'da verilmiştir.

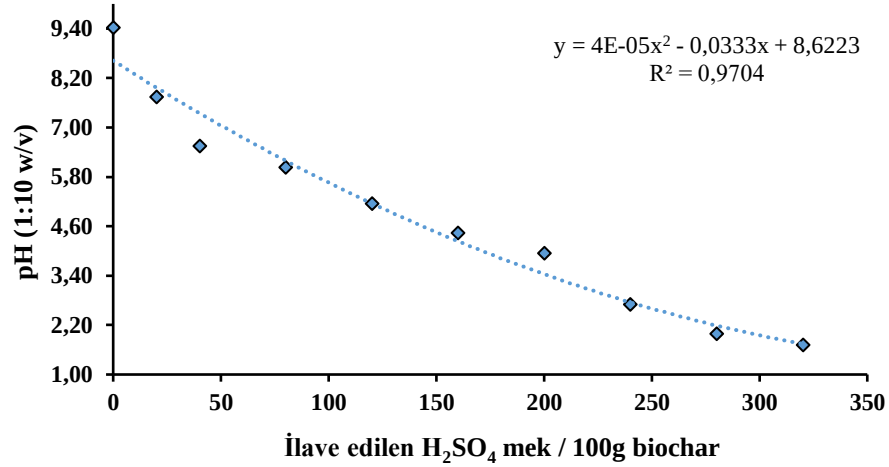


Şekil 3.6. Tez çalışmasında izlenen yönetime ait akış şeması

3.2.1. Biyoçarın Asitleştirilmesi ve Çinko ile Zenginleştirilmesi

Biyoçarın pH'sının 4.0 ± 0.25 olması için farklı konsantrasyonlara sahip H_2SO_4 çözeltisi (0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 2.8, 3.2 N) ile biyoçar numuneleri 1:1 (biyoçar:asit) oranında karıştırılmıştır. Biyoçar asit karışımları hazırlandıktan sonra ilk olarak karışımlar laboratuvar ortamında 2 gün boyunca kurumaya bırakılmış daha

sonra 65 °C’de etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar (yaklaşık 2 gün) kurutulmuştur. Bu örneklerde 1:10 (biyoçar:saf su) karışım oranı esas alınarak pH okumaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. H₂SO₄ ilavesi ile biyoçar pH’sında meydana gelen değişim

Asitleştirme işlemi sonucunda biyoçar örneklerine ait pH değerleri Şekil 3.7’de verilmiştir. Biyoçarın pH düzeyini 4.0±0.25 seviyesine getirmek için uygun asit miktarı 200 miliekivalan asit 100 g biyoçar olarak belirlenmiştir.

Biyoçarın çinko ile zenginleştirilmesinde çinko kaynağı olarak çinko sülfat (ZnSO₄.7H₂O) kullanılmıştır. Çinko ile zenginleştirme işleminde biyoçara verilecek çinko miktarı biyoçar uygulama dozları (%0.5, %1.0 ve %2.0) esas alınarak belirlenmiştir. Buna göre biyoçar uygulamasının artan dozları ile toprağa 1.5, 3.0 ve 6.0 ppm çinko ilave edilecektir. Asitleştirme ve çinko ile zenginleştirme işlemlerinden sonra elde edilen biyoçar materyalleri Tablo 3.3’te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Sera ve tarla denemelerinde kullanılan farklı biyoçar materyalleri

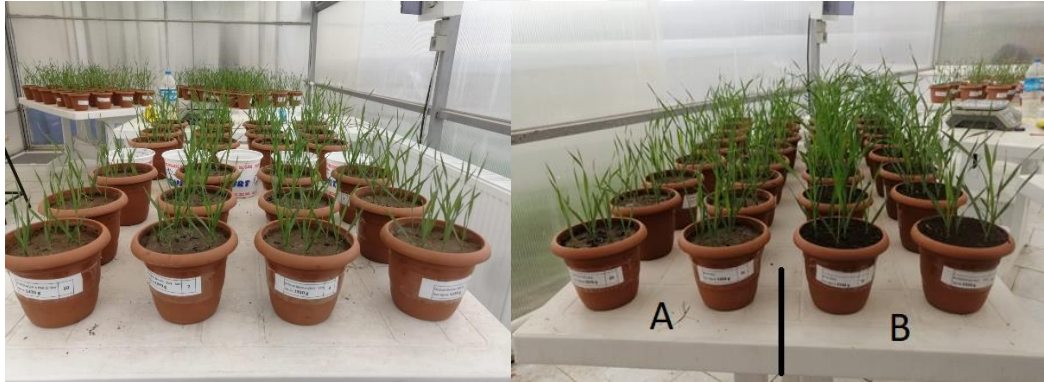
Biyoçar tipi	İşlem	Kısaltma
Orijinal	Hiçbir işleme tabi tutulmamıştır	B
Asitleştirilmiş	H ₂ SO ₄	AB
Çinko ile zenginleştirilmiş	ZnSO ₄ .7H ₂ O	BZn
Hem asitleştirilmiş hem çinko ile zenginleştirilmiş	H ₂ SO ₄ ve ZnSO ₄ .7H ₂ O birlikte	ABZn

3.2.2. Sera Denemesinin Kurulması

Sera denemesi Bafra ve Kampüs deneme alanlarından alınan topraklar kullanılarak 2 deneme olarak yürütülmüştür. Sera çalışması 12.02.2021 tarihinde

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında tesadüf parsellerinde iki faktörlü faktöriyel düzenlemeye göre 3 tekrarlı olarak kurulmuştur. Her bir toprak için denemede 4 uygulama (B, BZn, AB ve ABZn), 4 uygulama dozu (0, %0.5, %1.0 ve %2.0) ve 3 tekerrür olmak üzere 48 saksı yer almaktadır.

Çalışmada 15 cm yüksekliğinde 13 cm çapında plastik saksılar kullanılmıştır. Saksılarda fırın kuru ağırlık esasına göre 1 kg toprağa biyoçar dozları homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Tohum ekimi yapılmadan önce saksılar 10 gün boyunca tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılmıştır. Buğday tohumları m²'de 500 bitki üzerinden her bir saksıya 7 adet olacak şekilde 22.02.2021 tarihinde ekilmiştir. Deneme boyunca saksıların nem kayıpları günlük olarak kaydedilmiş ve saksıların nem içeriği tarla kapasitesinin %75'inde olacak şekilde yağmur hasadından elde edilen su ile sulanmıştır. Deneme süresince herhangi bir kimyasal gübreleme ve ilaçlama işlemi gerçekleştirilmemiştir.



Şekil 3.8. Bafra (A) ve Kampüs (B) topraklarında kurulan sera denemesinde bitki gelişim durumuna ait bir görüntü

3.2.3. Sera Denemesinin Sonlandırılması

Sera denemesi bitkiler olgunlaştıktan sonra 22.06.2021 tarihinde bitki örnekleri toprak yüzeyinin 1 cm üzerinden kesilerek hasat edilmiştir. Her saksıdaki bitki örnekleri tartılmış ve biyolojik verimleri kaydedilmiştir. Daha sonra her saksıdaki tane verimi hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. Hasat dönemine ait bir görüntü

Hasat sonrası saksılardan bitki kökleri ayıklanarak homojen bir şekilde toprak örnekleme yapılmıştır.

3.2.4. Tarla Denemelerinin Kurulması

Tarla denemeleri 2022 yılında tek yıllık olarak yürütülmüştür. Tarla denemesinde sera denemesinde elde edilen sonuçlar doğrultusunda %2.0 uygulama dozu kullanılmamıştır. Biyoçar uygulama dozu olarak %0.5 ve %1.0 dozları ele alınmıştır. Tarla denemeleri tesadüf bloklarında 2 faktörlü (biyoçar ve uygulama dozu) faktöriyel düzenlemeye göre 3 tekrarlı olarak kurulmuştur. Her bir deneme alanı toplam 36 parselden [4 biyoçar (B, BZn, AB, ABZn) x 3 uygulama dozu (%0, %0.5, %1.0) x 3 tekrar = 36] oluşmaktadır.

Blok 3	ABZn (%0.5)	BZn (%0.5)	AB (%0.5)	B (%0.5)	K (%0)	K (%0)	ABZn (%1.0)	BZn (%1.0)	AB (%1.0)	B (%1.0)	K (%0)	K (%0)
Blok 2	K (%0)	K (%0)	ABZn (%1.0)	BZn (%1.0)	AB (%1.0)	B (%1.0)	K (%0)	K (%0)	ABZn (%0.5)	BZn (%0.5)	AB (%0.5)	B (%0.5)
Blok 1	ABZn (%0.5)	BZn (%0.5)	AB (%0.5)	B (%0.5)	K (%0)	K (%0)	ABZn (%1.0)	BZn (%1.0)	AB (%1.0)	B (%1.0)	K (%0)	K (%0)

Şekil 3.10. Tarla parselizasyon düzeni

Genişliği 100 cm, uzunluğu 300 cm olacak şekilde parseller hazırlanmış ve tohum ekiminde 20 cm sıra arası esas alınmıştır. Parseller arası 1 m bloklar arası ise 2 m tesir payı bırakılmıştır.



Şekil 3.11. Bafra (A) ve K mp s (B) deneme alanlarında ekim hazırlıklarının yapılması



Şekil 3.12. Biyoçar materyallerinin toprağa karıştırılması

Tohum ekiminden önce deneme konusu biyoçarlar parsellere homojen bir şekilde uygulanmış ve çapa makinesi ile karıştırılmıştır.



Şekil 3.13. Tohum ekimlerinin yapılması



Şekil 3.14. Tarla denemelerinde farklı bitki gelişim dönemlerine ait görüntüler

3.2.5. Tarla Denemelerinin Sonlandırılması

Kampüs deneme alanındaki tarla denemesi 04.07.2022 tarihinde Bafra deneme alanındaki deneme ise 08.07.2022 tarihinde hasat edilmiştir.

Hasat işleminde tüm parseldeki bitkiler kesilmiş ve tartılarak biyolojik verimleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu bitkiler harman edilerek taneleri ayıklanmış ve tane verimleri belirlenmiştir.



Şekil 3.15. Parsellerin hasat edilmesi ve tartılması



Şekil 3.16. Sapların harman edilmesi



Şekil 3.17. Tanelerin separatör ile ayıklanması

3.2.6. Toprak Örneklerinde Yapılan Kimyasal ve Fiziksel Analizler

Toprak reaksiyonu: Toprak su oranı 1:1 olacak şekilde örnekler hazırlanmış, 1 saat çalkalandıktan sonra pH-metre yardımıyla toprak pH'sı belirlenmiştir (Bayraklı, 1987).

Elektriksel iletkenlik: Toprak pH'sı için hazırlanan çözelti kullanılarak EC-metre yardımıyla toprak EC'si belirlenmiştir (Richards, 1954).

Organik Madde: Modifiye Walkley-Black yöntemiyle toprak organik karbonu belirlenmiş ve 1.724 katsayısı ile çarpılarak organik madde miktarı hesaplanmıştır (Kacar, 1994).

Kasyon Değişim Kapasitesi: 4 g toprak örneği 33 ml 1 N Sodyum asetat (pH:8.2) ile 3 defa çalkalanmış ve değişim yerleri doyurulmuştur. Ardından 33 ml etil alkol ile 3 kere yıkanmış ve fazla sodyum uzaklaştırılmıştır. Son olarak 33 ml 1 N Amonyum asetat (pH:7.0) ile 3 kere yıkanmış ve süzükler 100 ml'lik balonlarda toplanmıştır. Daha sonra bu süzüklerde flamefotometrede Na okuması yapılarak kasyon değişim kapasitesi belirlenmiştir (Tüzüner, 1990).

Değişebilir Ca, Mg, Na ve K: 3 g toprak örneğine 33 ml 1 N Amonyum asetat (pH:7.0) çözeltisiyle 3 kere çalkalanmış ve elde edilen süzük 100 ml'ye tamamlanmıştır. Değişebilir Ca ve Mg'un belirlenmesi 0.01 N EDTA ile titrasyon yöntemi kullanılırken değişebilir Na ve K'un belirlenmesinde flamefotometre

kullanılmıştır (Sağlam, 1997).

Bitkiye Yarayışlı Fosfor: 2 g toprak örneği üzerine 40 ml 0.5 M NaHCO₃ (pH = 8.5) ilave edilmiş ve 30 dk. çalkalandıktan sonra süzölmüştür. Elde edilen süzükte mavi renk (660 nm) yöntemine göre spektrofotometre kullanılarak fosfor içeriği belirlenmiştir (Olsen ve ark., 1954).

Bitkiye Yarayışlı Demir, Bakır, Mangan, Çinko: 0,005 M DTPA (Dietilen triamin penta asetik asit), 0,1 M TEA (Trietanolamin) ve 0,01 M CaCl₂ çözeltisi hazırlanmış ve HCl kullanılarak çözeltinin pH'sı 7,3'e ayarlanmıştır. Toprak örneği 1:2 oranında bu çözeltiyle 2 saat boyunca çalkalanmış ve daha sonra Whatman 42 filtre kağıdından süzölmüştür. Elde edilen süzüklerde Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometresiyle Fe, Cu, Mn ve Zn okumaları yapılmıştır (Lindsay ve Norvell, 1978).

Agregat Stabilesi: 10 g toprak örneği 10 cm çapında 0.25 mm gözenek açıklığına sahip elek üzerine aktarılmış ve daha sonra Yoder tipi ıslak eleme aletine yerleştirilmiştir. 5 dk. alttan ıslatılan toprak örnekleri 5 dk. boyunca suda elenmiştir. Daha sonra kum düzeltmeleri yapılarak agregat stabilite değerleri yüzde olarak ifade edilmiştir (Kemper ve Rosenau, 1986).

Hacim ağırlığı: Bozulmamış örnek alma silindiriyle belirlenmiştir (Blake ve Hartge, 1986).

Tarla Kapasitesi: Seramik tablaya yerleştirilen toprak örnekleri suyla doymun hale getirilmiş daha sonra 0.33 atm'lik basınç altında nem çıkışı olmayana kadar bekletilmiş ve daha sonra örnekler 105°C'de kurutulmuştur (Cassel ve Nielsen, 1986).

Solma Noktası: Seramik tablaya yerleştirilen toprak örnekleri suyla doymun hale getirilmiş daha sonra 15 atm'lik basınç altında nem çıkışı olmayana kadar bekletilmiş ve daha sonra örnekler 105°C'de kurutulmuştur (Cassel ve Nielsen, 1986).

Yarayışlı su: Tarla kapasitesi ve solma noktası arasındaki farktan hesaplanmıştır (Cassel ve Nielsen, 1986).

3.2.7. Bitki Örneklerinde Yapılan Ölçümler

Biyolojik Verim: Saksılardaki ve parsellerdeki bütün toprak üstü bitki aksamı kesilmiş ve tartılmıştır. Bulgular kısmında her iki deneme sonunda elde edilen biyolojik verim kg da^{-1} şeklinde ifade edilmiştir.

Tane Verimi: Saksılardan ve parsellerden elde edilen bitkiler ayıklanmış/patoz edilmiş ve taneler separatör ile ayıklandıktan sonra tartılmıştır. Bulgular kısmında her iki deneme sonunda tane verimi de kg da^{-1} şeklinde ifade edilmiştir.

3.3. İstatiksel Analizler

Bafra ve Kampüs lokasyonları arasında istatiksel olarak önemli farklılıklar bulunduğu için veriler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Sera çalışmasında kullanılan toprak materyalinin homojen olmasından dolayı elde edilen sonuçlar Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre, Tarla denemelerinden elde edilen sonuçlar ise Tesadüf Blokları Deneme Desenlerinde JMP istatistik paket programında varyans analizine tabi tutularak değerlendirilmiş, ortalama değerler LSD testine göre gruplandırılmıştır.

Sera ve tarla denemelerinden elde edilen veriler arasındaki ilişkilerin ortaya konulması için Pearson's korelasyon analizi yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Asitleştirme ve Çinko ile Zenginleştirme İşlemlerinden Sonra Elde Edilen Biyoçar Materyallerinin Bazı Özellikleri

Asitleştirme ve çinko ile zenginleştirme işlemleri biyoçar materyalinin pH ve organik karbon içeriğini düşürürken elektriksel iletkenlik değeri ve katyon değişim kapasitesini önemli derecede artırmıştır. Asitleştirme işlemi ekstrakte edilebilir kalsiyum, magnezyum, potasyum ve bitkiye yararlı fosfor içeriğini orijinal biyoçara göre önemli ölçüde artırmıştır. Çinko ile zenginleştirme işleminin ardından biyoçarın çinko içeriği yaklaşık 20 kat artmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Asitleştirme ve çinko ile zenginleştirme işlemlerinden sonra elde edilen biyoçarlara ait bazı özellikler

Özellik	B	BZn	Biyoçar	
			AB	ABZn
pH (1:10)	9.42	9.10	3.98	4.11
EC (dS m ⁻¹)	0.31	0.54	4.38	4.84
OC (%)	4.88	4.50	4.65	4.09
KDK (cmol kg ⁻¹)	25.25	29.82	37.09	48.19
Ca (%)	0.75	0.77	1.74	1.80
Mg (%)	0.16	0.13	0.30	0.31
K (%)	0.09	0.09	0.14	0.13
P (mg kg ⁻¹)	200.41	300.27	597.12	601.03
Zn (mg kg ⁻¹)	10.93	220.10	30.71	200.39

EC; Elektriksel iletkenlik, OC; Organik karbon, KDK; Katyon değişim kapasitesi, B: Orijinal biyoçar, BZn; Zn ile zenginleştirilmiş biyoçar, AB: Asitleştirilmiş biyoçar, ABZn; Hem asitleştirilmiş hem de Zn ile zenginleştirilmiş biyoçar.

4.1. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Toprakların Kimyasal Özelliklerindeki Değişim

4.1.1. Toprak Reaksiyonu (pH)

Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemelerinde farklı biyoçar ve uygulama dozlarının toprak pH'sına etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.2'de verilmiştir. Bafra toprağında sera denemesinde tüm deneme konularının (biyoçar, uygulama dozu ve bunların interaksiyonu) toprak pH'sına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken tarla denemesinde sadece biyoçarın etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kampüs toprağında ise sera denemesinde tüm

deneme konuları, tarla denemesinde ise sadece biyoçar ve uygulama dozunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama pH değerleri

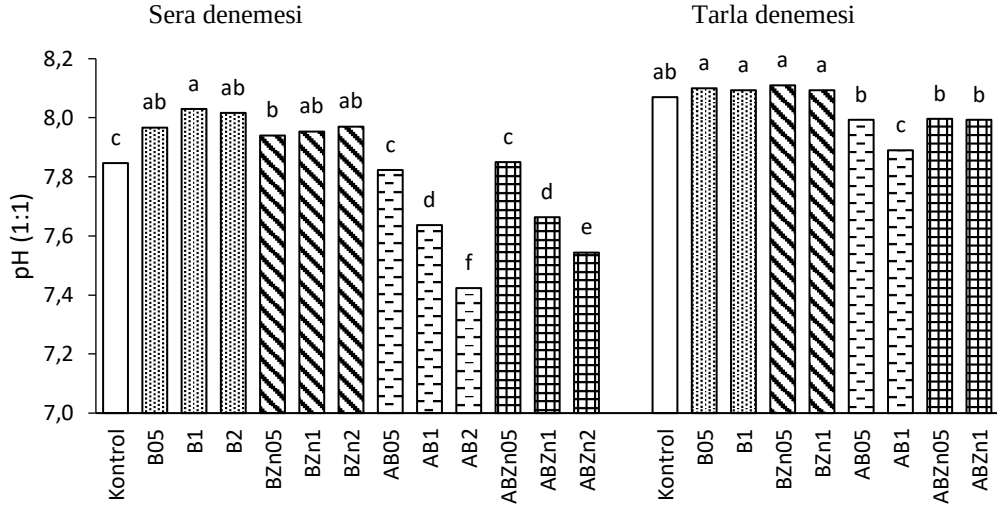
pH (1:1)	Bafra deneme alanı			Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	7.97 ± 0.02 a	8.12 ± 0.02 a	6.48 ± 0.05 a	6.79 ± 0.07 a
	BZn	7.93 ± 0.02 a	8.12 ± 0.02 a	6.48 ± 0.06 a	6.77 ± 0.06 a
	AB	7.68 ± 0.05 c	8.03 ± 0.04 b	6.12 ± 0.04 c	6.59 ± 0.05 b
	ABZn	7.73 ± 0.04 b	8.06 ± 0.03 b	6.17 ± 0.02 b	6.62 ± 0.07 b
	Doz (D)				
	%0	7.85 ± 0.01 b	8.07 ± 0.01	6.27 ± 0.01 b	6.58 ± 0.01 b
	%0.5	7.90 ± 0.02 a	8.05 ± 0.02	6.27 ± 0.03 b	6.68 ± 0.06 b
	%1.0	7.82 ± 0.05 b	8.02 ± 0.03	6.31 ± 0.08 b	6.81 ± 0.06 a
	%2.0	7.74 ± 0.08 c		6.41 ± 0.10 a	
	Doz	Biyoçar			
%0	Kontrol	7.85 ± 0.03 C	8.07 ± 0.03	6.27 ± 0.03 E	6.58 ± 0.03
%0.5	B	7.97 ± 0.00 AB	8.10 ± 0.01	6.40 ± 0 D	6.76 ± 0.10
	BZn	7.94 ± 0.01 B	8.11 ± 0.03	6.33 ± 0.03 DE	6.78 ± 0.10
	AB	7.82 ± 0.02 C	7.99 ± 0.03	6.17 ± 0.03 F	6.47 ± 0.08
	ABZn	7.85 ± 0.01 C	8.00 ± 0.03	6.17 ± 0.03 F	6.72 ± 0.17
%1.0	B	8.03 ± 0.01 A	8.09 ± 0.04	6.60 ± 0 BC	7.02 ± 0.04
	BZn	7.95 ± 0.03 AB	8.09 ± 0.05	6.53 ± 0.03 C	6.94 ± 0.04
	AB	7.64 ± 0.03 D	7.89 ± 0.03	5.97 ± 0.03 H	6.74 ± 0.04
	ABZn	7.66 ± 0.02 D	7.99 ± 0.02	6.13 ± 0.03 FG	6.55 ± 0.13
%2.0	B	8.02 ± 0.01 AB		6.67 ± 0.03 B	
	BZn	7.97 ± 0.03 AB		6.80 ± 0.06 A	
	AB	7.42 ± 0.05 F		6.07 ± 0.03 G	
	ABZn	7.55 ± 0.03 E		6.10 ± 0 FG	
LSD					
	Biyoçar	0.04**	0.05**	0.05*	0.14*
	Doz	0.04*	öd	0.05*	0.12**
	BxD	0.08**	öd	0.09*	öd

**: %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağında sera denemesinde en yüksek toprak pH'sı B_{1.0} uygulamasında 8.03, en düşük pH ise AB_{2.0}'den 7.42 elde edilmiştir. Tarla koşullarında ise en yüksek pH BZn_{0.5}'te 8.11, en düşük ise AB_{1.0} uygulamasında 7.89 bulunmuştur. Kampüs toprağındaki sera denemesinde en yüksek pH BZn_{2.0} uygulamasında 6.80, en düşük pH ise AB_{1.0} uygulamasında 5.97 olmuştur. Tarla denemesinde ise en yüksek pH B_{1.0}'de 7.02, en düşük pH ise AB_{0.5}'te 6.47 bulunmuştur (Tablo 4.2).

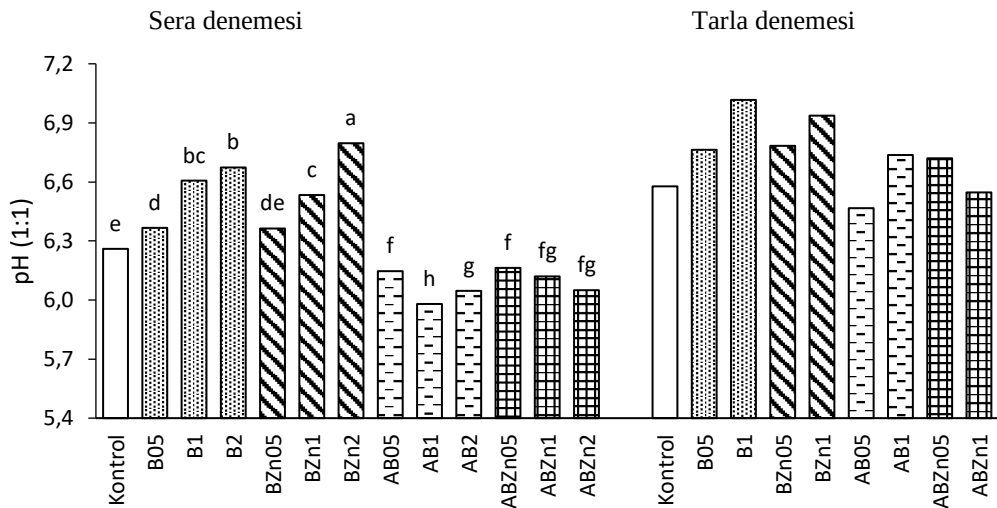
Bafra toprağında hem sera hem tarla koşullarında B ve BZn uygulamaları toprak pH'sını kontrole göre artırırken, AB ve ABZn uygulamaları düşürmüştür.

Özellikle sera denemesinde asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının dozu arttığında toprak pH'sındaki düşüşün de arttığı belirlenmiştir. Tarla denemesinde asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının toprak pH'sı üzerine diğerlerinden daha etkili olduğu görülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil. 4.1. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının toprak pH'sına etkisi

Kampüs toprağında da benzer olarak B ve BZn uygulamaları toprak pH'sını artırmış ve AB ve ABZn uygulamaları düşürmüştür. B ve BZn uygulamalarında doz artışıyla paralel olarak toprak pH'sının arttığı fakat aynı etkinin asitleştirilmiş biyoçarlarda olmadığı görülmektedir. Tarla denemesinde B ve BZn uygulamalarının artan dozlarında toprak pH'sının arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının toprak pH'sına etkisi

Kontrol uygulamasına kıyasla toprak pH'sındaki değişimler incelendiğinde sera denemelerinde Bafra toprağında en fazla değişim AB_{2.0} uygulamasında 0.43 birim azalış, Kampüs toprağında ise BZn_{2.0}'de 0.54 birim artış bulunmuştur. Tarla denemeleri incelendiğinde Bafra toprağında en fazla değişim AB_{1.0}'de 0.18 birim düşüş, Kampüs toprağında ise B_{1.0} uygulamasında 0.44 birim artış olmuştur (Tablo 4.2).

4.1.2. Elektriksel İletkenlik (EC)

Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar ve uygulama dozlarının topraklarda elektriksel iletkenliğe etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.3'te verilmiştir. Sera denemesinde her iki toprakta da toprakların elektriksel iletkenliğine tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tarla denemeleri sonucunda ise Bafra toprağında tüm deneme konularının, kampüs deneme alanı toprağında ise sadece BxD interaksiyonun etkisi istatistiksel olarak önemli olmuştur (Tablo 4.3).

Bafra toprağında sera denemesinde en yüksek ve en düşük elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla ABZn_{2.0} 2.73 dS m⁻¹ ve B_{2.0} uygulamalarından 0.44 dS m⁻¹ elde edilmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek EC AB_{1.0}'de 0.69 dS m⁻¹, en düşük ise kontrolde 0.41 dS m⁻¹ bulunmuştur (Tablo 4.3).

Kampüs toprağında sera denemesinde en yüksek ve en düşük elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla AB_{2.0} 1.90 dS m⁻¹ ve kontrolde 0.40 dS m⁻¹ belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek EC AB_{1.0}'de 0.86 dS m⁻¹, en düşük ise ABZn_{0.5}'te 0.64 dS m⁻¹ olmuştur (Tablo 4.3).

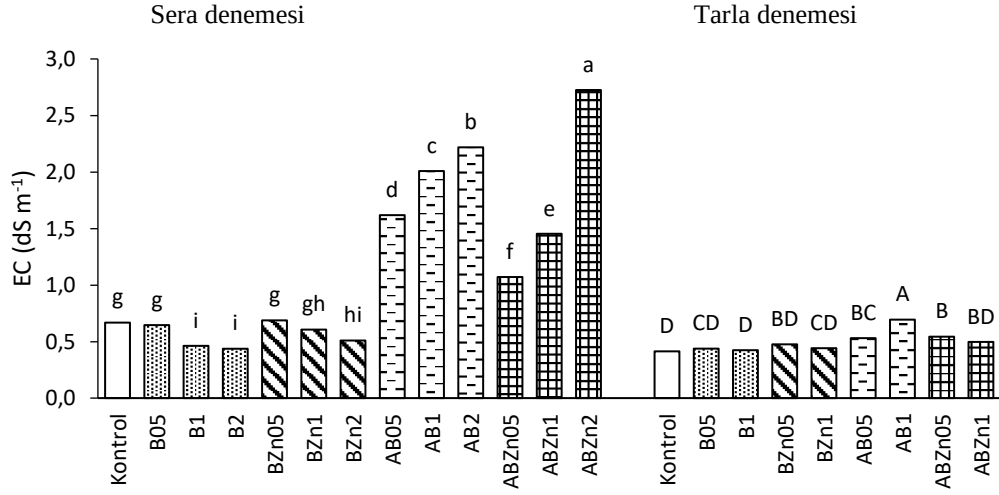
Toprakların EC değerleri incelendiğinde kontrol uygulamasına göre en fazla değişim sera denemelerinde Bafra toprağında ABZn_{2.0}'de %307 artış, Kampüs toprağında AB_{2.0} uygulamasında %375 artış olarak tespit edilmiştir. Tarla denemelerine bakıldığında Bafra toprağında en fazla değişim AB_{1.0} uygulamasında %68 artış, Kampüs toprağında da aynı uygulamada %12 artış olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4.3. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama EC değerleri

EC (dS m ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	0.55 ± 0.03 d	0.43 ± 0.02 c	0.45 ± 0.01 c	0.75 ± 0.03
	BZn	0.62 ± 0.02 c	0.44 ± 0.02 bc	0.46 ± 0.02 c	0.73 ± 0.03
	AB	1.63 ± 0.18 a	0.55 ± 0.04 a	1.19 ± 0.17 a	0.78 ± 0.03
	ABZn	1.48 ± 0.23 b	0.48 ± 0.02 b	1.05 ± 0.15 b	0.73 ± 0.04
	Doz (D)				
	%0	0.67 ± 0.01 d	0.41 ± 0.02 b	0.40 ± 0.00 d	0.77 ± 0.03
	%0.5	1.01 ± 0.12 c	0.50 ± 0.02 a	0.66 ± 0.07 c	0.73 ± 0.02
	%1.0	1.13 ± 0.19 b	0.51 ± 0.03 a	0.92 ± 0.14 b	0.75 ± 0.03
	%2.0	1.47 ± 0.31 a		1.17 ± 0.20 a	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	0.67 ± 0.01 G	0.41 ± 0.05 D	0.40 ± 0 I	0.77 ± 0.06 AC
%0.5	B	0.65 ± 0.01 G	0.44 ± 0.02 CD	0.43 ± 0 GI	0.80 ± 0.03 AB
	BZn	0.69 ± 0.02 G	0.47 ± 0.04 BD	0.41 ± 0 HI	0.78 ± 0.03 AB
	AB	1.62 ± 0.01 D	0.53 ± 0.03 BC	0.92 ± 0.02 E	0.71 ± 0.03 BC
	ABZn	1.07 ± 0.01 F	0.54 ± 0.03 B	0.87 ± 0.02 E	0.64 ± 0.03 C
%1.0	B	0.46 ± 0.01 İ	0.42 ± 0.02 D	0.47 ± 0.01 GH	0.69 ± 0.02 BC
	BZn	0.61 ± 0.01 GH	0.44 ± 0.02 CD	0.48 ± 0 G	0.66 ± 0.04 BC
	AB	2.01 ± 0.12 C	0.69 ± 0.01 A	1.53 ± 0.06 C	0.86 ± 0.04 A
	ABZn	1.45 ± 0.06 E	0.50 ± 0.02 BD	1.20 ± 0.01 D	0.80 ± 0.06 AB
%2.0	B	0.44 ± 0 İ		0.49 ± 0.01 FG	
	BZn	0.51 ± 0 Hİ		0.56 ± 0.01 F	
	AB	2.22 ± 0.05 B		1.90 ± 0.05 A	
	ABZn	2.73 ± 0.02 A		1.72 ± 0.04 B	
	LSD				
	Biyoçar	0.05*	0.05**	0.05*	öd
	Doz	0.05*	0.05**	0.05*	öd
	BxD	0.11*	0.09**	0.09*	0.14*

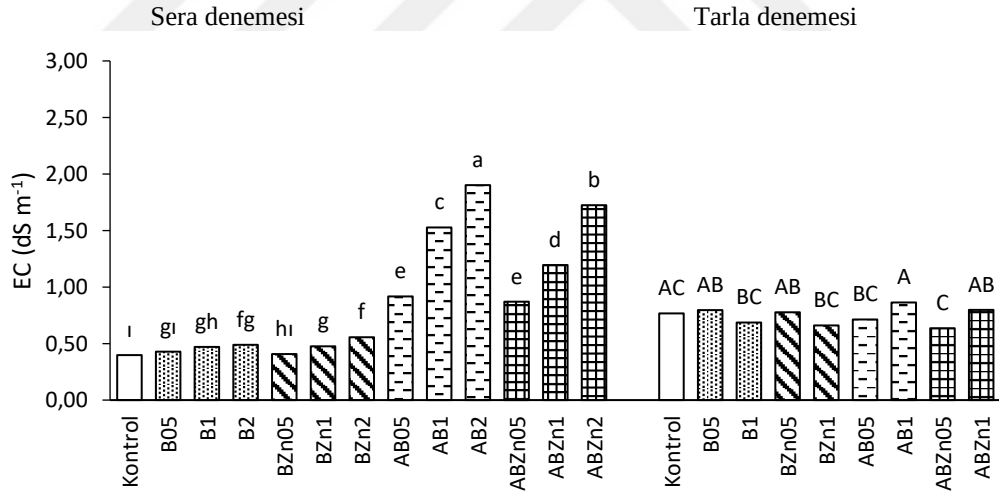
** : %1, * : %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağında sera denemesinde B ve BZn uygulamaları toprak EC'sini düşürmüş, AB ve ABZn uygulamaları ise etkili bir şekilde artırmıştır. Tarla denemesinde ise tüm uygulamalar toprak EC'sini artırmış fakat bu artışlar sera denemesindeki gibi etkili olmamıştır. Artan uygulama dozuyla da toprak EC'si her iki deneme koşulunda da doğrusal olarak artmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının elektriksel iletkenlik değerine etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde tüm uygulamalar toprak EC'sini artırırken, tarla denemesinde uygulamaların etkisi değişkenlik göstermiştir. Tarla denemesinde en fazla artış sera denemesindeki gibi AB uygulamasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının elektriksel iletkenlik değerine etkisi

4.1.3. Organik Madde (OM)

Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar ve uygulama dozlarının toprak organik maddesine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.4'te verilmiştir. Sera denemesinde her iki toprakta da toprak organik maddesine tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak

önemli bulunmuştur. Tarla denemeleri sonucunda ise Bafra toprağında sadece uygulama dozunun etkisi istatistiksel olarak önemli olurken Kampüs toprağında ise uygulama dozu ve BxD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli olmuştur (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama OM değerleri

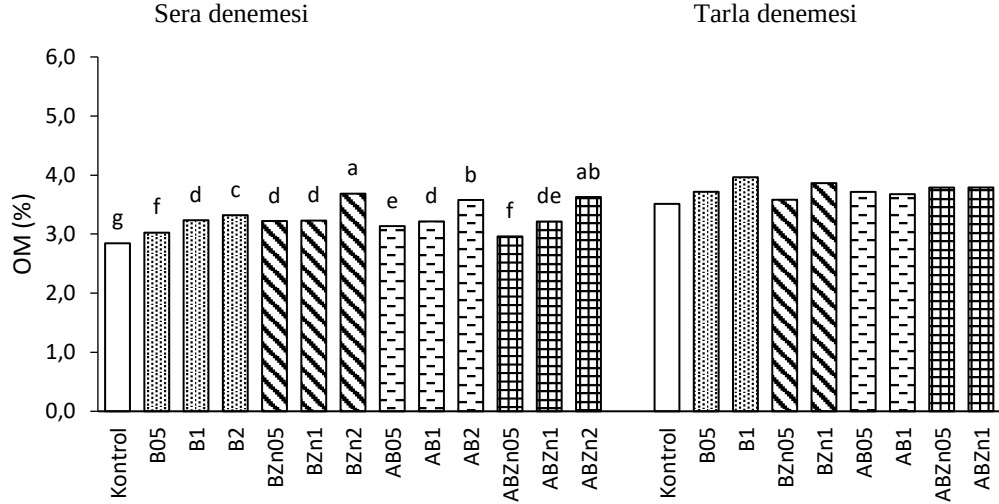
OM (%)	Bafra deneme alanı			Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	3.11 ± 0.06 c	3.73 ± 0.08	4.39 ± 0.14 a	3.36 ± 0.14
	BZn	3.25 ± 0.09 a	3.65 ± 0.07	4.24 ± 0.11 b	3.33 ± 0.09
	AB	3.19 ± 0.08 b	3.64 ± 0.05	4.21 ± 0.09 b	3.17 ± 0.05
	ABZn	3.16 ± 0.09 b	3.70 ± 0.06	4.46 ± 0.14 a	3.20 ± 0.08
	Doz (D)				
	%0	2.84 ± 0.01 d	3.51 ± 0.03 c	3.73 ± 0.01 d	3.06 ± 0.02 b
	%0.5	3.09 ± 0.03 c	3.70 ± 0.04 b	4.32 ± 0.05 c	3.41 ± 0.10 a
	%1.0	3.22 ± 0.01 b	3.82 ± 0.05 a	4.51 ± 0.04 b	3.33 ± 0.08 a
	%2.0	3.55 ± 0.04 a		4.74 ± 0.08 a	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	2.84 ± 0.03 G	3.51 ± 0.07	3.73 ± 0.03 H	3.06 ± 0.05 E
%0.5	B	3.03 ± 0.01 F	3.72 ± 0.07	4.23 ± 0.03 FG	3.81 ± 0.18 A
	BZn	3.22 ± 0.01 D	3.58 ± 0.1	4.10 ± 0.06 G	3.42 ± 0.18 BD
	AB	3.14 ± 0 E	3.72 ± 0.07	4.40 ± 0 DE	3.30 ± 0.06 BE
	ABZn	2.96 ± 0.02 F	3.79 ± 0.1	4.53 ± 0.09 BD	3.09 ± 0.04 DE
%1.0	B	3.23 ± 0.03 D	3.96 ± 0.09	4.67 ± 0.03 B	3.22 ± 0.2 BE
	BZn	3.23 ± 0.04 D	3.86 ± 0.07	4.47 ± 0.03 CE	3.50 ± 0.06 AB
	AB	3.22 ± 0 D	3.68 ± 0.09	4.33 ± 0.03 EF	3.14 ± 0.11 CE
	ABZn	3.21 ± 0.02 DE	3.79 ± 0.06	4.57 ± 0.09 BC	3.45 ± 0.09 BC
%2.0	B	3.32 ± 0.04 C		4.93 ± 0.03 A	
	BZn	3.68 ± 0.04 A		4.67 ± 0.03 B	
	AB	3.58 ± 0.01 B		4.37 ± 0.12 EF	
	ABZn	3.63 ± 0.03 AB		5.00 ± 0 A	
	LSD				
	Biyoçar	0.04*	öd	0.08*	öd
	Doz	0.04*	0.09**	0.08*	0.17**
	BxD	0.08*	öd	0.15*	0.33*

**: %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağında sera ve tarla denemelerinde en yüksek organik madde miktarları BZn_{2.0}'de %3.68 ve B_{1.0}'de %3.96, en düşük miktarlar ise kontrolde %2.84 ve %3.51 olarak bulunmuştur. Kampüs toprağında sera denemesinde en yüksek toprak organik maddesi ABZn_{2.0}'de %5.00, tarla denemesinde B_{0.5}'te %3.81, en düşük organik madde miktarları ise sera ve tarla denemelerinde kontrolde %3.73 ve %3.06 tespit edilmiştir. Toprak organik maddesinde kontrole göre en fazla artışlar sera denemelerinde Bafra toprağında BZn_{2.0}'de %30, Kampüs toprağında ABZn_{2.0}'de

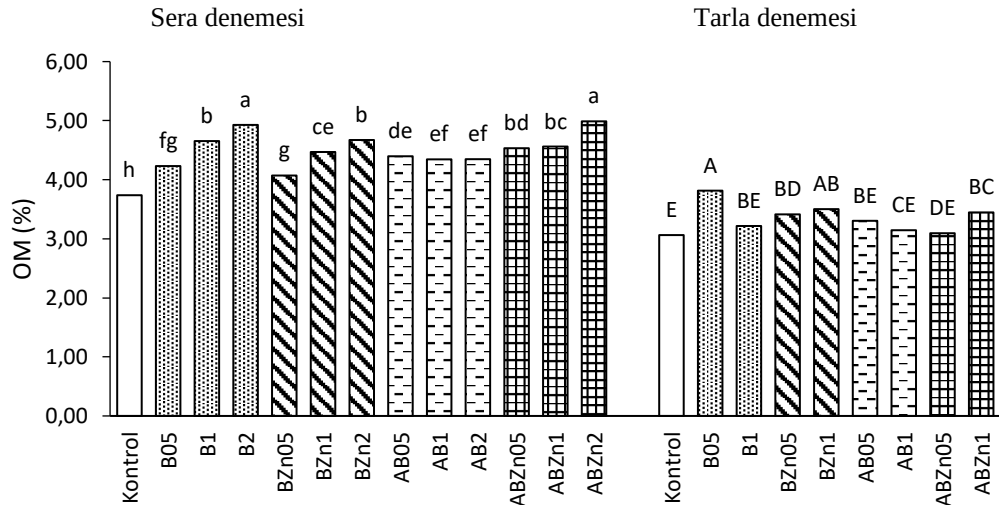
%33 olarak belirlenmiştir. Tarla denemeleri sonunda ise Bafra toprağında en fazla artış B_{1.0}'de %13, Kampüs toprağında B_{0.5}'te %24 bulunmuştur (Tablo 4.4).

Bafra toprağında her iki deneme şartlarında da tüm uygulamalar kontrol uygulamasına göre toprak organik maddesini artırmıştır. Toprak organik maddesinin genel olarak uygulama dozlarıyla paralel olarak arttığı görülmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının toprak organik maddesine etkisi

Kampüs toprağında yürütülen sera ve tarla denemelerinin sonunda da Bafra toprağında yürütülen denemelerle benzer olarak tüm uygulamalar kontrol uygulamasına göre toprak organik maddesini olumlu etkilemiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının toprak organik maddesine etkisi

4.1.4. Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

Her iki toprak için sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar ve uygulama dozlarının katyon değişim kapasitesine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.5'te verilmiştir. Sera denemesinde her iki toprakta da katyon değişim kapasitesine biyoçar, uygulama dozu ve BxD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.5). Tarla denemelerinde Bafra toprağında tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, Kampüs toprağında ise sadece uygulama dozunun etkisi istatistiksel açıdan önemli olmuştur (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama KDK değerleri

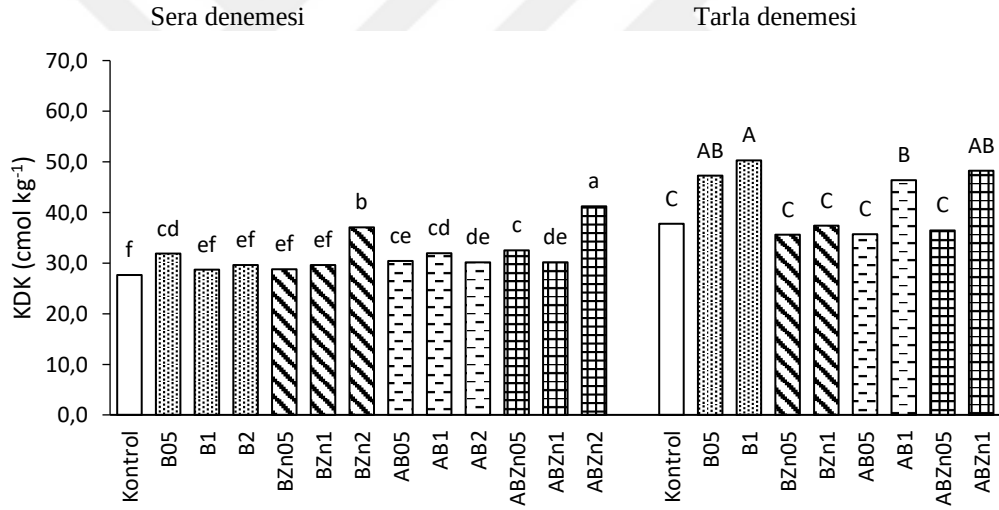
KDK (cmol kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	29.45 ± 0.57 c	45.10 ± 1.97 a	35.74 ± 1.41 c	45.58 ± 0.66
	BZn	32.87 ± 1.57 a	36.90 ± 0.62 c	52.37 ± 2.00 a	48.12 ± 0.85
	AB	30.03 ± 0.59 bc	39.92 ± 1.70 b	44.68 ± 0.54 b	48.51 ± 0.93
	ABZn	30.76 ± 1.16 b	40.79 ± 2.03 b	51.43 ± 1.48 a	47.84 ± 0.86
	Doz (D)				
	%0	27.63 ± 0.26 c	37.77 ± 0.59 b	43.43 ± 0.30 c	46.40 ± 0.60 b
	%0.5	30.89 ± 0.59 b	38.72 ± 1.51 b	48.29 ± 3.08 a	47.05 ± 0.67 b
	%1.0	30.09 ± 0.49 b	45.55 ± 1.60 a	46.29 ± 2.96 ab	49.08 ± 0.84 a
	%2.0	34.50 ± 1.50 a		46.21 ± 2.26 b	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	27.63 ± 0.61 F	37.77 ± 1.39 C	43.43 ± 0.7 C	46.40 ± 1.41
%0.5	B	31.87 ± 0.24 CD	47.23 ± 0.8 AB	32.77 ± 0.18 D	44.76 ± 0.52
	BZn	28.77 ± 0.58 EF	35.57 ± 0.35 C	58.93 ± 2.98 A	48.34 ± 1.64
	AB	30.41 ± 0.28 CE	35.67 ± 0.79 C	46.70 ± 0.29 C	48.02 ± 0.4
	ABZn	32.50 ± 0.44 C	36.40 ± 0.66 C	54.77 ± 0.72 B	47.06 ± 1.65
%1.0	B	28.69 ± 1.23 EF	50.30 ± 1.12 A	31.63 ± 0.23 D	45.56 ± 1.49
	BZn	29.60 ± 1.02 EF	37.37 ± 1.07 C	55.47 ± 3.25 AB	49.61 ± 1.21
	AB	31.93 ± 0.27 CD	46.30 ± 0.49 B	44.30 ± 1.15 C	51.11 ± 1.56
	ABZn	30.15 ± 1.01 DE	48.20 ± 2.31 AB	53.77 ± 1.04 B	50.06 ± 0.6
%2.0	B	29.61 ± 0.47 EF		35.13 ± 0.71 D	
	BZn	37.05 ± 0.92 B		51.63 ± 1.15 B	
	AB	30.13 ± 0.33 DE		44.30 ± 1.29 C	
	ABZn	41.20 ± 1.05 A		53.77 ± 1.68 B	
	LSD				
	Biyoçar	1.12*	1.96**	2.00*	öd
	Doz	1.12*	1.96**	2.00*	1.93*
	BxD	2.23*	3.40**	4.00*	öd

**: %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağında sera denemesinde en yüksek katyon değişim kapasitesi

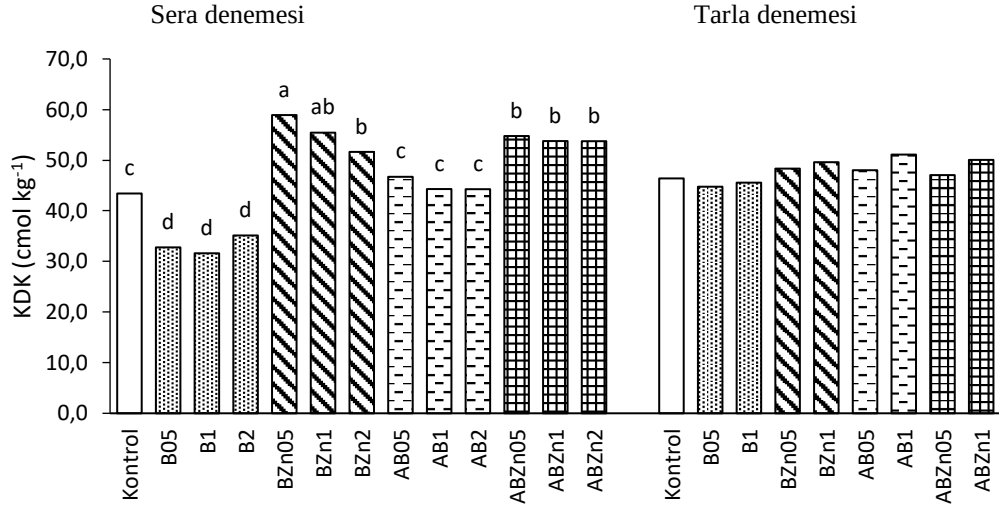
BZn_{1.0}'de 41.20 cmol kg⁻¹, en düşük ise kontrolde 27.63 cmol kg⁻¹ bulunmuştur. Tarla denemesinde en yüksek katyon değişim kapasitesi B_{1.0}'de 50.27 cmol kg⁻¹ en düşük ise BZn_{0.5} uygulamasında 35.60 cmol kg⁻¹ elde edilmiştir. Kampüs toprağında sera denemesinde en yüksek katyon değişim kapasitesi BZn_{0.5}'te 58.92 cmol kg⁻¹, en düşük ise B_{1.0}'de 31.62 cmol kg⁻¹ bulunmuştur. Tarla denemesinde en yüksek katyon değişim kapasitesi AB_{1.0}'de 51.11 cmol kg⁻¹ en düşük ise B_{0.5} uygulamasında 44.76 cmol kg⁻¹ elde edilmiştir (Tablo 4.5).

Bafra toprağında sera denemesinde tüm uygulamalar kontrole göre katyon değişim kapasitesini artırmıştır. Tarla denemesinde ise sadece B uygulamasının her iki dozunda artış sağlamış diğer uygulamaların etkisi dozlara bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. BZn uygulaması katyon değişim kapasitesini azaltırken diğer uygulamalar artırmıştır. BZn uygulaması hariç diğer uygulamaların %1.0 uygulama dozunda kontrole göre KDK'yı artırdığı görülmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının katyon değişim kapasitesine etkisi

Kampüs toprağında hem sera denemesinde hem de tarla denemesinde B uygulaması katyon değişim kapasitesini düşürürken diğer uygulamalar yükseltmiştir. Sera denemesine %0.5 dozunun katyon değişim kapasitesini artırmada etkili olduğu görülmektedir. Tarla koşullarında genel olarak uygulama dozunun artışıyla birlikte katyon değişim kapasitesinin arttığı da belirlenmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Kampüs deneme alanı toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda uygulamaların katyon değişim kapasitesine etkisi

4.1.5. Değişebilir Kalsiyum (Ca)

Her iki toprak için de sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının değişebilir kalsiyum içeriğine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.6’da verilmiştir.

Sera denemesinde her iki toprakta da değişebilir Ca içeriğine tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tarla denemelerinde Bafra toprağında tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli olurken Kampüs toprağında ise sadece biyoçar ve uygulama dozlarının etkisi istatistiksel olarak önemli olmuştur (Tablo 4.6). Bafra toprağında sera denemesinde en yüksek değişebilir Ca içeriği B_{1.0} uygulamasında 22.96 cmol kg⁻¹, en düşük ise kontrolde 14.78 cmol kg⁻¹ belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek değişebilir Ca BZn_{1.0}’de 40.88 cmol kg⁻¹, en düşük ise AB_{1.0} uygulamasında 26.35 cmol kg⁻¹ elde edilmiştir (Tablo 4.6).

Kampüs toprağında sera denemesinde en yüksek değişebilir Ca içeriği B_{0.5}’te 32.30 cmol kg⁻¹, en düşük ise BZn_{1.0}’de 23.42 cmol kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en fazla değişebilir Ca B_{1.0} uygulamasında 45.81 cmol kg⁻¹, en az ise AB_{1.0}’de 40.59 cmol kg⁻¹ olarak bulunmuştur (Tablo 4.6).

Değişebilir Ca bakımından sera denemelerinde kontrole göre en fazla değişkenlik gösteren uygulamalar Bafra toprağında B_{1.0} %55 artış, Kampüs toprağında B_{0.5} uygulamasında %28 artış olarak gerçekleşmiştir. Tarla denemelerinde

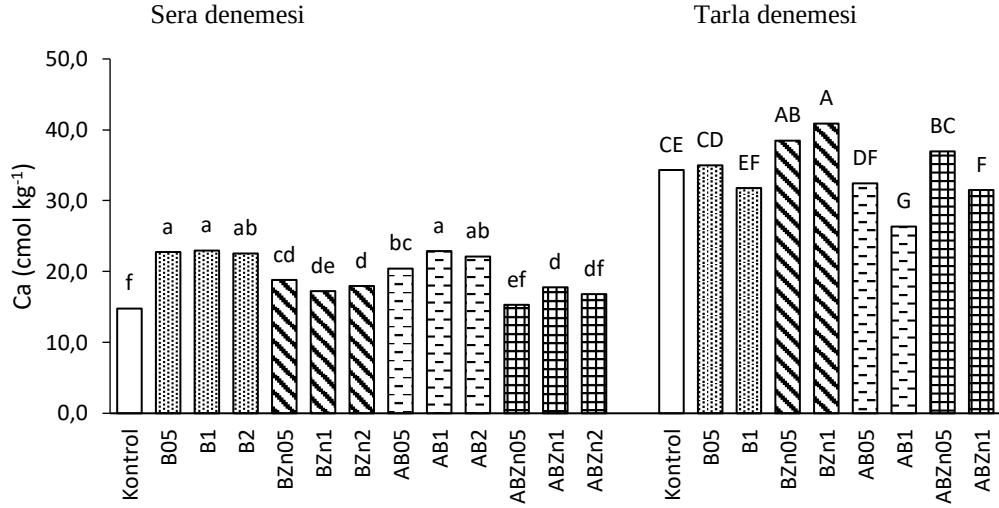
ise AB_{1.0} uygulaması Bafra toprağında %23, Kampüs toprağında ise %8 oranlarından değişebilir Ca miktarını azaltmıştı (Tablo 4.6).

Tablo 4.6. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama değişebilir Ca değerleri

Ca (cmol kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	20.76 ± 1.08 a	33.70 ± 0.65 b	29.92 ± 0.85 a	44.94 ± 0.55 a
	BZn	17.20 ± 0.58 b	37.89 ± 1.05 a	25.60 ± 0.45 c	42.19 ± 0.63 b
	AB	20.05 ± 1.05 a	31.04 ± 1.29 c	29.96 ± 0.59 a	42.34 ± 0.64 b
	ABZn	16.17 ± 0.44 b	34.26 ± 0.94 b	28.34 ± 0.57 b	42.95 ± 0.66 b
	Doz (D)				
	%0	14.78 ± 0.19 b	34.33 ± 0.18 b	25.30 ± 0.32 c	43.99 ± 0.33 a
	%0.5	19.33 ± 0.94 a	35.72 ± 0.88 a	29.76 ± 0.76 a	42.96 ± 0.64 ab
	%1.0	20.22 ± 0.88 a	32.63 ± 1.62 c	28.23 ± 1.00 b	42.37 ± 0.73 b
	%2.0	19.86 ± 0.82 a		29.21 ± 0.73 a	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	14.78 ± 0.44 F	34.33 ± 0.41 CE	25.30 ± 0.61 DE	43.99 ± 0.78
%0.5	B	22.76 ± 0.57 A	34.99 ± 0.84 CD	32.30 ± 0.78 A	45.02 ± 1.02
	BZn	34.99 ± 0.84 CD	38.47 ± 1.36 AB	25.90 ± 0.46 EF	41.03 ± 0.79
	AB	32.30 ± 0.78 A	32.45 ± 1.47 DF	29.87 ± 0.27 BC	42.46 ± 0.42
	ABZn	45.02 ± 1.02	36.96 ± 1.44 BC	30.97 ± 0.71 AB	43.33 ± 1.71
%1.0	B	22.96 ± 0.66 A	31.79 ± 1.18 EF	30.97 ± 0.41 AB	45.81 ± 1.07
	BZn	31.79 ± 1.18 EF	40.88 ± 0.45 A	23.43 ± 0.32 G	41.56 ± 1.04
	AB	30.97 ± 0.41 AB	26.35 ± 0.61 G	31.37 ± 0.49 AB	40.59 ± 1.07
	ABZn	45.81 ± 1.07	31.51 ± 0.96 F	27.13 ± 0.93 DE	41.54 ± 0.28
%2.0	B	22.55 ± 0.83 AB		31.10 ± 0.17 AB	
	BZn	17.96 ± 0.45 D		26.00 ± 0.67 EF	
	AB	22.12 ± 0.63 AB		31.53 ± 0.83 AB	
	ABZn	16.82 ± 0.95 DF		28.20 ± 0.7 CD	
	LSD				
	Biyoçar	1.13*	1.53**	0.84*	1.44**
	Doz	1.13*	1.53**	0.84*	1.25*
	BxD	2.27*	2.65**	1.68*	öd

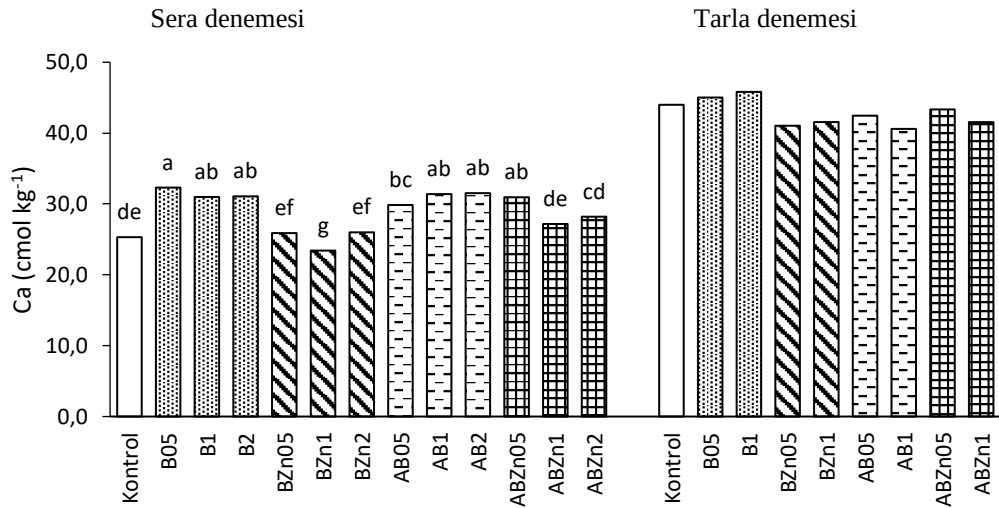
**: %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağında sera denemesinde tüm uygulamalar kontrol uygulamasına göre değişebilir Ca miktarını artırmıştır. B ve AB uygulamalarının çinko ile zenginleştirilmiş biyoçarlardan Ca miktarını artırmada daha etkili olmuştur. Tarla denemesinde ise uygulamaların etkisinin dozlara bağlı olarak değişkenlik gösterdiği en etkili uygulamanın BZn olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir kalsiyum içeriğıne etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde ise kontrol uygulamasına kıyasla BZn uygulaması değişebilir Ca miktarının azaltırken, diğer uygulamalar artırmıştır. Bafra toprağındaki sera denemesine benzer olarak B ve AB uygulamaları değişebilir Ca miktarının artırmada daha etkili olmuştur. Tarla denemesinde ise sadece B uygulaması değişebilir Ca miktarını artırırken, diğer uygulamalar azaltmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir kalsiyum içeriğıne etkisi

4.1.6. Değişebilir Magnezyum (Mg)

Her iki toprak için de sera ve tarla koşullarında yürütülen denemeler sonunda biyoçar ve uygulama dozlarının değişebilir Mg içeriğine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.7’de verilmiştir. Hem Bafra hem de Kampüs topraklarında sera ve tarla denemelerinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.7).

Bafra toprağında sera denemesi sonunda en yüksek değişebilir Mg içeriği ABZn_{1.0}’de 18.71 cmol kg⁻¹, en düşük ise B_{1.0}’de 10.39 cmol kg⁻¹ belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en az değişebilir Mg miktarı kontrolde 8.51 cmol kg⁻¹, en fazla ise BZn_{0.5} uygulamasında 18.97 cmol kg⁻¹ elde edilmiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama değişebilir Mg değerleri

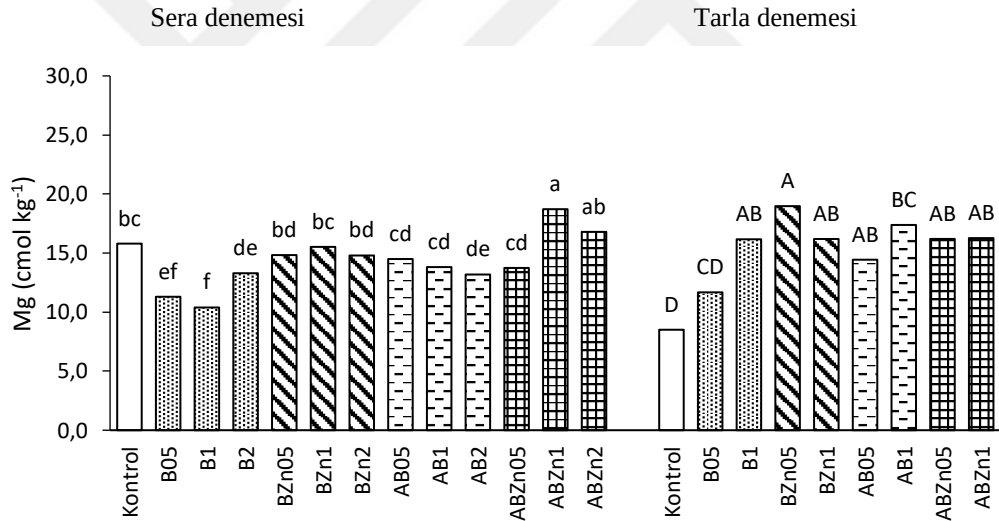
Mg (cmol kg ⁻¹)	Bafra deneme alanı			Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
B		12.70 ± 0.69 c	12.12 ± 1.18 b	16.25 ± 0.89 c	13.15 ± 0.72 bc
BZn		15.24 ± 0.26 ab	14.56 ± 1.59 a	22.48 ± 0.69 a	13.99 ± 0.52 a
AB		14.32 ± 0.46 b	13.44 ± 1.32 ab	15.12 ± 0.97 d	13.73 ± 0.75 ab
ABZn		16.26 ± 0.66 a	13.66 ± 1.51 ab	19.86 ± 0.55 b	12.83 ± 0.51 c
Doz (D)					
%0		15.80 ± 0.17 a	8.51 ± 0.26 b	21.00 ± 0.28 a	13.16 ± 0.51 b
%0.5		13.59 ± 0.54 b	15.32 ± 0.96 a	16.98 ± 0.90 c	12.39 ± 0.44 c
%1.0		14.61 ± 0.98 b	16.50 ± 0.42 a	18.47 ± 1.48 b	14.72 ± 0.47 a
%2.0		14.52 ± 0.56 b		17.78 ± 1.38 bc	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	15.80 ± 0.4 BC	8.51 ± 0.61 D	21.00 ± 0.87 CD	13.16 ± 1.2 CD
%0.5	B	11.30 ± 0.97 EF	11.67 ± 0.17 C	14.3 ± 0.57 FG	11.2 ± 0.59 E
	BZn	11.67 ± 0.17 C	18.97 ± 0.83 A	21.43 ± 0.29 BC	14.44 ± 0.64 BC
	AB	14.30 ± 0.57 FG	14.44 ± 0.41 BC	14.47 ± 0.57 FG	11.91 ± 0.63 DE
	ABZn	11.20 ± 0.59 E	16.2 ± 2.28 AB	17.73 ± 0.48 E	12.02 ± 0.28 DE
%1.0	B	10.39 ± 0.58 F	16.17 ± 1.19 AB	15.57 ± 0.73 F	15.07 ± 0.79 AB
	BZn	16.17 ± 1.19 AB	16.19 ± 0.24 AB	25.87 ± 0.88 A	14.38 ± 0.91 BC
	AB	15.57 ± 0.73 F	17.38 ± 0.32 A	13.27 ± 0.99 GH	16.11 ± 0.53 A
	ABZn	15.07 ± 0.79 AB	16.27 ± 1.37 AB	19.17 ± 0.75 DE	13.32 ± 1.04 CD
%2.0	B	13.29 ± 0.69 DE		14.13 ± 0.3 FH	
	BZn	14.79 ± 0.65 BD		22.33 ± 0.74 B	
	AB	13.18 ± 0.92 DE		12.43 ± 0.38 H	
	ABZn	16.79 ± 0.88 AB		22.23 ± 0.34 B	
LSD					
	Biyoçar	1.08*	1.66*	0.90**	0.85*
	Doz	1.08*	1.66**	0.90**	0.73**
	BxD	2.16*	2.87*	1.81**	1.47**

**: %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Kampüs toprağında sera denemesi sonunda en yüksek değişebilir Mg içeriği BZn_{1.0}'de 25.86 cmol kg⁻¹, en düşük ise AB_{2.0}'de 12.45 cmol kg⁻¹ belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en az değişebilir Mg miktarı B_{0.5} uygulamasından 11.20 cmol kg⁻¹, en fazla ise AB_{1.0}'de 16.11 cmol kg⁻¹ elde edilmiştir (Tablo 4.7).

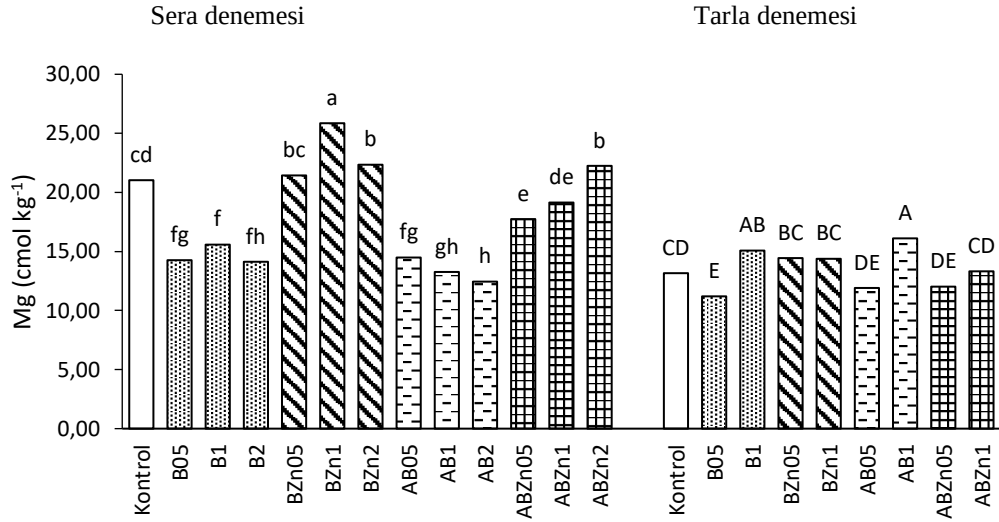
Değişebilir Mg incelendiğinde kontrole kıyasla en fazla değişimin tespit edildiği uygulamalar sera denemelerinde Bafra toprağında B_{1.0} %34 azalış, Kampüs toprağında ise AB_{2.0} %69 artış olmuştur. Tarla denemelerinde ise Bafra toprağında BZn_{0.5} %123 oranında artırmış, Kampüs toprağında ise AB_{1.0} %22 oranında artırmıştır (Tablo 4.7).

Bafra toprağında sera denemesinde ABZn %1.0 ve %2.0 dozları hariç diğer uygulamalar kontrol göre toprakta değişebilir Mg içeriğini azaltmıştır.. Tarla denemesinde tüm uygulamalar kontrole kıyasla toprakta değişebilir Mg içeriğini artırmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir magnezyum içeriğine etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde kontrol uygulamasına göre sadece ABZn %2.0 uygulama dozu ve BZn uygulamasının tüm dozları değişebilir Mg miktarını artırmış, diğer uygulamalar azaltmıştır. Orijinal biyoçar uygulamasının hem Bafra hem de Kampüs toprağında değişebilir Mg içeriğini olumsuz etkilideği görülmektedir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12). Tarla denemesinde uygulamaların etkisinin dozlara bağlı olarak değiştiği görülmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir magnezyum içeriğine etkisi

4.1.7. Değişebilir Potasyum (K)

Her iki toprak için de sera ve tarla koşullarında yürütülen denemeler sonunda biyoçar ve uygulama dozlarının değişebilir potasyum içeriğine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.8’de verilmiştir. Bafra toprağındaki sera denemesinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kampüs toprağında sera denemesinde ise sadece BxD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tarla denemelerinde ise her iki toprakta da deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bafra toprağında sera denemesinde en yüksek değişebilir K içeriği ABZn_{2.0}’de 0.43 cmol kg⁻¹, en düşük ise B_{1.0}’de 0.27 cmol kg⁻¹ belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek değişebilir K içeriği AB_{0.5} uygulamasında 0.52 cmol kg⁻¹, en düşük ise ABZn_{0.5}’de 0.40 cmol kg⁻¹ bulunmuştur (Tablo 4.8).

Kampüs toprağında sera denemesinin sonunda en yüksek değişebilir K’un elde edildiği uygulama B_{2.0} 0.59 cmol kg⁻¹ olurken, en düşük değişebilir K’un elde edildiği uygulama kontrol 0.44 cmol kg⁻¹ olmuştur (Tablo 4.8). Kontrol uygulamasına kıyasla değişebilir K içeriğindeki en fazla değişkenlik artış olarak gerçekleşmiş bu artışlar sera denemesinde Bafra toprağında ABZn_{2.0}’de %26, Kampüs toprağında B_{1.0}’de %31 olarak tespit edilmiştir. Tarla denemelerinde de en fazla değişkenlikler artış olarak gerçekleşmiş Bafra ve Kampüste B_{1.0} uygulamasında

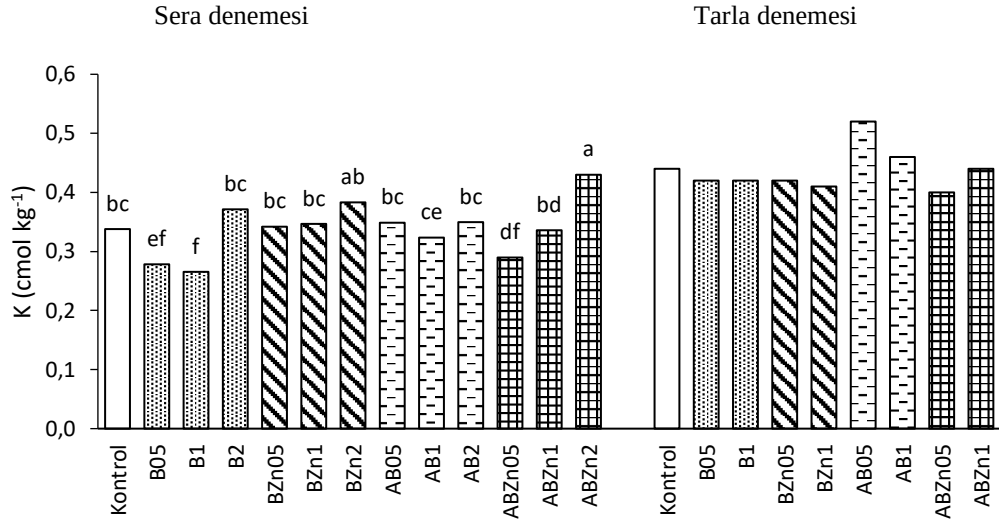
%34 ve %15 olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.8).

Tablo 4.8. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama değişebilir K değerleri

K (cmol kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	0.31 ± 0.02 b	0.43 ± 0.02	0.49 ± 0.02	0.78 ± 0.04
	BZn	0.35 ± 0.01 a	0.42 ± 0.02	0.49 ± 0.02	0.75 ± 0.03
	AB	0.34 ± 0.01 a	0.47 ± 0.04	0.53 ± 0.02	0.76 ± 0.03
	ABZn	0.35 ± 0.02 a	0.42 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.75 ± 0.02
	Doz (D)				
	%0	0.34 ± 0.01 b	0.44 ± 0.01	0.44 ± 0.01	0.73 ± 0.01
	%0.5	0.32 ± 0.01 b	0.44 ± 0.03	0.49 ± 0.01	0.77 ± 0.02
	%1.0	0.32 ± 0.01 b	0.43 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.78 ± 0.03
	%2.0	0.38 ± 0.01 a		0.57 ± 0.01	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	0.34 ± 0.01 BC	0.44 ± 0.01	0.44 ± 0.01 G	0.73 ± 0.02
	B	0.28 ± 0.03 EF	0.42 ± 0.02	0.45 ± 0.01 G	0.76 ± 0.05
	BZn	0.34 ± 0.04 BC	0.42 ± 0.01	0.54 ± 0.01 DE	0.82 ± 0.03
%0.5	AB	0.35 ± 0.01 BC	0.52 ± 0.04	0.53 ± 0.01 E	0.74 ± 0.02
	ABZn	0.29 ± 0.05 DF	0.40 ± 0.02	0.45 ± 0 G	0.75 ± 0.05
	B	0.27 ± 0.02 F	0.42 ± 0.03	0.49 ± 0.01 F	0.84 ± 0.09
%1.0	BZn	0.35 ± 0.05 BC	0.41 ± 0.01	0.44 ± 0 G	0.71 ± 0.06
	AB	0.33 ± 0.01 CE	0.46 ± 0.03	0.57 ± 0.01 AC	0.80 ± 0.09
	ABZn	0.34 ± 0.09 BD	0.44 ± 0.02	0.49 ± 0.01 F	0.78 ± 0.01
	B	0.37 ± 0.03 BC		0.59 ± 0.01 A	
%2.0	BZn	0.38 ± 0.01 AB		0.55 ± 0.01 CE	
	AB	0.35 ± 0 BC		0.58 ± 0.01 AB	
	ABZn	0.43 ± 0.04 A		0.56 ± 0.01 BD	
	LSD				
	Biyoçar	0.02*	öd	0.01**	öd
	Doz	0.02**	öd	0.01**	öd
	BxD	0.05*	öd	0.02**	öd

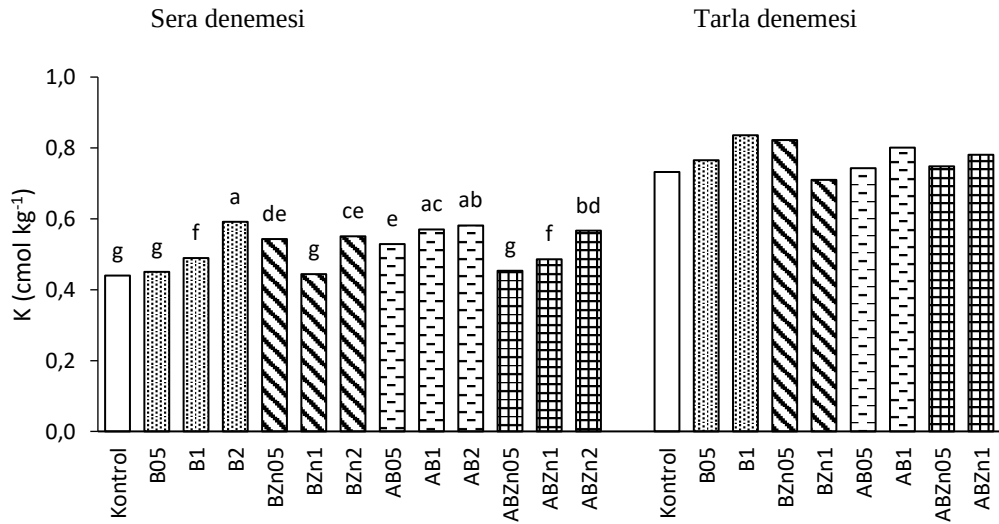
** : %1, * : %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağında sera denemesinde uygulamaların değişebilir K içeriği üzerine etkilerinin dozlara bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise sadece AB uygulamalarının kontrole göre değişebilir K içeriğini artırdığı diğer uygulamaların ise düşürdüğü görülmektedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değışebilir potasyum içeriğıne etkisi

Kampüs toprağında sera çalışmasında tüm uygulamalar kontrol uygulamasına kıyasla değışebilir K miktarını artırmıştır. Uygulama dozu arttıķa değışebilir K miktarının da arttığı görülmektedir. Tarla denemesinde de benzer olarak tüm uygulamalar değışebilir K miktarını artırmıştır. Değışebilir K miktarındaki artış uygulama dozlarının artmasıyla doğrusal olarak artmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Kmps toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değışebilir potasyum içeriğıne etkisi

4.1.8. Değişebilir Ca/Mg Oranı

Her iki toprak için de sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının Ca/Mg oranına etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.9’da verilmiştir. Deneme konularının toprakların değişebilir Ca/Mg oranları üzerine etkileri incelendiğinde sera denemelerinde her iki toprak için de tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tarla denemelerinde ise Kampüs toprağında tüm deneme konularının etkisi önemli olurken Bafra toprağında doz ve BxD interaksiyonunun etkisi önemli olmuştur.

Tablo 4.9. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama Ca/Mg oranları

Ca/Mg (cmol kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	1.73 ± 0.16 a	3.02 ± 0.32	1.92 ± 0.13 b	3.50 ± 0.19 a
	BZn	1.14 ± 0.05 c	2.88 ± 0.32	1.15 ± 0.05 d	3.06 ± 0.15 c
	AB	1.44 ± 0.11 b	2.62 ± 0.39	2.08 ± 0.15 a	3.17 ± 0.2 bc
	ABZn	1.01 ± 0.04 c	2.81 ± 0.35	1.44 ± 0.06 c	3.39 ± 0.14 ab
	Doz (D)				
	%0	0.94 ± 0 b	4.08 ± 0.14 a	1.30 ± 0.02 c	3.39 ± 0.13 a
	%0.5	1.47 ± 0.13 a	2.42 ± 0.14 b	1.82 ± 0.12 a	3.53 ± 0.16 a
	%1.0	1.50 ± 0.16 a	1.99 ± 0.11 c	1.68 ± 0.18 b	2.92 ± 0.12 b
	%2.0	1.41 ± 0.1 a		1.80 ± 0.18 ab	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	0.94 ± 0.01 D	4.08 ± 0.32 A	1.33 ± 0.03 FG	3.39 ± 0.3 BC
	B	2.05 ± 0.21 AB	3.00 ± 0.03 B	2.27 ± 0.07 BC	4.04 ± 0.24 A
	BZn	1.28 ± 0.1 CD	2.04 ± 0.14 CD	1.21 ± 0.03 FG	2.86 ± 0.16 DE
	AB	1.44 ± 0.2 BD	2.25 ± 0.11 C	2.07 ± 0.09 CD	3.59 ± 0.23 B
	ABZn	1.12 ± 0.06 CD	2.38 ± 0.35 BC	1.75 ± 0.08 E	3.61 ± 0.17 B
	B	2.23 ± 0.19 A	1.98 ± 0.1 CD	2.00 ± 0.11 D	3.06 ± 0.24 CD
	BZn	1.12 ± 0.1 CD	2.52 ± 0.03 BC	0.91 ± 0.04 H	2.92 ± 0.23 DE
	AB	1.67 ± 0.16 AC	1.52 ± 0.05 D	2.40 ± 0.21 AB	2.53 ± 0.13 E
	ABZn	0.96 ± 0.09 D	1.96 ± 0.11 CD	1.42 ± 0.09 F	3.16 ± 0.27 CD
	B	1.71 ± 0.13 AC		2.20 ± 0.03 BD	
	BZn	1.22 ± 0.09 CD		1.17 ± 0.04 G	
	AB	1.70 ± 0.15 AC		2.54 ± 0.11 A	
	ABZn	1.01 ± 0.09 D		1.27 ± 0.04 FG	
	LSD				
	Biyoçar	0.17**	öd	0.12**	0.23**
	Doz	0.17**	0.32**	0.12**	0.20**
	BxD	0.34**	0.65*	0.24**	0.39**

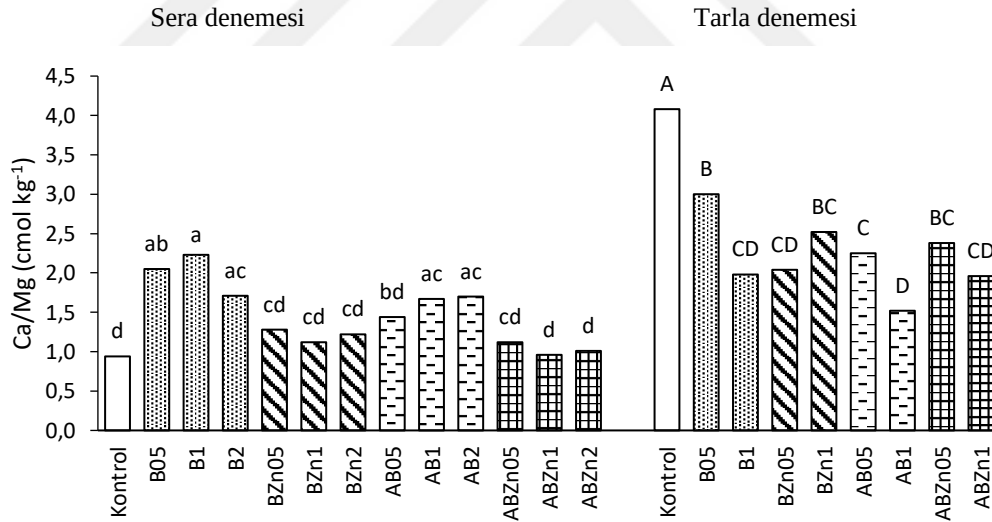
**, %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağında sera denemesinde en düşük ve en yüksek Ca/Mg kontrolde 0.94 ve B_{1.0}’de 2.23 olarak bulunmuştur. Tarla denemesinde ise en yüksek Ca/Mg

oranı kontrolde 4.08, en düşük ise ABZn_{1.0}'de 1.96 belirlenmiştir. Kampüs toprağında sera denemesinde en düşük Ca/Mg oranı BZn_{1.0}'de 0.91 olarak bulunurken en yüksek ise AB_{2.0}'de 2.54 olarak bulunmuştur. Tarla denemesi incelendiğinde en düşük Ca/Mg oranının AB_{1.0}'de 2.53, en yüksek ise B_{1.0}'de 4.04 olduğu görülmektedir (Tablo 4.9).

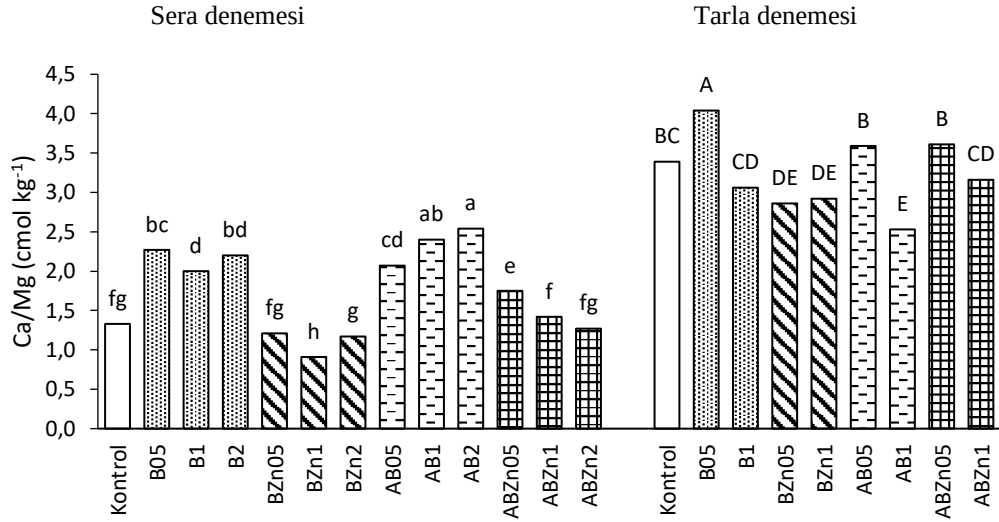
Bafra toprağında sera denemesinde kontrole göre en fazla değişim B_{1.0} uygulamasında %137 artış olurken, tarla denemesinde AB_{1.0}'de %63 azalış olarak gerçekleşmiştir. Kampüs toprağında sera denemesinde kontrole göre en fazla değişim AB_{2.0}'de %91 artış, tarla denemesinde AB_{1.0}'de %25 azalış tespit edilmiştir (Tablo 4.9).

Bafra toprağında sera denemesine bakıldığında tüm uygulamaların kontrole göre toprakta değişebilir Ca/Mg oranını artırdığı görülmektedir. Tarla denemesinde ise bu durumun tam tersi gerçekleşmiş ve tüm uygulamalar kontrole göre Ca/Mg oranını düşürmüştür (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Ca/Mg oranına etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde B ve BZn uygulamaları kontrole kıyasla Ca/Mg miktarını artırırken BZn uygulamaları düşürmüştür. ABZn uygulamalarının doz artışıyla paralel olarak Ca/Mg oranını düşürdüğü de gözlemlenmektedir. Tarla denemesinde ise birkaç uygulama hariç genel olarak uygulamalar kontrole göre Ca/Mg oranını düşürmüştür (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Ca/Mg oranına etkisi

4.1.9. Değişebilir Ca/K oranı

Sera ve tarla denemelerinde Bafra ve Kampüs topraklarında biyoçar ve uygulama dozlarının Ca/K oranına etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.10’da verilmiştir. Bafra toprağında sera denemesinde tüm deneme konuları istatistiksel olarak önemli ölçüde Ca/K oranını etkilerden tarla denemesinde sadece biyoçarın etkisi önemli bulunmuştur. Kampüs torağında da benzer olarak tüm konuların etkisi serada önemli olurken, tarla şartlarında Ca/K oranına hiçbir deneme konusunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4.10). Bafra toprağında sera denemesinde en yüksek Ca/K oranı B_{1.0}’de 87.06, en düşük ise ABZn_{2.0}’de 40.04 tespit edilmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek oran BZn_{1.0}’de 100.65, en düşük oran ise AB_{1.0}’de 57.17 belirlenmiştir (Tablo 4.10).

Kampüs toprağında sera ve tarla denemelerinde en yüksek Ca/K oranları sırasıyla B_{1.0} ve kontrolde 68.26 ve 60.27 olarak bulunmuş, en düşük oranlar ise BZn_{2.0} ve BZn_{0.5}’te 47.23 ile 50.03 bulunmuştur (Tablo 4.10).

Bafra toprağında sera denemesinde kontrole göre en fazla değişim B_{1.0}’de %99 artış olmuştur. Tarla denemesinde uygulamalar arasında istatistiksel olarak fark bulunamamıştır. Kampüs toprağında sera denemesinde kontrole kıyasla Ca/K oranındaki en fazla değişim BZn_{2.0}’de %22 azalış olarak tespit edilmiştir. Bafra

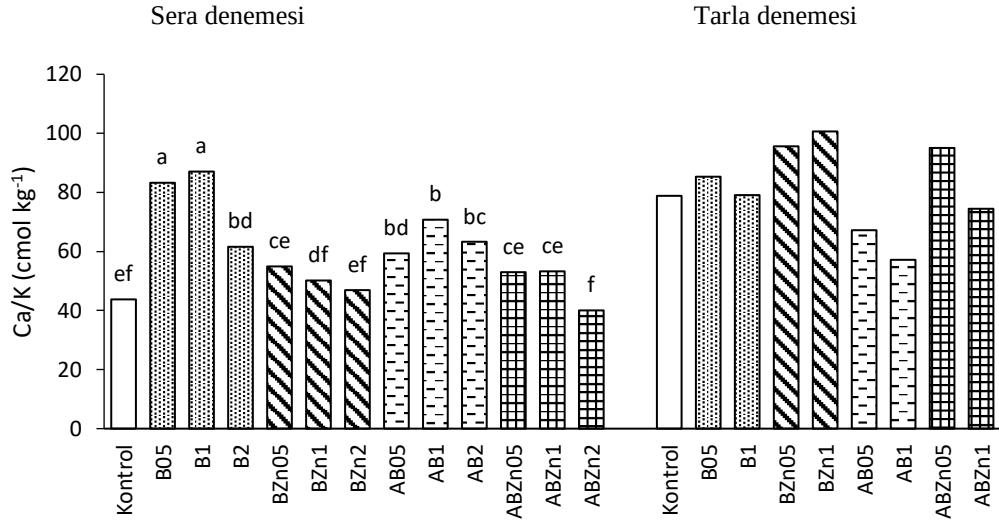
toprağına benzer olarak tarla denemesinde uygulamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait Ca/K oranları

Ca/K (cmol kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	68.92 ± 5.83 a	81.08 ± 4.95 a	61.31 ± 2.25 a	58.52 ± 2.15
	BZn	48.95 ± 1.73 c	91.70 ± 4.7 a	52.31 ± 1.79 d	56.66 ± 2.77
	AB	59.29 ± 3.46 b	67.74 ± 4.74 b	56.85 ± 0.97 c	56.48 ± 2.23
	ABZn	47.52 ± 2.33 c	82.79 ± 4.73 a	58.87 ± 2.12 b	57.37 ± 2.09
	Doz (D)				
	%0	43.77 ± 0.64 c	78.84 ± 1.6	60.57 ± 0.77 a	60.27 ± 1.24
	%0.5	62.63 ± 4.45 a	85.80 ± 5.24	61.06 ± 2.95 a	56.27 ± 1.82
	%1.0	65.31 ± 4.8 a	77.84 ± 6.04	56.78 ± 1.26 b	55.23 ± 2.41
	%2.0	52.96 ± 3.47 b		50.95 ± 0.9 c	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	43.77 ± 1.5 EF	78.84 ± 3.74	61.56 ± 0.99 C	60.27 ± 2.91
%0.5	B	83.26 ± 8.6 A	85.32 ± 7.86	71.77 ± 1.89 A	59.19 ± 2.8
	BZn	54.93 ± 2.19 CE	95.61 ± 9.79	47.71 ± 1.29 G	50.03 ± 2.07
	AB	59.35 ± 7.6 BD	67.20 ± 11.39	56.48 ± 0.62 D	57.26 ± 2
	ABZn	52.99 ± 2.01 CE	95.06 ± 7.26	68.26 ± 1.79 B	58.62 ± 5.44
%1.0	B	87.06 ± 5.1 A	79.09 ± 14.3	63.33 ± 0.55 C	56.11 ± 5.86
	BZn	50.17 ± 4.9 DEF	100.65 ± 4.99	52.76 ± 0.29 EF	59.68 ± 6.78
	AB	70.76 ± 2.24 B	57.17 ± 2.79	55.13 ± 1.61 DE	51.90 ± 5.4
	ABZn	53.27 ± 3.71 CE	74.46 ± 9.17	55.90 ± 0.67 DE	53.23 ± 0.77
%2.0	B	61.58 ± 5.9 BD		52.56 ± 1.09 EF	
	BZn	46.91 ± 0.8 EF		47.23 ± 1.27 G	
	AB	63.29 ± 2.17 BC		54.23 ± 0.74 DE	
	ABZn	40.04 ± 5.74 F		49.76 ± 0.57 FG	
	LSD				
	Biyoçar	6.15**	13.02**	1.72**	öd
	Doz	6.15**	öd	1.72**	öd
	BxD	12.30**	öd	3.42**	öd

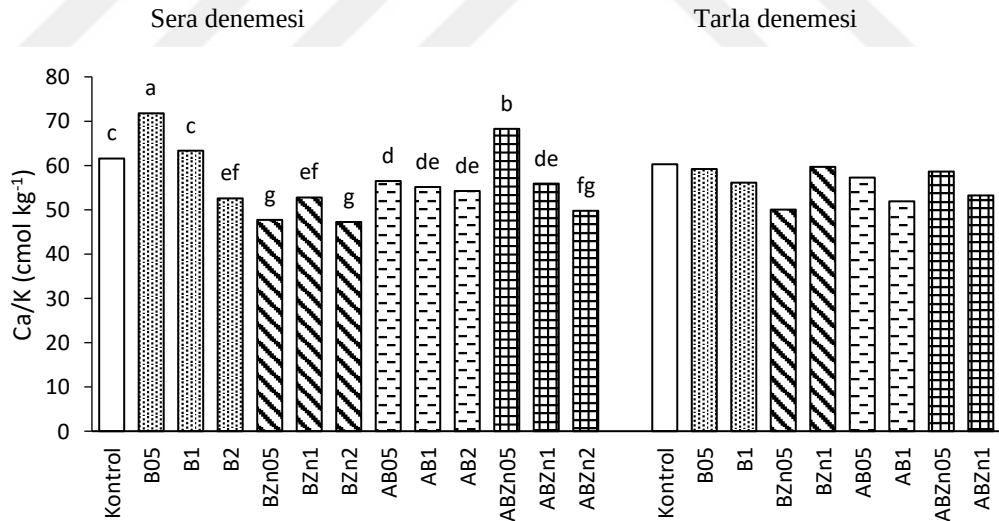
** : %1, * : %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değili ifade eder

Bafra toprağında sera denemesinde sadece ABZn2.0 uygulaması Ca/K oranını düşürmüş diğer uygulamalar artırmıştır. Genel olarak en etkili uygulamanın orijinal biyoçar uygulaması olduğu görülmektedir. Tarla denemesinde AB uygulaması Ca/K oranını düşürürken BZn uygulaması artırmış, diğer uygulamaların etkisi ise dozlara bağlı olarak değişkenlik göstermiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Bağcıbaşı toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Ca/K oranına etkisi

Kampüs toprağında sera denemesine bakıldığında BZn ve AB uygulamalarının kontrole kıyasla Ca/K oranını azalttığı, B ve ABZn uygulamalarının doz artışıyla paralel olarak bu etkiyi gösterdiği düşük görülmektedir. Tarla denemesinde bütün uygulamalar kontrole göre Ca/K oranını düşürdüğü belirlenmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Ca/K oranına etkisi

4.1.10. Değişebilir Mg/K Oranı

Bağcıbaşı ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının Ca/K oranına etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik

durumları Tablo 4.11’da verilmiştir. Bafra toprağında sera denemesinde biyoçar ve uygulama dozlarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, tarla denemesinde sadece uygulama dozunun etkisi önemlilik göstermiştir. Kampüs toprağında ise sera denemesinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş tarla denemesinde sadece uygulama dozunun etkisi önemli olmuştur (Tablo 4.11).

Bafra toprağında en yüksek Mg/K oranları sera denemesinde ABZn_{1.0}’de 55.65, tarla denemesinde BZn_{0.5}’te 47.39 olarak belirlenmiştir. En düşük değerler ise sera denemesinde B_{2.0}’de 35.91, tarla denemesinde kontrolde 19.49 tespit edilmiştir (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait Mg/K oranları

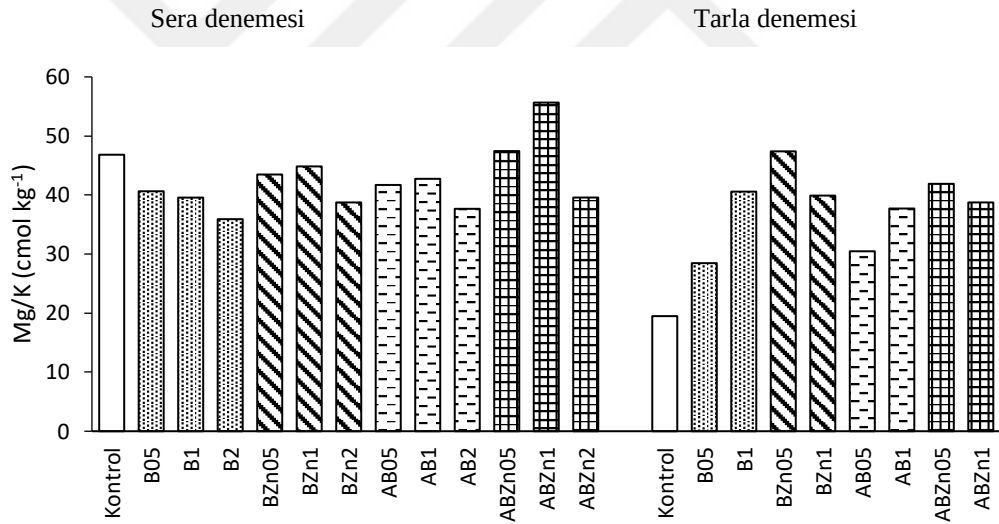
Mg/K (cmol kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyocha (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	40.73 ± 1.49 b	29.51 ± 4.02	33.82 ± 2.7 c	17.10 ± 1.1
	BZn	43.47 ± 1.24 b	35.59 ± 4.57	46.17 ± 2.37 a	18.70 ± 0.88
	AB	42.23 ± 1.41 b	29.22 ± 3.28	29.58 ± 3.01 d	18.22 ± 1.09
	ABZn	47.37 ± 2 a	33.37 ± 4.54	41.03 ± 1.06 b	17.09 ± 0.73
	Doz (D)				
	%0	46.82 ± 0.71 a	19.49 ± 0.55 b	46.60 ± 0.49 b	17.99 ± 0.68 ab
	%0.5	43.31 ± 1.13 b	37.05 ± 3.42 a	34.45 ± 1.64 a	16.17 ± 0.57 b
	%1.0	45.70 ± 2.15 ab	39.23 ± 2.44 a	38.22 ± 3.99 c	19.18 ± 0.98 a
	%2.0	37.97 ± 1.15 c		31.32 ± 2.68 d	
Doz	Biyocha				
%0	Kontrol	46.82 ± 1.67	19.49 ± 1.29	46.2 ± 0.67 B	17.99 ± 1.6
%0.5	B	40.63 ± 0.69	28.46 ± 2.58	31.71 ± 1.58 D	14.84 ± 1.65
	BZn	43.47 ± 2.38	47.39 ± 5.88	39.52 ± 1.01 C	17.64 ± 1.25
	AB	41.70 ± 2.7	30.47 ± 6.32	27.45 ± 1.56 E	16.01 ± 0.47
	ABZn	47.44 ± 1.06	41.89 ± 7.24	39.14 ± 1.04 C	16.17 ± 0.76
%1.0	B	39.56 ± 3.76	40.57 ± 8.6	31.87 ± 1.74 D	18.48 ± 2.29
	BZn	44.84 ± 0.91	39.90 ± 2.33	58.31 ± 2.57 A	20.47 ± 1.67
	AB	42.74 ± 2.65	37.71 ± 1.72	23.25 ± 1.49 F	20.66 ± 2.49
	ABZn	55.65 ± 2.52	38.74 ± 6.8	39.47 ± 2.01 C	17.11 ± 1.57
%2.0	B	35.91 ± 0.84		23.91 ± 0.74 EF	
	BZn	38.74 ± 2.59		40.65 ± 2.03 C	
	AB	37.66 ± 2.28		21.42 ± 0.72 F	
	ABZn	39.57 ± 3.58		39.29 ± 1.07 C	
	LSD				
	Biyocha	3.21**	öd	2.09**	öd
	Doz	3.21**	7.04**	2.09**	2.17**
	BxD	öd	öd	4.17**	öd

** : %1, * : %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değili ifade eder

Kampüs toprağında sera denemesinde en düşük Mg/K oranı AB_{2.0}'de 21.42, en yüksek ise BZn_{1.0}'de 58.31 olarak belirlenmiştir. Tarla denemesinde en yüksek ve en düşük Mg/K oranları AB_{1.0}'de 20.66, B_{0.5}'te 14.84 olarak bulunmuştur (Tablo 4.11).

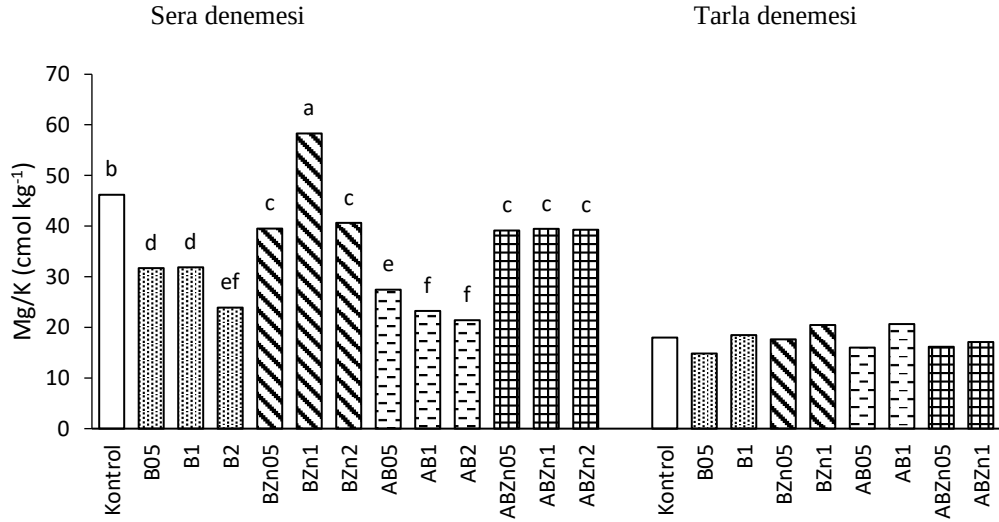
Bafra toprağında sera denemesinde kontrole kıyasla en fazla değişim B_{2.0}'de %23 azalış, tarla denemesinde ise BZn_{0.5}'te %143 artış olarak belirlenmiştir. Kampüs toprağında ise kontrole göre Mg/K oranında en fazla değişim sera denemesinde AB_{0.5}'te %54 azalış, tarla denemesinde B_{0.5}'te %17 azalış olarak bulunmuştur (Tablo 4.11).

Bafra toprağında sera denemesinde sadece ABZn uygulamasının %0.5 ve %1.0 dozları Mg/K oranını kontrole göre artırmış diğer tüm uygulamalar düşürmüştür. Tarla denemesinde ise tüm uygulamalar kontrole göre Mg/K oranını artırmış B ve AB uygulamalarının doz artışıyla paralel olarak Mg/K oranı artarken BZn ve ABZn uygulamaların tam tersi etki gerçekleşmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçaz uygulamalarının Mg/K oranına etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde sadece BZn_{1.0} uygulaması Mg/K oranını artırmış diğer uygulamaların hepsi düşürmüştür. Tarla denemesinde genel eğilim bütün uygulamalarda doz artışıyla paralel olarak Mg/K oranının artması şeklinde gözlemlenmişti. Yalnızca ABZn uygulamasında her iki dozda da Mg/K oranı kontrolden düşük olarak belirlenmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının Mg/K oranına etkisi

4.1.11. Değişebilir Sodyum (Na)

Her iki toprak için de sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının değişebilir sodyum içeriğine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.12’de verilmiştir. Her iki toprakta da sera denemelerinde tüm konuların etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bafra toprağında tarla denemesinde konuların etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamış, Kampüs toprağındaki tarla denemesinde de sadece uygulama dozunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.12). Bafra toprağındaki sera denemesi sonunda en yüksek değişebilir Na miktarı kontrol uygulamasından $1.16 \text{ cmol kg}^{-1}$, en düşük ise B_{1.0}’de 7.41 mg kg^{-1} elde edilmiştir. Tarla denemesi sonunda ise en yüksek değişebilir Na B_{0.5}’te $1.07 \text{ cmol kg}^{-1}$, en düşük ise BZn_{0.5}’te 0.82 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Tablo 4.12).

Kampüs toprağındaki sera denemesinde en yüksek değişebilir Na miktarı BZn_{0.5}’te $0.65 \text{ cmol kg}^{-1}$, en düşük ise B_{2.0}’de $0.27 \text{ cmol kg}^{-1}$ bulunmuştur. Tarla denemesinde ise en yüksek değişebilir Na miktarı kontrol’de $0.68 \text{ cmol kg}^{-1}$, en düşük ise BZn_{0.5}’te $0.58 \text{ cmol kg}^{-1}$ bulunmuştur (Tablo 4.12).

Değişebilir Na miktarlarındaki en fazla değişimler her iki toprak ve deneme koşullarında da azalış yönünde olmuştur. Bafra toprağındaki sera denemesinde B_{1.0}’de %364, Kampüs toprağındaki B_{2.0}’de %137 olarak gerçekleşmiştir. Tarla denemelerinde

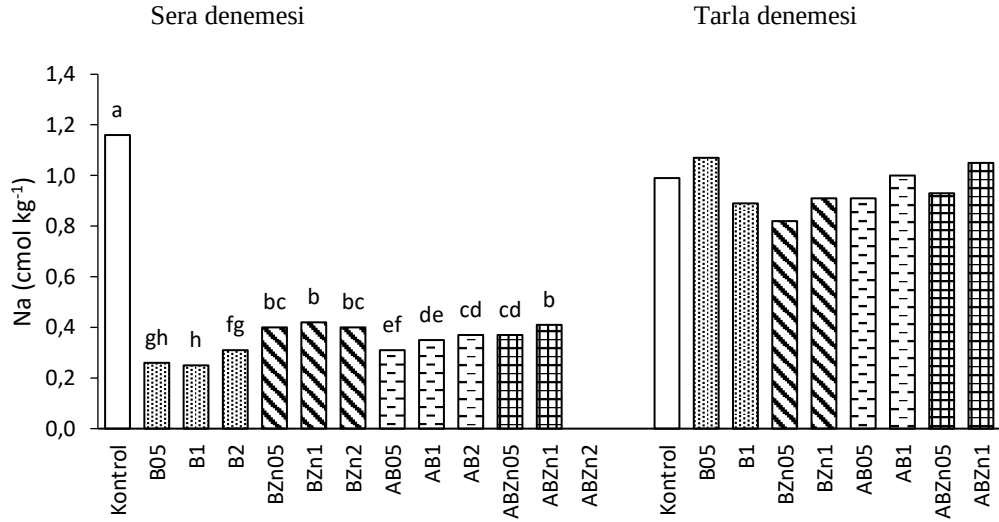
ise Bafra toprağında BZn_{0.5}'te %21, Kampüs toprağında da aynı uygulamada %15 şeklinde olmuştur (Tablo 4.12).

Tablo 4.12. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama değişebilir Na değerleri

Na (cmol kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	0.49 ± 0.12 c	0.98 ± 0.05	0.38 ± 0.05 c	0.64 ± 0.01
	BZn	0.60 ± 0.1 a	0.91 ± 0.05	0.60 ± 0.02 a	0.63 ± 0.02
	AB	0.55 ± 0.11 b	0.97 ± 0.06	0.41 ± 0.04 c	0.64 ± 0.01
	ABZn	0.59 ± 0.1 a	0.99 ± 0.05	0.55 ± 0.03 b	0.65 ± 0.01
	Doz (D)				
	%0	1.16 ± 0 a	0.99 ± 0.01	0.65 ± 0.02 a	0.68 ± 0 a
	%0.5	0.33 ± 0.02 c	0.93 ± 0.05	0.42 ± 0.05 b	0.61 ± 0.01 c
	%1.0	0.36 ± 0.02 b	0.96 ± 0.06	0.42 ± 0.04 b	0.64 ± 0.01 b
	%2.0	0.37 ± 0.01 b		0.46 ± 0.04 b	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	1.16 ± 0 A	0.99 ± 0.03	0.65 ± 0.02 A	0.68 ± 0.01
%0.5	B	0.26 ± 0.03 GH	1.07 ± 0.05	0.29 ± 0.02 F	0.61 ± 0.03
	BZn	0.40 ± 0.01 BC	0.82 ± 0.02	0.65 ± 0.01 A	0.58 ± 0.03
	AB	0.31 ± 0.02 EF	0.91 ± 0.04	0.29 ± 0.01 F	0.59 ± 0.01
	ABZn	0.37 ± 0.03 CD	0.93 ± 0.03	0.46 ± 0.03 DE	0.64 ± 0.03
%1.0	B	0.25 ± 0.01 H	0.89 ± 0.04	0.31 ± 0.04 F	0.62 ± 0.02
	BZn	0.42 ± 0.03 B	0.91 ± 0.01	0.55 ± 0.01 BD	0.63 ± 0.02
	AB	0.35 ± 0.04 DE	1.00 ± 0.05	0.31 ± 0 F	0.64 ± 0.02
	ABZn	0.41 ± 0.02 B	1.05 ± 0.06	0.51 ± 0.05 CE	0.65 ± 0.02
%2.0	B	0.31 ± 0.02 FG		0.27 ± 0.04 F	
	BZn	0.40 ± 0 BC		0.58 ± 0.02 AC	
	AB	0.37 ± 0.02 CD		0.42 ± 0.07 E	
	ABZn	0.42 ± 0.01 B		0.58 ± 0.01 AC	
	LSD				
	Biyoçar	0.02**	öd	0.05**	öd
	Doz	0.02**	öd	0.05**	0.03**
	BxD	0.04**	öd	0.10**	öd

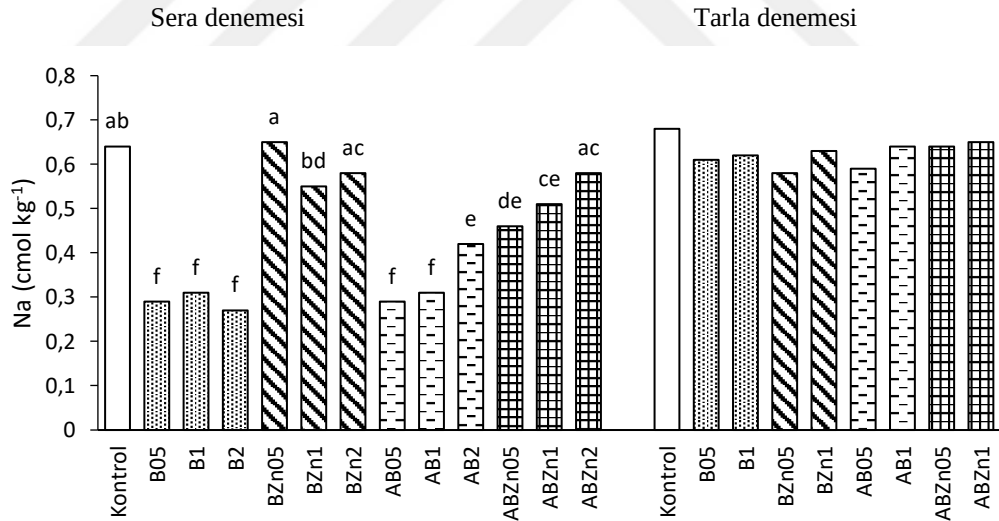
** : %1, * : %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağında sera denemesinde tüm uygulamalar değişebilir Na içeriğini kontrole göre düşürmüştür. Tarla denemesinde ise uygulamaların etkisi değişkenlik göstermiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir sodyum içeriğine etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde yalnızca BZn_{0.5} kontrole göre değişebilir Na içeriğini artırmış diğerleri düşürmüştür. Tarla denemesinde de benzer olarak bütün uygulamaların değişebilir Na içeriğini düşürdüğü görülmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının değişebilir sodyum içeriğine etkisi

4.1.12. Bitkiye Yarayışlı Fosfor (P)

Hem Bafra'da hem de Kampüs'te sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının bitkiye yarayışlı fosfor içeriğine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.13'te verilmiştir. Bafra toprağında sera

denemesinde uygulama dozu ve BxD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, tarla denemesi sonunda tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kampüs toprağında sera denemesinde ise biyoçar ve BxD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli olmuş, tarla denemesinde ise sadece uygulama dozunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.13).

Bafra toprağındaki sera denemesi sonunda en yüksek bitkiye yarayışlı P miktarı BZn_{2.0}'de 12.95 mg kg⁻¹, en düşük ise kontrolde 7.41 mg kg⁻¹ elde edilmiştir. Tarla denemesi sonunda ise en yüksek bitkiye yarayışlı P içeriği AB_{1.0} uygulamasında 23.12 mg kg⁻¹, en düşük ise B_{0.5}'te 10.70 mg kg⁻¹ belirlenmiştir (Tablo 4.13).

Tablo 4.13. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama yarayışlı P değerleri

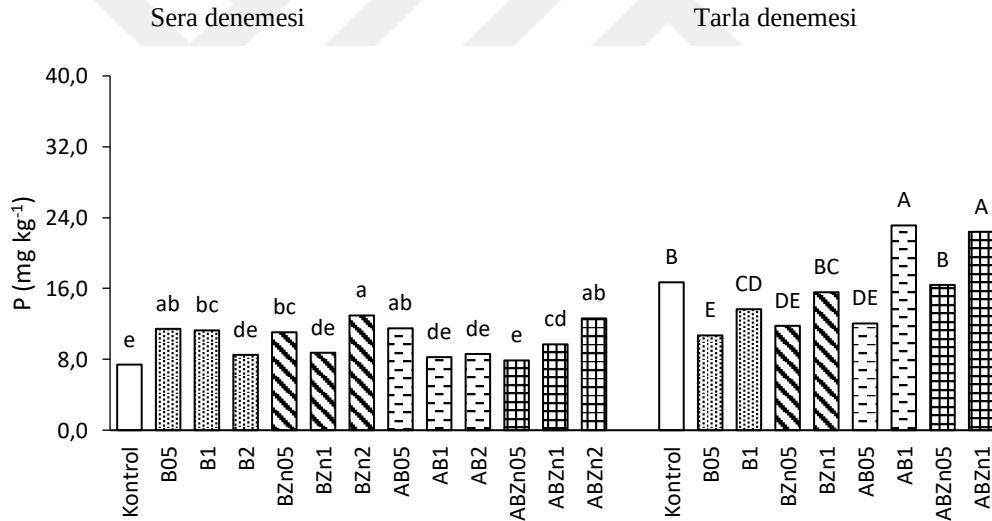
P (mg kg ⁻¹)	Bafra deneme alanı			Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	9.66 ± 0.60	13.69 ± 0.92 b	16.21 ± 0.36 b	31.77 ± 1.47
	BZn	10.04 ± 0.67	14.69 ± 0.83 b	22.30 ± 0.83 a	30.45 ± 1.38
	AB	8.94 ± 0.53	17.29 ± 1.65 a	16.06 ± 0.38 b	29.99 ± 1.13
	ABZn	9.40 ± 0.65	18.50 ± 1.13 a	15.75 ± 0.51 b	29.87 ± 1.05
	Doz (D)				
	%0	7.41 ± 0.16 c	16.70 ± 0.37 c	17.93 ± 0.16	30.93 ± 1.34 a
	%0.5	10.47 ± 0.52 a	12.74 ± 0.71 b	17.25 ± 0.98	28.39 ± 0.59 b
	%1.0	9.49 ± 0.45 b	18.69 ± 1.32 a	17.44 ± 1.05	32.24 ± 0.92 a
	%2.0	10.67 ± 0.69 a		17.69 ± 1.35	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	7.41 ± 0.38 E	16.70 ± 0.87 B	17.93 ± 0.38 C	30.93 ± 3.13
%0.5	B	11.45 ± 0.65 AB	10.70 ± 0.31 E	15.13 ± 0.49 DE	28.48 ± 1.15
	BZn	11.06 ± 0.28 BC	11.79 ± 0.61 DE	22.67 ± 0.43 B	26.82 ± 0.74
	AB	11.5 ± 0.77 AB	12.05 ± 0.61 DE	14.93 ± 0.61 E	27.54 ± 0.92
	ABZn	7.88 ± 0.46 E	16.40 ± 0.8 B	16.27 ± 0.64 D	30.74 ± 0.76
%1.0	B	11.27 ± 1.06 BC	13.66 ± 0.65 CD	15.63 ± 0.26 DE	35.9 ± 0.74
	BZn	8.75 ± 0.51 DE	15.57 ± 0.68 BC	23.40 ± 0.06 B	33.59 ± 0.9
	AB	8.25 ± 0.54 DE	23.12 ± 0.75 A	15.57 ± 0.19 DE	31.52 ± 0.41
	ABZn	9.69 ± 0.31 CD	22.40 ± 1.63 A	15.17 ± 0.45 DE	27.96 ± 0.43
%2.0	B	8.51 ± 0.51 DE		16.13 ± 0.38 DE	
	BZn	12.95 ± 0.61 A		25.20 ± 0.67 A	
	AB	8.61 ± 0.56 DE		15.80 ± 0.17 DE	
	ABZn	12.62 ± 0.64 AB		13.63 ± 0.32 F	
LSD					
	Biyoçar	öd	1.33**	0.60**	öd
	Doz	0.81*	1.33**	öd	1.44**
	BxD	1.61**	2.31**	1.20**	öd

** : %1, * : %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değili ifade eder

Kampüs toprağındaki sera denemesinde en yüksek bitkiye yarayışlı P miktarı BZn_{2.0}'den 25.21 mg kg⁻¹, en düşük ise ABZn_{2.0}'den 13.64 mg kg⁻¹ elde edilmiştir. Tarla denemesinde ise en fazla bitkiye yarayışlı P B_{1.0}'de 35.90 mg kg⁻¹, en az ise BZn_{0.5} uygulamasında 26.82 mg kg⁻¹ belirlenmiştir (Tablo 4.13).

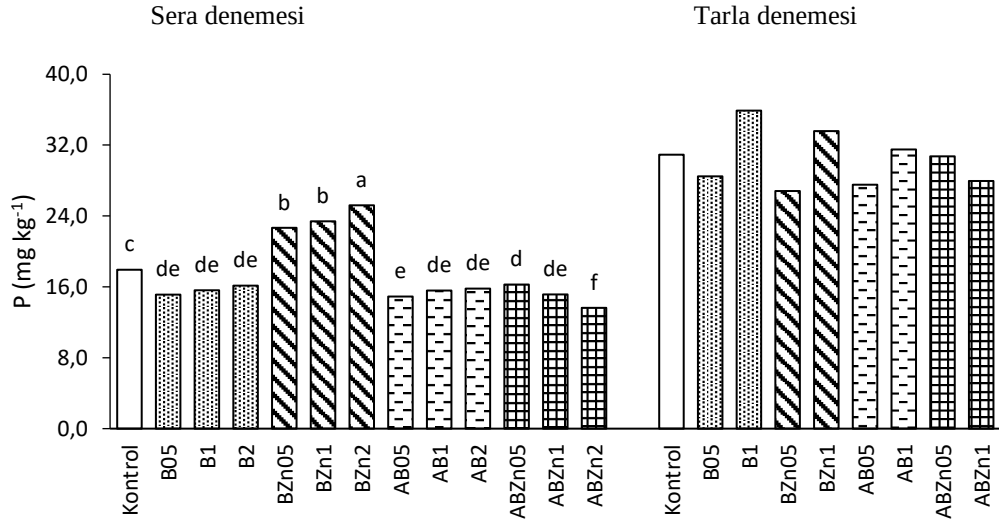
Bitkiye yarayışlı P içeriğinde sera denemelerinde kontrol uygulamasına göre en fazla değişimler artış şeklinde gerçekleşmiştir. Bafra toprağında BZn_{2.0}'de %75, Kampüs toprağında da aynı uygulamada %40 bulunmuştur. Tarla denemelerinde ise Bafra toprağında AB_{1.0} 'de %38, Kampüs toprağındaysa B_{1.0}'de %16 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.13).

Bafra toprağındaki sera denemesinde tüm uygulamalar kontrole göre bitkiye yarayışlı P miktarını artırmıştır. Tarla denemesinde ise B ve BZn uygulamaları bitkiye yarayışlı P miktarını azaltırken, AB ve ABZn uygulamalarının %1.0 dozu artırmıştır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının yarayışlı fosfor içeriğine etkisi

Kampüs toprağındaki sera denemesinde kontrole göre BZn uygulaması hariç tüm uygulamalar bitkiye yarayışlı fosfor miktarını düşürmüştür. BZn uygulamasında artışlar dozlarla paralel olarak gerçekleşmiş en fazla artış en yüksek uygulama dozunda meydana gelmiştir. Tarla denemesinde ise sadece B, BZn ve AB uygulamalarının %1.0 dozu kontrole göre yarayışlı P miktarını artırmış diğerleri düşürmüştür (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının yararlı fosfor içeriğine etkisi

4.1.13. DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Demir (DTPA-Fe)

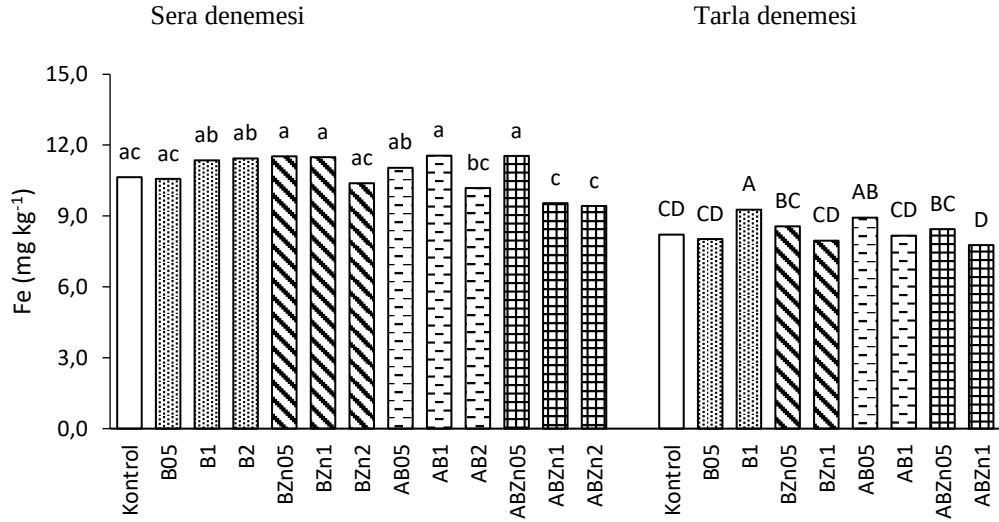
Her iki toprak için de sera ve tarla koşullarında yürütülen denemeler sonunda biyoçar ve uygulama dozlarının DTPA ile ekstrakte edilebilir demir içeriğine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.14'te verilmiştir. Bafra toprağında sera ve tarla denemelerinde sadece BxD interaksiyonun etkisi önemli bulunmuştur. Kampüs toprağında sera ve tarla denemelerinde ise tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.14). Bafra toprağındaki sera denemesinde en yüksek DTPA-Fe miktarı ABZn_{0.5}'te 11.54 mg kg⁻¹, en düşük yine aynı uygulamanın en yüksek uygulama dozu olan ABZn_{2.0}'de 9.53 mg kg⁻¹ elde edilmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek DTPA-Fe B_{1.0}'de 9.27 mg kg⁻¹, en düşük ise ABZn_{1.0} uygulamasında 7.77 mg kg⁻¹ belirlenmiştir (Tablo 4.14). Kampüs toprağındaki sera denemesi incelendiğinde en yüksek DTPA-Fe miktarı Bafra toprağındaki sera denemesine benzer olarak ABZn_{0.5} uygulamasında 38.64 mg kg⁻¹, en düşük ise BZn_{2.0}'de 26.33 mg kg⁻¹ bulunmuştur. Tarla denemesinde ise en yüksek DTPA-Fe içeriği AB_{0.5}'te 26.36 mg kg⁻¹, en düşük ise B_{1.0}'de 16.13 mg kg⁻¹ tespit edilmiştir (Tablo 4.14). Kontrol uygulamasına göre DTPA-Fe içeriğindeki en fazla değişim Bafra toprağında sera denemesinde ABZn_{2.0}'de %11 azalış, tarla denemesindeyse B_{1.0}'de %13 artış olarak belirlenmiştir. Kampüs toprağında ise sera denemesinde ABZn_{0.5}'de %20 artmış tarla denemesinde ise aynı uygulamada %36 azalmıştır (Tablo 4.14).

Tablo 4.14. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama DTPA-Fe değerleri

Fe (mg kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	11.00 ± 0.30	8.50 ± 0.25	30.98 ± 0.50 b	22.01 ± 1.57 b
	BZn	11.01 ± 0.19	8.24 ± 0.10	30.81 ± 0.86 b	22.52 ± 1.05 b
	AB	10.86 ± 0.19	8.44 ± 0.14	34.25 ± 0.52 a	24.26 ± 0.97 a
	ABZn	10.29 ± 0.33	8.14 ± 0.14	35.21 ± 0.82 a	24.46 ± 0.56 a
	Doz (D)				
	%0	10.65 ± 0.12	8.21 ± 0.02	32.33 ± 0.44 b	25.20 ± 0.45 a
	%0.5	11.17 ± 0.24	8.49 ± 0.17	34.45 ± 0.85 a	24.47 ± 0.50 a
	%1.0	10.99 ± 0.34	8.29 ± 0.18	33.21 ± 0.62 b	20.27 ± 1.09 b
	%2.0	10.36 ± 0.29		31.26 ± 1.24 bc	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	10.65 ± 0.27 AC	8.21 ± 0.04 CE	32.33 ± 1.03 DE	25.20 ± 1.06 AB
%0.5	B	10.57 ± 0.86 AC	8.03 ± 0.47 CE	31.60 ± 0.62 E	24.72 ± 0.57 AB
	BZn	11.53 ± 0.34 A	8.56 ± 0.16 BC	33.20 ± 0.15 CE	23.50 ± 0.92 AC
	AB	11.04 ± 0.37 AB	8.93 ± 0.2 AB	34.37 ± 0.63 BD	26.35 ± 0.47 A
	ABZn	11.54 ± 0.08 A	8.45 ± 0.32 BD	38.63 ± 1.24 A	23.31 ± 1.08 BC
%1.0	B	11.36 ± 0.7 AB	9.27 ± 0.23 A	31.27 ± 0.41 E	16.13 ± 1.5 E
	BZn	11.49 ± 0.25 A	7.96 ± 0.05 DE	31.37 ± 0.73 E	18.85 ± 0.59 DE
	AB	11.56 ± 0.1 A	8.17 ± 0.11 CE	35.8 ± 0.23 B	21.24 ± 1.66 CD
	ABZn	9.54 ± 0.72 C	7.77 ± 0.09 E	34.4 ± 0.21 BD	24.86 ± 0.66 AB
%2.0	B	11.44 ± 0.65 AB		28.73 ± 0.57 F	
	BZn	10.39 ± 0.18 AC		26.33 ± 0.81 F	
	AB	10.19 ± 0.28 BC		34.5 ± 1.17 BD	
	ABZn	9.43 ± 0.58 C		35.47 ± 1.41 BC	
	LSD				
	Biyoçar	öd	öd	1.23**	1.44*
	Doz	öd	öd	1.23**	1.44**
	BxD	1.53*	0.58**	2.46**	2.86**

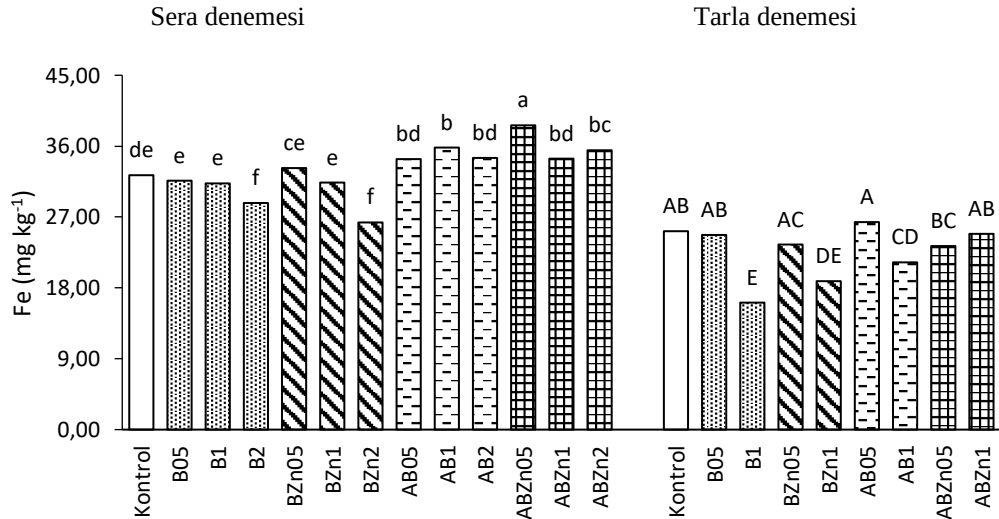
** : %1, * : %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değili ifade eder

Bafra toprağında sera ve tarla denemelerinde uygulamaların etkisi dozlara bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. ABZn uygulamasının %1.0 ve %2.0 dozlarının kontrole göre DTPA-Fe içeriğini her iki deneme koşullarında da düşürdüğü görülmektedir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Fe içeriğine etkisi

Kampüs toprağındaki sera denemesine bakıldığında B ve BZn uygulamalarının doz artışına paralel olarak kontrole göre DTPA-Fe miktarını düşürdüğü görülmektedir. AB ve ABZn uygulamaları ise dozlara göre değişkenlik gösterse de kontrole göre DTPA-Fe içeriğini artırmıştır. Tarla denemesine bakıldığında sadece AB_{0.5} kontrole göre DTPA-Fe miktarını artırmış diğer uygulamalar kontrole göre düşürmüştür (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Kampüs toprağındaki sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Fe içeriğine etkisi

4.1.14. DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Bakır (DTPA-Cu)

Her iki toprak için de sera ve tarla koşullarında denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının DTPA ile ekstrakte edilebilir bakır içeriğine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.15'te verilmiştir. Bafra toprağında sera denemesinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli olurken, tarla denemesinde uygulama dozu ve BxD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli olmuştur. Kampüs toprağındaki denemelerde ise sera denemesinde Bafra toprağındaki sera denemesine benzer olarak tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tarla denemesinde ise sadece uygulama dozunun etkisi istatistiksel olarak önemlilik göstermiştir (Tablo 4.15).

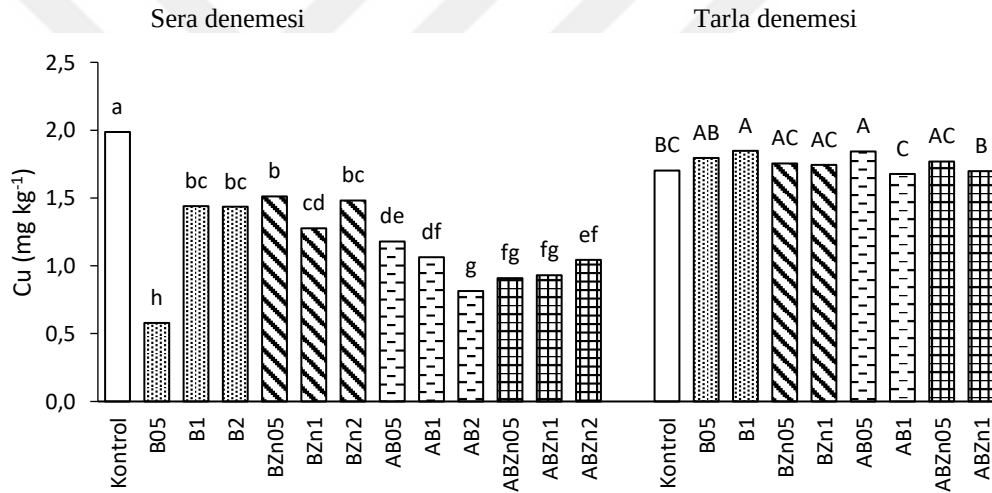
Tablo 4.15. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama DTPA-Cu değerleri

Cu (mg kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	1.36 ± 0.16 b	1.78 ± 0.03	1.87 ± 0.10 ab	1.44 ± 0.06
	BZn	1.56 ± 0.08 a	1.73 ± 0.02	1.69 ± 0.18 b	1.43 ± 0.08
	AB	1.25 ± 0.13 bc	1.74 ± 0.03	1.00 ± 0.16 c	1.50 ± 0.06
	ABZn	1.21 ± 0.13 c	1.72 ± 0.02	2.11 ± 0.16 a	1.48 ± 0.05
	Doz (D)				
	%0	1.99 ± 0.01 a	1.70 ± 0.01 b	1.80 ± 0.11 a	1.63 ± 0.03 a
	%0.5	1.04 ± 0.10 c	1.79 ± 0.02 a	1.53 ± 0.18 b	1.45 ± 0.04 b
	%1.0	1.18 ± 0.07 b	1.74 ± 0.02 b	1.81 ± 0.20 a	1.31 ± 0.04 c
	%2.0	1.19 ± 0.10 b		1.53 ± 0.25 b	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	1.99 ± 0.04 A	1.70 ± 0.02 DE	1.80 ± 0.25 CE	1.63 ± 0.06
	B	0.58 ± 0.02 H	1.80 ± 0.03 AC	1.50 ± 0.06 E	1.35 ± 0.11
	BZn	1.51 ± 0.02 B	1.76 ± 0.04 BE	2.37 ± 0.07 AB	1.48 ± 0.04
	AB	1.18 ± 0.04 DE	1.84 ± 0.04 AB	0.67 ± 0.09 F	1.51 ± 0.13
	ABZn	0.91 ± 0.06 FG	1.77 ± 0.05 AD	1.57 ± 0.03 DE	1.44 ± 0.06
	B	1.44 ± 0.08 BC	1.85 ± 0.04 A	2.03 ± 0.09 BD	1.35 ± 0.03
	BZn	1.28 ± 0.15 CD	1.75 ± 0.01 CE	1.77 ± 0.03 CE	1.17 ± 0.08
	AB	1.06 ± 0.1 DF	1.68 ± 0.02 E	0.87 ± 0.22 F	1.36 ± 0.08
	ABZn	0.93 ± 0.05 FG	1.70 ± 0.03 DE	2.57 ± 0.3 A	1.37 ± 0.06
	B	1.43 ± 0.18 BC		2.13 ± 0.09 AC	
	BZn	1.48 ± 0.07 BC		0.83 ± 0.07 F	
	AB	0.81 ± 0.08 G		0.67 ± 0.09 F	
	ABZn	1.05 ± 0.08 EF		2.50 ± 0.25 AB	
	LSD				
	Biyoçar	0.11**	öd	0.25**	öd
	Doz	0.11**	0.04**	0.25*	0.10**
	BxD	0.23**	0.09*	0.51**	öd

**: %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

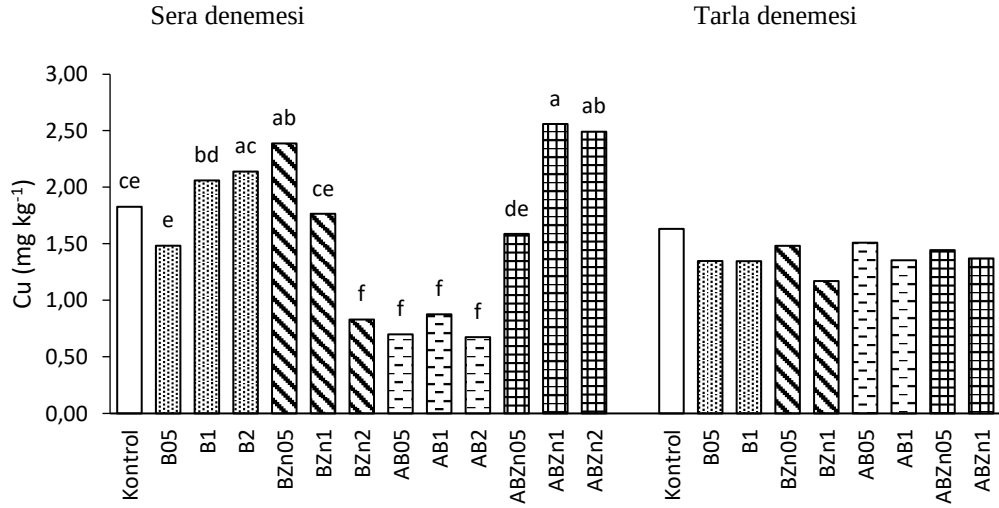
Bafra toprağındaki sera denemesinde en yüksek DTPA-Cu miktarı kontrolde 1.99 mg kg^{-1} , en düşük ise $B_{0.5}$ 'te 0.58 mg kg^{-1} tespit edilmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek DTPA-Cu içeriğı $B_{1.0}$ 'de 1.85 mg kg^{-1} , en düşük ise $AB_{1.0}$ uygulamasında 1.68 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Tablo 4.15). Kampüs toprağında sera denemesinde en yüksek DTPA-Cu miktarı $ABZn_{1.0}$ 'de 2.56 mg kg^{-1} , en düşük ise $AB_{2.0}$ 'de 0.67 mg kg^{-1} belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en fazla DTPA-Cu içeriğı kontrolde 1.63 mg kg^{-1} , en az ise $BZn_{1.0}$ uygulamasında 1.17 mg kg^{-1} olmuştur (Tablo 4.15).

Bafra toprağındaki sera denemesi sonunda tüm uygulamalar kontrol uygulamasına göre DPTA-Cu miktarını azaltırken, tarla denemesinde ise tam tersi olmuş AB ve ABZn uygulamalarının %1.0 dozu hariç tüm uygulamalar DTPA-Cu miktarını artırmıştır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Cu içeriğıne etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde AB uygulaması hariç diğer uygulamaların etkisi dozlara bağılı olarak değışkenlik göstermiştir. B uygulamasının doz artışıyla birlikte DTPA-Cu miktarı kontrole göre artarken BZn uygulamasında tam tersi gerçekleşmiş ve doz artışıyla ters olarak DTPA-Cu miktarı kontrole göre azalmıştır. Tarla denemesinde ise tüm uygulamalar kontrole göre Cu miktarını azaltmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Cu içeriğine etkisi

4.1.15. DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Mangan (DTPA-Mn)

Her iki toprak için de sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının DTPA ile ekstrakte edilebilir mangan içeriğine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.16’te verilmiştir. Her iki toprak için de sera ve tarla koşullarında yürütülen denemeler sonunda tüm deneme konularının toprakta DTPA-Mn içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Kampüs toprağında sera denemesinde en yüksek DTPA-Mn içeriği AB_{2.0}’de 39.33 mg kg⁻¹, en düşük ise BZn_{2.0} uygulamasında 15.90 mg kg⁻¹ tespit edilmiştir. Tarla denemesinde ise en fazla DTPA-Mn miktarı B_{0.5}’te 23.57 mg kg⁻¹, en düşük ise kontrolde 18.02 mg kg⁻¹ belirlenmiştir (Tablo 4.16). Bafra toprağında sera denemesi sonunda en yüksek DTPA-Mn miktarı B_{0.5}’te 5.36 mg kg⁻¹ elde edilirken, en düşük DTPA-Mn miktarı BZn_{2.0}’de 2.94 mg kg⁻¹ elde edilmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek DTPA-Mn değeri B_{1.0}’de 5.29 mg kg⁻¹, en düşük ise kontrolde 3.97 mg kg⁻¹ belirlenmiştir (Tablo 4.16).

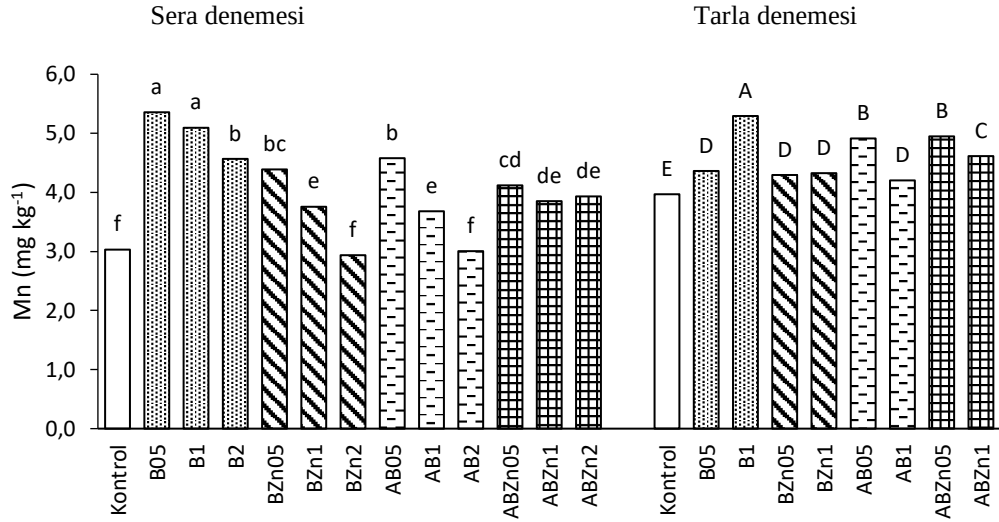
DTPA-Mn içeriği bakımından her iki toprakta da sera denemesinde kontrole göre en fazla değişimin olduğu uygulamalar Bafra toprağında B_{0.5} %77 artış, Kampüs toprağında BZn_{2.0} %47 azalış şeklinde olmuştur. Tarla denemelerinde ise en fazla değişimler artış olarak gerçekleşmiş ve Bafra toprağında B_{1.0}’de %33, Kampüs toprağında da B_{0.5}’te %31 olmuştur (Tablo 4.16).

Tablo 4.16. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama DTPA-Mn değerleri

Mn (mg kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	4.51 ± 0.27 a	4.54 ± 0.20 a	31.48 ± 0.98 b	20.49 ± 0.82 b
	BZn	3.53 ± 0.18 c	4.20 ± 0.06 c	25.65 ± 1.92 c	19.44 ± 0.47 c
	AB	3.57 ± 0.20 c	4.36 ± 0.15 b	35.27 ± 1.14 a	18.96 ± 0.48 d
	ABZn	3.73 ± 0.13 b	4.51 ± 0.15 a	35.99 ± 1.13 a	21.06 ± 0.81 a
	Doz (D)				
	%0	3.03 ± 0.01 d	3.97 ± 0.02 b	30.00 ± 0.18 c	18.02 ± 0.10 c
	%0.5	4.61 ± 0.15 a	4.63 ± 0.09 a	35.68 ± 0.71 a	22.19 ± 0.41 a
	%1.0	4.10 ± 0.18 b	4.61 ± 0.13 a	32.12 ± 1.62 b	19.75 ± 0.43 b
	%2.0	3.61 ± 0.21 c		30.60 ± 2.90 c	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	3.03 ± 0.03 F	3.97 ± 0.04 E	30.00 ± 0.42 EF	18.02 ± 0.24 E
%0.5	B	5.36 ± 0.11 A	4.36 ± 0.05 D	36.03 ± 1.07 BC	23.57 ± 0.23 A
	BZn	4.39 ± 0.11 BC	4.30 ± 0.03 D	32.37 ± 0.5 DE	21.03 ± 0.26 BC
	AB	4.58 ± 0.19 B	4.91 ± 0.06 B	37.07 ± 0.38 AC	20.81 ± 0.33 C
	ABZn	4.12 ± 0.06 CD	4.95 ± 0.08 B	37.23 ± 1.32 AC	23.37 ± 0.53 A
%1.0	B	5.09 ± 0.15 A	5.30 ± 0.09 A	31.47 ± 1.85 E	19.88 ± 0.18 D
	BZn	3.76 ± 0.18 E	4.33 ± 0.03 D	24.30 ± 0.7 G	19.28 ± 0.45 D
	AB	3.68 ± 0.03 E	4.20 ± 0.09 D	34.67 ± 1.24 CD	18.05 ± 0.24 E
	ABZn	3.85 ± 0.07 DE	4.61 ± 0.05 C	38.03 ± 0.73 AB	21.80 ± 0.18 B
%2.0	B	4.57 ± 0 B		28.43 ± 0.39 F	
	BZn	2.94 ± 0.04		15.93 ± 0.64 H	
	AB	3.00 ± 0 F		39.33 ± 1.66 A	
	ABZn	3.93 ± 0.1 DE		38.70 ± 1.15 AB	
	LSD				
	Biyoçar	0.13**	0.10**	1.38**	0.45**
	Doz	0.13**	0.10**	1.38**	0.45**
	BxD	0.27**	0.17**	2.75**	0.90**

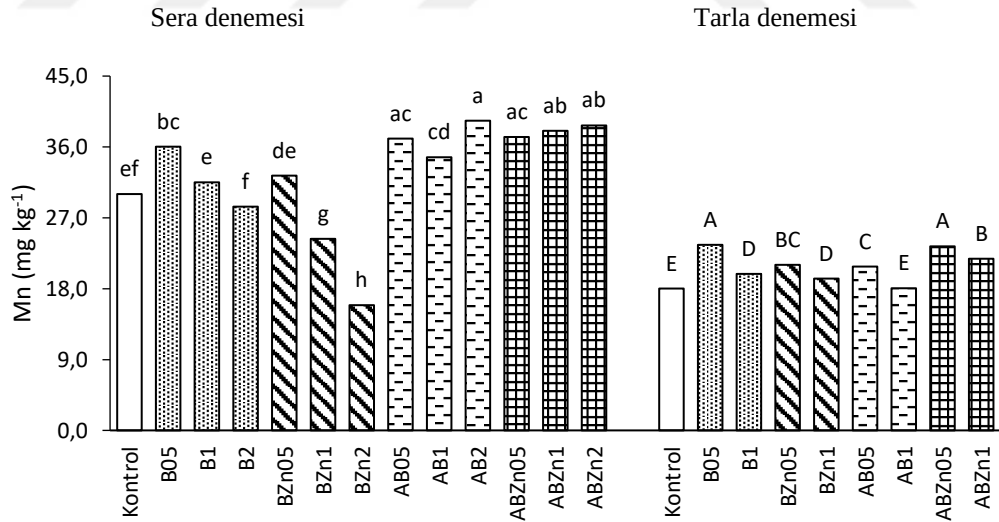
** : %1, * : %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağında sera denemesinde BZn ve AB uygulamalarının %2.0 uygulama dozu hariç tüm uygulamalar kontrole göre DTPA-Mn içeriğini artırmıştır. B, BZn ve AB uygulamalarında dozlar arttıkça DTPA-Mn içeriğinin düştüğü görülmektedir. Tarla denemesinde ise bütün uygulamalar kontrole göre DTPA-Mn içeriğini artırmıştır (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Mn içeriğine etkisi

Kampüs toprağındaki sera denemesinde AB ve ABZn uygulamalarının kontrole göre DTPA-Mn içeriğini artırdığı, B ve BZn uygulamalarının ise artan dozlarda kontrole göre DTPA-Mn içeriğini düşürdüğü tespit edilmiştir. Tarla denemesinde ise tüm uygulamalar kontrole göre DTPA-Mn miktarını artırmıştır (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA-Mn içeriğine etkisi

4.1.16. DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Çinko (DTPA-Zn)

Her iki toprak için de sera ve tarla koşullarındaki denemelerde biyoçar ve uygulama dozlarının DTPA ile ekstrakte edilebilir çinko içeriğine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.17’te verilmiştir. Bafra toprağında sera ve tarla denemelerinde tüm deneme konularının DTPA-Zn içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kampüs toprağında ise sera denemesinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, tarla denemesinde sadece uygulama dozunun etkisi önemli bulunmuştur (Tablo 4.17).

Tablo 4.17. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama DTPA-Zn değerleri

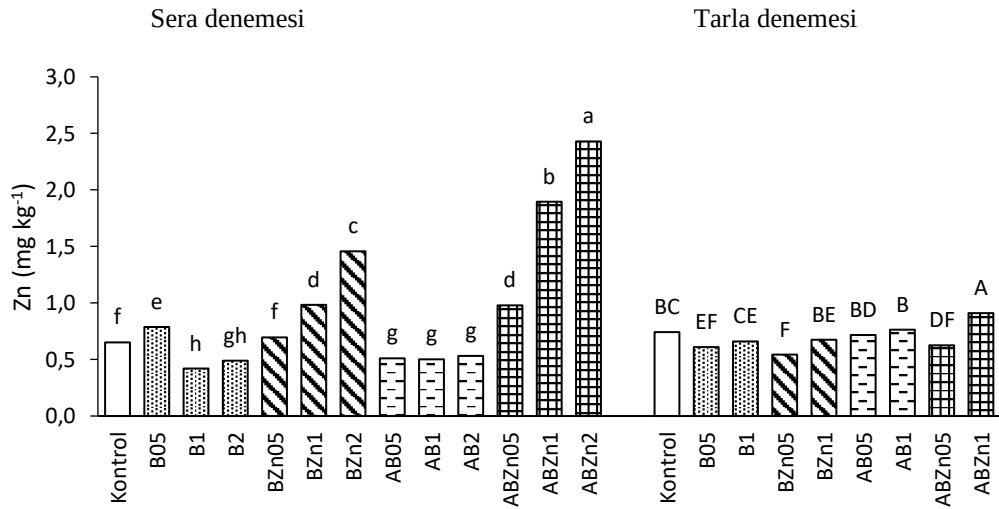
Zn (mg kg ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	0.59 ± 0.04 d	0.67 ± 0.03 b	2.86 ± 0.12 c	1.57 ± 0.10
	BZn	0.95 ± 0.10 b	0.65 ± 0.03 b	3.40 ± 0.23 b	1.56 ± 0.10
	AB	0.55 ± 0.02 c	0.74 ± 0.02 a	3.34 ± 0.20 b	1.58 ± 0.09
	ABZn	1.49 ± 0.21 a	0.76 ± 0.05 a	3.88 ± 0.33 a	1.65 ± 0.09
	Doz (D)				
	%0	0.65 ± 0.01 d	0.74 ± 0.01 a	2.23 ± 0.04 d	1.83 ± 0.06 a
	%0.5	0.74 ± 0.05 c	0.62 ± 0.02 b	3.48 ± 0.12 c	1.51 ± 0.07 b
	%1.0	0.95 ± 0.18 b	0.75 ± 0.04 a	3.72 ± 0.15 b	1.43 ± 0.06 b
	%2.0	1.23 ± 0.24 a		4.05 ± 0.24 a	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	0.65 ± 0.01 F	0.74 ± 0.02 BC	2.23 ± 0.09 F	1.83 ± 0.14
	B	0.79 ± 0.01 E	0.61 ± 0.03 EF	2.90 ± 0 E	1.34 ± 0.11
	BZn	0.69 ± 0 F	0.54 ± 0.03 F	3.43 ± 0.03 CD	1.61 ± 0.1
	AB	0.51 ± 0.01 G	0.72 ± 0.04 BD	3.80 ± 0.06 C	1.35 ± 0.1
	ABZn	0.98 ± 0.03 D	0.62 ± 0.05 DF	3.80 ± 0.21 C	1.76 ± 0.13
	B	0.42 ± 0.02 H	0.66 ± 0.07 CE	3.17 ± 0.17 DE	1.54 ± 0.17
	BZn	0.98 ± 0.03 D	0.67 ± 0.05 BE	3.67 ± 0.09 C	1.26 ± 0.09
	AB	0.50 ± 0.01 G	0.76 ± 0.06 B	3.70 ± 0.23 C	1.57 ± 0.12
	ABZn	1.90 ± 0 B	0.91 ± 0.04 A	4.33 ± 0.2 B	1.35 ± 0.05
	B	0.49 ± 0.01 GH		3.13 ± 0.09 DE	
	BZn	1.46 ± 0.07 C		4.27 ± 0.2 B	
	AB	0.53 ± 0.01 G		3.63 ± 0.03 C	
	ABZn	2.43 ± 0.04 A		5.17 ± 0.18 A	
	LSD				
	Biyoçar	0.04**	0.06**	0.19**	öd
	Doz	0.04**	0.06**	0.19**	0.10**
	BxD	0.07**	0.10**	0.39**	öd

**, %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağındaki sera denemesi incelendiğinde en yüksek DTPA-Zn miktarı ABZn_{2.0}’den 2.43 mg kg⁻¹, en düşük ise B_{1.0}’den 0.42 mg kg⁻¹ elde edilmiştir. Tarla

denemesinde sera denemesine benzer olarak en yüksek DTPA-Zn miktarı ABZn_{1.0}'de 0.91 mg kg⁻¹, en düşük ise BZn_{0.5}'te 0.54 mg kg⁻¹ bulunmuştur (Tablo 4.17). Kampüs toprağındaki sera denemesi sonunda en yüksek DTPA-Zn içeriğı Bafra toprağındaki sera denemesine benzer olarak ABZn_{2.0}'de 5.18 mg kg⁻¹, en düşük ise kontrolde 2.22 mg kg⁻¹ bulunmuştur. Tarla denemesinde ise en fazla DTPA-Zn içeriğı kontrolde 1.83 mg kg⁻¹, en az ise BZn_{1.0}'de 1.26 mg kg⁻¹ tespit edilmiştir (Tablo 4.17). Toprakların DTPA-Zn içerikleri incelendiğinde kontrol uygulamasına göre en fazla değışimler sera denemelerinde artış şeklinde olurken tarla denemelerinde azalış şeklinde olmuştur. Hem Bafra hem de Kampüs toprağında ABZn_{2.0} uygulaması DTPA-Zn içeriğini %274 ve %133 oranlarında artırmıştır. Tarla denemeleriyle en fazla değışim azalış şeklinde olmuştur. Bafra toprağında BZn_{0.5}'te %27, Kampüs toprağında ise BZn_{1.0}'de %31 azalış olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.17).

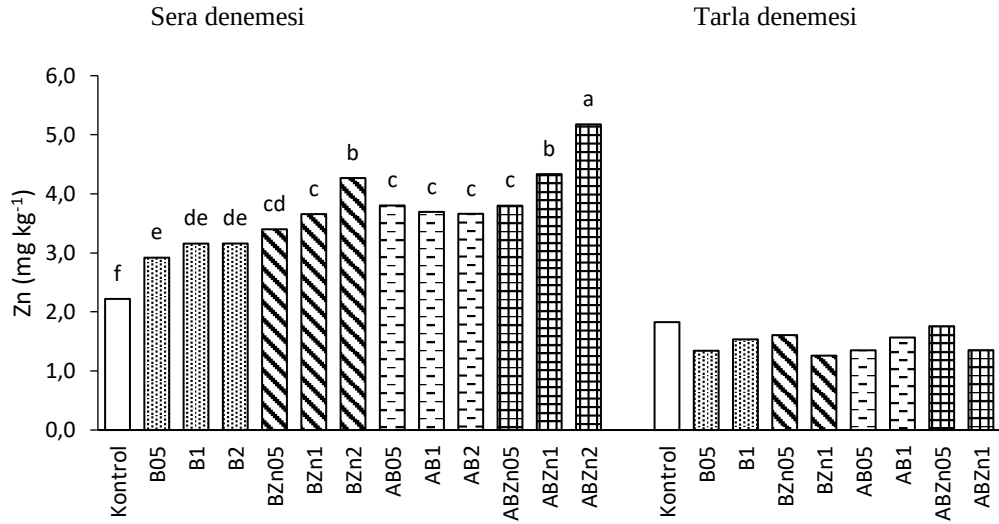
Bafra toprağında serada B_{0.5} ve çinko ile zenginleştirilmiş biyoçar uygulamaları hariç diğ er uygulamalar kontrole göre toprakta DTPA-Zn miktarını azaltmıştır. BZn ve ABZn uygulamalarının doz artışıyla paralel olarak Zn miktarını artırdığı görülmektedir. Tarla denemesinde ise uygulamaların etkisi dozlara bağı lı olarak değışkenlik göstermiştir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının DTPA ekstrakte edilebilir çinko içeriğine etkisi

Kampüs toprağındaki denemelere bakıldığında sera denemesinde tüm uygulamalar kontrol uygulamasına kıyasla toprakta DTPA-Zn içeriğini artırırken,

tarla denemesinde bunun tam tersi gerçekleşmiş ve tüm uygulamalar toprakta DTPA-Zn miktarını azaltmıştır (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Kampüs deneme alanı toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda uygulamaların DTPA ekstrakte edilebilir çinko içeriğine etkisi

4.2. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Toprakların Fiziksel Özelliklerindeki Değişim

4.2.1. Hacim Ağırlığı (HA)

Her iki toprak için de sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının hacim ağırlığına etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.18’te verilmiştir. Bafra toprağında sera denemesinde sadece uygulama dozunun etkisi istatistiksel olarak önemli olurken, tarla denemesinde hiçbir deneme konusunun etkisi istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Kampüs toprağındaki sera denemesinde sadece uygulama dozunun etkisi, tarla denemesinde ise tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli tespit edilmiştir (Tablo 4.18). Bafra toprağındaki sera denemesinde en yüksek HA değeri kontrolde 1.33 g cm^{-3} , en düşük değer ise BZn_{2.0}’de 1.16 g cm^{-3} elde edilmiştir. Tarla denemesinde de en yüksek HA değeri kontrol uygulamasında 1.32 g cm^{-3} bulunurken, en düşük HA değeri AB_{1.0}’de 1.18 g cm^{-3} elde edilmiştir (Tablo 4.18).

Tablo 4.18. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama HA değerleri

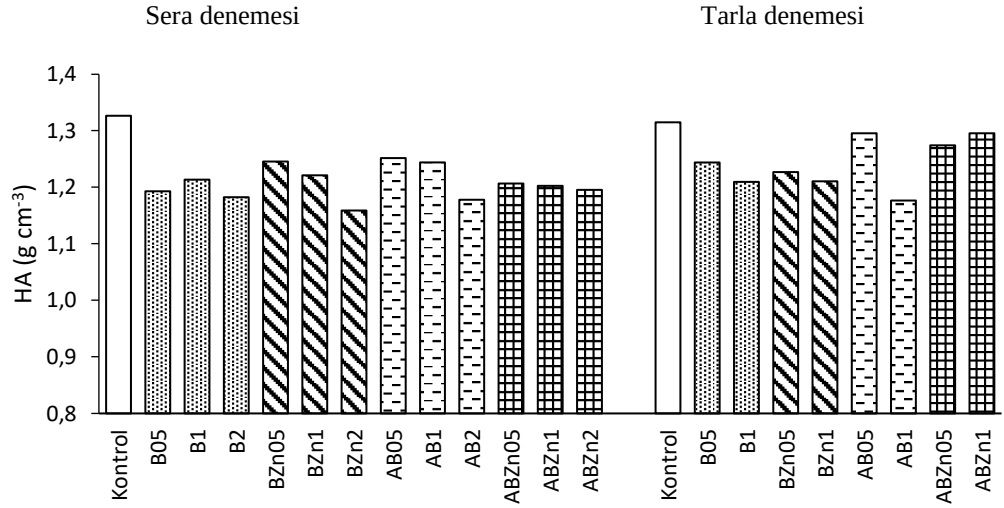
HA (g cm ⁻³)	Bafra deneme alanı			Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
B		1.23 ± 0.02	1.29 ± 0.02	1.05 ± 0.01	1.18 ± 0.02 a
BZn		1.24 ± 0.02	1.28 ± 0.01	1.08 ± 0.01	1.17 ± 0.02 a
AB		1.25 ± 0.02	1.29 ± 0.02	1.06 ± 0.01	1.14 ± 0.03 b
ABZn		1.23 ± 0.02	1.33 ± 0.01	1.06 ± 0.01	1.18 ± 0.02 a
Doz (D)					
%0		1.33 ± 0.01 a	1.31 ± 0.01 a	1.10 ± 0.01 a	1.23 ± 0.01 a
%0.5		1.22 ± 0.01 b	1.26 ± 0.01 b	1.08 ± 0.01 a	1.15 ± 0.02 b
%1.0		1.22 ± 0.01 b	1.22 ± 0.02 b	1.03 ± 0.01 b	1.12 ± 0.02 c
%2.0		1.18 ± 0.01 c		1.04 ± 0.01 b	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	1.33 ± 0.02	1.31 ± 0.01	1.10 ± 0	1.23 ± 0.03 A
%0.5	B	1.19 ± 0.01	1.24 ± 0.04	1.07 ± 0.02	1.21 ± 0.01 A
	BZn	1.25 ± 0.02	1.22 ± 0.01	1.11 ± 0.03	1.09 ± 0.03 D
	AB	1.25 ± 0.02	1.29 ± 0.01	1.06 ± 0.01	1.15 ± 0.01 BD
	ABZn	1.21 ± 0.01	1.27 ± 0.01	1.07 ± 0.01	1.15 ± 0.02 BD
%1.0	B	1.21 ± 0.02	1.21 ± 0.05	1.01 ± 0.02	1.10 ± 0.01 CD
	BZn	1.22 ± 0.01	1.21 ± 0.03	1.05 ± 0.02	1.18 ± 0.01 AB
	AB	1.24 ± 0.01	1.18 ± 0.02	1.02 ± 0.03	1.03 ± 0.01 E
	ABZn	1.20 ± 0.01	1.29 ± 0.02	1.05 ± 0.02	1.15 ± 0.02 BC
%2.0	B	1.19 ± 0		1.03 ± 0.02	
	BZn	1.16 ± 0.02		1.05 ± 0.04	
	AB	1.18 ± 0.01		1.07 ± 0.02	
	ABZn	1.19 ± 0		1.03 ± 0.02	
LSD					
Biyoçar		öd	öd	öd	0.03**
Doz		0.02**	0.04**	0.03**	0.03**
BxD		öd	öd	öd	0.06**

**: %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Kampüs toprağında yürütülen sera denemesi sonunda en yüksek HA değeri BZn_{0.5}'te 1.11 g cm⁻³, en düşük ise B_{1.0}'de 1.01 g cm⁻³ tespit edilmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek HA değeri kontrolde 1.23 g cm⁻³, en düşük HA değeri ise AB_{1.0}'de 1.03 g cm⁻³ belirlenmiştir (Tablo 4.18).

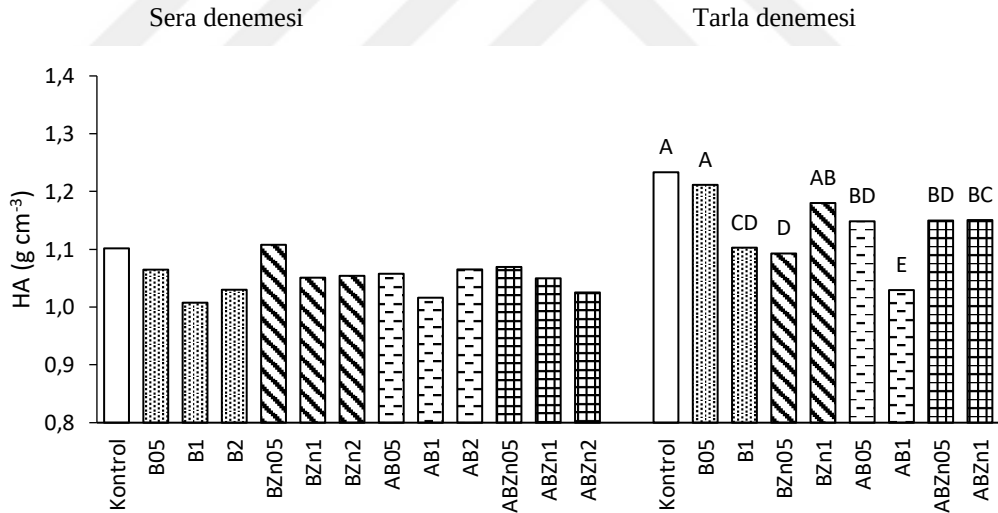
Kontrole göre en fazla değişimlere bakıldığında sera denemesinde Bafra toprağında BZn_{2.0} %13 oranında hacim ağırlığını düşürmüş, Kampüs toprağında ise bu düşüş B_{1.0}'de %8 olarak gerçekleşmiştir. Tarla denemelerinde her iki toprakta da AB_{1.0} uygulaması hacim ağırlığını en fazla düşürmüştür. Bafra toprağında %11, Kampüs toprağında da %16 oranında azalmıştır (Tablo 4.18).

Bafra toprağında sera ve tarla denemelerinde tüm uygulamalar HA değerini kontrol uygulamasına göre düşürmüştür (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının hacim ağırlığına etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde sadece BZn_{0.5} uygulaması hacim ağırlığını kontrole göre artırmış fakat bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Tarla denemesinde ise tüm uygulamalar hacim ağırlığını düşürmüştür (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının hacim ağırlığına etkisi

4.2.2. Agregat Stabilitesi (AS)

Her iki toprak için de sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının agregat stabilitesine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.19'da verilmiştir. Bafra toprağındaki sera ve tarla denemelerinde

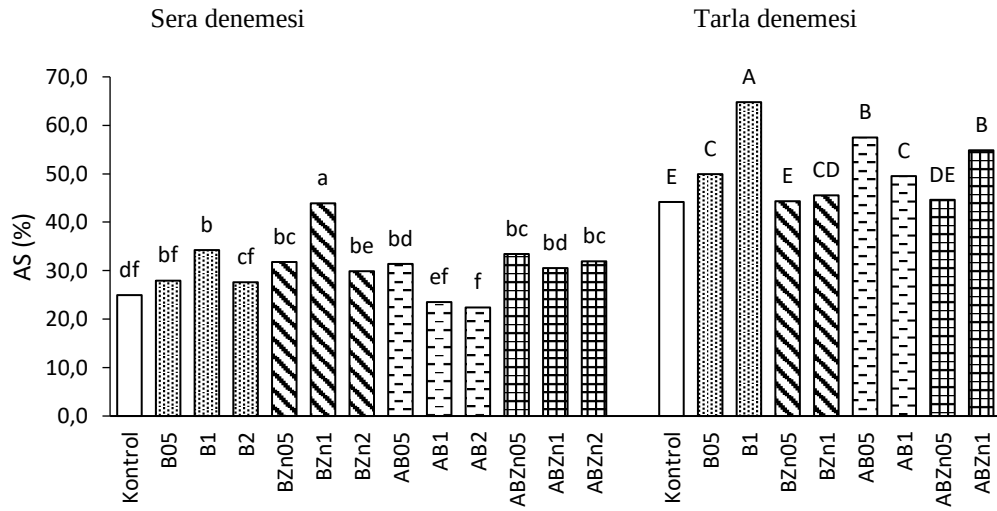
tüm deneme konuları toprakların agregat stabilitesi değerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemiştir. Kampüs toprağındaki denemelerde ise sera denemesinde uygulama ve BxD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, tarla denemesinde sadece uygulama dozunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.19). Bafra toprağında sera denemesinde en yüksek AS değeri BZn_{1.0}'de %43.90, en düşük ise AB_{2.0}'de %22.41 belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek AS değeri B_{1.0}'de %64.79, en düşük değer ise kontrol uygulamasında %44.18 olmuştur. Kampüs toprağında sera denemesinde en yüksek AS değeri B_{0.5}'te %87.01, en düşük AS değeri BZn_{2.0}'te %76.47 belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek AS değeri %66.14 olarak ABZn_{0.5}'te, en düşük ise kontrolde %43.99 belirlenmiştir (Tablo 4.19).

Tablo 4.19. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama AS değerleri

AS (%)	Bafra deneme alanı			Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	28.69 ± 1.33 bc	52.96 ± 3.18 a	85.11 ± 1.02 a	54.12 ± 2.96
	BZn	32.64 ± 2.37 a	45.55 ± 0.60 d	78.79 ± 0.70 c	54.86 ± 3.01
	AB	25.57 ± 1.47 c	50.38 ± 1.99 b	83.14 ± 0.92 a	57.17 ± 3.57
	ABZn	30.22 ± 1.28 ab	47.89 ± 1.91 c	80.88 ± 0.80 b	58.48 ± 3.85
	Doz (D)				
	%0	24.96 ± 0.89 c	44.17 ± 0.48 c	80.67 ± 0.21	43.99 ± 0.33 b
	%0.5	31.14 ± 1.08 ab	49.10 ± 1.67 b	82.97 ± 1.35	62.39 ± 1.72 a
	%1.0	33.05 ± 2.57 a	53.32 ± 2.43 a	81.70 ± 0.89	62.10 ± 1.53 a
	%2.0	27.96 ± 1.25 bc		82.58 ± 1.46	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	24.96 ± 2.08 DF	44.17 ± 1.13 E	80.67 ± 0.48 DF	43.99 ± 0.78
%0.5	B	27.94 ± 1.23 BF	49.93 ± 1.02 C	87.03 ± 1.54 A	56.91 ± 3.63
	BZn	31.79 ± 3.21 BC	44.37 ± 1.63 E	77.23 ± 0.96 FG	62.16 ± 2.88
	AB	31.39 ± 1.05 BD	57.47 ± 0.66 B	85.20 ± 2.03 AB	64.33 ± 3.12
	ABZn	33.44 ± 2.18 BC	44.63 ± 0.66 DE	82.40 ± 2.31 BE	66.14 ± 3.1
%1.0	B	34.25 ± 3.03 B	64.77 ± 2.5 A	84.67 ± 1.11 AD	61.45 ± 3.03
	BZn	43.90 ± 2.75 A	48.13 ± 0.55 CD	80.80 ± 1.29 CF	58.43 ± 2.82
	AB	23.52 ± 3.85 EF	49.50 ± 1.04 C	81.80 ± 2.5 BE	63.19 ± 3.43
	ABZn	30.54 ± 2.37 BD	54.87 ± 2.37 B	79.53 ± 0.99 EG	65.31 ± 3.17
%2.0	B	27.61 ± 0.89 CF		88.07 ± 1.65 A	
	BZn	29.89 ± 2.2 BE		76.47 ± 0.65 G	
	AB	22.41 ± 1.7 F		84.90 ± 0.61 AC	
	ABZn	31.93 ± 0.94 BC		80.90 ± 2.36 CF	
	LSD				
	Biyoçar	3.25**	1.89**	2.06**	öd
	Doz	3.25**	1.89**	öd	3.27**
	BxD	6.50**	3.69**	4.21*	öd

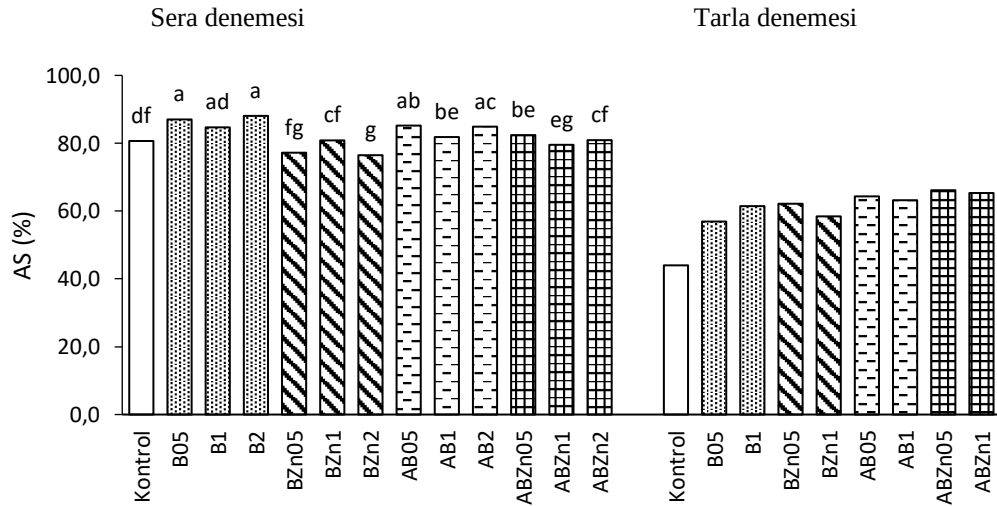
** : %1, * : %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değili ifade eder

Bafra toprağında yürütülen sera ve tarla denemeleri sonunda tüm uygulamalar kontrol uygulamasına göre toprakların AS değerini artırmıştır. Uygulama dozları da kontrol uygulamasına göre toprakların AS değerini artırmıştır (Şekil 4. 35).



Şekil 4.35. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının agregat stabilitesine etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde BZn uygulaması kontrole kıyasla AS değerini düşürürken, diğer tüm uygulamalar artırmıştır. Tarla denemesinde tüm uygulamaların kontrole göre AS değerini artırdığı görülmektedir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının agregat stabilitesine etkisi

4.2.3. Tarla Kapasitesi (TK)

Her iki toprak için de sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının tarla kapasitesine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.20’de verilmiştir. Bafra toprağında sera denemesinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli olurken, tarla denemesinde sadece uygulama dozunun etkisi önemli olmuştur. Kampüs toprağında sera denemesinde sadece BxD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş, tarla denemesinde ise hiçbir deneme konusunun etkisi önemli bulunmamıştır (Tablo 4.20).

Tablo 4.20. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama TK değerleri

TK (%)	Bafra deneme alanı			Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
B		31.25 ± 0.48 b	29.78 ± 0.83	42.31 ± 0.32	45.07 ± 0.51
BZn		31.35 ± 0.28 b	28.00 ± 0.50	43.46 ± 0.58	44.10 ± 0.62
AB		30.00 ± 0.65 c	28.33 ± 0.65	42.76 ± 1.21	44.71 ± 0.50
ABZn		32.80 ± 0.68 a	28.67 ± 0.78	43.09 ± 0.58	43.96 ± 0.6
Doz (D)					
%0		30.27 ± 0.38 b	27.33 ± 0.62 b	42.12 ± 0.09 b	45.36 ± 0.65
%0.5		31.99 ± 0.48 a	29.58 ± 0.47 a	44.23 ± 1.02 a	43.87 ± 0.33
%1.0		30.91 ± 0.69 b	29.17 ± 0.58 a	42.79 ± 0.77 ab	44.15 ± 0.30
%2.0		32.24 ± 0.44 a		42.48 ± 0.66 b	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	30.27 ± 0.89 DF	27.16 ± 1.43	42.12 ± 0.21 CD	45.36 ± 1.53
%0.5	B	31.56 ± 0.16 CE	30.21 ± 0.67	42.72 ± 0.59 BC	44.75 ± 0.03
	BZn	31.61 ± 0.18 CE	28.53 ± 0.06	43.05 ± 1.6 BC	43.11 ± 0.66
	AB	32.96 ± 0.23 BC	28.77 ± 1.53	48.71 ± 2.15 A	44.75 ± 0.35
	ABZn	31.81 ± 0.58 CD	31.1 ± 0.72	42.44 ± 1.33 BC	42.88 ± 0.49
%1.0	B	29.9 ± 0.16 EF	32.25 ± 0.67	43.00 ± 0.68 BC	45.11 ± 0.84
	BZn	31.66 ± 0.21 CE	28.39 ± 0.57	43.34 ± 0.57 BC	43.83 ± 0.68
	AB	27.24 ± 0.32 G	28.87 ± 0.02	39.43 ± 1.42 D	44.01 ± 0.34
	ABZn	34.84 ± 0.61 A	27.89 ± 0.86	45.38 ± 1.05 B	43.65 ± 0.24
%2.0	B	33.28 ± 0.79 AC		41.37 ± 0.75 CD	
	BZn	31.85 ± 0.02 CD		45.33 ± 1.33 B	
	AB	29.54 ± 0.2 F		40.77 ± 0.19 CD	
	ABZn	34.29 ± 1.36 AB		42.43 ± 1.03 BC	
LSD					
	Biyoçar	0.93*	öd	öd	öd
	Doz	0.93**	0.15*	1.48*	öd
	BxD	1.86**	öd	3.98**	öd

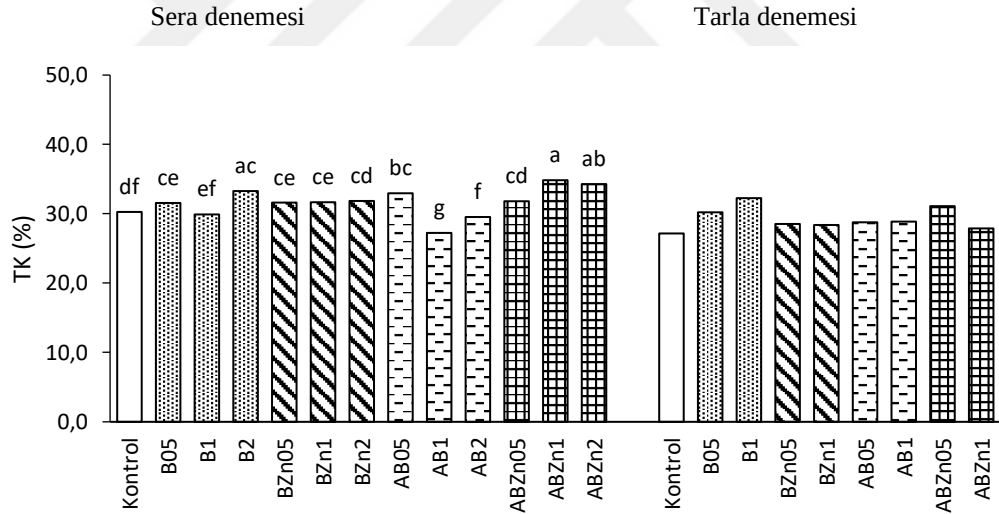
**, %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağındaki sera denemesinde en yüksek TK değeri ABZn_{1.0} uygulamasında %34.84, en düşük ise AB_{1.0} uygulamasında %27.24 bulunmuştur.

Tarla denemesinde ise en yüksek TK değeri B_{1.0}'de %32.25, en düşük değer ise kontrolde %27.16 belirlenmiştir (Tablo 4.20). Kampüs toprağında sera denemesi sonunda en yüksek TK değeri AB_{0.5} uygulamasında %48.71, en düşük ise AB_{1.0}'de %39.43 belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek TK değeri kontrolde %45.36, en düşük ise ABZn_{0.5} uygulamasında %42.88 tespit edilmiştir (Tablo 4.20).

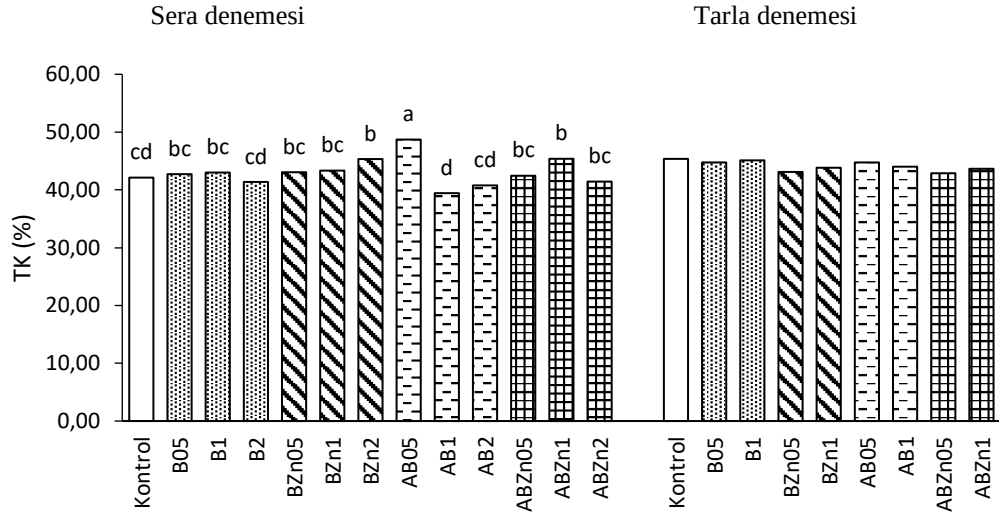
TK değerlerinde kontrol göre en fazla değişimlere sera denemesi sonunda Bafra toprağında ABZn_{1.0}'de %15 artış, Kampüs toprağındaysa AB_{0.5}'te %16 artış belirlenmiştir. Tarla denemelerine bakıldığında ise kontrole kıyasla en fazla değişimler Bafra toprağında B_{1.0}'de %19 oranında artış, Kampüs toprağında ABZn_{0.5}'te %5 oranında düşüş olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.20).

Bafra toprağında sera denemesinde AB uygulaması TK değerini kontrol uygulamasına göre düşürürken, diğer tüm uygulamalar artırmıştır. Tarla denemesi sonunda toprakların tarla kapasitesi değerleri incelendiğinde tüm uygulamaların kontrole kıyasla tarla kapasitesini artırdığı görülmektedir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonucunda biyoçar uygulamalarının tarla kapasitesine etkisi

Kampüs toprağında yapılan sera denemesinde tüm uygulamaların kontrole göre tarla kapasitesini artırdığı belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise sera denemesinin aksine tüm uygulamalar kontrole göre tarla kapasitesini düşürmüştür (Şekil 4.38)



Şekil 4.38. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının tarla kapasitesine etkisi

4.2.4. Devamlı Solma Noktası (DSN)

Her iki toprak için de sera ve tarla koşullarında yürütülen denemeler sonunda biyoçar tipi ve uygulama dozlarının devamlı solma noktasına etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.21’de verilmiştir. Bafra toprağında sera denemesinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, tarla denemesinde hiçbir deneme konusunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4.21). Kampüs toprağında sera denemesinde uygulama dozu ve BxD interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemlilik göstermiş, tarla denemesinde ise sadece uygulama dozunun etkisi istatistiksel olarak önemli olmuştur (Tablo 4.21).

Bafra toprağında sera denemesinde en yüksek DSN değeri ABZn_{1.0} uygulamasında %24.24, en düşük ise AB_{2.0} uygulamasında %17.20 olarak belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek DSN değeri B_{1.0} uygulamasında %20.92, en düşük DSN değeri ise AB_{0.5} uygulamasında %17.11 bulunmuştur (Tablo 4.21).

Kampüs toprağında sera denemesinde en yüksek DSN değeri AB_{0.5}’te %35.68, en düşük ise yine aynı uygulamanın %2.0 dozunda %23.89 belirlenmiştir. Tarla denemesinde ise en yüksek DSN değeri kontrol uygulamasında %33.08, en düşük DSN değeri ise ABZn_{0.5} uygulamasında %29.32 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.21).

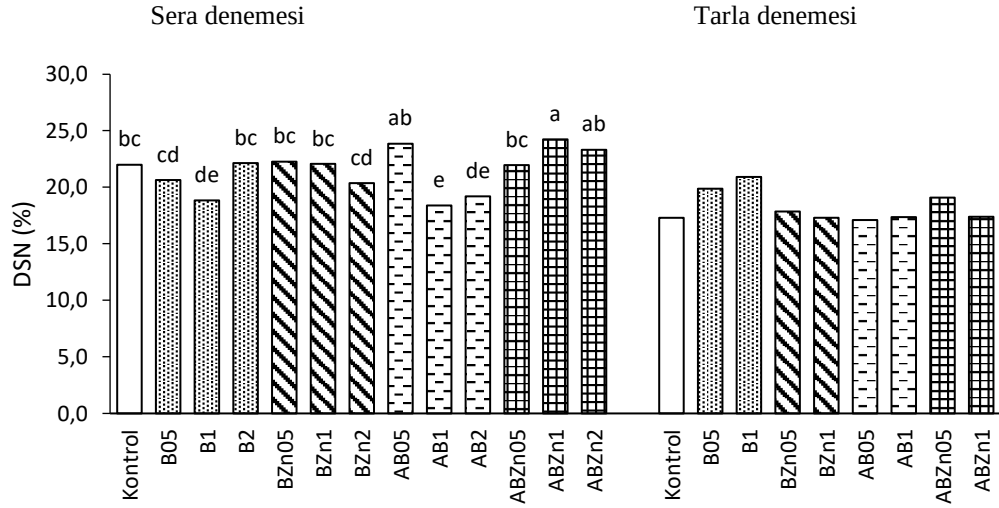
Tablo 4.21. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama DSN değerleri

DSN (%)	Bafra deneme alanı			Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
B		20.91 ± 0.41 b	19.44 ± 0.87	28.12 ± 0.92	32.51 ± 0.48
BZn		21.68 ± 0.79 b	17.56 ± 0.44	29.86 ± 0.78	31.13 ± 0.68
AB		20.86 ± 0.82 b	17.33 ± 0.60	29.16 ± 1.44	31.35 ± 0.65
ABZn		22.88 ± 0.59 a	17.78 ± 0.64	27.72 ± 0.92	30.99 ± 0.72
Doz (D)					
%0		22.00 ± 0.22 a	17.31 ± 0.62	30.05 ± 0.83 a	33.08 ± 0.60 a
%0.5		22.19 ± 0.47 a	18.58 ± 0.58	30.33 ± 1.22 a	30.87 ± 0.40 b
%1.0		20.89 ± 0.83 b	18.17 ± 0.58	26.90 ± 0.30 b	30.53 ± 0.35 b
%2.0		21.26 ± 0.88 ab		26.38 ± 0.87 b	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	22.00 ± 0.52 BC	17.31 ± 1.52	30.05 ± 1.13 B	33.08 ± 1.41
%0.5	B	20.65 ± 0.1 CD	19.88 ± 1.7	28.87 ± 1.77 BE	32.42 ± 0.73
	BZn	22.27 ± 0.96 BC	17.86 ± 0.19	27.20 ± 1.37 BD	30.68 ± 0.69
	AB	23.86 ± 0.32 AB	17.11 ± 1.44	35.68 ± 1.2 A	31.07 ± 0.22
	ABZn	21.97 ± 0.33 BC	19.09 ± 0.62	27.55 ± 2.03 BF	29.32 ± 0.12
%1.0	B	18.84 ± 0.09 DE	20.92 ± 0.68	27.18 ± 0.62 CF	32.03 ± 0.12
	BZn	22.08 ± 0.91 BC	17.31 ± 0.21	28.13 ± 0.39 BE	29.62 ± 0.06
	AB	18.40 ± 0.3 E	17.37 ± 0.2	26.21 ± 0.19 DF	29.9 ± 0.62
	ABZn	24.25 ± 1.36 A	17.40 ± 1.15	26.10 ± 0.06 DF	30.57 ± 0.76
%2.0	B	22.15 ± 0.7 BC		25.06 ± 0.55 EF	
	BZn	20.37 ± 0.75 CD		30.71 ± 1.33 BC	
	AB	19.20 ± 1.06 DE		23.89 ± 0.79 F	
	ABZn	23.32 ± 0.53 AB		25.86 ± 0.69 DF	
LSD					
	Biyoçar	0.95**	öd	2.02**	öd
	Doz	0.95**	öd	2.02**	1.06**
	BxD	1.91**	öd	4.04**	öd

**: %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değili ifade eder

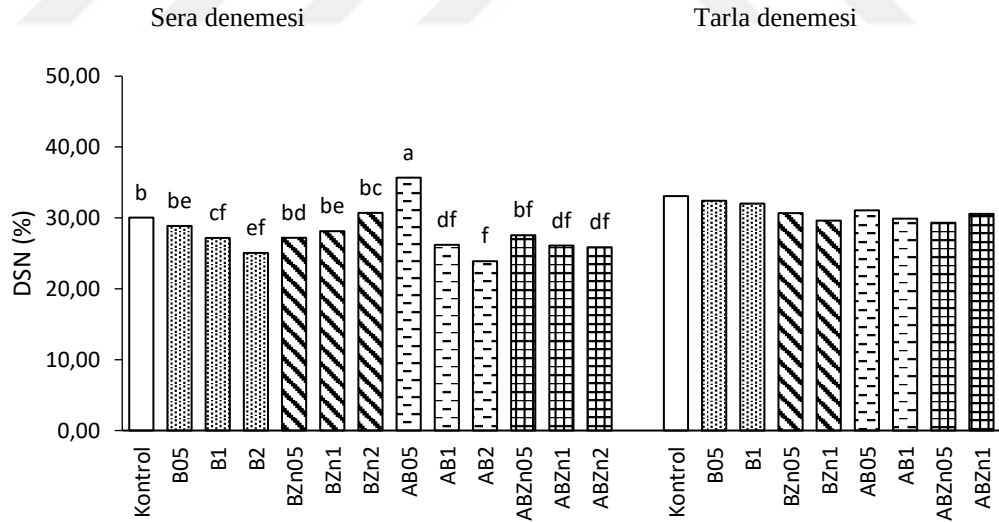
Sera denemesinde kontrol uygulamasına göre devamlı solma noktasındaki en fazla değişim azalış olmuş ve her iki toprakta da aynı uygulamada fakat farklı dozlarında gerçekleşmiştir. Asitleştirilmiş biyoçar Bafra toprağında %1.0 dozunda %16, Kampüs toprağında ise %2.0 dozunda %20 oranında azaltmıştır. Tarla denemelerinde ise Bafra toprağında B_{1.0} %21 oranında artırmış, Kampüs toprağında ise ABZn_{0.5} %11 oranında azaltmıştır (Tablo 4.21).

Bafra toprağındaki sera denemesi incelendiğinde uygulamaların etkisi dozlara bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Tarla denemesinde ise B uygulaması DSN değerlerini artırmış diğer uygulamalar ise etkilememiştir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının devamlı solma noktasına etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde B, AB ve ABZn uygulamalarının doz artışıyla birlikte devamlı solma noktası değerlerinde bir düşüş gerçekleşirken BZn uygulamasının doz artışıyla birlikte DSN değerlerini artırdığı görülmektedir. Tarla denemesinde de benzer olarak uygulamalar genellikle yüksek dozlarda DSN değerlerini daha fazla düşürmüştür (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının devamlı solma noktasına etkisi

4.2.5. Bitkiye Yarayışlı Su (BYS)

Her iki toprak için de sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının bitkiye yarayışlı su üzerine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.22’de verilmiştir. Bafra toprağında sera denemesinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tarla denemesinde ise uygulama dozu ve BxD interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemlilik göstermiştir. Kampüs toprağında sera ve tarla denemelerinde ise sadece uygulama dozunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.22).

Tablo 4.22. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksyonuna ait ortalama BYS değerleri

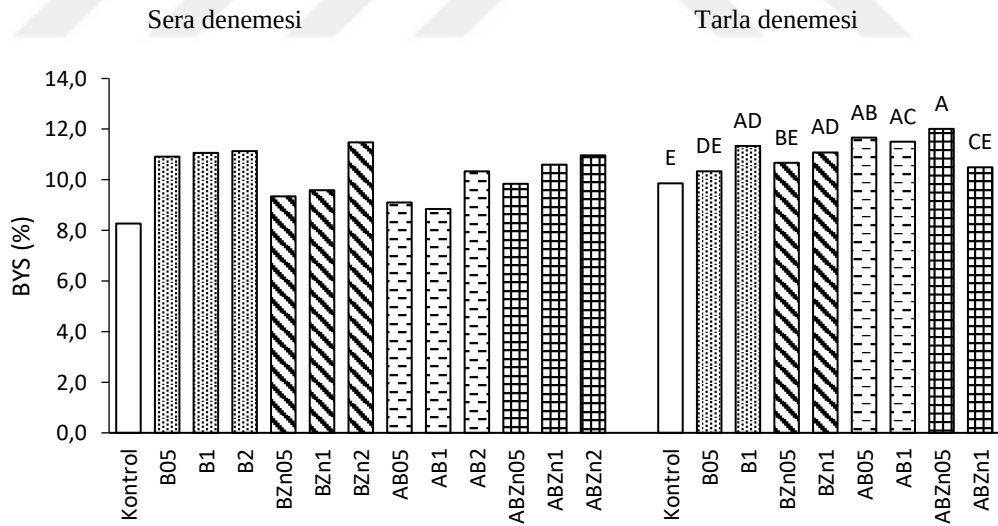
BYS (%)	Bafra deneme alanı			Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
B		10.34 ± 0.37	10.51 ± 0.37	14.52 ± 0.70	12.56 ± 0.32
BZn		9.67 ± 0.51	10.54 ± 0.21	14.44 ± 0.67	12.97 ± 0.38
AB		9.14 ± 0.37	11.01 ± 0.30	13.80 ± 0.74	13.36 ± 0.33
ABZn		9.92 ± 0.44	10.79 ± 0.33	15.70 ± 1.01	12.97 ± 0.26
Doz (D)					
%0		8.27 ± 0.16 c	9.86 ± 0.04 b	12.07 ± 0.52 b	12.28 ± 0.05 b
%0.5		9.80 ± 0.31 b	11.17 ± 0.30 a	14.41 ± 0.75 a	13.00 ± 0.28 a
%1.0		10.02 ± 0.44 ab	11.10 ± 0.16 a	15.88 ± 0.82 a	13.62 ± 0.30 a
%2.0		10.98 ± 0.37 a		16.10 ± 0.47 a	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	8.27 ± 0.37	9.86 ± 0.09 E	12.07 ± 1.23	12.28 ± 0.12
%0.5	B	10.91 ± 0.05	10.33 ± 1.03 DE	13.85 ± 1.54	12.33 ± 0.7
	BZn	9.34 ± 1.06	10.67 ± 0.13 BE	15.85 ± 1.97	12.43 ± 0.03
	AB	9.10 ± 0.09	11.66 ± 0.1 AB	13.03 ± 0.95	13.68 ± 0.56
	ABZn	9.84 ± 0.25	12.01 ± 0.1 A	14.89 ± 1.76	13.55 ± 0.37
%1.0	B	11.06 ± 0.07	11.33 ± 0.01 AD	15.82 ± 1.06	13.08 ± 0.72
	BZn	9.59 ± 1.1	11.08 ± 0.36 AD	15.20 ± 0.61	14.21 ± 0.74
	AB	8.84 ± 0.62	11.5 ± 0.18 AC	13.23 ± 1.61	14.11 ± 0.29
	ABZn	10.60 ± 1.12	10.49 ± 0.28 CE	19.28 ± 1.11	13.08 ± 0.52
%2.0	B	11.13 ± 0.09		16.31 ± 0.2	
	BZn	11.48 ± 0.77		14.62 ± 0	
	AB	10.33 ± 1.15		16.88 ± 0.6	
	ABZn	10.96 ± 0.83		16.57 ± 1.73	
LSD					
	Biyoçar	0.73**	öd	öd	öd
	Doz	0.73**	0.52**	1.80**	0.66**
	BxD	1.46**	1.03*	öd	öd

**, %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değil ifade eder

Bafra toprağındaki denemelere bakıldığında sera denemesinde en yüksek BYS değeri BZn_{2.0}’de %11.48, tarla denemesinde ise ABZn_{0.5}’te %12.01 belirlenmiştir.

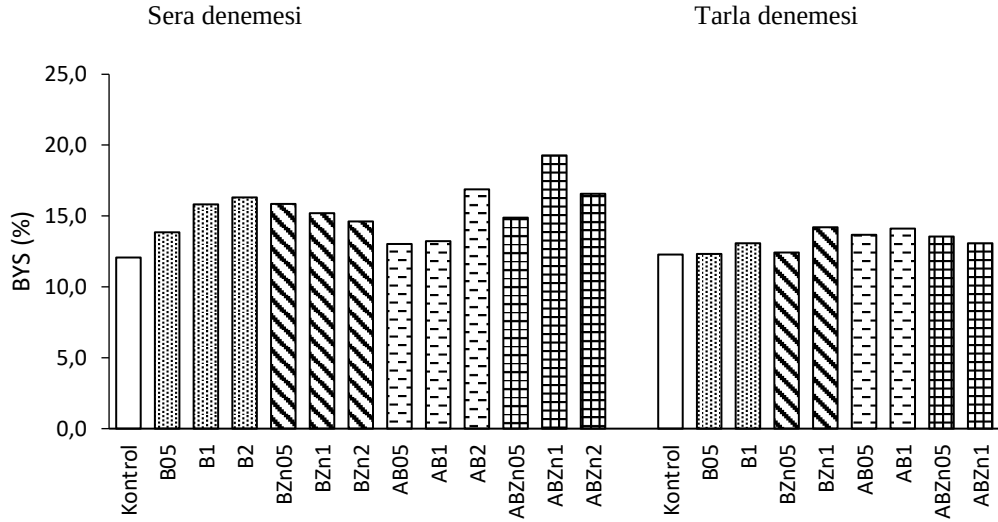
Her iki denemede de en düşük değerler kontrol uygulamalarında belirlenmiş ve sera ile tarla denemelerinde sırasıyla %8.27 ve %9.86 olarak bulunmuştur. Kampüs toprağında sera denemesinde en yüksek BYS değeri $ABZn_{1,0}$ 'de %19.28, en düşük ise kontrolde %12.07 belirlenmiştir. Tarla denemesine bakıldığında en yüksek BYS değeri $BZn_{1,0}$ 'de %14.21, en düşük ise sera denemesindeki sonuca benzer olarak kontrolde %12.28 belirlenmiştir. BYS değerlerine bakıldığında kontrole göre sera denemesindeki en fazla değişim Bafra toprağında $BZn_{2,0}$ 'de %39 oranında artış şeklinde olurken, Kampüs toprağında $ABZn_{1,0}$ 'de %60 oranında artmıştır. Tarla denemeleri sonunda ise Bafra toprağında $ABZn_{0,5}$ 'te %22 artış, Kampüs toprağında ise $BZn_{1,0}$ 'de %16 oranında artış olarak belirlenmiştir (Tablo 4.22).

Bafra toprağındaki sera ve tarla denemelerinde bütün uygulamalar BYS'yi kontrole kıyasla artırmıştır. Genel olarak sera denemesinde artan uygulama dozlarıyla birlikte bitkiye yararışlı su miktarının arttığı görülmektedir. Tarla denemesinde ise B ve BZn uygulamalarında artan dozlarda bitkiye yararışlı su miktarı artarken AB ve ABZn uygulamalarında artan dozlarda azaltmıştır (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının bitkiye yararışlı su miktarına etkisi

Kampüs toprağında yürütülen denemelere bakıldığında hem sera hem de tarlada tüm uygulamalar kontrole göre bitkiye yararışlı su miktarını artırmıştır. (Şekil 4.42).



Şekil 4.42. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının bitkiye yararışlı su miktarına etkisi

4.3. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Biyolojik ve Tane Verimleri

4.3.1. Biyolojik Verim (BV)

Her iki toprak için de sera ve tarla denemelerimde biyoçar ve uygulama dozlarının biyolojik verime etkisi ve deneme konularının istatistiksel olarak önemlilik durumları Tablo 4.23'te verilmiştir. Her iki deneme alanı toprağında da sera denemelerinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, tarla denemelerinde sadece uygulama dozunun etkisi önemli bulunmuştur (Tablo 4.23). Bafra toprağındaki sera çalışmasında en yüksek biyolojik verim $ABZn_{0.5}$ uygulamasında 386 kg da^{-1} , en düşük ise $AB_{0.5}$ 'te 201 kg da^{-1} bulunmuştur. Tarla denemesinde ise en yüksek biyolojik verim $BZn_{0.5}$ 'te 1201 kg da^{-1} , en düşük $ABZn_{1.0}$ 'de 986 kg da^{-1} tespit edilmiştir (Tablo 4.23). Kampüs toprağındaki sera denemesinde en yüksek biyolojik verim $AB_{2.0}$ 'de 894 kg da^{-1} , en düşük ise $ABZn_{2.0}$ 'de 677 kg da^{-1} bulunmuştur. Tarla denemesinde en yüksek biyolojik verim değeri $ABZn_{0.5}$ uygulamasında 1351 kg da^{-1} , en düşük $BZn_{1.0}$ 'de 1136 kg da^{-1} bulunmuştur (Tablo 4.23).

Sera denemesi sonunda kontrol göre biyolojik verimdeki en fazla artış veya azalışların görüldüğü uygulamalar Bafra toprağında $AB_{0.5}$ %44 azalış, Kampüs toprağında ise $AB_{2.0}$ %25 artış şeklinde olmuştur. Tarla denemelerinde ise Bafra

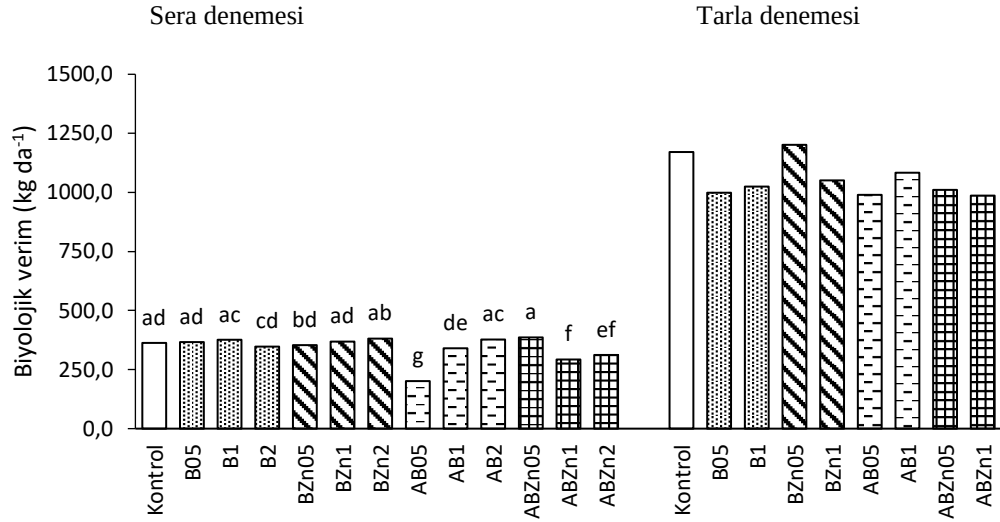
toprağında ABZn_{1.0}'de %16 azalış, Kampüs toprağında ise ABZn_{0.5} %9 artış olmuştur (Tablo 4.23).

Tablo 4.23. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama BV değerleri

BV (kg da ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	363.1 ± 7.16 a	1064.9 ± 38.6	820.1 ± 20.39 a	1221.9 ± 37.3
	BZn	366.4 ± 4.69 a	1141.1 ± 35.4	741.8 ± 14.23 c	1214.5 ± 33.09
	AB	320.3 ± 21.56 c	1081.2 ± 39.0	808.5 ± 21.3 a	1202.9 ± 26.41
	ABZn	338.3 ± 12.13 b	1056.1 ± 38.2	772.0 ± 25.46 b	1279.1 ± 27.43
	Doz (D)				
	%0	362.8 ± 1.81 a	1171.0 ± 33.24 a	714.0 ± 6.09 c	1233.3 ± 12.9 ab
	%0.5	326.8 ± 22.59 c	1050.1 ± 33.80 b	821.8 ± 9.13 a	1279.8 ± 31.5 a
	%1.0	344.3 ± 11.38 b	1036.3 ± 15.55 b	819.1 ± 16.75 a	1175.9 ± 26.9 b
	%2.0	354.3 ± 10.30 ab		787.4 ± 31.29 b	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	362.8 ± 4.24 AD	1171.0 ± 77.95	714.0 ± 14.2 EF	1233.3 ± 30.31
%0.5	B	366.4 ± 14.7 AD	999.0 ± 54.42	844.3 ± 18.1 AC	1286.3 ± 91.13
	BZn	353.5 ± 10.3 BD	1201.6 ± 28.05	801.0 ± 17.4 CD	1274.0 ± 74.39
	AB	201.2 ± 8.59 G	989.3 ± 56.48	810.9 ± 21.3 C	1208.0 ± 45.39
	ABZn	386.1 ± 7.21 A	1010.6 ± 36.26	831.1 ± 13.3 BC	1351.0 ± 30.04
%1.0	B	376.2 ± 15.6 AC	1024.6 ± 15.72	844.3 ± 19.5 AC	1146.0 ± 49.49
	BZn	368.4 ± 7.45 AD	1050.6 ± 42.86	746.8 ± 23.1 DE	1137.0 ± 41.63
	AB	340.1 ± 16.0 DE	1083.3 ± 26.19	814.9 ± 21.75 C	1167.3 ± 65.42
	ABZn	292.6 ± 12.25 F	986.6 ± 6.17	870.5 ± 22.7 AB	1253.3 ± 56.97
%2.0	B	347.2 ± 20.7 CD		877.8 ± 18.8 AB	
	BZn	381.0 ± 10.2 AB		705.3 ± 24.3 EF	
	AB	377.2 ± 8.51 AC		894.2 ± 26.37 A	
	ABZn	311.8 ± 13.3 EF		672.2 ± 10.06 F	
	LSD				
	Biyoçar	16.16**	öd	27.25**	öd
	Doz	16.16**	78.87**	27.25**	75.47*
	BxD	32.32**	öd	54.51**	öd

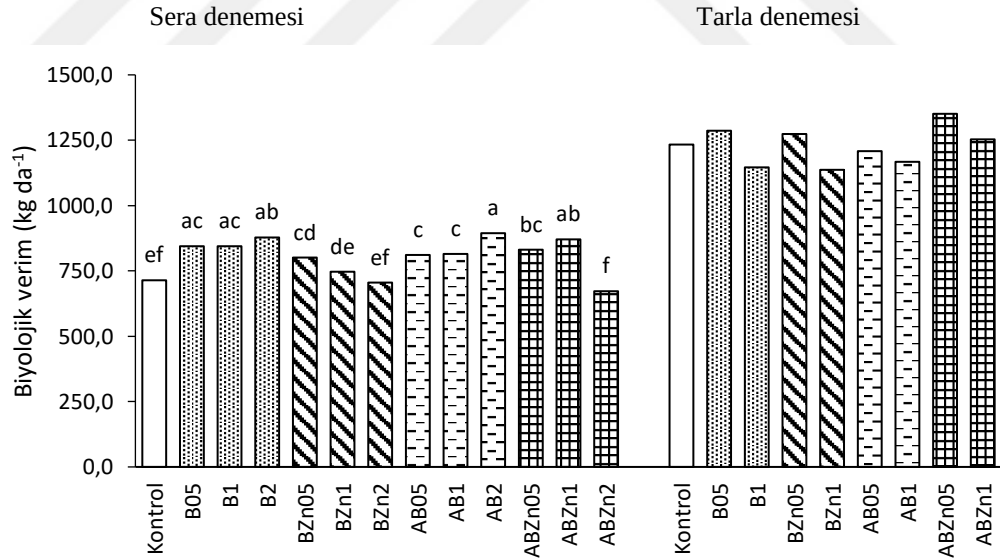
**: %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değili ifade eder

Bafra toprağındaki sera denemesinde uygulamaların biyolojik verime etkisi dozlara bağılı olarak değışkenlik göstermiştir. Tarla denemesinde yalnızca BZn0.5 uygulaması kontrole göre biyolijik verimi artırmış diğere uygulamalar düşürmüştür (Şekil 4.43).



Şekil 4.43. Bağcıbaşı toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının toprak üstü biyolojik verime etkisi

Kampüs toprağında sera denemesinde BZn ve ABZn uygulamalarının %2.0 dozu kontrole göre biyolojik verimi düşürmüş diğer uygulamalar artırmıştır. Tarla denemesinde ise genel olarak uygulamaların %0.5 dozunun kontrole göre biyolojik verimi artırdığı görülmektedir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının toprak üstü biyolojik verime etkisi

4.3.2. Tane Verimi (TV)

Her iki toprak için de sera ve tarla denemelerinde biyoçar ve uygulama dozlarının tane verimine etkisi ve deneme konularının istatistiksel önemlilik durumları Tablo 4.24'te verilmiştir. Bafra toprağında sera ve tarla denemelerinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kampüs toprağındaki sera denemesinde tüm deneme konularının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, tarla denemesinde sadece uygulama dozunun etkisi önemli bulunmuştur. Bafra toprağında sera ve tarla denemelerinde en yüksek tane verimleri BZn_{1.0} uygulamasında 139 kg da⁻¹ ve B_{1.0}'de 279 kg da⁻¹ olarak elde edilmiştir. Kampüs toprağında ise sera denemesinde en yüksek verim B_{0.5}'te 371 kg da⁻¹, tarla denemesindeyse ABZn_{0.5}'te 569 kg da⁻¹ bulunmuştur (Tablo 4.24).

Tablo 4.24. Bafra ve Kampüs topraklarında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar (B), uygulama dozu (D) ve BxD interaksiyonuna ait ortalama TV değerleri

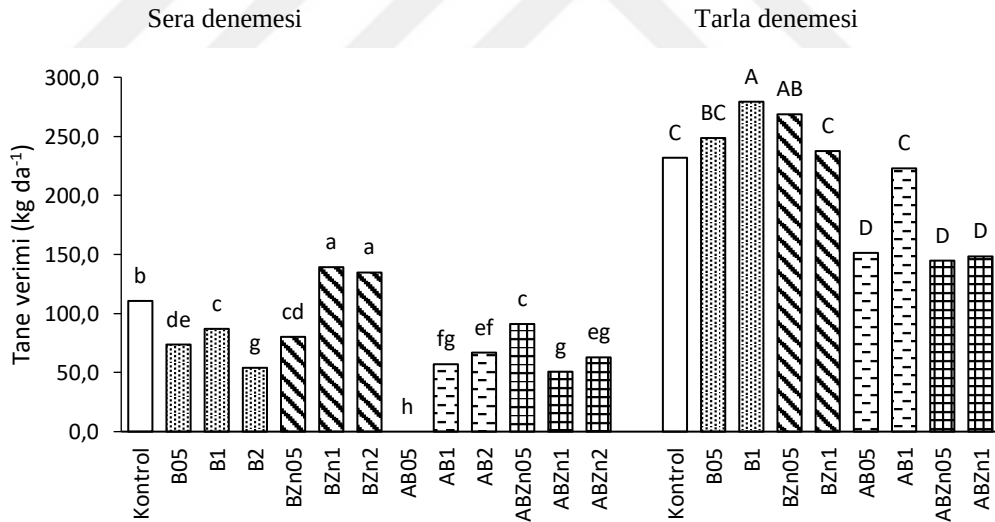
TV (kg da ⁻¹)		Bafra deneme alanı		Kampüs deneme alanı	
	Biyoçar (B)	Sera denemesi	Tarla denemesi	Sera denemesi	Tarla denemesi
	B	81.3 ± 6.58 b	253.3 ± 8.5 a	328.6 ± 15.15 a	489.4 ± 8.84 b
	BZn	116.1 ± 7.33 a	246.1 ± 7.0 a	283.7 ± 7.39 b	503.3 ± 15.49 ab
	AB	59.0 ± 10.52 c	202.0 ± 13.7 b	315.6 ± 12.83 a	499.1 ± 11.60 b
	ABZn	77.2 ± 6.64 b	175.0 ± 14.7 c	292.9 ± 9.15 b	521.5 ± 17.18 a
	Doz (D)				
	%0	110.7 ± 2.18 a	232.0 ± 3.87 a	251.0 ± 1.40 b	465.3 ± 7.23 b
	%0.5	63.1 ± 10.00 b	203.3 ± 17.35 b	327.7 ± 9.67 a	529.1 ± 10.79 a
	%1.0	83.5 ± 10.71 b	222.0 ± 14.64 a	319.3 ± 6.37 a	515.5 ± 8.40 a
	%2.0	79.6 ± 9.82 c		322.9 ± 12.32 a	
Doz	Biyoçar				
%0	Kontrol	110.7 ± 6.37 B	232.0 ± 9.07 C	251.0 ± 3.28 F	465.3 ± 16.95
%0.5	B	73.7 ± 4.47 DE	248.6 ± 12.7 BC	371.4 ± 14.96 A	501.6 ± 11.1
	BZn	80.2 ± 2.47 CD	268.6 ± 8.76 AB	302.5 ± 14.7 DE	538.6 ± 26.71
	AB	0 ± 0 H	151.3 ± 11.05 D	322.4 ± 1.97 CD	507.0 ± 12.7
	ABZn	91.1 ± 6.12 C	144.6 ± 5.24 D	314.3 ± 15.3 CE	569.3 ± 9.33
%1.0	B	87.0 ± 5.51 C	279.3 ± 6.17 A	337.8 ± 13.5 BC	501.3 ± 9.53
	BZn	139.2 ± 5.98 A	237.6 ± 6.89 C	295.4 ± 5.25 DE	506.0 ± 23.03
	AB	57.0 ± 1.53 FG	222.6 ± 9.67 C	323.9 ± 11.8 CD	525.0 ± 15.1
	ABZn	50.7 ± 3.05 G	148.3 ± 7.36 D	320.2 ± 8.6 CD	530.0 ± 20.21
%2.0	B	54.0 ± 3.92 G		354.2 ± 18.0 AB	
	BZn	134.6 ± 1.07 A		286.1 ± 12.8 E	
	AB	66.9 ± 6.32 EF		364.9 ± 10.4 AB	
	ABZn	62.8 ± 0.43 EG		286.3 ± 4.57 E	
	LSD				
	Biyoçar	6.07**	15.38**	15.14**	18.92*
	Doz	6.07**	15.38**	15.14**	18.92**
	BxD	12.13**	26.64**	30.29**	öd

**: %1, *: %5 düzeyinde önemliliği, öd: önemli değili ifade eder

Denemeler sonunda tane verimlerinde kontrole göre en fazla değişimler incelendiğinde Bafra toprağında azalış, Kampüs toprağında artış olarak gerçekleşmiştir. Sera denemelerinde Bafra toprağında AB_{0.5} uygulamasında tane verimi elde edilememiştir. Kampüs toprağında ise tane veriminde kontrole göre B_{0.5}'te %48 artış olmuştur. Tarla denemelerinde Bafra toprağında ABZn_{0.5}'te %38 azalış, Kampüs toprağında ise B_{0.5} ve BZn_{0.5} uygulamalarında %22 oranında artış şeklinde gerçekleşmiştir (Tablo 4.24).

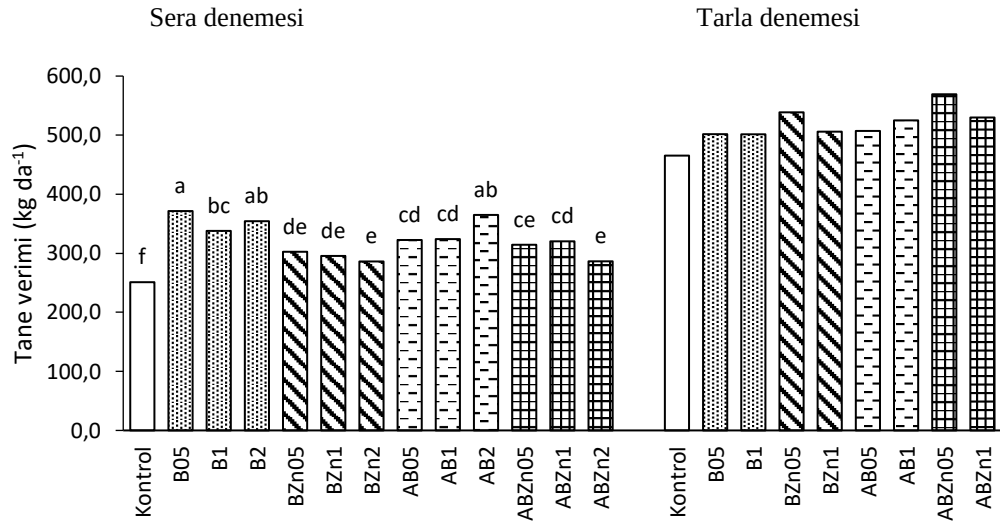
Kampüs toprağında sera denemesinde en yüksek tane verimi B_{0.5}'te 371 kg da⁻¹, tarla denemesinde ise ABZn_{0.5}'te 569 kg da⁻¹ elde edilmiştir. En düşük verimler ise her iki deneme şartlarında da kontrol uygulamasından elde edilmiş, sera denemesinde 251 kg da⁻¹, tarla denemesinde ise 465 kg da⁻¹ bulunmuştur (Tablo 4.24).

Bafra toprağındaki sera çalışmasında sadece BZn uygulamasının %1.0 ve %2.0 dozları kontrole kıyasla tane verimini artırmış, diğer uygulamalar düşürmüştür. Tarla denemesinde de sadece B ve BZn uygulamaları tane verimini artırmış asitleştirilmiş biyoçar uygulamaları tane verimini azaltmıştır (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. Bafra toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının tane verimine etkisi

Kampüs toprağında sera denemesi incelendiğinde bütün uygulamaların tane verimini artırdığı B ve AB uygulamalarının diğerlerine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Tarla denemesinde de benzer olarak bütün uygulamalar tane verimini kontrole göre artırmıştır (Şekil 4.46).



Şekil 4.46. Kampüs toprağında sera ve tarla denemeleri sonunda biyoçar uygulamalarının tane verimine etkisi

4.4. Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleriyle Verim Arasındaki İlişkiler

Hem sera hem de tarla denemeleri sonunda elde edilen fiziksel ve kimyasal özellikler ile biyolojik verim ve tane verimi arasındaki ilişkiler Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.25. Deneme sonunda tüm toprak özellikleri ile bitki ve tane verimi arasındaki korelasyon

	BV	TV	pH	EC	OM	KDK	Ca	Mg	Na	K	P	Fe	Cu	Mn	Zn	Db	AS	TK	SN	BYS	Ca/Mg	Ca/K
TV	,884**	1																				
pH	-,396**	-,662**	1																			
EC	-,377**	-,244**	-,163	1																		
OM	,276**	,266**	-,543**	,012	1																	
KDK	,633**	,669**	-,585**	-,073	,415**	1																
Ca	,890**	,853**	-,312**	-,299**	,059	,455**	1															
Mg	-,009	-,014	-,246**	-,009	,421**	,393**	-,243**	1														
Na	,467**	,159	,308**	-,350**	-,127	,267**	,332**	,091	1													
K	,722**	,866**	-,561**	-,082	,058	,569**	,757**	-,069	,132	1												
P	,720**	,824**	-,456**	-,249**	-,011	,640**	,737**	,035	,207*	,823**	1											
Fe	,348**	,591**	-,961**	,041	,631**	,552**	,231**	,285**	-,338**	,448**	,337**	1										
Cu	,309**	,173*	-,065	-,382**	,313**	,246**	,139	,338**	,417**	,067	,046	,141	1									
Mn	,429**	,644**	-,946**	,039	,655**	,551**	,318**	,230**	-,291**	,480**	,356**	,967**	,178*	1								
Zn	,179*	,363**	-,816**	,189*	,783**	,536**	-,006	,490**	-,311**	,255**	,162	,859**	,142	,843**	1							
Db	-,222*	-,471**	,773**	-,083	-,617**	-,425**	-,138	-,339**	,455**	-,370**	-,272**	-,783**	-,028	-,775**	-,778**	1						
AS	,603**	,686**	-,796**	-,193*	,753**	,625**	,389**	,327**	-,062	,480**	,404**	,837**	,286**	,875**	,770**	-,727**	1					
TK	,447**	,738**	-,879**	-,034	,387**	,595**	,421**	,216*	-,274**	,685**	,631**	,834**	,034	,823**	,693**	-,703**	,713**	1				
SN	,363**	,674**	-,770**	-,033	,172*	,492**	,397**	,123	-,257**	,665**	,628**	,710**	-,107	,678**	,529**	-,552**	,551**	,933**	1			
BYS	,419**	,548**	-,718**	-,021	,644**	,542**	,287**	,305**	-,192*	,430**	,366**	,720**	,297**	,756**	,720**	-,699**	,728**	,703**	,400**	1		
Ca/Mg	,675**	,647**	-,135	-,227**	-,147	,186*	,842**	-,668**	,221*	,590**	,551**	,060	-,046	,135	-,208*	,087	,138	,224**	,256**	,066	1	
Ca/K	,163	-,097	,417**	-,295**	-,036	-,200*	,277**	-,241**	,239**	-,393**	-,186*	-,361**	,073	-,290**	-,406**	,335**	-,181*	-,441**	-,452**	-,230**	,295**	1
Mg/K	-,599**	-,690**	,357**	,061	,035	-,274**	-,718**	,603**	-,062	-,792**	-,595**	-,262**	,082	-,327**	-,032	,168	-,291**	-,433**	-,433**	-,248**	-,829**	,175*

*, 0.05, **,0.01 önem düzeylerinde önemliliği ifade eder. BV; Biyolojik verim, TV; Tane verimi, OM; Organik madde, KDK; Katyon değişim kapasitesi, HA; Hacim ağırlığı, AS; Agregat stabilitesi, TK; Tarla kapasitesi, DSN; Daimi solma noktası, BYS; Bitkiye yarıyışlı su

5. TARTIŞMA

5.1. Asitleştirme ve Çinko ile Zenginleştirme İşlemlerinin Biyoçarın Özelliklerine Etkisi

Yapılan asitleştirme işlemiyle biyoçar yüzeyinin H^+ iyonlarınca doyurulması asitleştirilmiş biyoçarların pH'sının düşmesine sebep olmuştur. Asit ilavesiyle biyoçarın elektriksel iletkenlik değerinin yükselmesi ve besin elementlerinin konsantrasyonunun artması asitleştirmenin biyoçarın yapısındaki elementlerin çözünürlüğünü artırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şahin ve ark, 2017). Benzer olarak Xu ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada biyoçarın yapısındaki mineral bileşenlerin asitleştirme işleminden sonra çözündüğünü de bildirmişlerdir. Modifikasyon işlemlerinden sonra biyoçarın katyon değişim kapasitesinin artması, oksidasyon işleminin biyoçarın yüzey adsorpsiyon özelliklerini artırmasından kaynaklandığı bilinmektedir (Han et al., 2016; Li et al., 2017).

5.2. Biyoçar Uygulamalarının Toprakların Kimyasal Özelliklerine Etkisi

Deneme sonunda toprak pH'sı ile sadece HA arasında pozitif ilişki (0.773**) diğer birçok parametreyle negatif ilişki bulunmuş, en yüksek negatif ilişki ise (-0.961**) DTPA-Fe ve DTPA-Mn (-0.946**) ile olmuştur (Tablo 4.25). Her iki deneme koşulunda da biyoçarın toprak pH'sına etkisinin Kampüs toprağında daha fazla olduğu görülmektedir. Asit topraklarda nötr veya alkalın topraklara göre biyoçarın toprak pH'sı üzerinde daha etkili olması biyoçarın alkalın doğasına bağlanmaktadır (Farhang-Abriz ve ark., 2021). Toprak pH'sı bitki gelişimi ve verimini etkileyen toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik birçok özelliğini etkileyen topraktaki ana değişkenlerden biri olarak ifade edilmektedir (Brady ve Weil, 2008). Mikro elementlerin topraktaki çözünürlüğü, hareketliliği ve bitkiye yarayışlılığı toprak pH'sı tarafından kontrol edilmektedir (Förstner, 1995). Yüksek pH ve kireç içeriğine sahip topraklara ilave edilecek biyoçarın toprak pH'sını düşürerek topraktaki mikro elementlerin yarayışlılığını artırması bitki gelişimi ve verim açısından bir hayli önemli olmaktadır. Biyoçar, üretildiği ham maddeye ve üretim koşullarına göre değişmekle beraber genellikle yüksek pH'ya ve baz doygunluğuna sahip bir materyaldir (Hansen vd, 2015). Toprağa biyoçar uygulandığında, biyoçarın bünyesindeki alkali metallerin yavaş yavaş toprak

tuz stresinin etkilerini azalttığını ifade etmişlerdir. Yüksek dozda biyoçar ilave edilen saksılarda biyoçarın tuzu adsorbe ettiğini bunun beyaz bir kabuk şeklinde kendini gösterdiğini bildirmişlerdir.

Deneme sonunda organik madde ile sadece pH (-0.543**) ve HA (-0.617**) ile negatif ilişki tespit edilmiş diğer birçok parametreyle pozitif ilişki bulunmuştur (Tablo 4.25). En yüksek pozitif ilişki DTPA-Zn (0.783**) ve AS (0.753**) ile olmuştur. Toprak organik maddesi toprakta agregat oluşumu, suyun tutulması ve infiltrasyonu, katyon değişim kapasitesi, tamponlama kapasitesi, yaşayan organizmalara besin sağlama, mikrobiyal çeşitliliği ve aktiviteyi artırma gibi birçok süreci etkileyen çok önemli bir bileşendir (Gülser, 2006; Gülser ve Candemir, 2014; Demir ve Gülser, 2015). İyi gübrelenen bir toprakta bile organik maddenin kaybıyla birlikte verimde azalmalar meydana geldiği bilinmektedir (Johnston, 1991; Tiessen, 1994; Aref ve Wander, 1997). Biyoçarın yüksek miktarda kararlı karbon içerdiği ve piroliz edilmemiş materyallere göre 10 ila 100 kat daha yavaş mineralize olduğu bilinmektedir (Lehmann ve ark., 2009). Topraklara biyoçar ilavesinin toprak organik maddesini uzun süreli olarak artıracığı birçok çalışmayla gösterilmiştir (Mukherjee ve Zimmerman, 2013; Lorenz ve Lal, 2014; Wu ve ark., 2016; Smebye ve ark., 2016). Yüksek kireç içeriğine sahip organik maddece fakir bir toprakta buğday samanı biyoçarı uygulamasının topraktaki organik karbon miktarını biyoçar uygulanmayan toprağa göre %57.8 (40 t ha⁻¹) ile %44 (20 t ha⁻¹) oranlarında artırdığını bildirmişlerdir (Zhang ve ark., 2012).

Toprak organik maddesine benzer olarak KDK ile pH (-0.585**) ve HA (-0.425**) arasında negatif ilişki belirlenmiştir. Toprak EC'si hariç diğer bütün parametrelerle pozitif ilişki bulunmuş en yüksek ilişki ise P (0.640**) ve AS (0.625**) ile olmuştur (Tablo 4.25). Bafra toprağında KDK'daki artışların Kampüs toprağına göre daha fazla olması Bafra toprağının daha yüksek pH'ya sahip olmasıyla açıklanabilir. Toprak pH'sı ile KDK arasında pozitif bir ilişki olduğu bilinmektedir (Brady ve Weil, 2002; Sharma ve ark., 2015; Rahimzadeh ve Ghassemi-Golezani, 2022). Katyon değişim kapasitesi çok önemli ve dinamik bir kimyasal toprak özelliğidir. Toprakta strüktürel stabiliteyi, besin elementlerinin yarıyışlılığını, toprak pH'sını ve toprak çözeltisinin kimyasal bileşenini büyük ölçüde etkilemektedir (Hazelton ve Murphy., 2007). Ca, Mg, K, Zn, Cu, Fe gibi

değişebilir katyonları bağlama kapasitesi ifade eden toprak verimliliğin yarayışlı bir göstergesidir (Ross ve Ketterings, 2011). Biyoçar sahip olduğu geniş yüzey alanı ve yüzeydeki fonksiyonel grupları sayesinde toprakların katyon değişim kapasitesini artırmaktadır (Liang ve ark., 2006; Atkinson ve ark., 2010; Lorenz ve Lal, 2014). Van Zwieten ve ark. (2010) Ferrosol toprağa %2.0, Calcarasol toprağa ise %1.5 dozunda biyoçar uyguladıkları çalışmada Ferrosol tipi toprakta biyoçarın kontrole göre katyon değişim kapasitesini %160 oranında artırdığını, Calcarasol tipi toprakta biyoçar varlığında bir değişimin olmadığını belirtmişlerdir. Biyoçarın toprakta katyon değişim kapasitesini düşürdüğü bazı çalışmalar da mevcuttur (Hailegnaw, 2019; Prommer ve ark., 2014). Hailegnaw ve ark. (2019) 10 farklı toprakta %0.5, 2.0, 4.0 ve 8.0 dozlarında biyoçar uygulamasının topraklarda pH, EC, KDK ve baz doygunluğuna etkilerini incelemişlerdir. Değişebilir Ca içeriğinin biyoçardan yüksek olduğu üç toprakta, katyon değişim kapasitesinin %0.2 ile 7.9 arasında düştüğünü bildirmişlerdir.

5.3. Biyoçar Uygulamalarının Toprakların Makro Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi

Değişebilir Ca toprakta pH (-0.312**), EC (-0.299**) ve değişebilir Mg (-0.243**) ile negatif ilişki, diğer birçok parametreyle pozitif ilişki göstermiştir. En yüksek pozitif ilişkiyi ise BV (0.909**) ve TV (0.822**) ile göstermiştir. Deneme sonunda değişebilir Mg ile pH (-0.246**), değişebilir Ca (-0.243**) ve HA (-0.339**) ile negatif ilişki diğer birçok parametreyle pozitif ilişki bulunmuştur. En yüksek pozitif ilişki OM (0.421**) ve DTPA-Zn (0.490**) ile olmuştur. Değişebilir K sadece EC (-0.309**) ile negatif ilişki, diğer bazı parametrelerle pozitif ilişki göstermiştir. En yüksek pozitif korelasyon BV (0.881**) ve değişebilir Ca (0.806**) ile olmuştur (Tablo 4.25). Değişebilir katyonların birbirine oranı bitki gelişimi açısından önemli bir parametredir. Uygun bir bitki gelişimi için Ca/Mg oranının 6, Ca/K oranının 12 ve Mg/K oranının 2 olması gerekmektedir (Hazelton ve Murphy, 2016). Genel olarak topraklarda düşük olan Ca/Mg oranının artmasıyla verim arasında pozitif bir ilişki TV (0.647**) görülürken, bu ilişki yüksek olan Mg/K oranında tam tersi olarak gerçekleşmiş, bu oranın düşmesiyle tane veriminde artışlar görülmüştür TV (-0.690**).

Bitkiler nispeten büyük miktarlarda (kuru kütlenin>% 0,1'i) kalsiyum, magnezyum, azot, fosfor, potasyum ve kükürt gerektirir ve bu makro besinlerin her biri bir bitkinin yaşam döngüsünü tamamlaması için gereklidir. Biyoçarın yüzeyindeki adsorpsiyon/desorpsiyon ve çökelme/çözünme gibi süreçler topraktaki birçok mineralin yarayışlılığını etkilemektedir (Joseph ve ark., 2010; Uchimiya ve ark., 2011; Bornø ve ark., 2018). Xu ve ark. (2013) yaptıkları bir çalışmada asit karakterli bir toprağa (pH 3.83) 4 farklı dozda biyoçar uygulamışlar (%0, 1, 5 ve 10) ve suda değişebilir Ca, Mg ve K'un arttığını bildirmişlerdir. Lusiba ve ark. (2021) kumlu tın, kumlu killi tın ve killi tın bünyeye sahip 3 farklı toprağa iki farklı biyoçarı (tavuk gübresi ve akasya ağacı) üç farklı dozda (%0.5, 1.0 ve 2.0) uyguladıkları çalışmada biyoçar uygulamasının kontrole Ca, Mg, K ve P içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Benzer olarak biyoçarın yüksek miktarda Ca, Mg ve K içerdiğini topraktaki H^+ ve Al^{+3} iyonları ile reaksiyone girerek hem toprak pH'sının hem de bu elementlerin yarayışlılığın arttığını bildirmişlerdir. Ek olarak, düşük tamponlama kapasitesine sahip topraklara yüksek miktarda biyoçar uygulamasının besin elementlerinin yarayışlılığını olumsuz etkileyeceğini bildirmişlerdir. Halilegnaw ve ark. (2019) 10 farklı toprağa %0.5, 2, 4 ve 8 oranlarında biyoçar uyguladıkları çalışmada toprağın değişebilir Ca içeriği uygulanan biyoçardan düşük ise biyoçarın değişebilir Ca içeriğini artırdığını, yüksek ise biyoçarın değişebilir Ca içeriğini düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Değişebilir K'un genellikle arttığını bazı durumlarda ise düştüğünü bildirmişlerdir.

Bitkiye yararlı P ile pH (-0.456**), EC (-0.249**) ve HA (-0.272**) negatif ilişki göstermiş, diğer birçok parametre ile pozitif ilişki göstermiştir. En yüksek pozitif ilişki BV (0.730**) ve TV (0.825**) ile gerçekleşmiştir (Tablo 4.25).

Bitkiler fosforun neredeyse tamamını tek veya çift değerlikli ortofosfat anyonları şeklinde alırlar fakat fosfor genellikle fiziksel ve kimyasal olarak korunduğundan bitkilere yararlı miktarı çok düşük olmaktadır (Hinsinger 2001; Whalen ve Sampedro 2010). Ortofosfatların düşük olduğu durumlarda fosfor çoğunlukla Fe-Al oksit, kalsiyum karbonat, kil veya organik maddelerin yüzeylerinde adsorbe olmaktadır. Biyoçarın toprakta fosforun yarayışlılığı üzerine etkilerinin toprak tipine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği bilinmektedir (Zhu ve ark., 2018; Tesfaye ve ark., 2021). Biyoçar hem toprak pH'sını (asidik topraklarda)

artırarak hem de kendi bünyesindeki fosforla doğrudan toprakta bitkiye yarayışlı fosfor miktarını artırabilir (Augusto ve ark., 2008; DeLuca ve ark., 2009; Saarsalmi ve ark., 2012; Biederman ve Harpole, 2013), azaltabilir veya etkilemez (Chintala ve ark., 2014; Xu ve ark., 2016; Li ve ark., 2020). Chintala ve ark. (2014) kireçli bir toprağa üç farklı biyoçar (mısır samanı, dallı darı ve çam ağacı) uyguladıkları çalışmada mısır samanı biyoçarının toprakta fosforu %28, dallı darı biyoçarının %12 ve çam ağacı biyoçarının ise %3 oranında tuttuklarını ve fosforun yarayışlılığının azaldığını bildirmişlerdir. Biyoçarın topraktan daha fazla pozitif yüke sahip olması, bünyesinde Ca ve Mg gibi çift değerlikli katyonların bolca bulunması ve fosforun bu iyonlarla bileşik oluşturarak çökelmesinden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir.

5.4. Biyoçar Uygulamalarının Toprakların Mikro Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi

Deneme sonunda pH (-0.961**) ve HA (-0.783**) DTPA-Fe ile negatif ilişki göstermiş diğer birçok parametre ise pozitif ilişki göstermiştir. En yüksek pozitif ilişki DTPA-Mn (0.967**) ve DTPA-Zn (0.859**) ile olmuştur. DTPA-Cu ile sadece EC (-0.382**) arasında negatif bir ilişki olmuş diğer birçok parametreyle pozitif ilişki belirlenmiştir. En yüksek pozitif ilişki OM (0.313**) ve değişebilir Mg (0.338**) ile olmuştur. DTPA-Fe ile benzer olarak DTPA-Mn'de sadece pH (-0.946**) ve HA (-0.775**) ile negatif ilişki göstermiş, diğer birçok özellik ile pozitif ilişki göstermiştir. DTPA-Mn ile en yüksek pozitif ilişki DTPA-Fe (0.967**) ve AS (0.875**) arasında bulunmuştur. DTPA-Zn ile sadece toprak pH'sı (-0.816**) negatif korelasyon göstermiş diğer birçok parametre pozitif korelasyon göstermiştir. En yüksek pozitif korelasyon gösteren parametreler DTPA-Fe (0.859**) ve DTPA-Mn (0.843**) olmuştur (Tablo 4.25).

Mutlak gerekli besin elementlerinden mikroelementler, makroelementlere göre bitki dokularında çok daha az bulunurlar (Mortvedt, 2000). Bitkiler için gerekli mikroelementler B, Cu, Fe, Mn, Mo, ve Zn olarak sayılabilir. Bunların bitkilerde bulunma miktarları genellikle şu şekilde sıralanabilir $Mn > Fe > Zn > B > Cu > Mo$ fakat bu sıra bitki türüne ve yetiştirme koşullarına göre değişiklik gösterilmektedir. Toprak pH'sı, redoks potansiyeli ve toprak organik maddesi mikroelementlerin yarayışlılığını etkileyen en önemli faktörlerdendir (Stevenson, 1986; Tate, 1987). Biyoçar yüksek yüzey alanı, gözenekli yapısı ve yüzeydeki negatif yükleri sayesinde

topraklarda mikro besin elementlerini tutarak yarayışlılığını artırdığı birçok çalışmayla ortaya konulmuştur, fakat biyoçarın ve uygulandığı toprağın özelliklerine göre bu etkinin değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir. (Hartley ve ark., 2016; Jatav ve ark., 2018; Karimi ve ark., 2020). Karimi ve ark. (2020) 90 günlük inkübasyon çalışmasında mısır atıklarından üç farklı sıcaklıkta ürettikleri biyoçarları %1 ve 2 dozlarında kireçli bir toprağa uygulamışlardır. Denemenin sonunda toprakta yarayışlı mangan miktarını tüm uygulamaların kontrole göre artırdığını, 200 °C’de üretilen biyoçarın Fe, Cu ve Zn içeriğini artırdığını diğer biyoçarların etkilemediğini veya kontrol uygulamasına göre düşürdüğünü bildirmişlerdir. Mikroelementlerin yarayışlılığındaki bu düşüş pH’nın artmasından kaynaklanabilir. El-Naggar ve ark. (2015) 90 günlük inkübasyon çalışmasının sonunda biyoçar uygulamasının toprakta yarayışlı Fe, Mn ve Zn içeriğini azalttığını Cu içeriğini ise etkilemediğini bildirmişlerdir. Inal ve ark. (2015) düşük sıcaklıkta üretilen biyoçarın kireçli bir toprakta Mn, Zn ve Cu yarayışlılığını artırdığını bildirmişlerdir. Düşük sıcaklıkta üretilen biyoçarların toprakların mikroelement içeriklerini artırmada daha etkili olduğu yapılan bazı çalışmalarda ifade edilmiştir (Steinbeiss, 2009; Joseph ve ark., 2010). Yüksek sıcaklıkta üretilen biyoçarların yüksek pH’ya sahip olması, daha stabil yapıda olması ve yüksek yüzey alanına sahip olmaları bu etkilerin sebebi olarak gösterilebilir.

5.5. Biyoçar Uygulamalarının Toprakların Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi

Denemeler sonunda HA ile diğer toprak özellikleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde sadece pH (0.773**) ile pozitif ilişki belirlenmiş diğer birçok özellikle negatif ilişkiler bulunmuştur. En yüksek negatif ilişki DTPA-Fe (-0.783**) ve DTPA-Zn (-0.778**) ile olmuştur (Tablo 4.25). Yapılan bütün uygulamalarda biyoçarların hem kaba hem de ince bünyeli toprakta hacim ağırlığını düşürdüğü belirlenmiştir. Her iki toprakta sera ve tarla koşullarındaki denemeler dikkate alındığında sadece Kampüs deneme alanı toprağında yürütülen sera denemesinde BZn_{0.5} uygulamasında kontrol uygulamasına göre yüksek hacim ağırlığı elde edilmiş fakat bu fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4.18). Biyoçarın hacim ağırlığını düşürdüğü bu etkinin biyoçar dozuyla doğrusal olarak arttığı bilinmektedir (Mukherjee ve Lal, 2013). Bunun sebeplerinden birincisi biyoçarın hacim

ağırlığının ($\sim 0.6 \text{ g cm}^{-3}$) topraktan ($\sim 1.25 \text{ g cm}^{-3}$) düşük olması, ikinci olarak ise biyoçarın toprakta agregatlaşmayı ve poroziteyi artırarak hacim ağırlığını düşürmesi sayılabilir (Blanco-Canqui, 2017). Hacim ağırlığı bitki gelişiminin yanı sıra diğer topraklar özelliklerini de kayda değer bir şekilde etkileyen önemli bir fiziksel toprak özelliğidir. Yüksek hacim ağırlığına sahip toprakların ($> 1.6 \text{ g cm}^{-3}$) su tutma kapasitesi düşük, bitki köklerine karşı gösterdikleri penetrasyon direnci ise yüksek olmaktadır. Sonuç olarak bitki gelişimi olumsuz etkilenmektedir (Goodman ve Ennos, 1998). Glab ve ark. (2016) fil otu ve buğday samanı kullanarak biyoçar üretmişler ve bu biyoçarı tınlı kum bünyeli toprağa üç farklı parçacık boyutunda (0-500, 500-1000 ve 1000-2000 μM) ve dört farklı dozda (%0.5, 1.0, 2.0 ve 4.0) uygulamışlardır. Deneme sonunda buğday samanı biyoçarının 1000-2000 μM parçacık boyutunun %4.0 uygulama dozunda hacim ağırlığının kontrol uygulamasına göre %31 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

AS ile pH (-0.796**), EC (-0.193*) ve HA (-0.778**) arasında negatif ilişki diğer birçok parametreyle pozitif ilişki bulunmuştur. En yüksek pozitif korelasyon DTPA-Fe (0.837**) ve DTPA-Mn (0.875**) ile olmuştur (Tablo 4.25). Biyoçarın geniş yüzey alanı ve sahip olduğu negatif yükler taneciklerin birbirine bağlanmasına yol açarak agregat stabilitesini artırmaktadır. İyi bir toprak strüktürü toprak taneciklerinin kararlı daha büyük birimler şeklinde düzenlenmesiyle oluşan suyun toprağa girişine izin veren, hava giriş ve çıkışının olduğu, köklere nüfuz etme kolaylığı sağlayan ve erozyona karşı direnç gösteren bir yapıyı ifade etmesi bakımından önemlidir (Gülser, 2006). Strüktürün değerlendirilmesinde en önemli parametrelerden birisi de agregat stabilitesidir (Scott, 2000). Biyoçar uygulamasının agregat stabilitesi üzerine etkisinin değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Bazı çalışmalar artırdığını (Amoakwah ve ark., 2017; Fu ve ark., 2019), bazı çalışmalar etkilemediğini (Peng ve ark., 2011; Rahman ve ark., 2017), bazı çalışmalar ise azalttığını (Mukherjee ve ark., 2014; Lusiba ve ark., 2017) göstermiştir. Biyoçarın özelliklerinin üretildiği ham maddeye ve üretim tekniklerine bağlı olarak çok fazla değişkenlik göstermesi ve etkisinin uygulandığı toprakların özelliklerine bağlı olması sonuçların farklılık göstermesinin bir nedeni olabilir. Han ve ark. (2020) yapmış oldukları incelemede biyoçarın etkisinin ham madde, piroliz sıcaklığı ve uygulama dozuna bağlı olarak toprakta agregatlaşmayı -%15.9 ve 101 arasında etkilediğini

bildirmişlerdir. Blanco-Canqui (2017), 34 toprağın incelendiği çalışmada, biyoçar uygulama dozunun 5 t ha⁻¹'dan 96 t ha⁻¹'a kadar artmasıyla 26 toprakta agregatlaşmada -%15 ile 226 oranlarında iyileşme meydana geldiğini bildirmiştir. Artan dozlarda biyoçar uygulamasının mikrobiyal aktiviteyi artırdığı, artan mikrobiyal aktivitenin sonucu açığa çıkan musilaj ve hiflerin toprak parçacıkları ile biyoçar arasındaki yüzeylerde mikro agregatların bağlanması ve makro agregatların oluşmasını sağladığı bilinmektedir (Jien ve Wang, 2013). Biyoçar uygulandıktan sonra toprakların organik madde ve mikrobiyal aktivitesinin artması agregatların oluşmasında ve stabilitesinde çok önemli bir role sahiptir (Demise ve ark., 2014). Ayrıca yüksek sıcaklıkta üretilen biyoçarın daha fazla yüzey alanı ve gözenekliliğe sahip olması, agregatlaşmayı artırmada daha etkili olduğu bilinmektedir (Wang ve ark., 2017). Omondi ve ark. (2016) 500 °C'den yüksek sıcaklıklarda üretilen biyoçarların agregatlaşmayı %15 oranında artırdığını 250-500 °C'de üretilen biyoçarların ise %4.08 oranında artırdığını bildirmişlerdir. Yüksek C/N oranına sahip odunsu materyallerden üretilen biyoçarlarında agregat stabilitesini diğer materyallere göre daha fazla artırdığı çeşitli çalışmalar ortaya konulmuştur (Wang ve ark., 2017; Zheng ve ark., 2018).

Deneme sonunda TK ile sadece pH (-0.879**) ve HA (-0.703**) arasında negatif ilişki bulunmuş diğer birçok parametreyle pozitif ilişki belirlenmiştir. En yüksek pozitif korelasyon DTPA-Fe (0.834**) ile DSN (0.933**) ile gerçekleşmiştir (Tablo 4.25). Tarla kapasitesine benzer olarak deneme sonunda DSN değerleriyle sadece pH (-0.770**) ve HA (-0.552**) negatif ilişki göstermiş diğer birçok parametre pozitif ilişki göstermiştir. En yüksek pozitif ilişki TK (0.933**) ve DTPA-Fe (0.710**) ile olmuştur (Tablo 4.25). TK ve DSN ile benzer sadece pH (-0.718**) ve HA (-0.699**) bitkiye yarayışlı su ile negatif ilişki göstermiş EC ve değişebilir K hariç diğer tüm parametreler ile pozitif ilişki göstermiştir. BYS ile en yüksek pozitif ilişki DTPA-Mn (0.756**) ile AS (0.720**) arasında tespit edilmiştir (Tablo 4.25).

Özellikle kaba bünyeli topraklarda yüksek hidrolik iletkenlik ve düşük su tutma kapasitesinden dolayı bitkilerin gelişimi olumsuz etkilenmektedir. Tarla kapasitesi toprakta fazla suyun drene olduğu, suyun aşağı doğru hareketinin durduğu veya ihmal edilebilir hale geldiği andaki toprağın nem içeriği olarak ifade edilmektedir (Veihmeyer ve Hendrickson, 1931). Toprakta suyun çok fazla veya az olması bitkisel

üretimi doğrudan etkilemekle birlikte ürün kalitesini de etkilemektedir. Topraktaki su üzerinde yerçekimi, kapillarite, adsorpsiyon ve ozmoz kuvvetleri etkili olmaktadır (Atkinson, 2018). Kaba bünyeli topraklarda su tutma kapasitesini artırmak hem bitkisel üretimi artırmakta hem de kuraklığa karşı bir direnç sağlamaktadır. Son yıllarda toprakların su tutma kapasitesilerini artırmak için biyoçar uygulanması oldukça yaygın bir yöntemdir (Wang ve ark., 2013; Esmaeelnejad ve ark., 2016; Molnar ve ark., 2016; Dokoochaki ve ark., 2017). Daha öncede bahsedildiği gibi biyoçarın yüksek gözenekli yapısı, geniş spesifik yüzey alanı ve hidrofilik alanlara sahip olması su tutma kapasitesini artırmaktadır (Atkinson, 2018). Hardie ve ark. (2013) biyoçarın toprakların su tutma kapasitesine etkisinin farklı mekanizmalardan kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Birincisi biyoçarın sahip olduğu gözeneklerin doğrudan katkısı, ikincisi biyoçar ve toprak agregatları arasında gözeneklerin oluşması, son olarak ta agregat stabilitesinin artmasıyla gözeneklerinin daha uzun süre kalıcılığının sağlanması olarak açıklamışlardır. Biyoçar uygulamasının toprakların su tutma kapasitesini artırdığını (Glab ve ark., 2018; Villagra-Mendoza ve Horn, 2018), azalttığını (Carvalho ve ark., 2016; Madari ve ark., 2017) ve etkilemediğini (Obia ve ark., 2016; Baiamonte ve ark., 2019) gösteren çalışmalar mevcuttur. Biyoçarın kaba bünyeli topraklarda ince bünyeli topraklara göre su tutma kapasitesini artırmada daha etkili olduğu bilinmektedir (Mukherjee ve Lal, 2013). Tryon (1948) yapmış olduğu çalışmada biyoçar uygulamasının kumlu toprakta bitkiye yararışlı su içeriğini artırdığını, tınlı toprakta etkilemediğini killi toprakta ise azalttığını bildirmiştir.

Hesham ve ark. (2013) kumlu tın bir toprağa 4 farklı dozda (5, 10, 15 ve 20 g kg⁻¹) biyoçar uyguladıkları bir çalışmada, toprağın su tutma kapasitesinin sırasıyla %8.9, %17.6, %28.1 ve %30.9 oranında artırdığını bildirmişlerdir. Carvalho ve ark. (2016) kil bünyeli toprağa 8, 16 ve 32 t ha⁻¹ dozunda okaliptüs ağacından elde ettikleri biyoçarı uyguladıkları çalışmada biyoçar uygulamasının 18 ay ve 30 ay sonra toprakların su tutma kapasitesini (-0.6 ile -100 kPa arasındaki su) azalttığını bildirmişlerdir. Bunun nedeni olarak uygulanan biyoçarın parçacık boyutunun (>1mm) büyük olması toprakların su tutma kapasitesini düşürdüğünü (Tryon, 1948) ya da 10 µm'dan küçük gözeneklerin arttığını ve yüksek matrik potansiyellerde (-100 ve -1500 kPa) suyun tutulumunun artmasından kaynaklanabileceğini

bildirmişlerdir. Hardie ve ark. (2013), akasyadan elde edilen biyoçarın toprağa uygulandıktan 30 ay sonra bile toprakta gözeneklilik, tarla kapasitesi, nemi içeriği, bitkiye yarayışlı su ve solma noktası üzerinde önemli bir etkisi olmadığını, ancak biyoçar ilavesinin doygun hidrolik iletkenliği artırdığını ve kontrol uygulamasına kıyasla hacim ağırlığını düşürdüğünü bildirmişlerdir. Castellini ve ark. (2015) kil bünyeli toprağa yüksek miktarda miktarda biyoçar (30 mg kg^{-1}) ilave edilğinde su tutuma kapasitesinin azaldığını ve bitki veriminin düştüğünü bildirmişlerdir.

5.6. Biyoçar Uygulamalarının Biyolojik ve Tane Verimleri Üzerine Etkisi

Deneme sonunda biyolojik verim ile sadece pH (-0.315^{**}) ve EC (-0.390^{**}) negatif ilişkili olurken, diğer birçok parametre pozitif ilişki göstermiştir. En yüksek pozitif ilişki değişebilir Ca (0.909^{**}) ve K (0.881^{**}) ile olmuştur (Tablo 4.25). Biyoçar uygulamalarının kontrol uygulamasına kıyasla etkilerine genel olarak bakıldığında Bafra toprağındaki sera denemesinde uygulamaların yarısının biyolojik verimi artırdığı, tarla denemesinde ise sadece bir uygulamanın artırdığı görülmektedir (Şekil 4.43). Kampüs toprağında ise sera denemesinde iki uygulama hariç diğer tüm uygulamaların biyolojik verimi artırdığı, tarla denemesinde de üç uygulama hariç diğer tüm uygulamaların artırdığı görülmektedir (Şekil 4.44).

pH (-0.648^{**}), EC (-0.245^{**}) ve HA (-0.459^{**}) tane verimiyle negatif ilişki göstermiş diğer birçok parametre pozitif ilişki göstermiştir. Tane verimiyle en yüksek pozitif ilişki BV (0.831^{**}) ve bitkiye yarayışlı P (0.825^{**}) arasında bulunmuştur (Tablo 4.25). Biyoçar uygulamalarının kontrol uygulamasına göre tane verimi üzerine etkilerine genel olarak bakılacak olursa Bafra toprağındaki sera denemesinde sadece iki uygulamanın tane verimini artırdığı, tarla denemesinde ise uygulamaların yarısının tane verimini artırdığı görülmektedir (Şekil 4.45). Kampüs toprağında ise hem sera hem de tarla koşullarında tüm uygulamaların tane verimini kontrol uygulamasına göre artırdığı görülmektedir (Şekil 4.46).

Son yıllarda biyoçar uygulamalarının bitki verim ve kalitesini olumlu etkilediğine ilişkin birçok çalışmaya rağmen olumsuz etkilerine ait bazı çalışmalar da mevcuttur. Biyoçarın olumlu etkilerinin uygulandığı toprağa özgü olduğu, biyoçar uygulamasının her türlü toprakta olumlu etki yapmadığı bildirilmiştir (Zhu ve ark., 2015). Safei Khorram ve ark. (2018) 15 t ha^{-1} gibi yüksek dozlarda biyoçar

uygulamalarının toprakta yabancı ot gelişimini %200 oranında artırdığını ve bunun verimi olumsuz etkileyeceğini bildirmişlerdir. Vaccari ve ark. (2015) 14 t ha⁻¹ dozunda biyoçar uygulamasının domates bitkisinde vejetatif gelişimi artırdığını fakat meyve verimini etkilemediğini bildirmişler, biyoçar uygulamasının etkisinin bitki türüne göre değiştiğini hatta bitkinin farklı kısımlarını farklı farklı etkilediğini göstermişlerdir. Butnan ve ark. (2015) biyoçarın etkinliğinde toprak tekstürünün ve mineralojisinin öneminin çok fazla olduğunu, yüksek kül içeriğine sahip biyoçarın tınlı kum bünyeli toprağa %4 dozunda uygulandığında 39. günde hasat edilen mısır bitkisinin verimini önemli derece düşürdüğünü, fakat siltli killi tın bünyeli toprakta istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Verimdeki bu azalışın sebebi olarak yüksek kül içeriğine sahip biyoçar uygulamasının toprakta K miktarını artırması sonucu bitkinin Ca ve Mg noksanlığı çekmesiyle açıklamışlardır. Biyoçarın verimi olumsuz etkilemesine dair bir diğer yaklaşım biyoçarın toprakta N adsorbe ederek bitki gelişimi sınırlandırabileceği yönündedir (Kim ve ark., 2015). Biyoçar topraktaki besin elementleri için toprak ile rekabete girerek onların yarayışlılığını düşürebilir, özellikle düşük katyon tutma kapasitesine sahip topraklarda (Joseph ve ark., 2018). Azot noksanlığı koşullarında biyoçar uygulamasının turp bitkisinin verimin artmadığını bildirmişlerdir (Chan ve ark., 2008). Asai ve ark. (2009) gübrelemeyle birlikte biyoçar uygulamasının çeltik verimini artırdığını, fakat gübreleme yapılmadığında verimin düştüğünü bildirmişlerdir. Zwieten ve ark. (2010) gübreleme yapılmadan kireçli toprağa biyoçar uygulamasının buğday bitkisinin verimini düşürdüğünü bu azalmanın istatistiksel olarak önemli olmadığını fakat gübreleme yapıldığında verimdeki düşüşün istatistiksel olarak önemli olduğunu bildirmişlerdir. Gonzaga ve ark. (2018) hindistan cevizi kabuğu (HCK), turunc küspesi (TK) ve odun talaşı (OT) biyoçarlarını 5, 10, 20 ve 60 t ha⁻¹ dozlarında uyguladıkları çalışmada HCK ve OT biyoçarlarının tüm dozlarının mısır bitkisinin biyolojik verimi artırdığını, TK biyoçarında en düşük (5 t ha⁻¹) ve en yüksek (60 t ha⁻¹) dozlarda kontrol uygulamasına göre verimde azalmalar olduğunu bildirmişlerdir. Rezzadori ve ark. (2012) biyoçarın sahip olduğu geniş yüzey alanlarından dolayı yüksek dozlarda uygulanmasının bitki gelişimi açısından olumsuz sonuçlar doğurabileceğini belirtmişlerdir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada asitleştirilmiş ve çinko ile zenginleştirilmiş biyoçar materyallerinin kireçli kaba bünyeli (Bafra) ve kirecsiz ince bünyeli (Kampüs) topraklarda düzenleyici olarak kullanımı ve buğday bitkisinin verimine etkileri sera ve tarla koşullarında araştırılmıştır.

Asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının kireçli topraklarda toprak pH'sını düşürmede, asit toprakta ise yüksek pH'lı biyoçarların (B ve BZn) toprak pH'sını artırmada etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kontrollü şartlarda asitleştirilmiş biyoçarlar toprakların EC değerlerini önemli derece artırmış fakat bu etki tarla şartlarında görülmemiştir. Biyoçar uygulamalarının toprakların organik madde miktarını artırmada toprak tipine bağlı olmaksızın etkili olduğu hem sera hem tarla şartlarındaki denemelerle ortaya konulmuştur. Katyon değişim kapasitesi düşük ksbs bünyeli toprağa biyoçar uygulamalarının katyon değişim kapasitesini artırdığı belirlenmiştir. Ancak kil miktarı bakımından zengin ince bünyeli toprağa katyon değişim kapasitesi düşük biyoçar (B) uygulandığında katyon değişim kapasitesinin azaldığı fakat modifiye edilerek katyon değişim kapasitesi artırılan biyoçar uygulamalarının (BZn, AB, ABZn) katyon değişim kapasitesini artırdığı ortaya konulmuştur.

Uygulamaların değişebilir Ca, Mg ve K miktarları üzerine etkisi her iki toprakta da deneme koşullarına göre değişkenlik göstermiştir. Kaba ve ince bünyeli topraklarda idel Ca/Mg oranının (4-6 arası) altında olan kontrol uygulamalarına göre sera denemelerinde B ve AB uygulamalarının Ca/Mg oranını artırmada çinko ile zenginleştirilmiş biyoçarlardan daha etkin olduğu bulunmuştur. Tarla denemelerinde kireçli toprakta uygulamaların Ca/Mg oranını düşürdüğü, kirecsiz toprakta ise %0.5 uygulama dozunun artırdığı, %1.0 uygulama dozunun olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. Uygulamaların büyük bir çoğunluğunun sera denemelerinde Mg/K oranını düşürdüğü görülmüştür. Tarla denemelerinde kireçli toprakta bütün uygulamaların Mg/K oranını artırdığı bunun da verimi olumsuz etkilediği, kirecsiz toprakta ise uygulamaların tarla denemesinde Mg/K oranını etkilemediği görülmüştür.

Kireçli toprakta sera denemesinde bitkiye yarayışlı P içeriğini tüm uygulamalar kontrol uygulamasına göre artırmış fakat bu etki tarla şartlarında değişkenlik göstermiştir. Kireçsiz toprakta sera denemesinde sadece çinko ile zenginleştirilmiş uygulamalar yarışlı P içeriğini artırmış diğerleri düşürmüştür. Tarla koşullarında ise uygulamaların etkisi değişkenlik göstermiştir.

Kireçli toprakta uygulamaların DTPA-Fe içeriğine etkisi sera ve tarla koşullarında değişkenlik göstermiştir. Kireçsiz toprakta da kireçli topraktakine benzer olarak uygulamaların etkisi değişkenlik göstermekle beraber tarla koşullarında sadece bir uygulama DTPA-Fe içeriğini kontrol uygulamasına göre artırmış diğerleri azaltmıştır. Uygulamaların DTPA-Cu içeriğine etkisi incelendiğinde kireçli topraktaki sera denemesinde tüm uygulamalar kontrol uygulamasına göre DTPA-Cu miktarını azaltmış, tarla koşullarında ise sadece bir uygulama azaltmış diğerleri artırmıştır. Kireçsiz topraktaki sera denemesinde uygulamaların etkisi değişkenlik gösterirken tarla denemesinde tüm uygulamalar kontrol uygulamasına göre DTPA-Cu içeriğini azaltmıştır. Kireçli toprakta sera ve tarla denemelerinde uygulamaların büyük çoğunluğu DTPA-Mn miktarını artırmıştır. Kireçsiz toprakta ise tarla denemesinde tüm uygulamalar kontrol uygulamasına göre DTPA-Mn içeriğini artırırken, sera denemesinde uygulamaların etkisi değişkenlik göstermiştir. Her iki toprakta da sera ve tarla koşullarında DTPA-Zn üzerine uygulamaların etkisi değişkenlik gösterdiği fakat toprakta çinko miktarını artırmada en etkili uygulamanın ABZn olduğu tespit edilmiştir.

Kireçli toprakta da kireçsiz toprakta da uygulamalar hem sera hem tarla denemelerinde toprakların hacim ağırlığını düşürmüştür. Agregat stabilitesi değerleri bakımından kireçli topraktaki sera denemesinde iki uygulama hariç diğer uygulamalar artırmış, tarla denemesinde ise bütün uygulamalar kontrol uygulamasına göre artırmıştır. Kireçsiz toprakta uygulamaların etkisi sera denemesinde değişkenlik gösterirken tarla denemesinde bütün uygulamalar kontrol uygulamasına göre agregat stabilitesini artırmıştır.

Tarla kapasitesi bakımından uygulamaların etkisi kireçli kaba bünyeli toprakta sera denemesinde değişkenlik gösterirken, tarla denemesinde bütün uygulamalar kontrol uygulamasına göre tarla kapasitesini artırmıştır. Kireçsiz toprakta uygulamaların etkisi sera denemesinde değişkenlik göstermiş fakat tarla

denemesinde kontrol uygulamasına göre tüm uygulamalar tarla kapasitesini düşürmüştür. Devamlı solma noktasındaki değişimler incelendiğinde uygulamaların etkisi kireçli toprakta sera ve tarla denemelerinde değişkenlik göstermiştir. Kireçsiz toprakta uygulamaların etkisi sera denemesinde farklılık gösterirken, tarla denemesinde bütün uygulamalar devamlı solma noktasını düşürmüştür. Her iki toprakta da biyoçar uygulamaları hem sera hem tarla denemelerinde toprakların bitkiye yarayışlı su kapasitesini artırmıştır.

Biyoçar uygulamalarının tane verimine etkisi incelendiğinde kireçli kaba bünyeli toprakta sera denemesinde çinko ile zenginleştirilmiş biyoçarın %1.0 ve %2.0 uygulama dozları hariç diğer bütün uygulamalar kontrol uygulamasına göre tane verimini azaltmış, tarla denemesinde ise orijinal ve çinko ile zenginleştirilmiş biyoçar uygulamaları tane verimini artırırken asitleştirilmiş biyoçarlar kontrol uygulamasına göre tane verimini azaltmıştır. Kireçsiz ince bünyeli toprakta ise tüm uygulamalar kontrol uygulamasına göre hem sera hem tarla denemelerinde tane verimini artırmıştır.

Genel olarak bakıldığında biyoçar uygulamaları her iki toprakta da toprakların fiziksel özelliklerini olumlu yönde etkilediği fakat kimyasal özelliklere etkisinin toprak özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Biyoçar uygulamasının uygulandığı toprak özelliklerine göre verimi olumsuz etkileyebileceği de görülmüştür. Sonuç olarak biyoçarın etkinliği elde ediliş yöntemine, elde edildiği hammaddeye, uygulandığı toprak özelliklerine ve deneme koşullarına göre çok fazla değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bu çalışmada yüksek sıcaklıkta ağaç atıklarından elde edilen biyoçar materyali kullanılmıştır. Ağaç kökenli atıkların dışında farklı tarımsal kökenli atıklardan farklı sıcaklıklarda üretilen biyoçarların topraklarda etkinliğide farklı olacaktır. Daha sonraki çalışmalar için, uygulanma amacına göre biyoçarın özelliklerinin ve uygulanacak miktarının çok iyi bilinmesi, uygulanacağı toprağın özelliklerinin de göz önünde bulundurulması hem sürdürülebilir bir toprak yönetimi hem de bitkisel üretim açısından olumsuz etkilere yol açmaması bakımından bir hayli önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- A. Mukherjee, R. Lal, A.R. Zimmerman Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil *Sci. Total Environ.*, 487 (2014), pp. 26-36
- A. Obia, J. Mulder, V. Martinsen, G. Cornelissen, T. Børresen In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light textured tropical soils *Soil Till Res.*, 155 (2016), pp. 35-44
- Abbaszadeh-Dahaji P, Masalehi F, Akhgar A (2019) Improved growth and nutrition of Sorghum (*Sorghum bicolor*) plants in a low-Fertility calcareous soil treated with plant growth-promoting rhizobacteria and Fe-EDTA. *J Soil Sci Plant Nutr*, pp 1–12. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00098-9>
- Ahmad, M., Lee, S. S., Dou, X., Mohan, D., Sung, J. K., Yang, J. E., & Ok, Y. S. (2012). Effects of pyrolysis temperature on soybean stover-and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. *Bioresource technology*, 118, 536-544.
- Ahmad, M., Usman, A. R., Al-Faraj, A. S., Ahmad, M., Sallam, A., & Al-Wabel, M. I. (2018). Phosphorus-loaded biochar changes soil heavy metals availability and uptake potential of maize (*Zea mays* L.) plants. *Chemosphere*, 194, 327-339.
- 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.
- Akhtar, S. S., Li, G., Andersen, M. N., & Liu, F. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*, 138, 37-44.
- Alloway, B.J. (2004) Zinc in Soils and Crop Nutrition; IZA Publications and International Zinc Association Communications: Brussels, Belgium.
- Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Mitchell, J. P. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems & environment*, 90(1), 25-4.
- Anonim, 2023. <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=TU&crop=Wheat>, Erişim tarihi:12.12.2023
- Antal Jr., M.J., Grønli, M., 2003. The art, science, and technology of charcoal production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 42, 1619–1640
- Aref, S., and M.M. Wander (1997). Long-term trends of corn yield and soil organic matter in different crop sequences and soil fertility treatments. In *Advances in Agronomy*, Vol. 62. Academic Press, San Diego, pp. 153–197, chap. 3.
- Arnesen, A.K.M. and Singh, B.R. (1998) Plant uptake and DTPA-extractability of Cd, Cu, Ni and Zn in a Norwegian alum shale soil as affected by previous addition of dairy and pig manures and peat. *Canadian Journal of Soil Science*, 78: 531–539.
- Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Horie T (2009) Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Res* 111(1): 81-84.
- Atkinson, C. J. (2018). How good is the evidence that soil-applied biochar improves water-holding capacity?. *Soil Use and Management*, 34(2), 177-186.
- Augusto L., Bakker M.R., and Meredieu C. 2008. Wood ash applications to temperate forest

- ecosystems — potential benefits and drawbacks. *Plant Soil*, **306**: 181–198.
- B.E. Madari, M.A.S. Silva, M.T.M. Carvalho, A.H.N. Maia, F.A. Petter, J.L.S. Santos, S.M. Tsai, W.G.O. Leal, W.M. Zeviani 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 (2017), pp. 100-112
- Barrow, C. J. (2012). Biochar: potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Applied Geography*, 34, 21-28.
- Bartell, F. E., & Miller, E. J. (1922). Adsorption by activated sugar charcoal. I1. *Journal of the American Chemical Society*, 44(9), 1866-1880.
- Bashir, S., Hussain, Q., Jun, Z. H. U., Qingling, F. U., Houben, D., & Hongqing, H. U. (2020). Efficiency of KOH-modified rice straw-derived biochar for reducing cadmium mobility, bioaccessibility and bioavailability risk index in red soil. *Pedosphere*, 30(6), 874-882.
- Basso, A. S., Miguez, F. E., Laird, D. A., Horton, R., Westgate, M., 2013. Assessing potential of biochar for increasing water holding capacity of sandy soils. *Gcb Bioenergy*, 5(2), 132-143.
- Bayraklı, F., 1987. Toprak ve Bitki Analizleri. OMÜ Yayınları No.17.Samsun.
- Benis, K.Z.; Damuchali, A.M.; Soltan, J.; McPhedran, K. Treatment of aqueous arsenic—A review of biochar modification methods. *Sci. Total Environ.* **2020**, 739, 139750.
- Benjamin, J.G., Nielsen, D.C. and Vigil. M.F. (2003). Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. *Geoderma*.116: 137-148.
- Biederman L.A. and Harpole W.S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*, **5**: 202–214.
- Bityutski N, Yakkonen K, Petrova A, Nadporozhskaya M (2017) Xylem sap mineral analyses as a rapid method for estimation plant availability of Fe, Zn and Mn in carbonate soils: a case study in cucumber. *J Soil Sci Plant Nutr* 17(2):279–290
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Particle density. *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods*, 5, 377-382.
- Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 687-711.
- Bornemann, L. C., Kookana, R. S. and Welp, G. (2007) ‘Differential sorption behaviour of aromatic hydrocarbons on charcoals prepared at different temperatures from grass and wood’, *Chemosphere*, vol 67, pp1033–1042
- Bornø, M. L., Muñller-Stoñver, D. S., Liu, F. (2018): Contrasting effects of biochar on phosphorus dynamics and bioavailability in different soil types. *Sci. Total Environ.* 627, 963–974.
- Brady, N. C., Weil, R. R., (2008). *The nature and properties of soils* (Vol. 13, pp. 662-710). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Cakmak, I. (2008). Zinc Deficiency in Wheat in Turkey. In: Alloway, B.J. (eds) *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6860-7_7
- Cakmak, I., Kalaycı, M., Ekiz, H., Braun, H.J., and Yılmaz, A. (1999) Zinc deficiency as an actual problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO Science for Stability Project. *Field Crops Research*, 60: 175–188.

- Candemir F, Gülser C. 2011. Effects of different agricultural wastes on some soil quality indexes at clay and loamy sand fields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42(1): 13-28.
- Cantrell, K.B., Hunt, P.G., Uchimiya, M., Novak, J.M., Ro, K.S., 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresour. Technol.* 107, 419–428.
- Cassel, D. K., & Nielsen, D. R. (1986). Field capacity and available water capacity. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 901-926.
- Chan KY, Van Zwieten L, Meszaros I, Downie A, Joseph S (2008) Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Soil Research* 45(8): 629-634.
- Chan, K. Y., & Xu, Z. (2012). Biochar: Nutrient properties and their enhancement. In *Biochar for environmental management* (pp. 99–116). Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781849770552>
- Chen, L., Chen, Q., Rao, P., Yan, L., Shakib, A., & Shen, G. (2018). Formulating and optimizing a novel biochar-based fertilizer for simultaneous slow-release of nitrogen and immobilization of cadmium. *Sustainability*, 10(8), 2740.
- Cheng C-H, Lehmann J, Engelhard MH (2008) Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, 1598–1610.
- Chien SH, Prochnow LI, Cantarella H (2009) Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Adv Agron* 102:267–322
- D. Wang, S.J. Fonte, S.J. Parikh, J. Six, K.M. Scow Biochar additions can enhance soil structure and the physical stabilization of C in aggregates *Geoderma*, 303 (2017), pp. 110-117
- D.S. Ross, Q. Ketterings Recommended methods for determining soil cation exchange capacity
- DeLuca, T.H., MacKenzie, M.D., and Gundale, M.J. 2009. Chapter 14: Biochar effects on soil nutrient transformations. Pages 251–270 in J. Lehmann and S. Joseph, eds. *Biochar for environmental management*. Earthscan, Washington, DC, USA.
- Demir Z, Gülser C. 2015. Effects of rice husk compost application on soil quality parameters in greenhouse conditions. *Eurasian Journal of Soil Science* 4(3):185-190.
- Demir Z, Gülser C. 2021. Effects of Rice Husk Compost on Some Soil Properties, Water Use Efficiency and Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Yield under Greenhouse and Field Conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, pp.1-18.
- Demirkaya, S., & Gülser, C. (2023). Asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının kaba bünyeli bir toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içeriğine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 11(1), 47-53.
- Demirkaya, S., Gülser, C., & Ay, A. (2021). The effect of iron enriched acidified and non-acidified biochars on DTPA extractable iron content of a calcareous soil. In *Int. Symposium on" Soil Sci. Plant Nutr* (pp. 197-201).
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G., Zhou, L., & Zheng, B. (2016). Biochar to improve soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2), 36. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z>

- Dokoohaki, H.; Miguez, F.E.; Laird, D.A.; Horton, R.; Basso, A.S. Assessing the Biochar Effects on Selected Physical Properties of a Sandy Soil: An Analytical Approach. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **2017**, *48*, 1387–1398.
- Doran, J. W., & Jones, A. J. (1996). *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America Inc..
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*, 35, 1-21.
- E. Amoakwah, K.A. Frimpong, E. Arthur Corn cob biochar improves aggregate characteristics of a tropical sandy loam Soil Sci. Soc. Am. J., 81 (2017), pp. 1054-1063
- E.H. Tryon Effect of charcoal on certain physical, chemical and biological properties of forest soils *Ecol. Soc. Am.*, 18 (1948), pp. 81-115
- Elad, Y., Cytryn, E., Harel, Y. M., Lew, B., & Graber, E. R. (2011). The biochar effect: plant resistance to biotic stresses. *Phytopathologia Mediterranea*, 50(3), 335-349.
- El-Sharkawy, M., El-Naggar, A. H., AL-Huqail, A. A., & Ghoneim, A. M. (2022). Acid-modified biochar impacts on soil properties and biochemical characteristics of crops grown in saline-sodic soils. *Sustainability*, 14(13), 8190.
- Esmaelnejad, L.; Shorafa, M.; Gorji, M.; Hosseini, S.M. Enhancement of physical and hydrological properties of a sandy loam soil via application of different biochar particle sizes during incubation period. *Span. J. Agric. Res.* **2016**, *14*, e1103.
- Eyupoglu, F., Kurucu, N., and Sanisa, U. (1994) Status of Plant Available Micronutrients in Turkish Soils; Soil and Fertilizer Research Institute: Ankara, Turkey (Annual Report, Report No. R-118) (in Turkish)
- F. Tesfaye, X. Liu, J. Zheng, K. Cheng, R. Bian, X. Zhang, *et al.* Could biochar amendment be a tool to improve soil availability and plant uptake of phosphorus? A meta-analysis of published experiments *Environ. Sci. Pollut. Res.* (2021)
- Fang, L., Li, J-s., Donatello, S., Cheeseman, C.R., Poon, C.S., Tsang, D.C.W., 2019. Use of Mg/Ca modified biochars to take up phosphorus from acid-extract of incinerated sewage sludge ash (ISSA) for fertilizer application. *J. Clean. Prod.* 118853
- Farhangi-Abriz S., Torabian S., Qin R., Noulas C., Lu Y., Gao S. (2021): Biochar effects on yield of cereal and legume crops using meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 775: 145869.
- G. Baiamonte, G. Crescimanno, F. Parrino, C. De Pasquale Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil *Catena*, 175 (2019), pp. 294-303
- G. Xu, Y. Zhang, J. Sun, H. Shao Negative interactive effects between biochar and phosphorus fertilization on phosphorus availability and plant yield in saline sodic soil *Sci. Total Environ.*, 568 (2016), pp. 910-915
- Ghaffar, A., Ghosh, S., Li, F., Dong, X., Zhang, D., Wu, M., ... & Pan, B. (2015). Effect of biochar aging on surface characteristics and adsorption behavior of dialkyl phthalates. *Environmental Pollution*, 206, 502-509.
- Ghassemi-Golezani, K., & Rahimzadeh, S. (2022). Biochar modification and application to improve soil fertility and crop productivity. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 68(2), 45-61.

- Gimeno-Garcia, E., Andreu, V., & Boluda, R. (1996). Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environmental Pollution*, *92*(1), 19–25.
- Ginebra, M., Muñoz, C., Calvelo-Pereira, R., Doussoulin, M., & Zagal, E. (2022). Biochar impacts on soil chemical properties, greenhouse gas emissions and forage productivity: A field experiment. *Science of the Total Environment*, *806*, 150465.
- Głąb, T., J. Palmowska, T. Zaleski, and K. Gondek. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma* 281:11–20. doi:10.1016/j.geoderma.2016.06.028
- Goodman, A.M. and Ennos. A.R. (1999). The effects of soil bulk density on the morphology and anchorage mechanics of the root systems of sunflower and maize. *J. Annals of Botany*. pp. 293-302.
- Gülser C, Candemir F, Kanel Y, Demirkaya S. 2015a. Effect of manure on organic carbon content and fractal dimensions of aggregates. *Eurasian Journal of Soil Science*, *4*(1), 1.
- Gülser C, Candemir F. 2012. Changes in penetration resistance of a clay field with organic waste applications. *Eurasian Journal of Soil Science*, *1*(1), pp.16-21.
- Gülser C, Candemir F. 2015b. Effects of agricultural wastes on the hydraulic properties of a loamy sand cropland in Turkey. *Soil Science and Plant Nutrition*, *61*(3), 384-391.
- Gülser C, Minkina T, Sushkova S, Kızılkaya R. 2017. Changes of soil hydraulic properties during the decomposition of organic waste in a coarse textured soil. *Journal of Geochemical Exploration*, *174*, pp.66-69.
- Gülser, C. (2006). Effect of forage cropping treatments on soil structure and relationships with fractal dimensions. *Geoderma*, *131*(1-2), 33-44.
- H. Blanco-Canqui Biochar and soil physical properties *Soil Sci. Soc. Am. J.*, *81* (2017), pp. 687-711
- H. Li, Y. Li, Y. Xu, X. Lu Biochar phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus availability *Chemosphere*, *244* (2020), Article 125471
- H. Zheng, X. Wang, X.X. Luo, Z.Y. Wang, B.S. Xing Biochar-induced negative carbon mineralization priming effects in a coastal wetland soil: roles of soil aggregation and microbial modulation *Sci. Total Environ.*, *610* (2018), pp. 951-960
- Hagemann, N., Spokas, K., Schmidt, H. P., Kägi, R., Böhler, M. A., & Bucheli, T. D. (2018). Activated carbon, biochar and charcoal: linkages and synergies across pyrogenic carbon's ABC s. *Water*, *10*(2), 182.
- 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*, 2405-2416.
- Han, Y., Cao, X., Ouyang, X., Sohi, S. P., & Chen, J. (2016). Adsorption kinetics of magnetic biochar derived from peanut hull on removal of Cr (VI) from aqueous solution: Effects of production conditions and particle size. *Chemosphere*, *145*, 336–341. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.050>
- Hanft, J. M. and Wych, R. D. 1982. Visual Indicators of Physiological Maturity of Hard Red Spring Wheat 1. *Crop Science*, *22*(3), 584-588
- Hazelton, P., & Murphy, B. (2016). *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?*. CSIRO publishing.

- Hansen V, Müller-Stöver D, Ahrenfeldt J, Holm J K, Henriksen U B, Hauggaard-Nielsen H. 2015. Gasification biochar as a valuable by-product for carbon sequestration and soil amendment. *Biomass and Bioenergy*, 72, 300-308.
- Hansen, V., Müller-Stöver, D., Ahrenfeldt, J., Holm, J. K., Henriksen, U. B., & Hauggaard-Nielsen, H. (2015). Gasification biochar as a valuable by-product for carbon sequestration and soil amendment. *Biomass and Bioenergy*, 72, 300-308.
- Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G., & Close, D. (2014). Does biochar influence soil physical properties and soil water availability?. *Plant and soil*, 376, 347-361.
- Hartley, W., Riby, P., & Waterson, J. (2016). Effects of three different biochars on aggregate stability, organic carbon mobility and micronutrient bioavailability. *Journal of Environmental Management*, 181, 770-778.
- Hinsinger P. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil*, 237: 173–195.
- Ibrahim, H. M., Al-Wabel, M. I., Usman, A. R., & Al-Omran, A. (2013). Effect of Conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. *Soil science*, 178(4), 165-173.
- Inal A, Gunes A, Sahin O, Taskin MB, Kaya EC (2015) Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use Manag* 31(1):106–113
- Inyang, M. I., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y., Zimmerman, A., Mosa, A., Pullammanappallil, P., Ok, Y. S., & Cao, X. (2016). A review of biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46(4), 406–433. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1096880>
- Ippolito J A, Ducey T F, Cantrell K B, Novak J M, Lentz R D. 2016. Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. *Chemosphere*, 142, 184-191.
- Ippolito J A, Laird D A, Busscher W J. 2012. Environmental benefits of biochar. *J. Environ. Qual.* 41, 973–989.
- Ippolito, J. A., Novak, J. M., Busscher, W. J., Ahmedna, M., Rehrh, D., & Watts, D. W. (2012). Switchgrass biochar affects two Aridisols. *Journal of environmental quality*, 41(4), 1123-1130.
- Ippolito, J. A., Spokas, K. A., Novak, J. M., Lentz, R. D., & Cantrell, K. B. (2015). Biochar elemental composition and factors influencing nutrient retention. In *Biochar for environmental management* (pp. 171–196). Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- J. Lehmann, C. Czimczik, D. Laird, S. Sohi Stability of Biochar in Soil. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (2009), pp. 183-206
- J. Zhu, M. Li, M. Whelan Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: a review *Sci. Total Environ.*, 612 (2018), pp. 522-537
- J.I. Osayi, S. Iyuke, S.E. Ogbeide, Biocrude production through pyrolysis of used tyres, *J. Catal.* 2014 (2014) 1–9.
- Jatav, H. S., Singh, S. K., Singh, Y., & Kumar, O. (2018). Biochar and sewage sludge application increases yield and micronutrient uptake in rice (*Oryza sativa* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(13), 1617-1628.

- 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.
- Johnston, A.E. (1991). Fertility and soil organic matter. In W.S. Wilson (Ed.), *Advances in Soil Organic Matter Research: The Impact on Agriculture and the Environment*, The Royal Society of Chemistry, Melksham, Wiltshire, pp. 297–314.
- Joseph S, Camps-Arbestain M, Lin Y, Munroe P, Chia CH, Hook J, Van Zwieten L, Kimber S, Cowie A, Singh BP, et al. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. *Aust J Soil Res*. 48:501–515.
- Joseph, S., Kammann, C. I., Shepherd, J. G., Conte, P., Schmidt, H. P., Hagemann, N., ... & Graber, E. R. (2018). Microstructural and associated chemical changes during the composting of a high temperature biochar: Mechanisms for nitrate, phosphate and other nutrient retention and release. *Science of the Total Environment*, 618, 1210-1223.
- K. Villagra-Mendoza, R. Horn Effect of biochar addition on hydraulic functions of two textural soils *Geoderma*, 326 (2018), pp. 88-95
- Kacar, B., & İnal, A. (2010). *Bitki analizleri*. Nobel Yayın Dağıtım.
- Kacar, B., 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri:III. Toprak Analizleri. A.Ü. Ziraat Fak. Eğitim Araş. ve Geliştirme Vakfı Yay. No:3. Ankara
- Kambo, H. S., & Dutta, A., 2015. A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359-378.
- Karer, J., Wawra, A., Zehetner, F., Dunst, G., Wagner, M., Pavel, P. B., & Soja, G. (2015). Effects of biochars and compost mixtures and inorganic additives on immobilisation of heavy metals in contaminated soils. *Water, Air, & Soil Pollution*, [226\(10\)](https://doi.org/10.1007/s11270-015-2584-2), 342. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11270-015-2584-2](https://doi.org/10.1007/s11270-015-2584-2)
- Karimi, A., Moezzi, A., Chorom, M., & Enayatizamir, N. (2020). Application of biochar changed the status of nutrients and biological activity in a calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 450-459.
- Kelepertzis, E. (2014). Accumulation of heavy metals in agricultural soils of Mediterranean: Insights from Argolida basin, Peloponnese, Greece. *Geoderma*, [221–222](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.007), 82–90. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.007](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.007)
- Kemper, W.D. and Rosenau, R.C., 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. Pages 425-442 in A. Klute, ed. *Methods of Soil Analysis*, 2nd ed. Part I. ASA, Madison, Wisconsin.
- Kim, H. S., Kim, K. R., Kim, H. J., Yoon, J. H., Yang, J. E., Ok, Y. S., ... & Kim, K. H. (2015). Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. *Environmental Earth Sciences*, 74, 1249-1259.
- Kim, K.H., Kim, J., Cho, T., Choi, J.W., 2012. Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (*Pinus rigida*). *Bioresour. Technol.* 118, 158–162.
- Kinney, T.J., Masiello, C.A., Dugan, B., Hockaday, W.C., Dean, M.R., Zygourakis, K., Barnes, R.T., 2012. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. *Biomass Bioenergy* 41, 34–43.
- Kizito, S., Luo, H., Lu, J., Bah, H., Dong, R., & Wu, S. (2019). Role of nutrient-enriched biochar as a soil amendment during maize growth: Exploring practical alternatives to

- recycle agricultural residuals and to reduce chemical fertilizer demand. *Sustainability*, 11(11), 3211.
- Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, R., Ottner, F., Liedtke, V., Schwanninger, M., Gerzabek, M.H., Soja, G., 2012. Characterization of slow pyrolysis biochars: effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. *J. Environ. Qual.* 41, 990–1000.
- KTAE, 2017. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ktae/Belgeler/brosurler/Altindane.pdf>
- Kumari K, Prasad J, Solanki IS, Chaudhary R (2018) Long-term effect of crop residues incorporation on yield and soil physical properties under rice-wheat cropping system in calcareous soil. *J Soil Sci Plant Nutr* 18(1):27–40
- Kuppusamy S, Thavamani P, Megharaj M, Venkateswarlu K, Naidu R (2016) Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: current knowledge and future research directions. *Environment International*, 87, 1–12.
- L.F. Han, K. Sun, Y. Yang, X.H. Xia, F.B. Li, Z.F. Yang, B.S. Xing Biochar's stability and effect on the content, composition and turnover of soil organic carbon *Geoderma*, 364 (2020), Article 114184
- 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
- Lal, R. (2008). Soils and sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 57-64.
- Lee, J. W., Hawkins, B., Li, X., & Day, D. M. (2013). Biochar fertilizer for soil amendment and carbon sequestration. *Advanced biofuels and bioproducts*, 57-68.
- Lehmann J, Joseph S. 2009. Biochar for environmental management: an introduction. In *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*; Lehmann, J., Joseph, S., Eds.; Earthscan: London, pp 1-10
- 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, 343-357.
- Lehmann, J.; Rillig, M. C.; Thies, J.; Masiello, C. A.; Hockaday, W. C.; Crowley, D. *Soil Biol. Biochem.* 2011, 43, 1812-1836.
- Leytem, A.B. and R.L. Mikkelsen, 2005. The nature of phosphorus in calcareous soils. *Better Crops*, 89 (2): 11-13.
- Li, B., Yang, L., Wang, C. Q., Zhang, Q. P., Liu, Q. C., Li, Y. D., & Xiao, R. (2017). Adsorption of cd(II) from aqueous solutions by rape straw biochar derived from different modification processes. *Chemosphere*, 175, 332–340. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.061>
- Li, J., Li, D. ve Mei, P. 2018. Rational application of fertilizer nitrogen to soil in combination with foliar Zn spraying improved Zn nutritional quality of wheat grains. *Front. Plant Sci.*, 9, 677
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J. and Neves, E. G. (2006) 'Black carbon increases cation exchange capacity in soils', *Soil Science Society of America Journal*, vol 70, pp1719–1730

- Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Souchère, V., Alberola, C., & Ménassieu, J. (2009). Agronomy for sustainable agriculture: a review. *Sustainable agriculture*, 1-7.
- Lin, W., Lin, M., Zhou, H., Wu, H., Li, Z., & Lin, W. (2019). The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards. *PLoS One*, *14*(5), e0217018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217018>
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, *42*(3), 421-428.
- Liu, S., Meng, J., Jiang, L., Yang, X., Lan, Y., Cheng, X., & Chen, W. (2017). Rice husk biochar impacts soil phosphorous availability, phosphatase activities and bacterial community characteristics in three different soil types. *Applied Soil Ecology*, *116*, 12-22.
- Liu, Z., B. Dugan, C.A. Masiello, R.T. Barnes, M.E. Gallagher, and H. Gonnermann. 2016. Impacts of biochar concentration and particle size on hydraulic conductivity and DOC leaching of biochar-sand mixtures. *J. Hydrol.* 533:461–472. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.12.007
- Lorenz, K., & Lal, R. (2014). Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *177*(5), 651-670.
- M. Castellini, L. Giglio, M. Niedda, A.D. Palumbo, D. Ventrella Impact of biochar addition on the physical and hydraulic properties of a clay soil *Soil Tillage Res.*, *154* (2015), pp. 1-13
- M. Rahman, Q.H. Zhu, Z.B. Zhang, H. Zhou, X.H. Peng The roles of organic amendments and microbial community in the improvement of soil structure of a vertisol *Agric., Ecosyst. Environ., Appl. Soil Ecol.*, *111* (2017), pp. 84-93
- M.A. Rondon, J. Lehmann, J. Ramírez, M. Hurtado. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions *Biol. Fertil. Soils*, *43* (2007), pp. 699-708
- M.T.M. Carvalho, B.E. Madari, L. Bastiaans, P.N. van Oort, W.G.O. Leal, A.B. Heinemann, M.A.S. da Silva, A.H.N. Maia, D. Parsons, H. Meinke Properties of a clay soil from 1.5 to 3.5 years after biochar application and the impact on rice yield *Geoderma*, *276* (2016), pp. 7-18
- Manso, E. F., Nartey, E. K., Adjadeh, T. A., Darko, D. A., Lawson, I. Y. D., & Amoatey, C. A. (2019). Use of corn cob and rice husk biochar as liming materials in acid soils. *West African Journal of Applied Ecology*, *27*(2), 32-50.
- Marschner, H. (1993) Zinc uptake from soils. In *Zinc in Soils and Plants*; Robson, A.D. (ed.); Kluwer Academic Publishers: Dordrecht the Netherlands, 59–77.
- Mia S, Dijkstra FA, Singh B (2017) Long-term ageing of biochar: a molecular understanding with agricultural and environmental implications. *Advances in Agronomy*, *141*, 1–51
- Molnar, M.; Vaszita, E.; Farkas, E.; Ujaczki, E.; Fekete-Kertesz, I.; Tolner, M.; Klebercz, O.; Kirchkeszner, C.; Gruiz, K.; Uzinger, N.; et al. Acidic sandy soil improvement with biochar—A microcosm study. *Sci. Total Environ.* **2016**, 563–564, 855–865.
- Mortvedt, J. J. (2000). Bioavailability of micronutrients. In “Hand book of Soil Science.” (M. E.Sumner, Ed.), pp. D71–D88. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Mukherjee, A., & Lal, R. (2013). Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, *3*(2), 313-339.

- Mukherjee, A., & Zimmerman, A. R. (2013). Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. *Geoderma*, 193, 122-130.
- Müller-Stöver, D., Ahrenfeldt, J., Holm, J.K. *et al.* Soil application of ash produced by low-temperature fluidized bed gasification: effects on soil nutrient dynamics and crop response. *Nutr Cycl Agroecosyst* **94**, 193–207 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10705-012-9533-x>
- Munoz, Y., Arriagada, R., Sotos-Garrido, G., Garcia, R., 2003. Phosphoric and boric acid activation of pine sawdust. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 78, 1252– 1258.
- N.C. Brady, R.R. Weil The Nature and Properties of Soils (13th ed.), Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ (2002)
- Ndoug, O. C. N., de Figueiredo, C. C., & Ramos, M. L. G. (2021). A scoping review on biochar-based fertilizers: enrichment techniques and agro-environmental application. *Heliyon*, 7(12).
- Nortcliff, S. (2002). Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, ecosystems & environment*, 88(2), 161-168.
- Novak J M, Busscher W J, Watts D W, Amonette J E, Ippolito J A, Lima I M, Gaskin J, Das K C, Steiner C, Ahmedna M, Rehrh D, Schomberg H. 2012 Biochars impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. *Soil Sci* 177:310–320. <https://doi.org/10.1097/ss.0b013e31824e5593>
- Ok, Y. S., Chang, S. X., Gao, B., & Chung, H. J. (2015). SMART biochar technology—a shifting paradigm towards advanced materials and healthcare research. *Environmental Technology & Innovation*, **4**, 206–209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eti.2015.08.003>
- Olmo, M., Lozano, A. M., Barrón, V., & Villar, R. (2016). Spatial heterogeneity of soil biochar content affects soil quality and wheat growth and yield. *Science of the Total Environment*, 562, 690-700.
- Olsen, R. (1978). Effects of intensive fertilizer use on the human environment: A summary review. *FAO Soils Bulletin*, 116, 15–33. <http://www.fao.org/3/aq378e/aq378e.pdf>
- Olsen, S. R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (No. 939). US Department of Agriculture.
- Ozkutlu, F., Torun, B., & Cakmak, I. (2006). Effect of zinc humate on growth of soybean and wheat in zinc-deficient calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37(15-20), 2769-2778.
- P.A. Hazelton, B.W. Murphy Interpreting Soil Test Results: What Do All the Numbers Mean
- Plante, A.F., 2007. Chapter 15: Soil biogeochemical cycling of inorganic nutrients and metals. Pages 283–302 in E.A. Paul, ed. *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*. Academic Press, Oxford, UK.
- Q. Fu, H. Zhao, H. Li, T.X. Li, R.J. Hou, D. Liu, Y. Ji, Y. Gao, P.F. Yu Effects of biochar application during different periods on soil structures and water retention in seasonally frozen soil areas *Sci. Total Environ.*, 694 (2019), Article 133732
- R. Chintala, T.E. Schumacher, L.M. McDonald, D.E. Clay, D.D. Malo, S.K. Papiernik, *et al.* Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures *CLEAN Soil Air Water*, 42 (5) (2014), pp. 626-634
- R. P. J. J. Rietra, T. Hiemstra, W. H. van Riemsdijk, Interaction between Calcium and

- Phosphate Adsorption on Goethite, *Environ. Sci. Technol.* 2001, 35, 3369–3374.
- Rahimzadeh, s., and Ghassemi-Golezani, K. (2022). Biochar-based nutritional nanocomposites altered nutrient uptake and vacuolar H⁺-Pump activities of dill under salinity. *Journal of soil science and plant nutrition*, 22, 3568 – 3581. DOI:10.1007/s42729-022-00910-z.
- Rajapaksha, A. U., Chen, S. S., Tsang, D. C., Zhang, M., Vithanage, M., Mandal, S., ... & Ok, Y. S. (2016). Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: potential and implication of biochar modification. *Chemosphere*, 148, 276-291.
- Rashid, A. and Ryan, J. (2004) Micronutrient constraints to crop production in soils with Mediterranean-type characteristics: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 27: 959–975.
- Rengel Z (2015) Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *J Soil Sci Plant Nutr* 15(2):397–409
- Rezzadori, K., Benedetti, S., & Amante, E. R. (2012). Proposals for the residues recovery: Orange waste as raw material for new products. *Food and bioproducts processing*, 90(4), 606-614.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. U.S.Dept. Agr. Handbook 60: 105-106
- Richardson A.E. 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Funct. Plant Biol.* **28**: 897–906.
- Rizwan, M., Lin, Q., Chen, X., Li, Y., Li, G., Zhao, X., & Tian, Y. (2020). Synthesis, characterization and application of magnetic and acid modified biochars following alkaline pretreatment of rice and cotton straws. *Science of the Total Environment*, 714, 136532.
- S. Lusiba, J. Odhiambo, J. Ogola Effect of biochar and phosphorus fertilizer application on soil fertility: soil physical and chemical properties *Arch. Agron. Soil Sci.*, 63 (2017), pp. 477-490
- S. Mia, J.W. van Groenigen, T.F.J. van de Voorde, N.J. Oram, T.M. Bezemer, L. Mommer, S. Jeffery Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability *Agric. Ecosyst. Environ.*, 191 (2014), pp. 83-91
- S.H. Jien, C.S. Wang Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil *Catena*, 110 (2013), pp. 225-233
- Saarsalmi A., Smolander A., Kukkola M., Moilanen M., and Saramäki J. 2012. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *For. Ecol. Manag.* **278**: 63–70.
- Safaei Khorram, M., Fatemi, A., Khan, M. A., Kiefer, R., & Jafarnia, S. (2018). Potential risk of weed outbreak by increasing biochar's application rates in slow-growth legume, lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(6), 2080-2088.
- Sahin O, Taskin M B, Kaya E C., Atakol O, Emir E, Inal A, Gunes A. 2017. Effect of acid modification of biochar on nutrient availability and maize growth in a calcareous soil. *Soil Use and Management*, 33(3), 447- 456.
- Sahin, O., Taskin, M. B., Kaya, E. C., Atakol, O., Emir, E., Inal, A., & Gunes, A., (2017). Effect of acid modification of biochar on nutrient availability and maize growth in a calcareous soil. *Soil Use and Management*, 33(3), 447-456.

- Sajjadi, B.; Zubatiuk, T.; Leszczynska, D.; Leszczynski, J.; Chen, W.Y. Chemical activation of biochar for energy and environmental applications: A comprehensive review. *Rev. Chem. Eng.* **2019**, *35*, 777–815.
- Sarioğlu, F.E., & Dengiz, O. (2012). Soil survey and mapping of soils formed on two different physiographic units and their classification. *Proceedings, 8th International Soil Science Congress on BLand Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management*, May 15–17, Çeşme, İzmir.
- Schlesinger, W. H. (1986). Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In *The changing carbon cycle: A global analysis* (pp. 194–220). New York, NY: Springer New York.
- Sg, L., Jjo, O., Adeleke, R., & St, M. (2021). The potential of biochar to enhance concentration and utilization of selected macro and micro nutrients for chickpea (*Cicer arietinum*) grown in three contrasting soils. *Rhizosphere*, *17*, 100289.
- Sheng, Y., & Zhu, L. (2018). Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH. *Science of the Total Environment*, *622*, 1391–1399.
- Sillanpää, M. (1990) Micronutrient Assessment at the Country Level: An International Study; Food and Agriculture Organization: Rome (FAO Soils Bulletin 63).
- Sinha, M.K. and Prasad, B. (1977) Effect of chelating agents on kinetics of diffusion of zinc to a stimulated root system and its uptake by wheat. *Plant and Soil*, *48*: 399–612.
- Smebye, A., Alling, V., Vogt, R. D., Gadmar, T. C., Mulder, J., Cornelissen, G., & Hale, S. E. (2016). Biochar amendment to soil changes dissolved organic matter content and composition. *Chemosphere*, *142*, 100–105.
- Smith, P., & Gregory, P. J. (2013). Climate change and sustainable food production. *Proceedings of the nutrition society*, *72*(1), 21–28.
- Smith, P., Cotrufo, M. F., Rumpel, C., Paustian, K., Kuikman, P. J., Elliott, J. A., ... & Scholes, M. C. (2015). Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. *Soil*, *1*(2), 665–685.
- Sohi S P, Krull E, Lopez-Capel E, Bol R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in agronomy*, *105*, 47–82
- Sohi, S. P.; Krull, E.; Lopez-Capel, E.; Bol, R. *Adv. Agron.* 2010, *105*, 47–82.
- Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., Archer, D. W., Ippolito, J. A., Collins, H. P., Lentz, R. D., 2012. Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *Journal of Environmental Quality*, *41*(4), 973–989.
- Steinbeiss S, Gleixner G, Antonietti M. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biol Biochem.* *41*:1301–1310.
- Stevenson, F. J. (1986). “Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorous, Sulfur, and Micronutrients.” Wiley, New York.
- Sultan H, Ahmed N, Mubashir M, Danish S. 2020. Chemical production of acidified activated carbon and its influences on soil fertility comparative to thermo-pyrolyzed biochar. *Scientific Reports*, *10*(1), 595.
- Sultan, H., Ahmed, N., Mubashir, M., & Danish, S. (2020). Chemical production of acidified activated carbon and its influences on soil fertility comparative to thermo-pyrolyzed biochar. *Scientific Reports*, *10*(1), 595.

- Sümer, S. K., Kavdır, Y. & Çiçek, G., 2016. Türkiye’de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. KSÜ, Doğa Bilimleri Dergisi, 19(4), 379-387.
- T. Glab, A. Zabinski, U. Sadowska, K. Gondek, M. Kopec, M. Mierzwa-Hersztek, S. Tabor Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil Geoderma, 315 (2018), pp. 27-35
- T.L.T. Nguyen, J.E. Hermansen, R.G. Nielsen. Environmental assessment of gasification technology for biomass conversion to energy in comparison with other alternatives: the case of wheat straw J Clean Prod, 53 (2013), pp. 138-148
- Taban, S., Şahin, Ö., Turan, M. A., & Akça, H., 2020. Tarımsal üretimde çevre ve atık yönetimi. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1,141. Ankara.
- Tarkalson, D.D., Jolley, V.D., Robbins, C.W., and Terry, R.E. (1998) Mycorrhizal colonization and nutrient uptake of dry bean in manure and compost manure treated subsoil and untreated topsoil and subsoil. Journal of Plant Nutrition, 21: 1867–1878.
- Tate, R. L., III. (1987). “Soil Organic Matter: Biological and Ecological Effects.” Wiley, New York.
- Thomas, S. C., Frye, S., Gale, N., Garmon, M., Launchbury, R., Machado, N., & Winsborough, C. (2013). Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. *Journal of Environmental Management*, 129, 62-68.
- Tiessen, H., Cuevas, E., & Chacon, P. (1994). The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 371(6500), 783-785.
- TÜİK (2022). Bitkisel Üretim 2. Tahmini, 2022. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-2.Tahmini-2022-45503>
- Tüzüner, A., 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- U. Förstner, “Land contamination by metals—global scope and magnitude of problem,” in *Metal Speciation and Contamination of Soil*, H. E. Allen, C. P. Huang, G. W. Bailey, and A. R. Bowers, Eds., pp. 1–33, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, 1995.
- Uchimiya, M., Chang, S., Klasson, K. T. (2011): Screening biochars for heavy metal retention in soil : role of oxygen functional groups. J. Hazard. Mater. 190, 432–441
- Usowicz, B., J. Lipiec, M. Lukowski, W. Marczewski, and J. Usowicz. 2016. The effect of biochar application on thermal properties and albedo of loess soil under grassland and fallow. Soil Tillage Res. 164:45–51. doi:10.1016/j.still.2016.03.009
- Vaccari, F. P., Maienza, A., Miglietta, F., Baronti, S., Di Lonardo, S., Giagnoni, L., & Genesio, L. (2015). Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 207, 163-170.
- Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K. E., Merckx, R., Mkwunye, U., Ohiokpehai, O., Pypers, P., Tabo, R., Shepherd, K. D., Smaling, E. M. A., Woomer, P. L., & Sanginga, N. (2010). Integrated soil fertility management: Operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook on Agriculture*, 39(1), 17–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.5367/000000010791169998>
- W. Demisie, Z.Y. Liu, M.K. Zhang Effect of biochar on carbon fractions and enzyme activity of red soil Catena, 121 (2014), pp. 214-221

- Wang, Y., Hu, Y., Zhao, X., Wang, S., & Xing, G. (2013). Comparisons of biochar properties from wood material and crop residues at different temperatures and residence times. *Energy & fuels*, 27(10), 5890-5899.
- Warkentin, B. P. (1995). The changing concept of soil quality. *Journal of soil and water conservation*, 50(3), 226-228.
- Whalen, J.K., and Sampedro, L. 2010. Soil ecology and management. CABI, Oxford, UK.
- White, J.G. and Zasoski, R.H. (1999) Mapping soil micronutrients. *Field Crops Research*, 60: 11–26.
- Wilhelm, W. W., Johnson, J. M., Hatfield, J. L., Voorhees, W. B. & Linden, D. R., 2004. Crop and soil productivity response to corn residue removal. *Agronomy Journal*, 96(1), 1-17.
- Wu, M., Han, X., Zhong, T., Yuan, M., & Wu, W. (2016). Soil organic carbon content affects the stability of biochar in paddy soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 223, 59-66.
- X.H. Peng, L.L. Ye, C.H. Wang, H. Zhou, B. Sun Temperature-and duration-dependent rice straw-derived biochar: characteristics and its effects on soil properties of an ultisol in southern china *Soil Tillage Res.*, 112 (2011), pp. 159-166
- Xiao, Q., L. Zhu, H. Zhang, X. Li, Y. Shen, and S. Li. 2016. Soil amendment with biochar increases maize yields in a semi-arid region by improving soil quality and root growth. *Crop Pasture Sci.* 67:495–507. doi:10.1071/CP15351
- Xu Z, Xu X, Yu Y, Yao C, Tsang D C W, Cao X. 2021. Evolution of redox activity of biochar during interaction with soil minerals: Effect on the electron donating and mediating capacities for Cr(VI) reduction. *Journal of Hazardous Materials*, 414, 125483. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125483>
- Xu, G., Wei, L. L., Sun, J. N., Shao, H. B., & Chang, S. X. (2013). What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism?. *Ecolog*
- Xu, M., Lou, Y., Sun, X. *et al.* Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation. *Biol Fertil Soils* 47, 745–752 (2011). <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0579-8>
- Yang X, Tsibart A, Nam H, Hur J, El-Naggar A, Tack F M, Ok Y S. 2019. Effect of gasification biochar application on soil quality: Trace metal behavior, microbial community, and soil dissolved organic matter. *Journal of hazardous materials*, 365, 684-694.
- Ye, L., Camps-Arbestain, M., Shen, Q., Lehmann, J., Singh, B., & Sabir, M. (2020). Biochar effects on crop yields with and without fertilizer: A meta-analysis of field studies using separate controls. *Soil Use and Management*, 36(1), 2–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/sum.12546>
- Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., & Zhang, X. (2012). Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant and soil*, 351, 263-275.
- Zhao, L., Cao, X., Zheng, W., Scott, J.W., Sharma, B.K., Chen, X., 2016. Co-pyrolysis of biomass with phosphate fertilizers to improve biochar carbon retention, slow nutrient release, and stabilize heavy metals in soil. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 4 (3), 1630–1636

- Zhao, X., Wang, J., Wang, S., & Xing, G., 2014. Successive straw biochar application as a strategy to sequester carbon and improve fertility: A pot experiment with two rice/wheat rotations in paddy soil. *Plant and Soil*, 378(1-2), 279-294.
- Zhao, Y., Wang, P., Li, J., Chen, Y., Ying, X., Liu, S., 2009. The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat-maize cropping system. *Eur. J. Agron.* 31, 36–42
- Zheng, Y., Wan, Y., Chen, J., Chen, H., & Gao, B. (2020). MgO modified biochar produced through ball milling: A dual-functional adsorbent for removal of different contaminants. *Chemosphere*, 243, 125344.
- Zhu, Q., Peng, X., & Huang, T. (2015). Contrasted effects of biochar on maize growth and N use efficiency depending on soil conditions. *International Agrophysics*, 29(2).
- Zou, L., Morris, G., & Qi, D. (2008). Using activated carbon electrode in electrosorptive deionisation of brackish water. *Desalination*, 225(1-3), 329-340.



ÖZ GEÇMİŞ

Salih Demirkaya İstanbul Esenler Çok Programlı Lisesi'nden 2009 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümünde lisans eğitimine başladı. Lisan eğitiminden 28.06.2013 tarihinde mezun oldu. 2017 yılında aynı üniversitesinin Fen Bilimleri Enstitüsünde Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans programını bitirdi. Mezuniyetinden bu yana doktora öğrenimi sürdüren S.D. aynı zamanda araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0002-7374-0160>

Yayınlar:

1. Gülser, C., Candemir, F., Kanel, Y., & Demirkaya, S. (2015). Effect of manure on organic carbon content and fractal dimensions of aggregates. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(1), 1-5.
2. Demirkaya, S., & Gülser, C. (2018). The potassium fixation capacities of different textural soils. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Journal of Agricultural Sciences*, 28(Special Issue), 169-175.
3. Karaca, S., Dengiz, O., Turan, İ. D., Özkan, B., Dedeoğlu, M., Gülser, F., Demirkaya, S., Ay, A. (2021). An assessment of pasture soils quality based on multi-indicator weighting approaches in semi-arid ecosystem. *Ecological Indicators*, 121, 107001.
4. Dengiz, O., & Demirkaya, S. (2022). Estimation and spatial distribution of some soil erodibility parameters in soils of Ilgaz National Park. *Eurasian Journal of Soil Science*, 11(1), 1-9.
5. Ay, A., Demirkaya, S., Kızılkaya, R., & Gülser, C. (2022). The effects of two Fe-EDDHA chelated fertilizers on dry matter production and Fe uptake of tomato seedlings and Fe forms of a calcareous soil. *Eurasian Journal of Soil Science*, 11(3), 259-265.
6. Demirkaya, S., & Öztürk, E. (2022). Buğdayda verim ve verim parametrelerine toprak özelliklerinin etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 10(2), 159-164.
7. Yıldız, B., Tütüncü, A. Ç., Demirkaya, S., Özer, H., & Uğur, A. (2023). The Effects of Different Growing Media and Humic Acid Applications on the Growth of Tomato Plants. *Horticultural Studies*, 40(2), 43-48.
8. Demirkaya, S., & Gülser, C. (2023). Asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının kaba bünyeli bir toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içeriğine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 11(1), 47-53. <https://doi.org/10.33409/tbbbd.1298431>
9. Zehra, Ş. A., Tütüncü, A. Ç., Demirkaya, S., & Özer, H. (2023). Organik ve Konvansiyonel Fide Yetiştiriciliğinin Domates Fidelerinin Kalitesi Üzerine Etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 38(3), 555-564.

10. Saygın, F., Şavşatlı, Y., Dengiz, O., Namlı, A., Karataş, A., Şenol, N. D., & Demirkaya, S. (2023). Soil quality assessment based on hybrid computational approach with spatial multi-criteria analysis and geographical information system for sustainable tea cultivation. *The Journal of Agricultural Science*, 161(2), 187-204.
11. Demirkaya, S., Gülser, C., & Ay, A. (2021). The effect of iron enriched acidified and non-acidified biochars on DTPA extractable iron content of a calcareous soil. In *Int. Symposium on" Soil Sci. Plant Nutr* (pp. 197-201).
12. Demirkaya, S., & Gülser, C. (2023, September). The Effect Of Acidified Biochar Applicatons On Some Macro-Element Contents Of A Calcareous Soil. In *Proceedings Of V. International Agricultural, Biological, Life Science Conference Agbiol 2023* (P. 1069).
13. Gülser, C., Kara, N., Demirkaya, S., Cansız, G., Azami, M., Özen, S., (2019). Effects of some agricultural residues on soil mechanical properties. *10th International Soil Congress, Successful Transformation toward Land Degradation Neutrality: Future Perspective*, 17-19 June Ankara TURKEY. Pages 184-189. Pages 352-356.
14. Gülser, C., Dengiz, O., Kızılkaya, R., Demirkaya, S., Ay, A., Gökçe, C., (2019). Organic matter distribution in aggregate fractions and affecting soil structural parameters. *10th International Soil Congress, Successful Transformation toward Land Degradation Neutrality: Future Perspective*, 17-19 June Ankara TURKEY. Pages 184-189.