T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİTKİ KORUMA ANABİLİM DALI

TUZ STRESİ ALTINDA YETİŞTİRİLEN BİBER (*Capsicum annuum* L)'DE ARBUSKÜLER MİKORHİZAL FUNGUS (AMF) VE BİYOÇARIN *Verticillium dahliae* KLEB.'YE VE BİTKİ GELİŞİMİNE ETKİSİ

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: Hasret GÜNEŞ
DANIŞMAN: Prof. Dr. Semra DEMİR

VAN-2022

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİTKİ KORUMA ANABİLİM DALI

TUZ STRESİ ALTINDA YETİŞTİRİLEN BİBER (*Capsicum annuum* L)'DE ARBUSKÜLER MİKORHİZAL FUNGUS (AMF) VE BİYOÇARIN *Verticillium dahliae* KLEB.'YE VE BİTKİ GELİŞİMİNE ETKİSİ

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: Hasret GÜNEŞ

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FDK-2020-8903 No'lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Bitki Koruma Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Semra DEMİR danışmanlığında, Hasret GÜNEŞ tarafından sunulan "Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Biber (*Capsicum annuum* L)'de Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) ve Biyoçarın *Verticillium dahliae* Kleb.'ye ve Bitki Gelişimine Etkisi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 17/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Semra DEMİR	İmza:
Üye: Prof. Dr. Pervin KINAY TEKSÜR	İmza:
Üye: Doç. Dr. Çeknas ERDİNÇ	İmza:
Üye: Doç. Dr. Emre DEMİRER DURAK	İmza:
Üye: Doç. Dr. M.Hadi AYDIN	İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …./..../….. tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

……..……..

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hasret GÜNEŞ

ÖZET

TUZ STRESİ ALTINDA YETİŞTİRİLEN BİBER (*Capsicum annuum* L.)'DE ARBUSKÜLER MİKORHİZAL FUNGUS (AMF) VE BİYOÇARIN *Verticillium dahliae* KLEB.'YE VE BİTKİ GELİŞİMİNE ETKİSİ

GÜNEŞ, Hasret
Doktora Tezi, Bitki Koruma Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Semra DEMİR
Haziran 2022, 171 sayfa

Bu çalışmada, biber (*Capsicum annuum* L.) yetiştiriciliğinde üretimi sınırlandıran *Verticillium dahliae* (Vd) ve tuz stresi faktörlerine karşı Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) ve biyoçar (Bç) uygulamalarının bitki gelişim özellikleri, tuz stresi ve hastalık şiddetine etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında, farklı tuz konsantrasyonlarında (50 mM, 100 mM, 150 mM) yetiştirilen biber bitkisine %2 ve %4'lük biyoçar ve AMF (*Funneliformis mosseae* ve ticari AMF) uygulaması yapılarak, en etkili AMF türü ve biyoçar dozu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre %2'lik biyoçar oranının ve *F. mosseae* AMF türünün uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise uygun Bç dozu ve AMF inokulumun farklı tuz konsantrasyonlarında yetiştirilen biberde Vd'nin hastalık şiddetine, bitki gelişimine ve bazı enzim aktivitelerine etkisi araştırılmıştır. Bu çerçeve de Fm ve %2 Bç interaksiyonunun bitkinin morfolojik parametrelerine, K, Mg ve Mn içeriğine olumlu katkılarının olduğu, tuz ve Vd'ye karşı bitkiyi tolere ettiği belirlenmiştir. Bazı morfolojik parametreler, toprak pH'sı, toplam fenolik madde ve Ca/Na oranı açısından Bç'nin etkili olduğu belirlenmiştir. Vd ve tuz stresinde Fm + Bç'nin bulunduğu uygulamalarda en yüksek AMF spor yoğunluğu sırasıyla 13.00 ve 9.66 spor/g toprak ile Fm ve Fm+ Bç + 150 mM uygulamalarında belirlenirken kök kolonizasyon oranı ise sırasıyla %92.10 ve %64.91 ile Fm ve Fm + 100 mM uygulamalarında elde edilmiştir. Gövde ve yeşil aksamda oluşan hastalık şiddetleri açısından en yüksek değerler %100 oranında Vd + 150 mM ve Bç+150 mM+Vd uygulamalarında olduğu belirlenirken en düşük değerlerin sırasıyla %11.06 ve %9.68 oranları ile Fm + Vd uygulamasında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Arbusküler mikorhizal funguslar (AMF), Biber (*Capsicum annuum* L.), Biyoçar, Tuz stresi, *Verticillium dahliae*.

ABSTRACT

EFFECTS OF ARBUSCULAR MICORHIZAL FUNGUS (AMF) AND BIOCHAR ON *Verticillium dahliae* KLEB. and PLANT GROWTH IN PEPPER (*Capsicum annuum* L) UNDER SALT STRESS CONDITION

GÜNEŞ, Hasret
Ph.D. Thesis, Department of Plant Protection
Supervisor: Prof. Dr. Semra DEMİR
June 2022, 171 pages

In this study, the effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungus (AMF) and biochar (Bç) treatments on pepper plant growth characteristics and *Verticillium dahliae* (Vd) disease severity under salt stress condition were investigated. In the first experiment, biochar different ratios (2% and 4%) as well as AMF inoculum (*Funneliformis mosseae* (Fm) and ERS commercial AMF inoculum) were applied at different salt concentrations (50 mM, 100 mM, 150 mM) to determine the suitable treatments (AMF type and biochar concentration). Results showed that 2% biochar ratio and *F. mosseae* were suitable. In the second experiment, the effects of fungal plant pathogen (Vd) on disease severity, plant growth, and some enzyme activities were investigated at different salt concentrations by using the suitable biochar concentration and AMF inoculum. Results showed that the combination of Fm and 2% Bç treatments had positive effects on plant tolerance against salt and fungal plant pathogen (Vd) stresses and also increased the growth parameters as well as K, Mg, and Mn content. It was also determined that Bç had signifgicant effects on some growth parameters, soil pH, total phenolic substance, and Ca/Na ratio. The highest AMF spore density under fungal pathogen (Vd) and salt stress conditions, was observed in Fm and Fm+ Bç + 150 mM treatments with 13 and 9.66 spores g soil-1, respectively. Also, the highest root colonization rates were obtained in Fm and Fm + 100 mM treatments with 92% and 64%, respectively. The highest values of disease severity index in the foliar parts were determined in 100% Vd + 150 mM salt and Bç + 150 mM + Vd treatments with, respectively. On the other hand, the lowest disease severity index values were found in Fm + Vd treatments with 11.06% and 9.68% rates, respectively.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), Biochar, *Capsicum annuum*, Salt stress, *Verticillium dahliae.*

ÖN SÖZ

Biber, tüm dünyada hem açık hem de örtü altı yetiştiriciliğinin yapıldığı sebzelerden biridir. Biber yetiştiriciliğinde biyotik (*V. dahliae, Fusarium oxysporum*, vb.) ve abiyotik (tuz, su, ağır metal vb.) stres faktörleri, bitki gelişimini, üretimini ve verimini olumsuz yönde etkileyen sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sorunların çözümüne yönelik bilinçsizce kullanılan bazı kimyasallar, doğal dengenin bozulmasına ve çevre kirliliğine sebep olmuştur. Bu nedenlerden dolayı son zamanlarda sürdürülebilir tarımın, toprak yapısını düzenlemede, birçok stres faktöründe, insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumlu etkisi farkındalık oluşturmuştur. Sürdürülebilir tarımın alternatif yöntemleri arasında yer alan, Arbusküler Mikorhizal Funguslar (AMF) ve biyoçarın (biyo atık) bitki gelişimi ve bitki savunma mekanizmalarına katkılarından dolayı oldukça önemli roller üstlenmektedirler.

Yukarıda sözü edilen olgulardan yola çıkarak çalışmamızda tuz stresi ve *V. dahliae* toprak patojeni gibi mücadelesi zor biyotik-abiyotik stres faktörlerine karşı AMF ve biyoçarın alternatif yöntemler olarak yeni bir ivme kazandırılması hedeflenmiştir.

Yükseköğrenim eğitimimin başından beri danışmanlığımı üstlenen, her zaman yol gösterip destek olan ve akademik hayatım boyunca örnek almaya devam edeceğim hocam Sayın Prof. Dr. Semra DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitesinde ve tez jürimde yer alan, doktora eğitimime başladığım ilk günden itibaren her zaman desteğini üzerimde hissettiğim hocalarım Sayın Doç. Dr. Emre DEMİRER DURAK ve Sayın Doç. Dr. Çeknas ERDİNÇ'e, bilgi ve yol göstericiliği ile desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, istatistik analizlerimde yardımcı olan hocam Sayın Prof. Dr. Abdullah YEŞİLOVA'ya çok teşekkür ederim.

Doktora çalışma analizlerimde bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan Dr. Öğr. Gör. Selma BİTİK'e çalışmamın çeşitli aşamalarında katkıları olan edebiyat öğretmeni Aziz ÖFGELİ'ye, sabahtan geç saatlere kadar laboratuvarda fedakârca çalışmalarıma yardım eden, beni yalnız bırakmayan değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Gökhan BOYNO, Necmettin TENİZ, Öğr. Gör. Muhsin YILDIZ, Ahmet MELİK, Mensur KAYA, Dr. Esra KINA, Suat CUN, Gülistan GENLİ, Zilan OKTAY, Orhan KAPAN, lisans öğrencileri Rujin BARINÇ, Hatice ÖZHAN, Fırat KAYCI, Oktay CALAYIR ve Ferhat YOLAKOÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca varlıklarıyla bana her zaman güç veren, kararlarımın arkasında duran ailemin her bir bireyine, sevgili annem Zeynep ve babam Mustafa GÜNEŞ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma materyallerini oluşturan ERS (Endo Roots Soluble) ticari isimli AMF inokulumunun temin edilmesinde desteğini esirgemeyen Bioglobal Ltd. Şirketi'ne, biyoçar organik materyalin temininde Tek Karbonlu Mangal Kömür Üretim A.Ş.' ye teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı FDK-2020-8903 No'lu proje olarak destekleyen Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca 100/2000 Doktora Bursu için Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK)'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

2022

Hasret GÜNEŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖN SÖZ v
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELER LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xv
SİMGELER VE KISALTMALAR xxi
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ 17
2.1. Biberde *Verticillium* Solgunluğunun Etkileri 17
2.2. Biberde Tuz Stresinin Etkileri 19
2.3. Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) 21
2.4. Biyoçar 23
2.5. Tuz Stresi ve *Verticillium* Solgunluğu İnteraksiyonu 26
2.6. Arbusküler Mikorhizal Fungusların (AMF) *Verticillium* Solgunluğuna Etkisi 27
2.7. Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF)'ların Tuz Stresine Etkileri 29
2.8. *Verticillium* Solgunluğuna Biyoçarın Etkisi 32
2.9. Tuz Stresine Biyoçarın Etkisi 34
2.10. Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) ve Biyoçar İnteraksiyonu 35
3. MATERYAL VE YÖNTEM 39
3.1. Materyal 39
3.1.1. Bitkisel materyal 39
3.1.2. *Verticillium dahliae* 39
3.1.3. Besi ortamı 39
3.1.4. Tuz konsantrasyonları 40
3.1.5. Arbusküler mikorhizal fungus (AMF) 40
3.1.6. Biyoçar 40
3.1.7. Bitki yetiştirme ortamı 41
3.1.8. Besin solüsyonunun özellikleri 41

Sayfa

3.2. Yöntem....41
3.2.1. Farklı tuz konsantrasyonlarında bitki gelişimi için uygun biyoçar oranı ve AMF türünün tespit edilmesi....42
3.2.1.1. Fide yetiştiriciliği ve AMF inokulasyonu....44
3.2.1.2. Biyoçar uygulaması....45
3.2.1.3. Tuz konsantrasyonlarının uygulanması....46
3.2.2. Biyoçar oranı ve AMF türünü belirlemede kullanılan parametreler....47
3.2.2.1. 0-5 skalası....47
3.2.2.2. Yaprak sayısı ve yaprak alanının belirlenmesi....48
3.2.2.3. Sürgün boyu, kök uzunluğu ve sürgün çapının ölçülmesi....48
3.2.2.4. Yeşil aksamın yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi....49
3.2.2.5. Klorofil miktarının belirlenmesi....49
3.2.2.6. Yaprak oransal su içeriğinin (YOSİ) belirlenmesi....50
3.2.2.7. Membran zararlanma indeksi-MZİ belirlenmesi....51
3.2.2.8. Fosfor analizi....52
3.2.2.9. AMF kök kolonizasyonunun belirlenmesi....53
3.2.2.10. Toprakta AMF spor yoğunluğunun belirlenmesi....54
3.2.2.11. Mikorhizal bağımlılığın belirlenmesi....55
3.2.2.12. pH ve EC Analizi....56
3.3. Farklı Tuz Konsantrasyonlarında *V. dahliae* İnokule Edilen Biber Bitkisinde AMF ve Biyoçarın Etkisinin Belirlenmesi....57
3.3.1. Tohum ekimi....58
3.3.2. Biyoçar (%2) uygulaması....59
3.3.3. *V. dahliae*'nın bitkiye uygulanması....60
3.3.4. Tuz konsantrasyonlarının uygulanması....61
3.3.5. *F.mosseae* ile %2'lik biyoçar oranının *V. dahliae* patojenine ve tuz stresine etkisinin belirlenmesinde kullanılan parametreler....62
3.3.5.1. Tuz stresi etkilerinin subjektif olarak belirlendiği 0-5 skalası....62
3.3.5.2. *V.dahliae* hastalık şiddetinin değerlendirilmesi....63
3.3.5.3. Yaprak sayısı ve yaprak alanının belirlenmesi....64
3.3.5.4. Sürgün boyu, kök uzunluğu ve sürgün çapının ölçülmesi....65
3.3.5.5. Yeşil aksamın yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi....65

Sayfa

3.3.5.6. Klorofil miktarının belirlenmesi....66
3.3.5.7. Yaprak oransal su içeriğinin (YOSİ) belirlenmesi....66
3.3.5.8. Membran zararlanma indeksi-MZİ belirlenmesi....67
3.3.5.9. *V.dahliae'*da re-izolasyon....68
3.3.5.10. Yaprakta mineral madde içerik analizi (P, K, Ca, Na, Fe, Cu, Mn, Zn, Mg)....69
3.3.5.11. AMF'nin kök kolonizasyonunun belirlenmesi....70
3.3.5.12. Toprakta AMF spor yoğunluğunun belirlenmesi....71
3.3.5.13. Mikorhizal bağımlılığın belirlenmesi....71
3.3.5.14. Toprak analizleri....72
3.3.6. Fizyolojik analizler....73
3.3.6.1. Katalaz (CAT) enzim aktivitesinin belirlenmesi....73
3.3.6.2. Yaprakta toplam fenol içeriği ve toplam antioksidan kapasitesi analizi....75
3.4. İstatistik Analizi....76
4. BULGULAR VE TARTIŞMA....77
4.1. Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Biberde (*Capsicum annuum* L) Etkili AMF İnokulumu ve Biyoçar Oranının Tespit Edilmesi....77
4.1.1. Morfolojik gelişim parametreleri....77
4.1.2. Toprak pH'sı ve EC değerleri....85
4.1.3. AMF gelişim parametreleri....87
4.1.4. Membran zararlanma indeksi (MZİ), yaprak oransal su içeriği (YOSİ) ve fosfor (P) miktarı....90
4.1.5. Tuz skalası (0-5) değeri....93
4.2. In Vitro Koşullarda AMF ve Biyoçar Uygulamalarının Biberde Tuz Stresi Şartlarında *Verticillium dahliae* Hastalık Etmenine Karşı Etkilerinin Belirlenmesi....94
4.2.1. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının biberde morfolojik gelişim parametrelerine etkisi....94
4.2.2. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının biber bitkilerinin yetiştirme ortamındaki toprak pH'sı ve toprak tuzluluğuna (EC) etkisi....101

Sayfa

4.2.3. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının AMF gelişim parametrelerine (kolonizasyon, toprak spor yoğunluğu ve mikorhizal bağımlılık) etkisi.....104
4.2.4. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının membran zararlanma indeksi (MZİ) ve yaprak oransal su içeriğine (YOSİ)'ne etkisi.....108
4.2.5. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının makro ve mikro besin elementi içeriğine etkisi.....111
4.2.6. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının toplam fenolik madde, toplam antioksidan içeriği ve CAT enzim aktivitesine etkisi.....122
4.2.7. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının hastalık şiddetine etkisi...128
4.2.8. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının tuz stresi üzerine etkisinin görsel olarak belirlenmesi (0-5 skalası).....132
4.3. Korelasyon, Temel bileşenler (PCA) ve Kümeleme (Cluster) Analizleri 134
5. SONUÇ 145
KAYNAKLAR.....149
ÖZ GEÇMİŞ.....171

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Toprak tuz düzeylerine göre bitkilerin duyarlılıkları 7

Çizelge 3.1. Verticillium dahliae izolatı besi yeri olarak kullanılan PDA ortamı için gerekli kimyasallar ve miktarları.....39

Çizelge 3.2. *Verticillium dahiae* izolatı besi yeri olarak kullanılan su agarı ortamı için gerekli kimyasallar ve miktarları.....40

Çizelge 3.3. Denemede kullanılan biyoçarın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....40

Çizelge 3.4. Denemede kullanılan besin solüsyonu içeriği (g/l) hoagland çözeltisi.....41

Çizelge 3.5. Çalışmanın ilk aşamasında yer alan uygulamalar 43

Çizelge 3.6. Toprak örneği analiz sonuçları.....44

Çizelge 3.7. Çalışmanın ikinci aşamasında yer alan uygulamalar 57

Çizelge 3.7. Çalışmanın ikinci aşamasında yer alan uygulamalar (devam).....58

Çizelge 4.1. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının sürgün boyuna (cm) etkisi 78

Çizelge 4.2. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının yaprak sayısına (adet/bitki) etkisi 78

Çizelge 4.3. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının sürgün çapına (mm) etkisi 79

Çizelge 4.4. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının kök uzunluğuna (cm) etkisi 79

Çizelge 4.5. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının yaş ağırlığa (g) etkisi 80

Çizelge 4.6. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının kuru ağırlığa (g) etkisi 80

Çizelge 4.7. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının yaprak alanına (cm^2) etkisi 81

Çizelge 4.8. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının klorofile (SPAD) etkisi.....81

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.9. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının toprakta EC'ye (dSm^{-1}) etkisi 85

Çizelge 4.10. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının toprakta pH'a (mS/cm) etkisi 86

Çizelge 4.11. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının toprak spor yoğunluğuna (spor/g toprak) etkisi.....88

Çizelge 4.12. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının kök kolonizasyonuna (%) etkisi.....88

Çizelge 4.13. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının mikorhizal bağımlılık oranına (%) etkisi.....89

Çizelge 4.14. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının MZİ'ye (%) etkisi 91

Çizelge 4.15. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının YOSİ'ye (%) etkisi 91

Çizelge 4.16. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının fosfor miktarına (ppm) etkisi 92

Çizelge 4.17. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde (*Capsicum annuum* L) AMF ve biyoçar uygulamalarının 0-5 skalasına etkisi.....93

Çizelge 4.18. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaprak sayısı (adet/bitki), kök uzunluğu (cm), sürgün boyu (cm) ve sürgün çapına (mm)etkisi 95

Çizelge 4.19. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaş ağırlık (g), kuru ağırlık (g), klorofil (SPAD) ve yaprak alanına (cm^2) etkisi.....99

Çizelge 4.20. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde (*Capsicum annuum* L) AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının toprak pH (mS/cm) ve toprak EC'ye (dSm^{-1}) etkisi.....102

Çizelge 4.21. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının kök kolonizasyonuna (%), toprak spor yoğunluğuna (spor/g toprak) ve mikorhizal bağımlılık oranına (%) etkisi.....104

Çizelge 4.22. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının MZİ (%) ve YOSİ'ye (%) etkisi 109

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.23. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaprakta fosfor (ppm), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) mineral maddelerine etkisi.....112

Çizelge 4.24. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaprakta çinko (Zn), bakır (Cu), mangan (Mn) ve demir (Fe) mineral maddelerine etkisi 116

Çizelge 4.25. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının sodyum (Na), K / Na oranı ve Ca / Na oranın mineral maddelerine etkisi 119

Çizelge 4.26. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde (*Capsicum annuum* L) AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının toplam fenolik madde, toplam antioksidan ve CAT enzim analizine etkisi 123

Çizelge 4.27. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının gövde kesiti ile yeşil aksama göre hastalık şiddeti oranlarına ve hastalığı baskılama oranına etkisi.....128

Çizelge 4.28. Özellikler arasındaki korelasyon katsayıları.....136

Çizelge 4.28. Özellikler arasındaki korelasyon katsayıları (devam) 137

Çizelge 4.28. Özellikler arasındaki korelasyon katsayıları (devam) 138

Çizelge 4.29. Çalışmada incelenen özelliklere göre gerçekleştirilen PCA analizi 139

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Biber gelişim aşamaları ve sıcaklığın fitokimyasallar üzerine etkisi (Pola ve ark., 2020). 2

Şekil 1.2. Verticillium dahliae'nın gelişimi ve hastalık döngüsü a-e. aseksüel gelişim, g-i. hastalık döngüsü (Klimes ve ark., 2015). 5

Şekil 1.3. AMF'ın yaşam döngüsü (Bücking ve ark., 2012). 10

Şekil 1.4. Biyoçarın üretimi (WinklerPrins, 2014). 12

Şekil 1.5. Biyoçar ve AMF'nin toprakta simbiyotik ilişkisi (Gujre ve ark., 2021). 14

Şekil 3.1. Biber tohum ekimi ve çimlenmesi a. 2:1 oranında torf-perlit karışımı, b. tohum ekimi, c. tohumların ilk çıkışları. 42

Şekil 3.2. Deneme toprağının hazırlanması a. toprak örneğinin hazırlanması, b. toprağın 2 mm'lik elekten geçirilmesi, c. toprak örneklerinin otoklavda dezenfeksiyonu. 44

Şekil 3.3. AMF uygulaması ve fide şaşırtması a. tohum ekiminden önce bırakılan AMF, b. biber fidelerinin 4 haftalık gelişimi, c. fidelerin şaşırtmadan önceki son görünümü. 45

Şekil 3.4. Toprağın tartılması ve biyoçarın karıştırılması. 45

Şekil 3.5. a. Biber fidelerinin şaşırtma işlemi, b. denemenin kurulması, c. fidelere hoagland solüsyonu uygulaması. 46

Şekil 3.6. Tuz uygulaması a. ve b. tuz konsantrasyonun hazırlanması, c. fidelere tuz uygulaması. 46

Şekil 3.7. Çalışmanın birinci aşamasından genel görünüm. 47

Şekil 3.8. Yaprak alan ölçümü 48

Şekil 3.9. a. Bitki köklerinin temizlenmesi, b. sürgün boyu ve kök uzunluğunun ölçülmesi, c. sürgün çapının kumpas ile ölçümü. 49

Şekil 3.10. a. - b. yeşil aksamın yaş ağırlığının belirlenmesi, c. - d. kuru ağırlığının belirlenmesi. 49

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.11. Yaprakta klorofil miktarının belirlenmesi. 50

Şekil 3.12. a. Yaprağın ilk ağırlığı, b. yaprakların 4 saat saf suda bekletilmesi, c. yaprakların kurutma kağıdında fazla suyunun alınması, d. yaprakların son olarak yaş ağırlığının alınması. 51

Şekil 3.13. a. - b. Yaprakların bir disk yardımıyla çıkarılması, c. yaprakların saf su içerisinde 4 saat bekletilmesi, d. yaprakların 100 ºC de 10 dk bekletilmesi, e. EC değeri ölçümü. 52

Şekil 3.14.Öğütme, ön yakma ve ısıtma işlemleri. 52

Şekil 3.15. Süzüklerin elde edilmesi ve okuma işlemi. 53

Şekil 3.16. AMF kök boyama işlemi a. Toprak parçacıklarından temizlenen bitki kökleri, b. bitkilerin kök bölgelerinden alınan 1-0.5 g parça, c. köklerin laktofenol mavisi ile boyanması, d. köklerin 1 cm^2'lik alanlara ayrılmış petri kabında homojen bir şekilde dağılımı. 54

Şekil 3.17. Topraktaki AMF spor yoğunun belirlenmesi a. - b. rhizosfer bölgesinden alınan toprak örneği, c. toprak örneğinin 10 g tartılarak 100 ml steril saf su bulunduran beher glass içine aktarılması, d. örneğin 80 µm ve 45 µm'luk elekten geçirilmesi, e. örneğin spor tüplerine konulması. 55

Şekil 3.18. pH için toprak su karışımı. 56

Şekil 3.19. EC için toprak su karışımı. 56

Şekil 3.20. a. Tohum ekiminden sonra ilk tohum çıkışları, b. biber fidelerinin 4 haftalık gelişimi. 59

Şekil 3.21. Toprağın ve biyoçarın karışımı. 59

Şekil 3.22. İnokulasyon işleminden önce *V.dahliae* çözeltisinin hazırlanması a. – b. *V.dahliae* izolatının PDA ortamında çoğaltılması, c. *V.dahliae* süspansiyonu. 60

Şekil 3.23. Hazırlanan süspansiyonun testleme öncesi Thoma lamından görüntüsü. 61

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.24. *V.dahliae'*nın biber fidelerine uygulanması a. şaşırtma öncesi *V.dahliae* uygulanacak fide köklerinin tıraşlanması, b. biber fidelerinin 5 dakika süreyle *V.dahliae* solüsyonunda bekletilmesi, c. *V.dahliae* uygulaması yapılan biber fideleri. 61

Şekil 3.25. a. - b. Tuz konsantrasyonun hazırlanması, c. - d. fidelere tuz uygulaması. ..62

Şekil 3.26. Çalışmanın ikinci aşamasından genel görünüm. 62

Şekil 3.27. Yaprak alan ölçümü.....64

Şekil 3.28. a. Bitki kök boğazından sürgün çap (mm) ölçümü, b. sürgün boy ölçümü, c. kök uzunluğu ölçümü. 65

Şekil 3.29. a. Hasat edilecek bitkiden genel görünüm, b. örnek bitkinin yıkama aşaması, c. yeşil aksamın yaş ağırlık ölçümü, d. yaş ağırlığı alınan bitki örnekleri. 65

Şekil 3.30. Yeşil aksamın kuru ağırlığının belirlenmesi ve tartımı. 66

Şekil 3.31. Yaprakta klorofil miktarının belirlenmesi. 66

Şekil 3.32. a. Yaprağın ilk ağırlığı, b. yaprakların 4 saat saf suda bekletilmesi, c. yaprakların kurutma kağıdında fazla suyun alınması. 67

Şekil 3.33. a. Yaprakların bir disk yardımıyla çıkarılması, b. yaprakların saf su içerisinde 4 saat bekletilmesi, c. – d. EC değeri ölçümü, e. yaprakların 100 ºC de 10 dk bekletilmesi. 68

Şekil 3.34. a. Hastalıklı bitki örneklerinin yüzey sterilizasyonu, b. Bç + 150 + Vd uygulamadan alınan örnekler, c. Vd uygulamasından alınan örneklerin küçük parçalara ayrılması, d. hastalıklı bitki örneklerinin PDA ortamına ekimi. 69

Şekil 3.35. a. Biber yapraklarının kurutulması, b. örneklerin öğütülmesi, c. kül fırından çıkarılan örneklere HCI asit eklenmesi d. süzüklerin hazırlanması e. ve f. hazırlanan süzüklerin potasyum (K), kalsiyum (Ca), sodyum (Na), demir (Fe), bakır (Cu), mangan (Mn), çinko (Zn) ve magnezyum (Mg) besin içeriğinin okunması.....70

Şekil 3.36. a. – b. Mikorhizalı bitkinin kök bölgesinden genel görünüm, c. bitkilerin kök bölgelerinden alınan 0.5-1 g kök parçası, d. köklerin %10'luk KOH'da bekletilmesi. 71

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.37. a. Rhizosfer bölgesinden alınan toprak, b. toprak örneğinin 10 g tartılarak 100 ml steril saf su bulunan beher glass içinde karıştırılması, c. toprak örneklerinden genel görünüm. 71

Şekil 3.38. pH ve EC için toprak su karışımı. 72

Şekil 3.39. a. – b. Bitki örneklerinin tartılması, c. bitki örneklerinin buzda bekletilmesi d. bitki örneklerinin -80 ^{0}C buzdolabında bekletilmesi.....73

Şekil 3.40. a. CAT ekstraksiyon çözeltisi hazırlama, b. 1 gr bitki örneğine hazırlanan 5 ml ekstraksiyon çözeltisi ekleme, c. 50 ml'lik falcon tüplerinde bulunan ekstraksiyon + örneğin homojenize edilmesi, d. Falcon tüplerindeki örneklerin 1000 devirde +4 ^{0}C de 10 dk santrifüj edilmesi. 74

Şekil 3.41. a. Santrijüf sonrası oluşan şeffaf kısımın (süpernatant) 2 ml'lik ependorf tüplere aktarılması, b. örneklerin 2 ml'lik ependorf tüplerden görünüm, c. CAT örneklerinin spektrofotometre 240 nm'da okuması.....75

Şekil 3.42. a. Toplam fenol ve antioksidant örneklerine 5 ml metanol eklenmesi, b. homojenize edilmiş örneklerin 50 ml'lik falkon tüplerinden ve 2 ml'lik ependorf tüplerden görünüm. 76

Şekil 3.43. a. Toplam antioksidant örneklerinin okuması, b. toplam fenol okuması için örneklere sodyum karbonat eklenmesinden görünüm. 76

Şekil 4.1. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde farklı AMF türü ve biyoçar oranlarının gelişim parametrelerine etkisi. 83

Şekil 4.2. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğu. 90

Şekil 4.3. a. Skala 1: tuz stresinden hafif etkilenme, b. skala 2: alt yapraklarda solgunluk başlangıcı ve tuz stresinden etkilenme, c. skala 3:yapraklarda kıvrılma, solgunluk ve sararmalar, d. skala 4: yaprakların %51-80 düzeylerinde şiddetli solgunluk, sararma, yapraklarda nekroz ve kurumalar, e. bitkide %80 üzerinde geriye dönüşümsüz solma, yapraklarda kurumalar veya ölüm.....94

Şekil 4.4. Yaprak sayısı, kök uzunluğu, sürgün boy ve sürgün çap için uygulamaların box-plot veri dağılımı. 97

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.5. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının gelişim parametrelerine etkisinden görünüm. 98

Şekil 4.6. Yaş ağırlık, kuru ağırlık, klorofil ve yaprak alanı için uygulamaların box-plot veri dağılımı. 101

Şekil 4.7. Toprakta pH ve EC için uygulamaların box-plot veri dağılımı. 104

Şekil 4.8. Toprak spor yoğunluğu ve AMF kök kolonizasyon için uygulamaların box-plot veri dağılımı. 106

Şekil 4.9. Stereomikroskop altında AMF kök kolonizasyon spor yapılarından görünüm. 107

Şekil 4.10. Stereomikroskop altında topraktaki spor yapısından görünüm. 108

Şekil 4.11. MZİ ve YOSİ için uygulamaların box-plot veri dağılımı. 111

Şekil 4.12. Fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) elementi için uygulamaların box-plot veri dağılımı. 115

Şekil 4.13. Çinko (Zn), bakır (Cu), mangan (Mn) ve demir (Fe) elementi için uygulamaların box-plot veri dağılımı. 118

Şekil 4.14. Na, K/Na ve Ca/Na elementi için uygulamaların box-plot veri dağılımı....122

Şekil 4.15. Toplam fenol, toplam antioksidan ve CAT enzimi için uygulamaların box-plot veri dağılımı. 127

Şekil 4.16. *V.dahliae* hastalık şiddetinin 0-5 skalasından (gövde kesiti) görünüm.....130

Şekil 4.17. *V.dahliae* hastalık şiddetinin 0-4 skalasından (yeşil aksam) görünüm. 131

Şekil 4.18. *V.dahliae* patojeninin biber bitkisindeki re-izolasyonu.....131

Şekil 4.19. 0-5 tuz skalası için uyum (Correspondence) analizi. 132

Şekil 4.20. a. Skala 1: Tuz stresinden hafif etkilenme, b. skala 2: Alt yapraklarda solgunluk başlangıcı ve tuz stresinden etkilenme, c. skala 3:Yapraklarda kıvrılma, solgunluk ve sararmalar, d. skala 4: Yaprakların %51-80 düzeylerinde şiddetli solgunluk, sararma, yapraklarda nekroz ve kurumalar, e. Bitkide %80 üzerinde geriye dönüşümsüz solma, yapraklarda kurumalar veya ölüm. 133

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.21. Tuz stresi etkilerinin yapraktan 0-5 skalası görünümü. 134

Şekil 4.22. Çalışmada incelenen özelliklerin PCA grafiği üzerinde dağılımı. 141

Şekil 4.23. Uygulamaların iki boyutlu PCA grafiği üzerinde dağılımı. 142

Şekil 4.24. Uygulamalar arasındaki benzerliği belirlemede kümeleme analizi kullanılarak elde edilen dendogram. 143

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
^{o}C	Santigrat derece
Ca	Kalsiyum
cm	Santimetre
Cu	Bakır
da	Dekar
dk	Dakika
EC	Elektriksel iletkenlik
ERS	Endo Roots Soluble ticari isimli AMF
Fe	Demir
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
g	Gram
HCI	Hidroklorik Asit
K	Potasyum
kg	Kilogram
KOH	Potasyum Hidroksit
Mg	Magnezyum
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mM	Milimolar
Mn	Mangan
Na	Sodyum
NaCl	Sodyum Klorür
µm	Mikrometre
P	Fosfor
pH	Power Hidrojen
ppm	Milyonda bir

Simgeler	**Açıklama**
rpm	Dakikadaki devir sayısı
TPTZ 2.4.6	Tri (2-prdidyl)-s-triazin
Zn	Çinko

Kısaltmalar	**Açıklama**
AFA	Alkol / Formaldehit / Asetik Asit Karışımı Sıvısı
AMF	Arbüsküler Mikorhizal Fungus
AMF (-)	AMF'siz Uygulamalar
Bç	Biyoçar
CAT	Katalaz Enzimi
EC	Elektriksel İletkenlik
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda Tarım Örgütü
Fm	*Funneliformis mosseae*
MZİ	Membran Zararlanma İndeksi
PCA	Temel Bileşenler Analizi
PDA	Patates Dekstroz Agar
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
Vd	*Verticillium dahliae*
YOSİ	Yaprak Oransal Su İçeriği

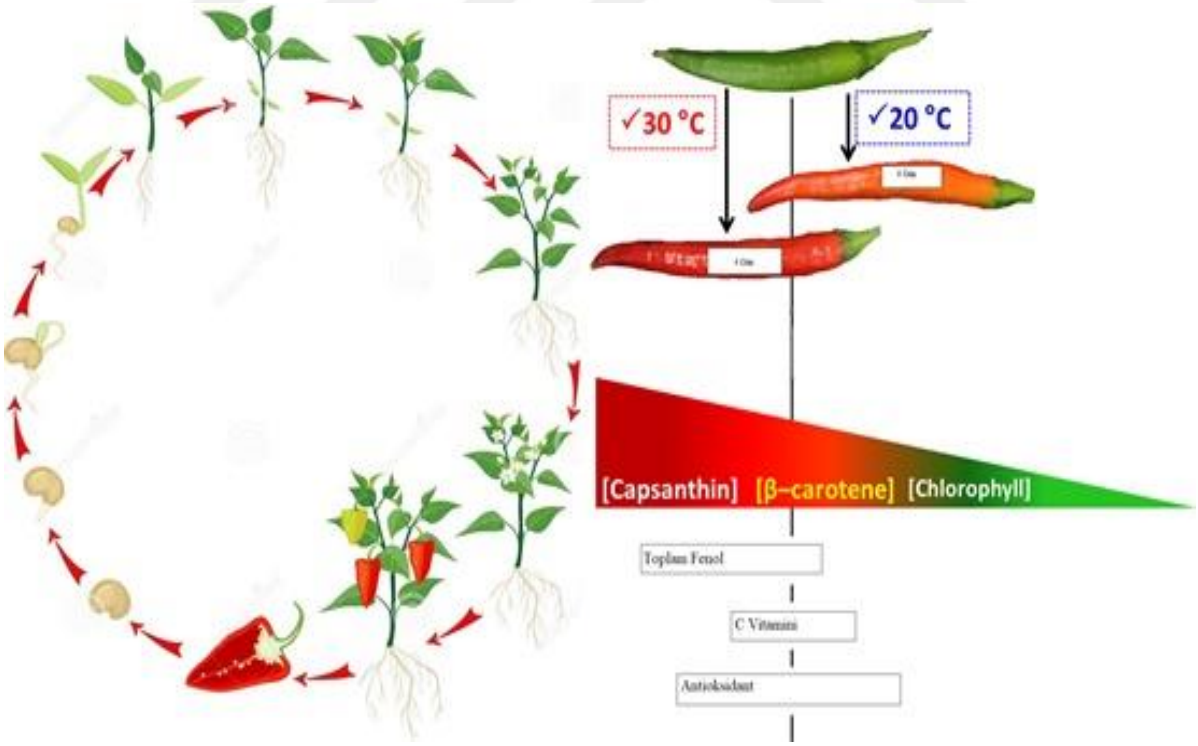
1. GİRİŞ

Biber (*Capsicum annuum* L.), tropik ve subtropik bölgelerde en çok yetiştirilen, Solanaceae familyasına ait bir sebze türüdür (Arisha ve ark., 2015; Okay, 2019). Renk, lezzet ve besin değeri kombinasyonu bakımından dünya çapında en popüler sebze grubu içerisinde yer almaktadır (Abidalrazzaq Musluh Al Rubaye ve ark., 2021). Biberin anavatanı Kuzey ve Güney Amerikadır (Verit ve ark., 2001; Ahmed, 2013). Dünya'nın birçok ülkesinde açık veya örtü altında yetiştirilerek ticareti yapılan ve çokça tüketilen tarım ürünlerinden biridir. Dünya çapında yıllık biber üretiminin yaklaşık 36.8 milyon ton olduğu bildirilmektedir (Faostat, 2020). Türkiye biber üretiminde uygun iklim koşulları sayesinde önemli ülkelerin başında gelmektedir. Ülkemizde yetiştirilip ihraç edilen yaş sebze ürünleri içerisinde gerek ekim alanı gerekse ihracat hacmi bakımından en önemli ürünlerden biridir (Bayram ve ark., 2019; Güvenç, 2020). Dünyada biber üretimi 2020 yılında toplam 36.136.996 ton olarak gerçekleşmiştir. Ülkeler bazında Çin 16.650.855 ton'luk üretimle birinci sırada yer alırken bunu sırasıyla: 2.818.443 tonla Meksika, 2.772.594 tonla Endonezya, 2.636.905 tonla Türkiye, İspanya ve diğer ülkeler takip etmektedir (Faostat, 2020). Türkiye'de toplam biber üretimi 3.091.295 ton olarak gerçekleşmiştir. İl düzeyinde biber üretim değerlerine bakıldığında Antalya (762.093 ton) 1. sırada yer almakta bunu Mersin (353.036 ton), Çanakkale (322.789 ton) ve Adana (183.825 ton) takip etmektedir (TUİK, 2021).

Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde biber yetiştiriciliği yapılmaktadır. Çoğunlukla Güney, Marmara ve Ege illerimizde yetiştirilen biber taze veya çeşitli şekillerde (salça, turşu, baharat ve kurutmalık) tüketilmektedir. Boya üretimi, kozmetik (saç dökülmesini önleyici), ilaç endüstrisi (artrit ağrıları, iltihaplanma, kanser ve nörolojik) dahil birçok alanda kullanılmaktadır (Canto-Flick ve ark., 2008; Akladious ve Mohamed., 2018; Güvenç, 2020). Sivri, kapya (yağlık), çarliston, dolmalık, turşuluk ve süs biberleri ülkemizde yetiştiriciliği yapılan en yaygın biber çeşitleridir (Özalp, 2010). Beslenme değeri bakımından önemli olan A, B, C ve E vitaminleri; çeşitli biber türlerinde yüksek konsantrasyonlardadır (Geleta ve Labuschagne, 2006).

Ilıman iklimde tek yıllık, sıcak iklimde birkaç yıllık olan biber, yetiştiriciliğinin ilk dönemlerinde daha fazla sıcaklığa ihtiyaç duyar (Yemiş ve Mazza, 2011). Soğuğa

karşı duyarlı olup 15–32 °C sıcaklık aralığında gelişim gösterir. Toprak isteği bakımından seçici olan biber, tınlı- kumlu, su tutma kapasitesi yüksek, mineral maddeler bakımından zengin, drene edilmiş, pH'ı 6.0 – 6.5 arasındaki toprak reaksiyonunda en iyi sonucu vermektedir (Alar, 2019). Biber bitkisinin kazık kökü 10-15 cm geliştikten sonra yan kökleri oluşmaya başlar. Yan köklerin kazık kökü baskılaması ve üzerinde bulunan kılcal kökler sayesinde orta derinlikte saçak kök oluşur. Normalde saçak kökler toprağın ilk 10-30 cm derinliğinde iken, tınlı ve kumlu toprak yapılarında bu derinlik 80-100 cm olabilmektedir (Şalk ve ark., 2008; Karaağaç ve ark., 2020). Biber bitkisinin gövdesi fide döneminde otsu iken geliştikçe yarı odunsu özellik kazanmaktadır. Dik durma özelliği olan gövdesi, kırılgan ve gevrek bir yapıya sahiptir. Yaprak rengi, yaprak şekli, meyve şekli, boğumlarda pigment oluşumu biberin çeşidine göre farklılıklar gösterir. Genellikle uzun, oval ve üzeri parlak olan yapraklarının rengi, açık yeşilden koyu yeşile kadar farklı tonlarda olabilmektedir. Biber bitkisinin tohumları sarımsı renkte, tüysüz, orta kısım basık kenarlar kalkık şeklindedir. Çimlenmesi yaklaşık 7 ile 14 gün içerisinde gerçekleşmektedir (Anonim, 2022) (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Biber gelişim aşamaları ve sıcaklığın fitokimyasallar üzerine etkisi (Pola ve ark., 2020).

Biber hem açıkta hem de örtü altı sebze yetiştiriciliğinde önemli yer tutan ve Dünya'da en fazla yetiştiriciliği yapılan sebze türüdür. Ancak biyotik - abiyotik stres koşullarında üretimi ve kalitesi ciddi şekilde düşen bir mahsuldür (Yu ve ark., 2021). Biber özellikle önemli abiyotik stres koşulları içerisinde yer alan toprak tuzluluğuna karşı tolerant olmayıp, orta derecede duyarlılık gösteren bir sebze türüdür (Yılmaz ve ark., 2004; Turkmen ve ark., 2008). Toprakta Na ve CI iyonları arttıkça K/Na ve Ca/Na oranı, enzim aktiviteleri ve hücre yapılarında zararlanmalara sebep olur (Yılmaz ve ark., 2004).

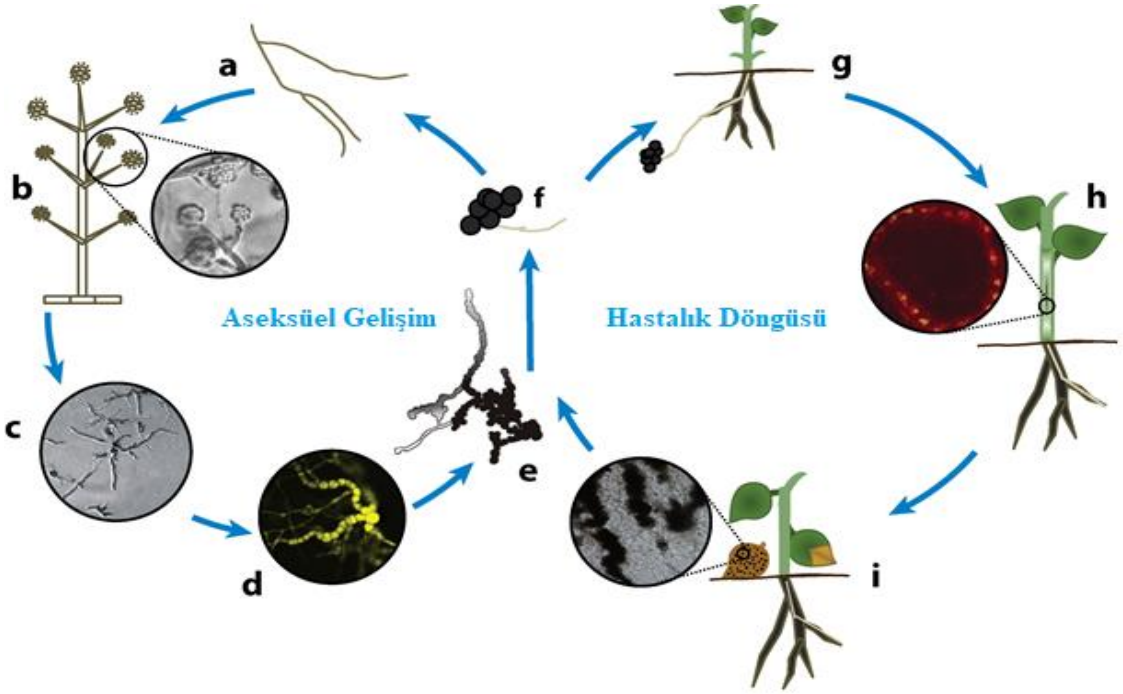
Biberin önemli ihracat ürünlerinden biri olmaya devam etmesi ve çeşitlilik açısından daha geniş bir yelpazede yer alması ülke ekonomisine önemli katkılar sağlamaktadır. Ülkemiz için önemli bir gelir kaynağı olan biberde ekonomik kayıplara yol açan hastalık, zararlı etmenler ve stres faktörleri ile mücadele de önemli bir konudur (Güvenç, 2020). Bitkilerde, fitopatolojik etmenler (fungus, bakteri, virüs) önemli derecede ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu etmenlerin başında ise fungal patojenler gelmektedir. Biberde özellikle de *Phytophthora capsici* başta olmak üzere *Fusarium* spp, *Rhizoctonia* spp, *Alternaria* spp, *Pythium* spp., *Penicillium* spp., *Sclerotinia sclerotiorum, Aspergillus flavus, Botrytis cinerea* ve *Verticillium dahliae* gibi patojenlerle karşılaşılmaktadır. Bu hastalıkların belirtileri arasında kök boğazı yanıklığı, çökerten, kök çürüklüğü, solgunluk ve meyve çürüklüğü önemli bir yer tutmaktadır (Costa ve ark., 2019; Gomes ve ark., 2021). Dünya'da %14 oranında fungal etmenlerden kaynaklı verim kaybı oluştuğundan bu patojenlerin mücadelesine yönelik birçok çalışma yürütülmektedir (Duran ve Özgenen, 2016).

Verticillium, on türü olan küçük bir Ascomycetes cinsine ait fungusdur. *Verticillium* türleri basit yapılı, dallanan, bölmeli ve çok çekirdekli hifin miselyumuna sahiptir. Konidiler oval ve etrafı uzun sarmal veya spiral şekilde düzenlenmiş fialitler ucunda oluşmaktadır. *Verticillium* cinsinin adı, konidiofor dalları ve fialitlerin " - vertisillat- " olarak düzenlemesinden gelir (Fahad ve ark., 2022). *Verticillium* türleri, bitkide iletim demetlerinin tıkanmasına neden olur. İletim borusu tıkanan bitkilerde, kökten alınan su ve çözünmüş minerallerin taşınımın engellenmesi nedeniyle ölüm gerçekleşir (Tjamos ve ark, 2000; Pegg ve Brady, 2002). Hastalık etmeni önce alt yapraklardan başlar. Enfekte olan bitkilerde fotosentez oluşumu azalırken, solunum artar. Dolayısıyla yapraklarda kurumalar başlar (Mert ve ark., 2005; Khaskheli ve ark., 2013).

Verticillium dahliae Kleb. dünyadaki birçok tek yıllık ya da çok yıllık kültür bitkilerinde vasküler renk ve solgunluğa neden olan geniş bir konukçu (domates, biber, patlıcan, pamuk, nane, krizantem, gonca vb.) dizisine sahiptir (Gayoso ve ark., 2007). *Verticillium* solgunluğu hem tarla hem de sera koşullarında biber yetiştiriciliğinde büyük verim ve kalite kayıplarına neden olan toprak kökenli fungal hastalıktır. Etmen, önce biber bitkisinin köküne giriş yapıp oradan vasküler dokulara geçer (Schnathorst, 1981). Ksilem dokuları fungus tarafından enfekte olunca biber içindeki su akışı azalır dolayısıyla yapraklarda su eksikliklerine ve fotosentetik oranların azalmasına neden olur (Adams ve ark., 1987). *V. dahliae* etmeni, biber bitkisinin iletim demetlerinde kahverengi ve kül grisi renginde lekeler, kimi yapraklarda ya da bitkinin tamamında sararma ve solma şeklinde kendisini göstermektedir. Biber bitkisi fide döneminde *V. dahliae* ile enfekte olduğunda, yaprak sapları uzun süre yeşilliğini muhafaza ederken yaprakların uç kısımları içe doğru kıvrılır, sararır ve bitki boyunda bodurlaşmalar gözlemlenir (Tyvaert ve ark., 2019).

Biber bitkisinin 15 °C, 20 °C ve 25°C ortam sıcaklığında *V. dahliae* ile patojenine enfekte olma olasığı daha yüksektir. *V. dahliae* patojeni düşük sıcaklıklardan olumsuz etkilenen biberin bünyesinde hızlı bir şekilde kolonize olabilmektedir. *Verticillium* solgunluğunun hastalık şiddeti ortam sıcaklığı ve bitki büyümesi ile yakından ilişkilidir (Vasileva ve ark., 2019).

Verticillium solgunluğu, özellikle sulak ve sıcak bölgelerde önemli bir problemdir. Bu fungal patojen, çok yıllık bitkilerde, vejetatif üreme organlarında ve bitki artıklarında misel ve mikrosklerot formunda kışı geçirmektedir. Kötü çevre koşullarında yaklaşık 14 yıl boyunca toprakta dormant olarak yaşayabilmektedir (Isaac, 1967; Çelik, 2018). Bu patojen ile mücadele oldukça zor ve pahalıdır. Toprakta yıllarca canlı kalabilirken, geleneksel fungisitlerin pek etkilememesi etkin ve ekonomik bir kimyasal mücadelesi bulunmadığının göstergesidir. Bu sebeple en doğru mücadele yöntemi dayanıklı çeşit kullanımı ve etkin tarım sistemlerinin kullanılmasıdır (Chen ve ark., 2016; Khrieba ve ark., 2019). *Verticillium dahliae*'nın gelişimi ve hastalık döngüsü Şekil 1.2'de verilmiştir (Klimes ve ark., 2015).



Şekil 1.2. *Verticillium dahliae*'nın gelişimi ve hastalık döngüsü a-e. aseksüel gelişim, g-i. hastalık döngüsü (Klimes ve ark., 2015).

Bitkiler yetiştirildikleri alanlarda büyümelerini ve metabolizmalarını sınırlayan çeşitli olumsuz çevre koşullarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle kullanılan yoğun kimyasallar, bilinçsiz tarım uygulamaları ve sulama şekilleri ile abiyotik stres faktörlerinin bitki gelişimi üzerinde olumsuz etkisinin artacağı bildirilmektedir (Abudureyimu ve Aksoy, 2019).

Abiyotik stres koşulları, bitkisel üretimin ana sınırlayıcı faktörleri arasında yer almaktadır (Mahajan ve Tuteja, 2005). Çevresel stres faktörleri arasında; yüksek rüzgarlar, aşırı sıcaklıklar, topraktaki yüksek tuz oranı, kuraklık ve sel bulunmaktadır. Kültür bitkilerinin tuza fazla duyarlı olmaları, yetiştirilen ürünün veriminde ve kalitesinde önemli düşüşlere yol açmaktadır. Bu nedenle tuzluluk; en yıkıcı abiyotik stres faktörleri arasında yer alır (Shahbaz ve Ashraf, 2013).

Tuz stresi, dünya çapında tarımsal üretimi kısıtlayan abiyotik stres faktörlerinden biridir (Abdelaal ve ark., 2020). Kurak ve yarı kurak bölgelerde bitkisel üretimi sınırlayan toprak tuzluluğu, topraktaki mineral yapısından kaynaklı önceden var olabildiği gibi (primer tuzluluk) sonradan doğal yollar ve insan faktörünün etkisiyle de oluşabilir (sekonder tuzluluk) (Acosta-Motos ve ark., 2020; Gomes ve ark., 2021). Dünya tarım

arazilerinin yaklaşık %22'si tuzludur. Dünyadaki kıtasal boyutun yaklaşık %7'sini, Venezuela gibi bir ülkenin büyüklüğünün yaklaşık 10 katını, hatta Hindistan'da yaklaşık 7 milyon hektarlık bir alanın tuzlu topraklarla kaplandığı tahmin edilmektedir (Shrivastava ve Kumar 2015; Akladious ve Mohamed., 2018). Tuzlu alanların oluşma sebebinin, iklim değişikliği, düşük yağış, yüksek düzeyde buharlaşma, tuzlu su ile sulama ve yanlış kültürel uygulamalardan kaynaklandığı bildirilmektedir (Jamil ve ark., 2011; Abidalrazzaq Musluh Al Rubaye ve ark., 2021). Tuzlanma, birçok ülkede hem çevresel kaynakları hem de insan sağlığını tehdit edici bir unsur olarak kabul edilmektedir (Shrivastava ve Kumar, 2015). Tuzluluk stresi toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumsuz etkiler. Na^+ artışı, yüksek pH ve hidrolik iletkenliğin azalması toprak yapısının bozulmasına neden olur (Akladious ve Mohamed., 2018). Toprak tuzluluğundaki artış, bitkilerde ozmotik, iyonik ve oksidatif stresi teşvik eder. Bu da iyon alımının azalmasına, su ve iyonların dışarı akışının artmasına ve besin dengesizliğinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Kacjan Maršić ve ark., 2021).

Bitkilerde tuz stresi gelişimi ozmotik faz ve iyonik faz olarak iki şekilde tanımlanmaktadır (Munns ve Tester, 2008). Ozmotik faz, kök bölgesinde tuz birikiminden birkaç dakika sonra gerçekleşir. Stomaların kapanması, sürgün uzamasının engellenmesi ve toprakta düşük su potansiyeli bitkilerin ozmotik fazda olduğunun göstergesidir. Aksine iyonik faz, sürgünlerde uzun bir süre tuz birikimine, yaprak yaşlanmasına ve dökülmesine neden olur. İyonik faz, tuz girişinden birkaç dakika ile birkaç saat sonra başlar (Corwin, 2021; Mukhopadhyay ve ark., 2021). Toprak tuzluluğu, bitkide çimlenme, vejetatif büyüme, üreme, verim, fizyoloji dahil büyüme gelişme aşamalarının hemen hemen bütün yönleri üzerinde olumsuz etkiye sahiptir (Isayenkov ve Maathuis, 2019). Topraktaki yüksek tuz konsantrasyonu (Na^+ iyonlarının alınması) osmotik dengesizliğe ve bitkide kurumaya neden olur (Zhao ve ark., 2017; Choudhury ve ark., 2021).

Türkiye'deki toplam arazinin 78 milyon hektar olduğu belirtilmektedir. Bu arazilerin %36'sı ekili olup %36'nın %3.2'sinde tuzluluk sorunu bulunmaktadır (Abidalrazzaq Musluh Al Rubaye ve ark., 2021). Sınıflandırılması ise tuzlu, orta derecede tuzlu-alkali ve hafif tuzlu-alkali şeklindedir (Anonim, 2008). Dolayısıyla Türkiye'de tuzluluğun ilerde yaygınlaşan ciddi bir stres ve tehdit faktörü olabileceği tahmin edilmektedir (Shams, 2019). Toprak çözeltisinin elektrik iletkenliği (EC) 25 °C'de 4 dS

m^{-1}'e ulaştığında toprağın tuzlu olduğu kabul edilir (Munns, 2005; Kacjan ve ark., 2021). Biber bitkilerinin tuzluluk eşik seviyesi 1.5 dS m^{-1}' dir. Bu nedenle biberin orta derecede tuza duyarlı olduğu kabul edilir (Kacjan ve ark., 2021). Biberin tuza duyarlılığı belirli bir düzeye kadardır. Tuza duyarlı bir biber bitkisi, düşük tuz konsantrasyonunda bile çözeltide oluşan osmotik basınç değerini köklerden karşılayamamaktadır. Bitkilerin topraktaki tuz konsantrasyonlarına göre duyarlılığı Çizelge 1.1' de verilmiştir (Kotuby-Amacher ve ark., 2000).

Çizelge 1.1. Toprak tuz düzeylerine göre bitkilerin duyarlılıkları

Tuzluluk (EC, Ds/m)	Bitki Tepkisi
0-2	Çoğunlukla ihmal edilebilir.
2-4	Duyarlı bitkilerin gelişimi kısıtlanabilir.
4-8	Birçok bitkinin gelişimi kısıtlanır.
8-16	Sadece tuza dayanıklı bitkiler gelişebilir.
> 16	Sadece tuza çok dayanıklı birkaç bitki gelişebilir.

Bütün bitkiler belirli tuz konsantrasyonuna aynı tepkiyi vermezler. Bazıları tuza duyarlı iken bazıları toleranslıdır. Toleranslı bitkiler tuz konsantrasyonu yüksek topraklarda su ihtiyacını karşılamak için ozmotik etkiye daha fazla tepki gösteren bitkilerdir. Tuza duyarlı (hassas-orta düzey) olan bitkilerde ise gelişimde aksaklıklar meydana gelir (Akay Rastgeldi, 2010). Dolayısıyla farklı tuz konsantrasyonlarında yetiştirilen bitkilerin toleranslık ya da duyarlılık değişkenliği (tepkisi) bitkinin türüne, tuz dozuna, toprak yapısına ve çevre değerlendirilmesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Gomes ve ark., 2021). Biberdeki %14'lük meyve kaybı yüksek tuz konsantrasyonu ile ilişkilendirilmektedir (Abdelaal ve ark., 2020).

Tarımda yoğun girdi kullanımı, her ne kadar üretim miktarını arttırmış olsa da topraktaki faydalı mikroorganizmaları öldürerek besin kalitesini ve toprak verimliliğini düşürmekte, su kütlesi ortamını bozmaktadır (Sinha, 2009; Zhang ve ark., 2019a). Dolayısıyla artan nüfus ve iklim değişikliği ile birlikte, gıda ve beslenme güvenliğini sağlamak giderek daha zor hale gelmiştir (Sosa-Hernández ve ark., 2019). Bu yüzden

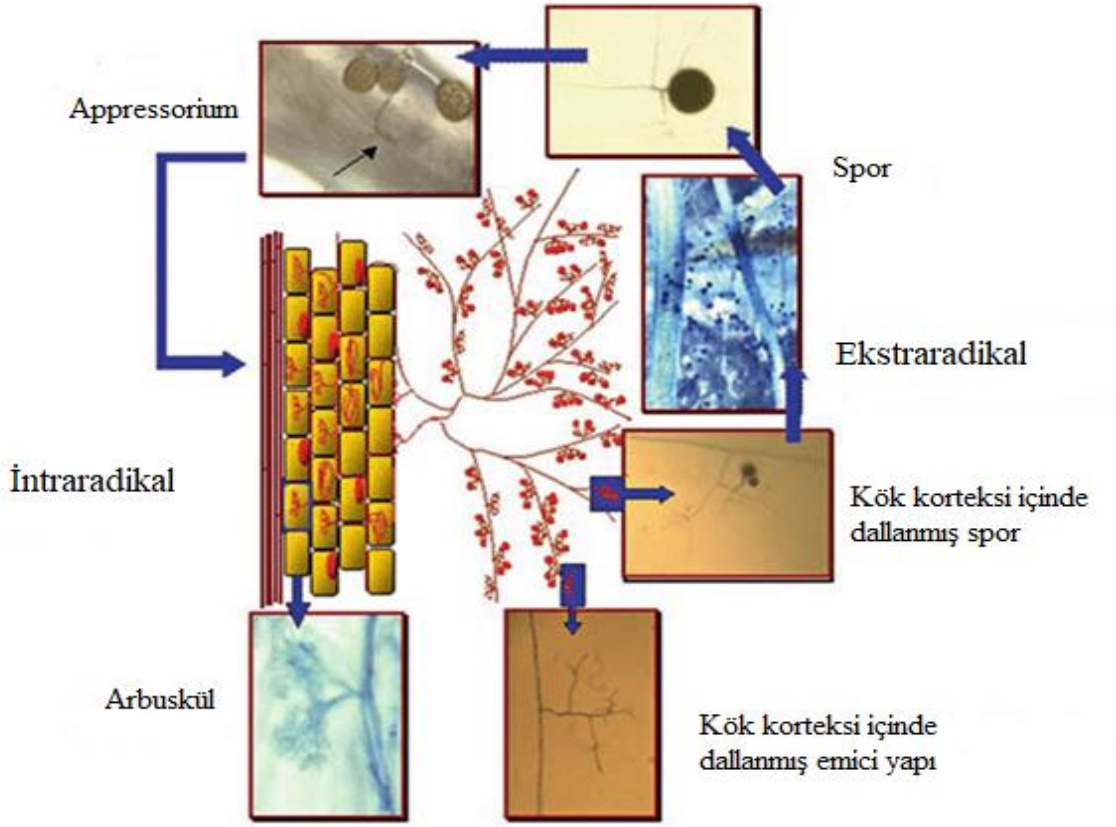
toprak kirliliği, tuzlanma, kuraklık ve bitki patojenleri ile mücadele hayati önem kazanmıştır (Lugtenberg ve ark., 2002). Tuzluluğun tarımsal üretkenlik üzerindeki etkisini azaltmak, tuzlu toprağın gelişimini ve kullanımını kolaylaştırmak, *V. dahliae* gibi toprak kaynaklı bitki patojenlerinin zararını azaltmak ve bitki gelişimini teşvik etmek için çeşitli stratejiler uygulanmaktadır (Abidalrazzaq Musluh Al Rubaye ve ark., 2021; Choudhury ve ark., 2021). Bu stratejiler, Rio 1992'deki BM Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda sürdürülebilir tarımın üretim sistemlerine öncelik verilmesi gerektiği ile kararlaştırılmıştır (Trabelsi ve ark., 2016; Siebrecht, 2020).

Tarım, insan faaliyetlerinin sürdürülmesinde önemli rol oynamaktadır. Günümüz tarım sisteminde, sentetik kimyasal gübrelerin kullanımı dünya çapında artış göstermeye başlamıştır (Sharma ve ark., 2020). Kimyasal gübreleme süresi uzadıkça gübrelemenin verim üzerindeki etkinliği azalmıştır (Horrigan ve ark., 2002). Zamanla kullanılan bu kimyasal girdiler toprak yapısını olumsuz yönde etkilemesinin yanı sıra toprakta bulunan birçok faydalı mikroorganizmanın sayısının azalmasına ve değişime uğramasına neden olmuştur (He ve ark., 2016). Artan gıda talebinin ekosistemde karşılanamaması, giderek sağlıksız ve kısıtlı hale gelmesi, sürdürülebilir tarıma yöneliminin önemini göstermektedir (Gujre ve ark., 2021).

"Sürdürülebilir tarım" kavramını tanımlayan ve birçok farklı yaklaşımı temsil eden faktörler bulunmaktadır. Günümüzde bu kavramı gerçeğe dönüştürmek bir şans olarak görülmektedir (Velten ve ark., 2015; Siebrecht, 2020). Sürdürülebilir tarım, "tüm kaynakları korumayı, atıkları ve çevresel etkileri en aza indirmeyi, tarımsal ekosistem esnekliğini sağlamayı, öz düzenlemeyi, gelişimi, herkesin beslenmesi için sürekli üretimi teşvik etmeyi ve doğal süreçlerle çalışan yönetim prosedürlerini" içerir (Macrae ve ark., 1989; Velten ve ark., 2015). Sürdürülebilir tarımın nasıl algılandığı, uygulama yöntemleri, değerlendirme için olası yaklaşımlar, kullanılan yöntemler sürdürülebilirliğin 'hedef belirleme' ve 'sistemi tanıma' anlayışını yansıtmaktadır (Hansen, 1996; Siebrecht, 2020). Sürdürülebilir tarımda biyoçarın karbonu sabit bir biçimde depolayıp sera gazı emisyonunu dengelemesi, sera gazlarının atmosfere salınmasını önlemesi, geniş yüzey alanına sahip olması, bitki gelişimini teşvik etmesi, düşük maliyetli ve çevre dostu olması önemini arttırmıştır (Zhang ve ark., 2017; Yang ve ark., 2019; Xiang ve ark., 2020). Dolayısıyla biyoçarın stres faktörleri, çevre kirliliği, toprak bozulması ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlara sürdürülebilir tarım ile çözüm odaklı olduğu belirtilmiştir (Creamer

ve Gao, 2016). AMF oluşumunun ise bitki besin alımını düzenlemesi, iyonik ve ozmotik dengeyi koruması, bitkilerde su alımını kolaylaştırması, antioksidan enzim aktivitelerini uyararak hasarı azaltması yani bitkinin büyüme ve gelişmesi üzerindeki stres faktörlerini en aza indirmesiyle sürdürülebilir tarımdaki rolü önem kazanmaktadır (Augé ve ark., 2015; Khalloufi ve ark., 2017; Evelin ve ark., 2019; Villani ve ark., 2021). Sürdürülebilir tarım uygulamaları arasında yer alan Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) ve organik madde (biyoçar) kullanımının bitkilerde birçok stres faktörlerinden kaynaklanan sorunlara çözüm getirdiği bilinmektedir (Elmer ve ark., 2011; Güneş ve ark., 2019).

Mikorhiza, bitki - toprak sürekliliğini koruyan bir biyotik bileşendir (Zhang ve ark., 2016). 'Kök fungusu' anlamına gelen mikorhiza bitki kökleriyle simbiyotik bir ilişki halindedir (Fiorilli ve ark., 2015). Toprak yapısını iyileştirmesi, toprak kaynaklı patojenler gibi birçok biyotik ve abiyotik strese karşı dirençli olması, doğal dengeyi koruması ve sürdürülebilir tarımda kullanılması açısından oldukça yaygınlaşmıştır (Chliyeh ve ark., 2014; Talukder ve ark.,2019; Güneş ve ark., 2021). Ekosistemdeki karasal bitkilerin yaklaşık %85'i mikorhiza ile kolonize halinde olmasıyla birlikte biyoçeşitliliğin, ekosistem değişkenliğinin ve üretkenliğin korunmasına da yardımcı olur (Wang ve ark., 2010). Simbiyotik ilişki kurma yönüyle farklılık gösteren mikorhiza türleri morfolojik, spor ve misel yapılarına göre gruplara ayrılmaktadır (Ohsowski et al., 2014). Rhizosferde en yaygın ve tarım açısından en önemlisi Glomeromycota şubesine ait Arbusküler Mikorhizal Funguslar (AMF)'dır (Schüßler ve ark., 2001; Brundrett, 2009; Brundrett ve Ashwath, 2013). AMF zorunlu biyotroflardır. Hayatta kalabilmek için konukçusu tarafından sağlanan %20'lik karbon substratına ihtiyaç duyar. Buna karşılık AMF'de ekstraradikal ve intraradikal hifler, arbusküller ve kök apoplastları yoluyla konukçu bitkiye su, fosfat, nitrojen gibi birçok makro ve mikro besin elementi sağlar (Diagne ve ark., 2020). AMF diğer mikorizalardan farklı olarak, bitki ve funguslar arasında besin alışverişi için bir alan görevi gören kökün korteks bölgesi içerisinde arbuskül adı verilen ağaç benzeri yapılar bulundurur (Selvakumar ve ark., 2018). Yaşam evrelerini tamamlamak için canlı bir konakçının köküne ihtiyaç duyar (Kehri ve ark., 2018). AMF'ın yaşam döngüsü Şekil 1.3.'de verilmiştir.



Şekil 1.3. AMF'ın yaşam döngüsü (Bücking ve ark., 2012).

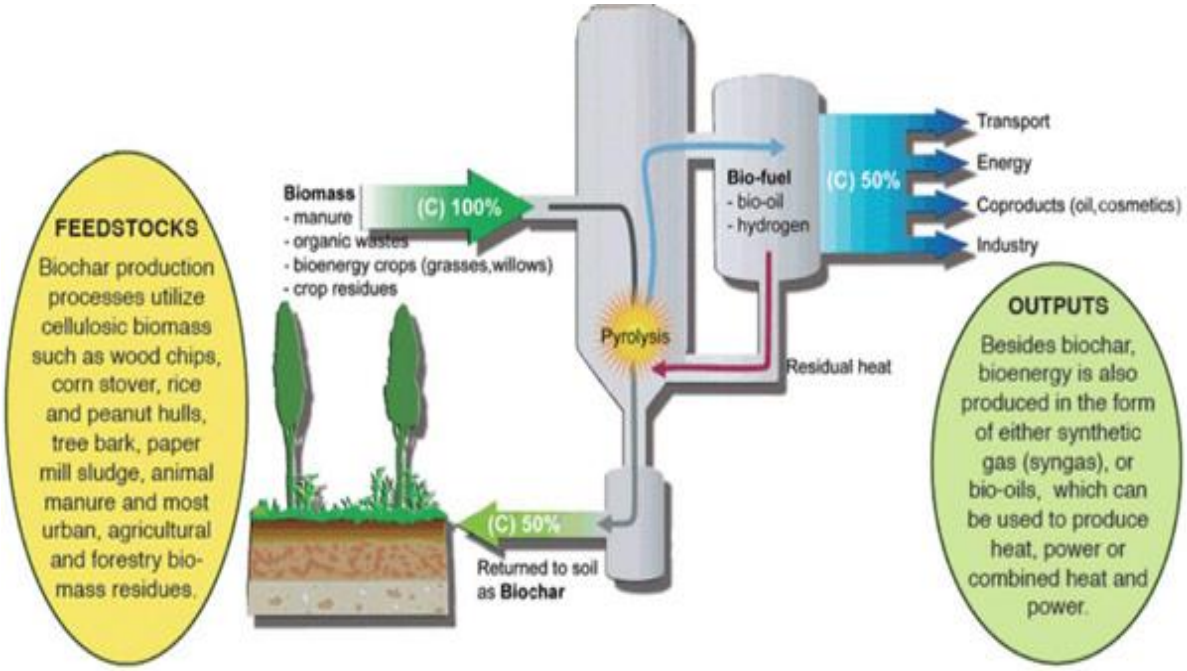
AMF, besin değerince düşük, çöl, otlak, ağır metal seviyesi yüksek, tuzlu, marjinal topraklarda bitki kökleriyle mutualistik ilişki içindedir (Kehri ve ark., 2018). Bu ilişki, mineral maddelerinin topraktan alınıp bitkiye aktarılması için tek başına köklerden daha faydalı ve ayırt edici bir sistemdir (Ruiz-Lozano ve ark., 2012). AMF'nin bitki ile ilişkili dışsal hifi, 100 cm'e kadar toprağa uzayabilir ve bitkinin toprağı keşfetme yeteneğini geliştirebilir. Bu hifler köklerden daha ince olduğu için köklerin erişilemeyen yerlere ulaşımını kolaylaştırır (Smith ve ark., 2010). Bu sayede AMF bitkide biyotik (*V. dahliae*) ve abiyotik (tuz) stres faktörlerini yönetmek için çeşitli mekanizmalar oluşturur (Evelin ve ark., 2009; Ruiz-Lozano ve ark., 2012).

AMF-kök patojenleri (*V. dahliae* gibi) üzerine yapılan çalışmaların çoğunda (Schenck, 1987; Hooker ve ark., 1994; Linderman, 1994; Azcón-Aguilar ve Barea, 1997 b ; Harrier ve Watson, 2004; Bagyaraj, 2006; St-Arnaud ve Vujanovic, 2007; Tahat ve ark., 2010; Wani ve ark., 2017) hastalık şiddetinin azaldığı, simbiyozun biyotik streslere direnç / tolerans açısından etkisinin AMF inokulumları arasında farklılık gösterdiği belirtilmektedir. Bitki besleme alımının artması, bitkide oluşan hasarın onarılabilmesi,

enfeksiyon veya kolonizasyon bölgeleri için rekabet, kök sisteminde anatomik ve morfolojik değişiklikler gibi mekanizmalarla toprak kaynaklı patojenlerin kötü etkilerini azaltabileceği sonucuna varılmıştır (Pozo ve ark., 2010; Bagyaraj, 2018; Singh ve ark., 2019). Dolayısıyla AMF, bitki- patojen- abiyotik stres etkileşimi arasında koruyucu bir görev üstlenmektedir. AMF, bitki koruma optimizasyonu için biyoteknolojik stratejidir (Pozo ve ark., 2010).

AMF'ın bitkilerle simbiyotik ilişkisini arttıran ve rhizosfer bölgesindeki fungal yapılara gerek olumlu gerek nötr etkisi olan organik maddeler bulunmaktadır (Elmer ve ark., 2011). Bunlar arasındaki etkileşimin, besin alımına doğrudan ve bitki büyümesinde dolaylı bir etkisi vardır. Toprağa karıştırılan biyoçar gibi organik atıklar, AMF'ı zararlılara karşı koruma açısından güvenli bir yaşam alanı sunmaktadır (Elzobair ve ark., 2016). Bitki kökleri biyoçar gözeneklerinden giremeyecek kadar kalın olduğundan biyoçar tarafından absorbe edilen besinler AMF hifleri aracılığıyla konukçu bitkiye aktarılmaktadır. Dolayısıyla AMF ve biyoçar birlikteliği verimli gübre kolaylığı sağlamaktadır (Hammer ve ark., 2014; Zhuo ve ark., 2020).

Tarımsal atıkları geri dönüştürmede, sürdürülebilir tarım alternatif bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Singh ve ark., 2021). Organik atık içerisinde yer alan biyoçarın (biyo kömür), topraktaki su tutma kapasitesini arzu edilen düzeylere getirdiği, erozyona karşı dirençli bir yapı oluşturduğu, bitki kök gelişimini arttırdığı, uygun nem aralığını belirlediği ve toprak sağlığının sürdürülebilirliğinde etkisinin yüksek olduğu belirtilmiştir (İslam, 2016; Çolakoğlu, 2018). Biyoçar, oksijensiz koşullarda karbon (C) bazlı ham materyalden piroliz işlemi sonrası üretilen kömürleşmiş organik materyaldir (Elmer ve ark., 2011) (Şekil 1.4). Çoğunlukla gübre, talaş, mahsul ve orman atıkları, vb. atıklardan oluşan basit kömür benzeri üründür (Xiang ve ark., 2020). Biyoçar, yüzlerce hatta binlerce yıl toprakta karbonu depolayabilmektedir (Cheng ve ark., 2008).



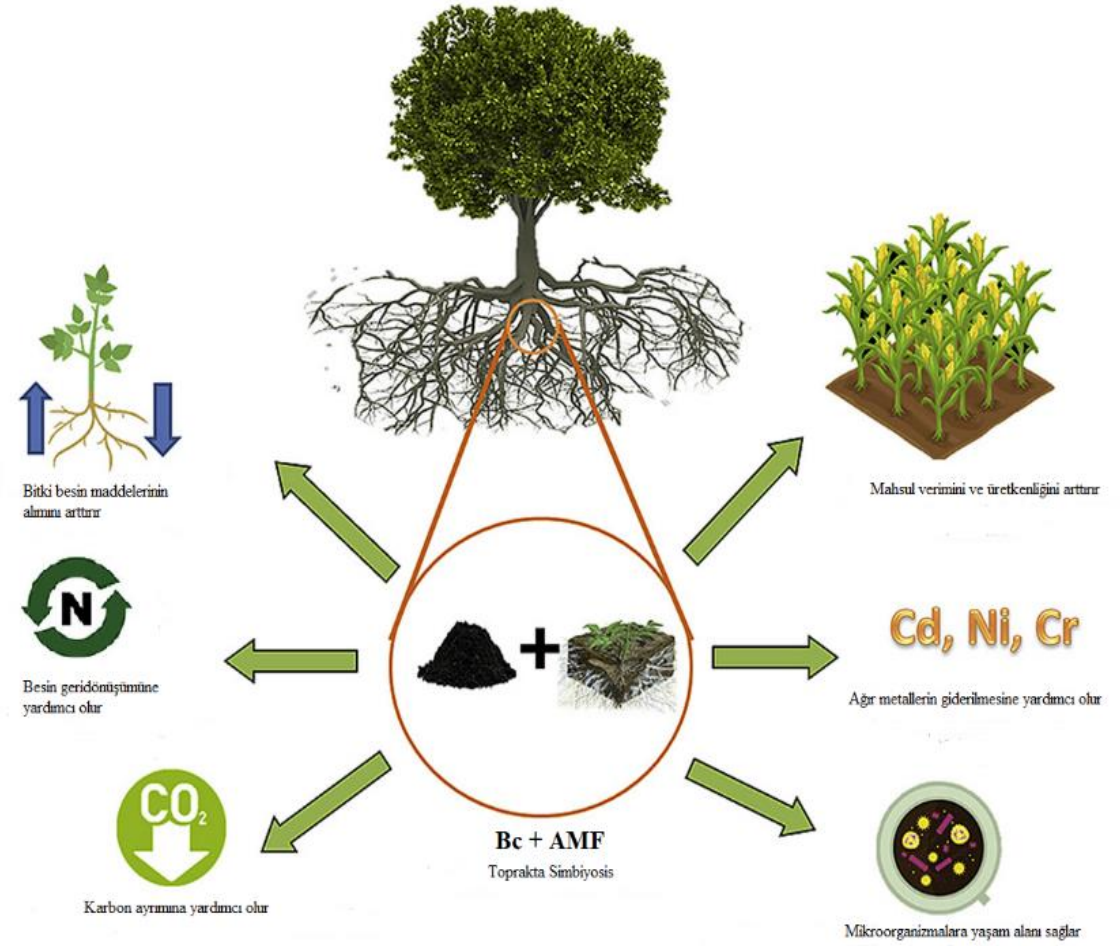
Şekil 1.4. Biyoçarın üretimi (WinklerPrins, 2014).

Ülkemizde biyoçar ile ilgili araştırmalar sınırlı sayıda olup dış ülkelerde bu konuyla ilgili çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Japonya dünyada biyoçar kullanımını onaylayan ilk ülkedir (Lehmann ve Joseph, 2009). Günümüzde biyoçar hem mahsullerin verimliliğini arttırıcı bir madde hem de bir toprak düzenleyici olarak kullanılmakta ve bu amaçla ticareti yapılmaktadır. Aynı zamanda biyoçarın, tarım topraklarının yönetimi ve düzenlenmesinde, atık yönetiminde, çevresel iyileştirmede, yenilenebilir enerji üretiminde yardımcı olduğu bilinmektedir (Iijima ve ark., 2015; Keshavarz Afshar ve ark., 2016; Farhangi-Abriz ve Torabian, 2018a; Hashem ve ark., 2019). Karbon bakımından zengin olan biyoçar, bol miktarda bitki besin maddesine sahiptir (Ippolito ve ark., 2012). Biyoçar özellikleri, elde edilme aşamasında kullanılan materyallere ve piroliz şartlarına göre değişmektedir (Sohı ve ark., 2010). Yüksek sıcaklıkta pirolize edilen biyoçarın toprağa C tutulma değeri düşük sıcaklıkta elde edilen biyoçara göre daha fazladır (Sayğan, 2017).

Biyoçar, ağır metalleri absorbe etme, toprak kaynaklı patojenlerin gelişimini engelleme gibi birçok biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı etkinlik sağlamaktadır (Graber ve ark., 2014; Palansooriya ve ark., 2020). C miktarı bakımından zengin olan biyoçar, kuraklık ve tuz stresine karşı bitkiye direnç sağlamaktadır. Toprağa uygulanan biyoçarın kuraklık ve tuz stresi altında yetiştirilen bitkinin büyümesini, verimini, besin

elementlerini, fotosentez ve solunum alımını arttırdığı bildirilmektedir (Ali ve ark., 2017). Biyoçar-toprak- rizosfer-patojen- bitki sistemi kombine uygulamaları arasındaki ilişkiyi etkileyen bazı faktörler olduğu düşünülmektedir. Bunlar, besin içeriği, su tutma kapasitesi, adsorpsiyon kabiliyeti, pH, toksik etki ve hormon benzeri bileşiklerdir (Graber ve ark., 2014).

Sürdürülebilir tarım uygulamaları, toprakların uzun dönemde ve üretken durumda kullanımı amaçlar (Saltali ve ark., 2004). Yalnızca tarımsal verimliliğin zenginleştirilmesine odaklanmakla kalmayıp aynı zaman zararlı çevresel etkilerin azaltılmasına da yardımcı olur (Sharma ve ark., 2020). Bu uygulamalar içerisinde yer alan tarımsal atık ve faydalı mikroorganizmaların kullanımı ticari gübrelere göre topraktaki besin içeriğini, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini düzenleyici yapıya sahiptir. AMF + biyoçar birlikteliği çevre dostu, ekonomik olarak uygulanabilir ve sürdürülebilir teknolojilerin kullanımını desteklemektedir (Fang ve ark., 2018). Hatta yapılan son çalışmalarda biyoçar; bitki ve simbiyotik mikroorganizmalar arasındaki sinyal mekanizmalarını değiştirerek yaprak ve toprak patojenlerini kontrol etme potansiyeli göstermiştir (Kolton ve ark., 2011; Ogundeji ve ark., 2021). Dünya genelinde biyoçar + AMF birlikteliği, özellikle besin döngüsünü iyileştirmede (Castañeda ve ark., 2020), abiyotik stres faktörlerine karşı toleransta (tuz, kuraklık, ağır metal gibi) (Hashem ve ark., 2019), bitki patojenlerine karşı kullanımı gibi geniş uygulama yelpazesiyle dikkat çekmiştir (Gujre ve ark., 2021). Biyoçar + AMF uygulamalarının toprak iyileştirici ve bitki büyümesi üzerinde olumlu etkisinin yanı sıra biyoçar, AMF için bir yaşam alanı sağlamaktadır. Dolayısıyla aralarında hem antagonistik hem de sinerjistik bir etki oluşmaktadır (Jaafar, 2014). Biyoçar ve AMF'nin toprakta simbiyotik ilişkisi Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Biyoçar ve AMF'nin toprakta simbiyotik ilişkisi (Gujre ve ark., 2021).

Abiyotik stres faktörlerinin (NaCI) etkilerini azaltmak ve toprak kaynaklı patojenleri (*V. dahliae*) inhibe etmek için çoğunlukla rhizosferde bitki büyümesini teşvik edici, besin değerince zengin organik madde (biyoçar) ve mikroorganizmalar (AMF) kullanılmaktadır (Ogundeji ve ark., 2021). Toprağa karıştırılan biyoçar miktarı, bitkinin topraktan besin ve su alımı, tuz stresine karşı direnci, patojene karşı inhibisyonu ve AMF kök kolonizasyonu ile doğru orantılıdır (Jaafar, 2014).

Bu tez çalışmasında mücadelesi zor olan *V.dahliae* toprak patojeninin ve tuz stresinin biber bitkisinde oluşturduğu morfolojik, antioksidan enzim aktivitelerindeki değişiminin uygulama kombinasyonları sonucu belirlenmesi hedeflenmiştir. AMF ve biyoçarın bitkilerin savunma sistemlerindeki önemi vurgulanarak, uygulama kombinasyonlarının farklılıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Bulguların gerek *V.dahliae* gerek tuz stresi gibi faktörlere karşı mücadele olanaklarının yeni yaklaşımlara dikkat çekebileceği düşünülmektedir. Biberde AMF'ın biyoçar ile birlikte kombine

uygulamaları, bu kombinasyonun biyotik (*V.dahliae*) ve abiyotik (tuz) stres faktörlerine karşı kullanımının yeterince açıklanmadığı görülmüştür. Bu nedenlerden tez çalışmasının amaçları aşağıda sıralanmıştır.

- Biber bitkisinin kökleri ile mutualistik ilişki kuran AMF canlı mikroorganizmanın önemli bir organik atık olan biyoçar ile uyumunu ortaya koymak,
- En iyi performans gösteren biyoçar oranı ve AMF inokulum kombinasyonunu belirlemek,
- AMF ve biyoçar uygulamalarının, biberde ürün kayıplarına yol açan, mücadelesi sınırlı olan *V. dahliae* patojeninin hastalık şiddeti ve gelişim parametreleri üzerine etkisini incelemek,
- Tuz stresi altında yetiştirilen biberde meydana gelecek olan metabolik aktivitelerindeki zararlanma ve bitki gelişimi üzerine oluşacak olumsuz etkilerin tolere edilmesinde AMF ve biyoçar uygulamalarının ne derece etkili olabileceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Bitkiler, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine; fizyolojik, morfolojik, biyokimyasal yapılar gibi canlı bir savunma sistemiyle karşılık vermektedir. Biberde gerek yeşil aksam gerek kök bölgesinde önemli bir sorun olan *V. dahliae* toprak patojeni ve son dönemlerde meydana gelen kuraklık olaylarıyla birlikte artan tuz stresinin, biber gelişimine etkisi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bitkilerin vejetasyon süresi boyunca değişik zaman ve yoğunluklarda birden fazla stres faktörleriyle karşılaşılmaktadır. Son yıllarda sürdürülebilir tarım adı altında, alternatif yöntemler (Arbusküler Mikorhizal Funguslar, biyoçar vb.) bu tür sorunlar için kullanılmaya başlanmıştır. Çalışmalarda AMF ve/veya biyoçar etkinliği genelde tek başına bir stres faktörü ile denenmiştir. Biyotik (*V. dahliae*) ve abiyotik (tuz) stres faktörlerine karşı biber bitkisinde kombinasyon halinde kullanılmasına dair herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.1. Biberde *Verticillium* Solgunluğunun Etkileri

V. dahliae toprak kaynaklı vasküler solgunluğa neden olan bir patojendir (Tıan ve ark., 2022). Patojen vasküler sisteme nüfuz ettikten sonra ksilem borularından yukarı doğru taşınır. Hastalık semptomları ksilem borularının tıkanması, toksin üretimi, erken yaşlanma, kök çürüklüğü ve uzun süre canlı kalabilmek için mikrosklerotlar oluşturma ile karakterize edilir. *V. dahliae* Kleb. sebze (patates, domates, patlıcan, biber vb.), süs bitkileri (krizantem), meyve ağaçları (kakao, zeytin) ve orman ağaçları (dişbudak, akçaağaç) gibi birçok bitkide sorun teşkil eder (Soesanto ve Termorshuizen, 2001; Zhang ve ark., 2022).

İsrail'de yapılan bir çalışmada, kırmızı biber bitkisinin solmasına, erken ölümüne ve bodurlaşmasına neden olan *V. dahliae* patojeninin, agar ortamında patates, domates, karpuz ve dodonyadan elde edilen *V. dahliae'*ya göre gelişimin daha yavaş olduğu görülmüştür. Ancak mikrosklerot oluşumu önce kırmızı biberde tespit edilmiştir. Patojenin kırmızı biberde 0-5 skalası üzerinden hastalık şiddeti 3.7 ile 4.9 arasında çıkmıştır. Hastalıklı uygulamalarda %62'ye kadar bodurlaşma görülmüştür (Tsror ve ark., 1998).

V. dahliae izolatından 10^7'lik spor süspansiyonu, kök daldırma yöntemi ile dolmalık biber, lahana, karnabahar, pamuk, patlıcan, marul, nane, patates, çilek, domates gibi 14 konukçu bitkiye uygulanmıştır. Uygulamadan 6 hafta sonra hastalık indeksi ve bitki gelişim parametreleri kaydedilmiştir. Dolmalık biber, lahana, karnabahar, pamuk, patlıcan ve nane

izolatları belirti gösterirken patates, marul gibi diğer kalan izolatlar göstermemiştir. Biber ve patlıcan izolatları *V. dahliae'*ya karşı direnç sağlayamamıştır (Bhat ve Subbarao, 1999).

Verticillium dahliae infekteli biber bitkilerinin toplam protein, toplam çözünür şeker, nişasta, absisik ait konsantrasyonu ve prolin gibi bazı organik çözücülerin seviyeleri incelenmiştir. Enfeksiyon uygulaması sonucu yapraklardaki nispi su içeriğinde önemli derecede düşüş meydana gelmiştir. Nişasta, protein seviyeleri, ksilemdeki absisik asit konsantrasyonu azalmış ve enfekteli bitkilerde belirgin simptomlar görülmeye başlanmıştır. Prolin ve toplam şeker birikimi ile *Verticillium dahliae*'nın patojen kaynaklı bir sorun olduğu düşünülmektedir (Goicoechea ve ark., 2000).

Rekanovic ve ark. (2007) Sırbistan'da *Verticillium dahliae* patojenin morfolojik karakterlerini, biber bitkisinde bu hastalığa karşı biyolojik, kimyasal ve konvansiyonel fungus öldürücülerinin (benomyl ve propamocarb- hidroklorür) etkilerini araştırmıştır. Sırbistan'nın sekiz bölgesinden alınan köklerin *V. dahliae* türüne ait olduğu ve patojenik etki gösterdiği belirtilmektedir. Enfeksiyondan 40 gün sonra biber bitkilerinin yapraklarında belirgin solma simptomları görülmeye başlanmıştır. Benomyl'in solgunluk kontrolünde en etkili fungisit olduğu diğer mücadele yöntemlerinin de az da olsa hastalık kontrolünde önemli olduğu fark edilmiştir.

Hollanda'nın seralarında yetiştirilen tatlı biber bitkilerinde solmalar gözlemlenmiştir. Tatlı biber bitkilerinin köklerinden alınan örneklerde kök rengi ve korteksinde bozulmalar meydana gelmiştir. Etkilenen köklerden *V. dahliae* ve *Colletotrichum coccodes* etmenleri izole edilmiştir. Bu iki patojenin oluşumunu ve etkileşimini incelemek için seradan semptomlu ve semptomsuz bitki örnekleri alınmıştır. Semptomlu örneklerde sadece *V. dahliae* görülürken semptomsuzlarda *C. coccodes* bulunmuştur. *V. dahliae*'nın bodurlaşmaya neden olduğu, *C. coccodes'*in semptomların görülmediği fark edilmiştir. *C. coccodes* sadece olumsuz çevre koşullarında bitki büyümesini engellemiş, *V. dahliae* üzerinde nötr etkisi olan zayıf bir patojen olarak kabul edilmiştir (Tyvaert ve ark., 2019).

*V. dahliae'*nın ticari biber çeşitleri üzerinde farklı koşullarda çeşitli uygulamalarda direnci araştırılmıştır. Çalışma tarla, sera koşullarından ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. *V. dahliae* enfeksiyonundan en az etkilenen biber çeşidi Kurtovska kapija 1 olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra Milkana F1 ve Stryama çeşitleri de patojene karşı yüksek direnç göstermiştir. Tarla ve sera koşullarındaki patojen istilası laboratuvar ortamından nispeten daha düşük çıkmıştır. Patojenite testinde tarla ve serada yetiştirilen biber bitkilerinde görülen belirtiler benzer çıkmıştır. *Verticillium* kontrolü için solgunluğa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi önerilmiştir (Vasileva ve Todorova, 2020).

2.2. Biberde Tuz Stresinin Etkileri

Topraktaki tuzluluğun tarım ve insanlardan daha önce var olduğu ancak bu sorunun yanlış sulama gibi tarımsal uygulamalarla arttığı bildirilmiştir (Zhu, 2001). Tuz stresi bitki büyümesi ve üretiminde sınırlayıcı bir faktördür. Tuzlu toprakların doğası, özellikleri ve bitki büyümesiyle ilişkisine dayanarak iki ana toprak yapısı tanımlanmıştır. Bunlar tuzlu topraklar (NaCI, Na_2SO_4, CI^-, SO_4 vb.) ve sodik topraklar (Na ve Na_2CO_3)'dır. Bitkilerde tuzluluk iyon dengesizliğine, birçok metabolik değişikliğe, su potansiyelinde ve gelişiminde azalmaya sebep olur. Aynı zamanda çimlenme, büyüme, fotosentez, besin dengesizliği ve verim gibi tüm ana süreçleri etkiler (Parihar ve ark., 2015; Etesami ve Beattie, 2018). Bitkiler tuza karşı tepki gösterirken glikofitler ve halofitler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yüksek tuz koşullarına adapte olan ve bu koşullarda yaşamını sürdüren bitkilere halofitler, tuza duyarlı ve bu koşullarda yaşayamayan bitkilere ise glikofitler denilmektedir (Dölarslan ve Gül, 2012).

Stres koşulları altında tohum çimlenmesi ve fide gelişimi bitkinin yaşam döngüsünde önemli bir aşamadır. Khan ve ark. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada da biber tohumları salisilik asit (SA) ve asetil salisilik asit (ASA) ile kaplanmıştır. Farklı tuz seviyelerinde (0, 3, 6 ve 9 dS m^{-1}) iki farklı SA (0.8 mM ve 1.0 mM) ve iki farklı ASA (0.2 mM ve 1.0 mM) biber tohumlarına uygulanmıştır. 1.0 mM ASA ve SA tohum çimlenmesi üzerinde olumsuz etki göstermiştir. Bütün uygulamalara göre ASA değerleri SA'dan daha yüksek çıkmıştır. Bu iki uygulamanın bitki gelişim parametreleri kontrol grubuna göre %50 oranında artış göstermiştir (Khan ve ark., 2009).

Farklı tuz konsantrasyonlarının (0 mM, 50 mM, 100 mM ve 150 mM) sera demre sivri biber çeşitlerinde bazı fizyolojik parametreler ile mineral madde içeriği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yüksek tuz düzeylerinde bitki kök gelişimi olumsuz yönde etkilenirken toplam klorofil miktarının azaldığı, membran zararlanma indeksinin ve hücre zarı geçirgenliğinin arttığı belirtilmektedir. Artan NaCI dozları ile yaprak sayısında ve toplam ağırlık değerlerinde azalma fark edilmiştir. Na, K, Ca, Mg gibi mineral madde içerikleri değişkenlik göstermiştir. K ve Ca mineral maddeleri artan tuz dozuna göre azalma gösterirken, Mg miktarında önemli farklılıklar tespit edilmiştir (Akay Rastgeldi, 2010).

Kaouther ve ark. (2012) yaptığı bir çalışmada beş çeşit Tunus biberinin yedi farklı NaCI konsantrasyonda (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 g/l) bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerini incelemiştir. Sonuçlara göre tuz konsantrasyonu arttıkça bitkinin gelişim parametreleri (sürgün boy, yaş ve kuru ağırlık, yaprak sayısı, yaprak alanı, klorofil) olumsuz etkilenmiştir. Ancak yapraklarda prolin biyosentezinde artış görülmüştür.

Biberin üç farklı vejetasyon döneminde (sekiz yapraklı dönem, ilk çiçeklenme dönemi ve hasat dönemi) uygulanan dört farklı tuz konsantrasyonunun NaCI (0 mM, 50 mM, 75mM ve 10mM) bitkide oluşturdukları fizyolojik, morfolojik ve kimyasal yapılarına etkileri incelenmiştir. Bu kriterler, hasat dönemine kadar tuz uygulaması yapılan muamelelerde en düşük, 8 gerçek yapraklı döneme kadar yapılan tuz uygulamalarında ise en yüksek düzeye çıkmıştır. Yaprak su potansiyelinde tuz konsantrasyonu arttıkça stres değerinde şiddetlenme artmaktadır (Bora, 2014).

Tatlı biber bitkisin tuz stresi altında kimyasal bileşen ve verimindeki değişkenlikler araştırılmıştır. Üç farklı dozda (2000, 4000 ve 6000 ppm) tuzun bitki büyümesini ve verimini azalttığı ancak spreyle uygulanan 250 ppm SA'in düşük ve orta düzeyli stres seviyelerinde zararı kısmen de olsa önlediği görülmüştür. Orta seviyede tuzluluk, klorofil içeriğini, şekeri, aminoasidi ve prolini azaltmıştır. En yüksek tuz seviyesinde ise CAT, SOD, POX ve PPO enzim aktivitelerinde düşüş yaşanmıştır. SA tüm kimyasal konsantrasyonları ve enzim aktivitelerini iyileştirmiştir (Qados, 2015).

Tuz stresi altında yetiştirilen biber bitkisinin büyüme ve verimine kalsiyum nitrat ve humik asidin etkisi incelenmiştir. Ekimden önce toprağa iki farklı konsantrasyonlarda kalsiyum nitrat (60 mg/kg ve 120 mg/kg), üçüncü gerçek yaprak aşamasındayken iki oranda humik asit (750 mg/kg ve 1500 mg/kg) uygulanmıştır. Bitkiler 100 mM NaCI konsantrasyonu ile sulanmıştır. Değerlendirmeler sonucunda hem humik hem kalsiyum nitratın düşük dozları büyüme parametrelerinde, mineral içeriğinde önemli artışlar göstermiştir. Aynı zamanda bu uygulamalar meyve antioksidan bileşiğini, meyve kalitesini, toplam fenol gibi aktiviteleri iyileştirmiştir. En etkili uygulama kalsiyum nitratın düşük dozu ile humik asidin yüksek oran kombinasyonunda görülmüştür. Dolayısıyla tuz stresi altında yetiştirilen biber bitkisinde humik asit ve kalsiyum nitrat önerilmektedir (Akladious ve Mohamed, 2018).

Üç biber çeşidinde (Dolmalık, Çarliston ve Maraş) farklı tuz seviyelerinin (kontrol, 0.7, 3.5 ve 7.0 ds/m) DNA metilasyon modeli, bitki büyümesi, enzim aktivitesi, hormon, amino asit, mineral madde, fotosentetik aktivite ve tohum çimlenmesine etkisi incelenmiştir. Çeşitlerin tuz stresine karşı farklı tepki gösterdiği gözlemlenmiştir. Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde, tuzlu koşullarda tohum çimlenmesi, tuz seviyelerindeki artışa paralel olarak azalma göstermiştir. Enzim aktivitelerinde, bitki büyümesi, hormon ve fotosentetik parametrelerde düşüş tespit edilmiştir. Maraş çeşidinin çalışmada kullanılan diğer iki çeşide göre tuzlu koşullara daha toleranslı olduğu belirtilmektedir (Shams, 2019).

Üç farklı tuz dozunda (50, 100 ve 150 mM NaCI) yetiştirilen bibere yapraktan uygulanan sodyum nitroprussid (0, 50, 100 ve 150 µM SNP)'nin etkisi araştırılmıştır.

Değerlendirmelerde, NaCI ile olan uygulamalarda fotosentetik hız, stoma iletkenliği, terleme hızı, mineral madde (Zn, Fe, B, K, Ca ve Mg) alımı, bitki büyümesi azalmıştır. Ancak SNP uygulamalarında bu parametrelerde artış yaşandığı kaydedilmiştir. Yüksek NaCI (150 mM) işlemli uygulamanın hidrojen peroksit ve MDA enziminin artmasına neden olmuş, 150 µM SNP konsantrasyonu bu parametreleri %34-54 oranında azaltmıştır (Shams ve ark., 2019).

Silisyum, abiyotik stres altındaki bitkilerde kullanılan önemli bir elementtir. İki konsantrasyonlu tuz uygulamalarında (1500 ve 3000 ppm NaCI) yetiştirilen biberde silisyumun etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda tuzlu uygulamalarda yaprak su içeriği, klorofil, azot, fosfor, potasyum, meyve sayısı gibi birçok parametrede azalma gözlenmiştir. Prolin, lipid, EC değeri, şeker, nişasta gibi parametrelerde ise artış sağlanmıştır. Yaprağa uygulanan silisyum, klorofil, verim ve besin maddelerinde artış, süperoksit, hidrojen peroksit, lipid peroksidasyonda azalma göstermiştir (Abdelaal ve ark., 2020).

2.3. Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF)

Mikorhizalar, genellikle arbusküler mikorhizalar, orkide mikorhizalar, ektomikorhizalar ve erikoid mikorhizalar olarak sınıflandırılır. Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) bitkilerin %80'inden fazlası ile simbiyoz oluşturmaktadır (Vilela ve Barbosa, 2019). Yalnızca Chenopodiaceae, Polygonaceae, Juncaceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae ve Proteaecae bitki familyaları ile simbiyotik ilişki kurmamaktadır (Smith ve Read, 2010; Willis ve ark., 2013). AMF'nin birçok makro ve mikro özellikle P ile Zn'nun konukçu-bitki alımında kolaylık sağladığı, biyotik / abiyotik stres faktörlerinde etkinlik gösterdiği bildirilmiştir (Ryan ve Graham, 2002).

Mikoriza oluşumunun, mineral besin alınımı, hormonal denge ve C yönetimi gibi bitki fizyolojisinin çeşitli yönlerini değiştirdiği bilinmektedir. Demir, (2005) *Glomus intraradices* AMF türünün biber (Cetinel-150) bitkisinin fizyolojik büyüme parametreleri üzerine etkisini araştırmıştır. Bu bitkinin fizyolojik gelişimini açıklamak için mikorhizal ve mikorhizal olmayan bitkilerin sürgün ve yapraklarında P ve kuru madde içerikleri, klorofil konsantrasyonları gibi bazı fizyolojik büyüme parametreleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, mikorhizalı biber bitkileri tüm parametrelerde, mikorhizal olmayanlara kıyasla %12-%47 arasında bir artış göstermiştir. Fosfor (P) konsantrasyonu, klorofil ve şeker içeriği arasında pozitif bir korelasyon görülmüştür. Artan P miktarı biber bitkisinin fizyolojik performansını olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

AMF türlerinin (*G.intraradices* ve *G.margarita*) 8 farklı genotipe sahip biber çeşitlerine etkisi araştırılmıştır. AMF uygulanan muamele gruplarının uygulanmayan bitkilere oranla kuru ağırlığında artış sağlanmıştır. Beş çeşit biberin, AMF türlerinden pozitif yönde etkilendiği ancak 3 biber çeşidinin ise herhangi bir gelişim göstermediği saptanmıştır (Sensoy ve ark., 2007).

Ortas ve ark. (2011) biber fidesi üretiminde besin eksikliğini telafi etmek için beş AMF türünü (*Glomus mosseae, G. clarum, G. caledonium, G. intraradices* ve *G. etunicatum*) sera koşulları boyunca üç yıl uygulamıştır. Sonuçlarda bu AMF karışımı, kontrol bitkilerine kıyasla sürgün, kök kuru ağırlığı, P ve Zn içeriğinde artış göstermiştir. Mikoriza uygulamalı biber fideleri, uygulanmayan bitkilerden daha erken çiçek açmıştır. Deneme sonunda uygulanan AMF türleri fide büyümesi üzerinde farklı bir etki göstermiştir. AM türlerinin biber bitkileri için P ve Zn eksikliği olan topraklarda telafi amaçlı kullanılabileceği belirtilmiştir.

Isıtılmamış seralarda Arbusküler Mikorizal Fungusların (AMF) kullanımı hem maliyet olarak ucuz hem de sürdürülebilir bir çözümdür. Ombodi ve ark. (2019) yaptığı çalışmada ısıtılmamış sera koşulları altında SV9702PP F_1 ve Bagi F_1 hibriti tatlı biberlere uygulanan ticari AMF'nin etkisi araştırılmıştır. AMF uygulaması klorofil içeriğinde, kök kolonizasyonunda, verimde ve bitkinin gelişimi üzerinde olumlu etkileri olmuştur. Kök kolonizasyonu ve verim (%18) arasında anlamlı pozitif bir korelasyon oluşmuştur.

Yarı kurak bölgelerde topraktaki kullanılabilir düşük fosfor (P) miktarı ve yüksek pH mahsul verimliliğini sınırlamaktadır. Üç yıllık saha çalışmasında, *Glomus mosseae* ve fosfor uygulamasının kırmızı biberin büyüme, besin maddesi alımı ve verim bileşenleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma mikorhiza ve fosforun ayrı ve birbiriyle olan kombinasyonundan oluşmaktadır. Sonuçlarda, sadece mikorhiza ve mikorhiza + fosfor uygulamaları kontrole göre verimde %25 artış göstermiştir. Biber verimi ile topraktaki spor yoğunluğu pozitif korelasyon göstermiştir. Ayrıca mikorhiza uygulamaları Zn ve P besin elementlerinin alımını arttırmıştır (Almaca ve ark., 2021).

Lala ve ark. (2021) acı biber bitkisinin büyümesi ve verimine en iyi AMF dozunun etkisini incelemiştir. Çalışma Nisan- Ekim 2020 ayları arasında Endonezya'nın AIAT serasında gerçekleştirilmiştir. Beş AMF dozu (0, 3, 6, 9 ve 12 g) kullanılmıştır. AMF uygulamasının biber bitkisinin bitki boyu, yaprak sayısı, verim ve meyve ağırlığını arttırdığı görülmüştür. 9 g/ bitki dozunda AMF uygulaması meyve sayısı (50.39 adet), meyve ağırlığı (36.79 g), kök uzunluğu (89 cm), kök yaş ağırlık (87.5 g) üzerinde en yüksek değer elde edilmiştir. AMF dozunun bitki büyümesini ve verimini arttırmak için biyolojik bir uyarıcı olarak kullanılabilmektedir.

Serada on hafta boyunca yetiştirilen kırmızı bibere beş AMF türü uygulanmıştır. Gelişim boyunca bitkilere kimyasal gübre veya zirai ilaç uygulanmamıştır. AMF uygulamaları hem sera hem tarla koşullarında bitki büyümesini olumlu yönde etkileyip glomalin (mikorhiza salgısı) konsantrasyonunu arttırmış, toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmiştir. Dolayısıyla AMF uygulaması mahsul verimini arttırırken kimyasal kullanımının azaltılmasında ve sürdürülebilir tarımda olumlu katkısı olmuştur (Lee ve ark., 2021).

Tropik bölgelerde özellikle ekili alanlarda yağış gradyanın mikorhiza dağılımı hakkında çok az şey bilinmektedir. Li ve ark. (2021a)'nın yaptığı çalışmada, Çin'in subtropik bölgelerinden tropik bölgelere doğru 950- 1828 mm'lik bir yıllık yağış gradyan rotasyonu, kırpma sistemi ve çevresel değişiklikler göz önünde bulundurularak biber bitkisindeki AMF yoğunluğu incelenmiştir. Yağış ve toprak pH'nın AMF yoğunluğunu etkilediği belirtilmiştir. Bölgedeki AMF yoğunluğunun filogenetik ilişkisi yağış ve pH ile yönlendirilmiştir. Kırpma sistemi esas alınarak alınan biber köklerinde AMF yoğunluğu daha yüksek çıkmıştır.

2.4. Biyoçar

Biyoçar, pirolize edilmiş biyokütlenin katı ürünüdür. Piroliz, biyokütlenin yüksek sıcaklıklarda oksijen olmaksızın termokimyasalların ayrışmasıdır. İşlem biyokütlenin kurutulmasıyla başlamaktadır. Suyun buharlaşması ve uçucu bileşenlerin salınması biyokütlenin sabit karbon içeriğini arttırmaktadır. Genellikle biyokömür üretim süreci birkaç haftayı bulabilmektedir. Odunsu hammaddelerin pirolizi için yaklaşık 1000 °C sıcaklık gerektirmektedir. Ancak bazı tarımsal atıklar için bu sıcaklık sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle tarımsal atıklar için 700 °C'nin üzerine çıkılmamalıdır. Biyoçarın piroliz edilmesindeki amaç biyokütledeki enerji içeriğini korumak ve konsantre etmektir (Quicker ve Weber, 2016; Weber ve Quicker, 2018).

Yeni Zellanda'da söğüt, mısır koçanı ve taze çam kullanılarak 550 ^{0}C'de pirolize edilen biyoçarlar, kumlu-tınlı toprakta mısır bitkisinin çimlenmesine etkisini görmek amacı ile kullanılmıştır (Free ve ark., 2010). Denemede 20 cm toprak derinliğinde 0, 2.5, 5.0 ve 10 ton ha^{-1} düzeyinde biyoçarlar uygulanmıştır. Çalışma sonucu, farklı biyoçarlar dozlarının mısır tohumunun çimlenmesi, kontrole oranla önemli düzeyde artış göstermiştir. Biyoçarın toprakta C depolanması ve toprak kalitesini arttırması adına oldukça önemli etkileri olduğu rapor edilmiştir.

Besin değeri açısından fakir topraklarda yetiştirilen biber ve domatese uygulanan biyoçar ve hindistancevizi atığının bitki gelişimine ve verimine etkisi araştırılmıştır. Biyoçarlı

uygulamalar kontrole kıyasla önemli ölçüde olumlu sonuç vermiştir. Biyoçarlı biber bitkilerin sürgün çapı, yaprak alanı, kuru ağırlık, boğum sayısı, tomurcuk, çiçek ve meyve verimi değerleri yüksek çıkmıştır. Biyoçar bitki büyümesini teşvik edici ve biyokontrol ajan olarak kabul edilmiştir (Graber ve ark., 2010).

Biyoçar uygulamalı topraklarda toprak özellikleri iyileştirilirken karbon tutumu da sağlanmaktadır. Kanatlı hayvanların gübrelerinden (PL) elde edilen biyoçarın serada killi- tınlı toprakta biber, domates ve marul bitkisi üzerindeki enzim aktiviteleri, organik madde içeriği ve gelişime etkisi araştırılmıştır. 0, 200, 400 ve 600 kg/da dozlarında PL biyoçar gübreleri kimyasal gübre ile kıyaslanmıştır. Biyoçarlı uygulamalarda organik madde değeri β-glukosidaz, alkalin fosfataz, üreaz ve arilsülfataz enzim aktiviteleri önemli ölçüde artış göstermiştir. Her üç bitkide 4 kg/ha PL biyoçar uygulaması toplam yaş ve toplam kuru değerini arttırmıştır. Sonuçlar, PL biyoçarın tarımsal topraklarda kullanımı toprak özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra organik madde içeriğini artırarak bitki verimini ve enzim aktivitelerini arttırdığını göstermiştir (Akça ve Namlı, 2015).

Biyoçar kullanımı topraktaki C değerini ve ürün verimini arttırırken sera gazı emisyonlarını ve topraktaki besin akışını azaltabilir. Ancak 10 ton ha $^{-1}$'lık uygulama oranı çiftçiye yüksek maliyetinden kaynaklı kar getirmeyebilir. Chunxue ve ark. (2015)'nın yaptığı çalışmada beş farklı gübre çeşidinden biyoçar (11.33–11.47 t ha^{-1}), geleneksel kimyasal gübre (9.72 t ha^{-1}), nitrat gübresinin biber bitkisinin verim ve kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Biyoçarlı uygulamalarda biberin C vitamini içeriği 236.99'dan 278.28 mg kg^{-1}'a yükselmiştir. Nitratlı gübre ile kimyasal gübre arasında önemli bir fark gözlenlenmiştir (132.32'den 101.92 mg kg^{-1}'e düşmüş). Biyoçarın geleneksel gübre kullanımına oranla biberin verim ve kalitesinde önemli bir artış yaşanmıştır

Laghari ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, biyoçarın çöl topraklarının su tutma kapasitesini, toplam C, P, K ve Ca konsantrasyonlarını arttırdığını, hidrolik iletkenliğini ve pH değerini önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

Jeffery ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, biyoçarın ılıman iklim koşullarında verim artışına etkisinin olmadığı ancak tropik iklim koşullarına sahip bölgelerde ortalama %25 oranında artış sağlandığı belirtilmektedir. Tropik iklim bölgelerindeki toprakların pH (pH = 5.7) ve verimlilik seviyelerinin düşük olması, yüksek pH'a sahip biyoçarın (pH=9.0) uygulamalarına olumlu etki etmesiyle açıklanmıştır. Ancak daha yüksek pH'ya (pH = 6.9) sahip ılıman bölgesindeki toprakların daha verimli olmalarının yanı sıra yüksek miktarda gübreleme yapılıyor olmasının biyoçarın yaptığı katkıyı gölgelediği düşünülmektedir.

İsrail'in Arava kurak bölgesinde çeşitli biyoçar gübrelerinin biber bitkisi verimi ve hastalık direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Üç yıllık biyoçar uygulanan biber bitkilerinin meyve sayısında ve ağırlığında artış sağlanmıştır. Topraktaki organik madde değerini artarken pH, elektirik iletkenliği ve bitki mineral madde değerlerinde değişkenlik gözlemlenmemiştir (Kumar ve ark., 2018).

Kanatlı hayvanların gübreleri piroliz sonrası geri dönüştürülerek topraktaki kimyasal özellikleri iyileştirici ve besin içeriği zengin biyoçar, gübre olarak kullanılmaktadır. Bu biyoçarın (0; 2.5; 5.0; 7.5 ve 10 ton·ha^{-1}) biber (*Capsicum chinense*) bitkisine etkisi araştırılmıştır. Bu materyal (toprak + biyoçar) nemi tarla kapasitesine yakın tutularak 20 gün inkübe edilmiştir. Bu sürenin ardından deney alanından toprak örnekleri alınmış ve kimyasal olarak analiz edilmiştir. Biber fideleri serada üretilerek, fideler 15 cm boyundayken deneme alanlarına dikilmiştir. Bitki boyu, gövde çapı, taze sürgün ağırlığı ve taze meyve ağırlığı incelenmiştir. Biyoçar, asit düzeltici, başta fosfor ve potasyum olmak üzere besin kaynağı olarak toprağın kimyasal özelliklerini iyileştirmiştir. Ayrıca biberin bitki gelişim parametrelerini arttırmış, en yüksek dozdaki biyoçar oranı (10 ton·ha) toprağın kimyasal özelliklerini iyileştirmiştir. Ancak bu doz biber bitkisine zarar verebileceğinden 5 ton·ha^{-1} tavsiye edilmiştir (Tito ve ark., 2020).

Zeytin atığından piroliz edilen biyoçarın kurak ortamlarda domates ve biber bitkilerinin büyümesine, verim performansına etkisi araştırılmıştır. Biyoçar, domates ve dolmalık biber bitkilerine beş oranda (0, 8, 16, 30 ve 40 ton ha^{-1}) uygulanmıştır. Bitkilerin yaprak oransal su içeriği, klorofil, yapraktaki N, P ve K besin içerikleri ölçülmüştür. Çalışma ortasında ve sonunda fiziksel ve kimyasal analizler için her bir işlemden toprak örnekleri alınmıştır. Sonuçlara göre 8 ve 16 ton ha^{-1} oranlarında biyoçar uygulaması domates ve dolmalık biber gelişimini arttırmıştır. Ancak 30 ve 40 ton ha^{-1} uygulaması domates ve biber gelişimini olumsuz etkilemiştir. 8 ve 16 ton ha^{-1} ile muamele edilen bitkilerde besin analizi, yaprak ve meyvelerde N, P ve K konsantrasyonları diğer oranlara göre daha yüksek çıkmıştır. Yüksek biyoçar uygulamaları toprakta pH ve EC'yi sırasıyla %1.4 ve %12.3 (8 ton ha^{-1}) ile %7.3 ve %107. 8 (40 ton ha^{-1}) arttırmıştır. Kurak ortamlarda, domates ve biber üretim verimliliğini arttırmak için en uygun biyoçar oranı 8 ton ha^{-1}olarak önerilmiştir (Mohawesh ve ark., 2021).

Kaliforniya'da arazi koşullarında yetiştirilen Serrano biberine %100 inorganik N gübresi (165 kg N ha^{-1}) ve değişik oranlarda [0 (kontrol), 10, 30 ve 50 ton (t) ha^{-1}] biyoçar uygulanmıştır. Bu uygulamaların biber verimine, vejetatif büyümeye, N alımına, amonyak (NH_3) buharlaşmasına, topraktaki organik karbon (SOC) ve nitrat değişimine etkisi

incelenmiştir. İnorganik ve org-N gübrelerinin kombinasyonu, uzun vadeli yönetimde toprak N verimliliğini artırmak için etkili bir strateji olarak kabul edilmiştir (Duan ve ark., 2022).

Son zamanlarda toprak kirliliğini gidermek için biyoçar gibi toprak iyileştiricilerin kullanımı önem kazanmıştır. As ve Cd ile kirlenmiş topraklarda yetiştirilen biberin toksik elementlerine ve besin mevcudiyetine leonardit biyoçarının etkisine bakılmıştır. Biyoçar, Cu ve Pb'nun topraktaki biyoyararlanımını ve biber yapraklarındaki Cu içeriğini azaltmıştır (Antón-Herrero ve ark., 2022).

Farklı oranlarda mısır koçanı (0, %0.5, %1.0 ve %2) ve kanatlı hayvan (0, %0.5, %1.0 ve %2) atığından elde edilen biyoçarın biber bitkisinin gelişimine, makro-mikro elementlere ve toprak özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Mısır koçanın gelişim parametreleri üzerinde farklı etkileri olduğu, kanatlı atıkla olan interaksiyonlarında topraktaki makro ve mikro element değerlerinin artdığı bildirilmiştir. Mısır koçanı için %0.5'in kanatlı hayvan gübresinde %2'nin bitki gelişiminde yüksek değerde olduğu belirlenmiştir. Mısır koçanından elde edilen biyoçarın bitki gelişim parametreleri için tek başına yetersiz besin kaynağına sahip olduğu tespit edilmiştir (Jaaf ve ark., 2022).

2.5. Tuz Stresi ve *Verticillium* Solgunluğu İnteraksiyonu

Fıstıkta (*Pistacia vera*) NaCI kaynaklı toprak tuzluluğu (0, 1400, 2800 ve 4200 mg kg^{-1}) ve *V. dahliae* (10^7konidi/mL'l) enfeksiyonu arasındaki etkileşimin incelendiği bir çalışmada tuz stresinin *V. dahliae'*nın spor sayısını arttırdığı bildirilmiştir. *V. dahliae'*ya duyarlı olan bütün anaçlarda hastalık şiddeti daha çok tuza duyarlı fıstık çeşidinde görülmüştür. Ayrıca tuzluluk ve *V. dahliae* interaksiyonu tüm anaçlarda Na, K ve CI konsantrasyonlarını arttırırken K/Na oranını azaltmıştır (Mohammadi ve ark., 2007). Ancak Saadatmand ve ark. (2008) tarafından yapılan başka bir çalışmada toprak tuzluluğu (0, 1200 ve 2400 mg /kg^{-1} NaCI), su stresi ve *V. dahliae* interaksiyonun Sarakhs ve Qazvini fıstık çeşitleri üzerindeki etkileri incelenirken aralarında herhangi bir etkileşim görülmemiştir.

V. dahliae ve tuz stresinin domates bitkisinin gelişimi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada 50mM, 100mM, 150mM, 200mM ve 250 mM NaCI konsantrasyonları kullanılmıştır. Bitki gelişiminde gerileme buna bağlı olarak biyokimyasal metabolitlerde zararlanma fark edilmiştir (Yücel, 2008).

Dikilitaş ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada farklı tuz konsantrasyonları (50, 100, 200 ve 250 mM) ve *V. dahliae* interaksiyonlu uygulamalarda yetiştirilen domates bitkisinde antioksidan enzim aktiviteleri, toplam protein ve şeker içerikleri incelenmiştir.

Değerlendirmeler sonucunda enzim analizlerinde artış görülmüştür. *V. dahliae'*nın yüksek tuz stresi koşullarında hayatta kalabileceği ve mahsul verimini azaltan birleşik strese neden olabileceği sonucuna varılmıştır.

Pamukta *Verticillium* solgunluğu önemli bir fitopatojenik fungustur. Cui ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada pamukta *V. dahliae* ve tuz stresine karşı yeni bir Cotton≡VD simbiyont geliştirilmiştir. Bunun pamuk kökleriyle aralarında güçlü bir etkileşim olduğu ve pamuk fidelerinin tuz toleransını önemli ölçüde iyileştirdiği görülmüştür.

Bitkiler biyotik ve abiyotik streslere karşı korunmak için rizosferde bulunan çeşitli mikroorganizmalarla etkileşim haline girerler. Essalimi ve ark. (2022) çalışmasında erik ağacının (*Prunus domestica*) kök bölgesinde bitki gelişimini teşvik edici bakterilere bakmıştır. Bu kök bölgesinden on tane bakteri izolatı elde edilmiştir. Bu izolatların *Verticillium dahliae, Fusarium oxysporum*, fosfat çözündürülmesi ve amonyak üretimi gibi aktivitelerde etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca domates ve kavun bitkilerinde *Verticillium* solgunluğuna ve tuz stresine karşı koruma sağlamıştır. Bu gibi faydalı mikroorganizmalar bitki gelişimi ve stres faktörlerine karşı etkili, fungisitlere alternatif bir yöntem olarak kabul edilmiştir.

2.6. Arbusküler Mikorhizal Fungusların (AMF) *Verticillium* Solgunluğuna Etkisi

Toprak kaynaklı fungal patojenler kontrol edilmesi zor olan ve tarımsal üretim için büyük bir tehdit oluşturan funguslardır (Mcgovern, 2015; Borisade ve ark., 2017). Yapılan çalışmalarda AMF'ın bitkilerde toprak kaynaklı patojenlere (*Phytophthora, Aphanomyces, Fusarium, Verticillium, Sclerotium*) karşı direncini arttırdığı, kök çürüklüğü hastalıkları enfeksiyonunu azalttığı belirtilmektedir (Azcón-Aguilar ve ark., 2002; Lingua ve ark., 2002; Akköprü ve Demir, 2005; Khaosaad ve ark., 2007). Özellikle domateste önemli bir sorun olan *Fusarium* solgunluğuna karşı kullanılan AMF'nin hastalık oluşumuna engel olduğu (Ren ve ark., 2010), AMF'ın biber bitkisinin direncini ve rizosfer ortamını düzenleyip *Phytophthora* yanıklığı üzerinde antagonistik etki gösterdiği bildirilmiştir (Hu ve ark., 2020). AMF'ın hastalık şiddetini azaltmasındaki rolü birkaç mekanizma ve bunların kombinasyonlarıyla ilişkilendirilmiştir. Bunlar; i) patojen ile besin rekabeti, ii) konukçu bitkinin morfolojik ve biyokimyasal özelliklerini değiştirmesi, iii) konukçu bitkinin kök yapısını değiştirmesi, iv) rhizosferdeki zararlı mikroorganizmaların modifiye edilmesidir (Akköprü ve Demir, 2005; Vos ve ark., 2014; Li ve ark., 2021 b; Hallasgo ve ark., 2022).

Garmendia ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada, *V.dahliae'*nın biber bitkisini enfekte etmesi sonucu köklerde savunma mekanizmalarını ve AMF'ın patojen saldırısından

önce enzimatik aktiviteleri etkileyip etkilemediği araştırılmıştır. *Glomus deserticola*'nın bitki kökleri ile simbiyotik ilişki kurduğu, kitinaz, peroksidaz, süperoksit dismutaz (SOD) ve fenilalanin amonyum liyaz (PAL) enzimlerinde artış sağlanarak *Verticillium* solgunluğu zararının en aza indirildiği bildirilmektedir.

Pamukta sorun olan toprak patojeni *V. dahliae* solgunluğuna karşı AMF ve farklı fosfor dozlarının etkisi incelenmiştir. *V. dahliae*'ya duyarlılığı yüksek olan Sayar- 314 pamuk çeşidine *G.intraradices* AMF türü ile 0,40-80 kg ha^{-1} fosfor dozları kullanılmıştır. Bu uygulamaların hastalık şiddetinin %22-29 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. Kullanılan 80 kg ha^{-1} fosfor dozu enfeksiyonun baskılamada olumsuz etkisi olmuştur. Ancak P içeriği, mikorhizal kolonizasyonda AMF uygulanmayan muamelelere göre artış sağlanmıştır. AMF'nin daha düşük fosfor dozlarıyla uygulanması halinde *V.dahliae* enfeksiyon şiddetini azaltacağı ve enfeksiyona rağmen verimi arttıracağı bildirilmektedir (Orak ve Demir, 2011).

Domates, biber ve patlıcan bitkilerinde önemli tarımsal patojen olan *V.dahliae* solgunluk hastalığına karşı AMF, Humik Asit (HA) ve Peyniraltı suyu (W) uygulanmıştır. AMF türleri (*G.mossea* ve *G.intraradices),* HA (500 ppm) ve W (50 ml kg-1) uygulamalarının bitki gelişim parametrelerini arttırdığı ve hastalık şiddetini %40- 70.5 oranında azalttığı fark edilmiştir. AMF, HA ve W muamele gruplarının *V.dahliae* mikrosklerot sayısını %50 oranında azaltmıştır. Ayrıca HA ve W uygulamaları AMF gelişimi için ortam hazırlamıştır. Kök kolonizasyonunda ve toprak spor yoğunluğunda artış sağlanmıştır (Demir ve ark., 2015).

Zeytinde *V.dahliae* patojenine karşı toleransını arttırmak için kullanılan mikorhiza türlerinin hastalık şiddetini azalttığı, kontrole kıyasla bodurluk ve yaprak değişim değerlerinin daha az olduğu gözlenmiştir. AMF'nin zeytinde *V.dahliae'*nın hastalık semptomlarını azaltmaya yardımcı olduğu bildirilmiştir (Boutaj ve ark., 2019).

Sera koşullarında, *Glomus occulatum, Glomus clarum, Glomus etunicatum* ve *Glomus fasciculatum* AMF türlerinin zeytin ağaçlarında *V.dahliae* solgunluğuna etkisi araştırılmıştır. Sürgün boylarında, yaprak sayısında, yaş ve kuru ağırlıkta artış sağlanmıştır. Zeytin ağaçlarında *V.dahliae*'nın AMF türleri ile baskılanabileceği tespit edilmiştir (Khrieba ve ark., 2019).

Biberde iki farklı AMF'nin (ticari AMF ve *Glomus intraradices*) ve salisilik asidin iki oranda (0.5 ve 1 mM) *Verticillium dahliae* patojeninin hastalık şiddetine etkisi araştırılmıştır. Biber bitkilerinde kök kolonizasyon ve mikorhizal bağımlılık oranı %9.08 ile %59.37 arasında değişkenlik göstermiştir. Ticari AMF, morfolojik büyüme parametrelerinde, kök kolonizasyonunda mikorhizal bağımlılık oranlarında ve hastalık şiddetinin baskılanmasında önemli bir artış sağlamıştır. Kullanılan 1 mM SA, morfolojik gelişim parametrelerini

arttırmıştır. SA ve AMF uygulamaları biber bitkilerinde *Verticillium* solgunluk şiddetini sırasıyla %21.8 ve %56 oranında baskılamıştır (Coşkun, 2021).

*Verticillium dahliae'*nın neden olduğu vasküler solgunluk sadece bahçe bitkilerinde değil aynı zamanda baklagiller, orman ağaçları, otsu ve odunsu bitkiler gibi ekonomik açıdan önemli birçok bitkide hastalığa neden olur. Bu durumun nedenleri güvenli fumigasyon yönteminin olmaması, kimyasal ve biyolojik bozulmaya dirençli mikrosklerotların canlı kalabilmeleridir. Biyolojik mücadelede kullanılan bazı faydalı mikroorganizmaların ve biyofumigasyonların bu patojene karşı kullanılabileceği bildirilmiştir (Kowalska, 2021).

Domateste Rhizolive consortium'un *V.dahliae* solgunluğu ve antioksidan enzimleri üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan çalışmada kök kolonizasyonunun patojenli uygulamalardan çok az etkilendiği görülmüştür. Kontrole oranla mikorhizalı bitki gelişimi ve veriminde artış olduğu görülmüştür. Ayrıca AMF'nin *V.dahliae* infekteli domateslerde semptom gelişiminin ve MDA'nın azaldığı, CAT, SOD aktivitelerin önemli derecede arttığı bildirilmiştir (Rahou ve ark., 2021).

Enginarda (*Cynara scolymus* L.) sorun olan *Verticillium* solgunluğuna karşı *Glomus viscosum*'un etkisi araştırılmıştır. AMF'nin *V. dahliae*'dan etkilenen enginarların antioksidan enzim aktivitelerini güçlendirerek oksidatif stres semptomlarını hafiflettiği görülmüştür. AMF'li uygulamalarda APX ve SOD enzim aktivitelerinde önemli artışlar, askorbat, glutatyon ve lipid seviyelerinde azalmalar gözlenmiştir. Dolayısıyla *G. Viscosum* inokulasyonun enginarda *V.dahliae* patojenitesini azaltmak, bitki savunma sistemini geliştirmek, besin değerini düzenlemek ve insan sağlığına fayda sağlamak için etkili bir strateji olarak kabul edilmiştir (Villani ve ark., 2021).

2.7. Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF)'ların Tuz Stresine Etkileri

Son zamanlarda abiyotik stresler (tuzluluk, kuraklık, sıcaklık, mineral eksikliği, ağır metaller vb.) tarımsal üretim için büyük bir tehdit unsuru haline gelmiştir. Bu stresler gerek tekli gerek kombinasyonlu durumlarda bitkide fizyolojik bozukluğa, hormonal ve beslenme dengesizliğine neden olmaktadır (Hajiboland, 2013). AMF'ın abiyotik stres koşullarında bitki büyümesi ve gelişimini teşvik ettiği bildirilmiştir (Abdel Latef, 2013). AMF'nin koruyucu rolleri altında yatan mekanizmalar, bitkilerin oksidatif stres koşullarında AMF desteğiyle azaltılması (Abdel Latef ve Chaoxing, 2014), hızlı su alımı ve besin emilimi (Hajiboland, 2013) şeklinde açıklanmıştır. Abiyotik stres faktörlerinden tuzluluğun bitki büyüme hızına, fotosenteze, yaprak alan indeksine, lipid ve proteinlere engel olduğu bildirilmiştir

(Hasanuzzaman ve ark., 2013; Ahmad ve ark., 2016). Tuz koşullarında AMF'ın bitki gelişimi üzerindeki etkisi hakkında birçok çalışma yapılmıştır (Abeer ve ark., 2014; Abdel Latef ve Chaoxing, 2014). Tuzluluğa maruz kalan bitkilerin AMF'ın hif ağları vasıtasıyla su emiliminin sağlandığı (Hameed ve ark., 2014), düşük su potansiyelinde kökün hidrolik ve stoma iletkenliğini arttırdığı (Kapoor ve ark., 2008) ve kök sistemini uyararak değiştirdiği belirtilmektedir (Kothari ve ark., 1990; Sheng ve ark., 2008). Ayrıca klorofil içeriğini, N ve Mg alımını arttırdığı görülmüştür (Çekiç ve ark., 2012; Talaat ve Shawky, 2014). AMF kolonizasyonu SOD, CAT, POD ve APX gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini arttırarak tuzluluk zararına karşı koruma sağlamaktadır (Evelin ve Kapoor, 2014). Ancak tuza duyarlı bitkilerde AMF uygulanmasına rağmen prolin seviyesinin düştüğü ve bunun yüksek tuz konsantrasyonundan kaynaklandığı bildirilmiştir (Sheng ve ark., 2011). Poliamin, tuz stresi koşullarında AMF tarafından kullanılan mekanizmalardan biri olarak kabul edilmektedir (Kapoor ve ark., 2013; Latef ve ark., 2016). AMF'nin ayrıca tuz stresinde organik asit (oksalik asit, fumarik asit, asetik asit, sitrik asit vb.), ozmotik basınç ve katyonun dengelenmesine yardımcı olduğu belirtilmektedir (Hatzig ve ark., 2010). AMF'ın strigolakton bitki hormonunu arttırarak tuzluluk stresinin etkilerini azalttığı (Aroca ve ark., 2013), N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe ve Zn alımını uyararak Na ve CI alımını sınırladığı bildirilmiştir (Evelin ve ark., 2012). Ayrıca AMF'nin K / Na, Ca / Na ve Ca /Mg oranlarını koruyarak membran zararlanma indeksini azalttığı belirtilmektedir (Latef ve ark., 2016).

Hemen hemen bütün bitki kökleri, su ve mineral besin maddelerini, özellikle fosfat alımının arttırılmasında mikorhiza funguslarının karşılıklı ilişkisiyle oluşmaktadır. Besin alımına ek olarak mikorizal funguslar, bitkinin hastalık ve tuz gibi farklı stres koşullarını tolere etmelerine yardımcı olur (Yilma, 2019).

Orta düzeyde tuz stresi altında yetiştirilen biber fidelerinin büyüme ve besin içeriğine AMF'nin etkisi araştırılmıştır. İki farklı AMF türü (*Glomus intraradices* ve *Gigaspora margarita*) ile orta düzeyde (75 ppm NaCI) tuzun biber üzerindeki etkisine bakılmıştır. Çalışma sonucunda P, K, Ca ve Na gibi besin değerleri, sürgün boy, sürgün çap ve kök uzunluğu gibi gelişim parametreleri tuz stresinden olumsuz etkilenmiştir. Ancak her iki AMF türü bitki büyümesi ve tuz toleransı üzerinde olumlu etkiye sahip olmuştur (Turkmen ve ark., 2008).

Serada biber yetiştiriciliği yapılan bir çalışmada, *Glomus intraradices* AMF türünün toprak tuzluluğu (0, 50, 100 ve 200 mM NaCl) ve iki P düzeyinin (10 ve 40 mg kg^{-1}) yaprak alanı, kuru ağırlık, besin alınımı, EC değeri, klorofil, çözünür şeker ve prolin içeriği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Verilere göre mikorhizal bağımlılığın sadece yüksek tuz konsantrasyonunda azaldığı diğer uygulamalarda yüksek olduğu belirlenmiştir. Kolonizasyon

ise tuz stresi olmayan uygulamalarda %80 iken yüksek stresli bitkilerde %51 oranında görülmüştür. P uygulamasından bağımsız olarak, mikorhizalı bitkilerde mikorhizal olmayan bitkilere kıyasla tüm tuzluluk seviyelerinde kök ve sürgün boyu daha yüksek çıkmıştır. Mikorhizal olmayan bitkilerde, mikorhizal olanlara kıyasla Na değeri daha yüksek, K ve P elementi daha düşük bulunmuş ve tuz seviyesi arttıkça prolin değeri artmıştır (Beltrano ve ark., 2013).

Altuntas ve ark. (2016) 0, 25, 50, 10, 150 mM tuz dozlarında yetiştirdikleri üç farklı biber çeşidinde (Karaisalı, Demre ve Maraş) saksı ortamında mikorhizanın etkisini araştırmıştır. Mikorhiza uygulaması fidelerin saksılara dikimi sırasında (bitki başına 1000 mikorizal spor) yapılmıştır. Sonuçlar mikorhiza uygulamasının tuz stresi koşullarında bitki büyümesi üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Ayrıca mikorhiza uygulaması bitki gelişim parametrelerini yaklaşık %15-20 oranında, klorofil miktarını ve besin elementi değerlerini (N, P, K, Mg, Ca, Na, Fe, Zn, Cl) artırmıştır.

Tuzlu topraklarda yetiştirilen çerezlik kabak bitkisine *G.intraradices, G.margarita* ve *G.mosseae* AMF türlerinin etkisi araştırılmıştır. Fideler 3 gerçek yaprak dönemine geldiğinde 300 NaCI uygulanmıştır. Deneme sonucu, B33 genotipi A24 genotipinden tuzlu toprak koşullarında daha iyi gelişim göstermiştir. Tuz stresi altında yetiştirilen kabak bitkisine uygulanan AMF türlerinin genotip kombinasyonların etkinliği belirlenmiştir (Abdulhadi ve ark., 2017).

Glomus constrictum AMF türünün farklı deniz suyu konsantrasyonlarında sulanan biber bitkisinin büyümesine, fotosentetik pigmentlere ve antioksidan enzimlere etkisi incelenmiştir. Kontol amaçlı olarak, musluk suyu ve %10, %20, %40'lık deniz suyu düzeyi kullanılmıştır. Tuz stresinin biber bitkisinde, antioksidanlar hariç tüm parametreleri azalttığı görülmüştür. Ancak AMF türü büyüme parametrelerini, fotosentetik pigmentleri ve besin içeriğini (Na hariç) arttırmıştır. Bu gelişmenin biberin kök bölgesinde bulunan kolonizasyonun bir sonucu olduğu, dolayısıyla mikorhizal kolonizasyonun özellikle deniz suyu konsantrasyonları yüksek topraklarda tuz zararını azalttığı rapor edilmiştir (Al-Amri ve ark., 2019).

Altunlu, (2019) tarafından yapılan bir çalışmada 1 lt saksılarda 50 mM NaCl koşullarında yetiştirilen kapya bibere *Glomus fasciculatum* AMF türünün etkisi araştırılmıştır. Bu kombinasyonlu uygulamanın kolonizasyon oranına, enzim aktivitelerine (CAT, SOD ve POX), yaprak su içeriğine, klorofile, proline ve bazı fizyolojik parametrelere etkisi incelenmiştir. Sonuçlarda 50 mM tuz seviyesi kontrole kıyasla tüm parametreleri olumsuz etkilemiştir. Tuz uygulamalarında mikorhiza bitki gelişimini arttırmış, yaprak su içeriğini, prolin miktarını, enzim aktivitelerini ve fotosentetik pigmentasyonunu azaltmıştır. Kapya biber

yetiştiriciliğinde orta düzeyli tuz koşullarında *Glomus fasciculatum* uygulaması tuzun etkilerini azaltmada alternatif bir yol olarak kabul edilmiştir.

Mikorizal fungus, bir bitkinin tuz stresi toleransını artıran mikroorganizmalardan biri olarak ilgi görmüştür. Basak ve ark. (2019)'nın yaptığı çalışmada dört tuz konsantrasyonu ve iki mikorhiza türünün sera koşullarında biber bitkisinin verim ve amino asit miktarına etkisi araştırılmıştır. Tuz uygulamasının tek başına sürgün boyu, yaprak alanı ve amino asit miktarı azalırken, mikorhizalı uygulamalarda tersi durum söz konusu olup pozitif bir ilişki göstermiştir.

AMF'ın tuz ve organik atık koşullarında farklı biber türlerinin bitki gelişimine, kök kolonizasyonuna, besin elementlerine, meyve sayısına ve toplam fenol antioksidan değerlerine etkisi araştırılmıştır. AMF'nin tuz stresinde bazı çeşitlerin gelişimini kontrole kıyasla arttırdığı fark edilmiştir. Belirtilen parametrelerin biber çeşidine, AMF uygulamasına ve çevre koşullarına göre değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir (Kapoulas ve ark., 2019).

Dünyada yüksek ekonomik öneme sahip olan biberin üretimi toprak tuzluluğu ile sınırlanmaktadır. Ossai, (2021)'nin yaptığı çalışmada biberde AMF (5 gr), hindistan cevizi atığı (4 kg) ve kanatlı hayvan gübresi (250 gr) kullanımının tuzlu topraklardaki (10 mg/ml ve 20 mg/ml) etkisi araştırılmıştır. Değerlendirmeler sonucu kullanılan atıkların bitki gelişimi üzerinde etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

2.8. *Verticillium* Solgunluğuna Biyoçarın Etkisi

Organik atıklar, tarımsal uygulamalarda özellikle kök hastalıklarının inhibisyonunda ve verim artışında olumlu etkiler göstermiştir. Farklı kompost türlerinin ve biyoçarın toprak yapısını düzenlemesi, bitki gelişimini teşvik etmesi, rizosferdeki faydalı mikroorganizmaların aktivitesini arttırmasının yanı sıra *Fusarium, Verticillium, Pythium, Rhizoctonia* ve *Phytophthora* gibi toprak kaynaklı patojenleri de baskıladığı bildirilmiştir (Mehta ve ark., 2014; Were ve ark., 2021).

Çin'de pamuk tarlalarında sorun olan *Verticillium* solgunluğuna karşı yedi farklı organik maddenin etkisi araştırılmıştır. Toprağa uygulanan organik maddelerin hem saksıda hem tarla koşullarında hastalık şiddetini azalttığı görülmüştür. *V.dahliae*'ya karşı kullanılan yengeç kabuğunun %72, soya sapının %60 ve yonca atığının %56 oranında etkinlik gösterdiği bildirilmiştir. Hayvan gübresi (kümes), yer fıstığı küspesi ve buğday samanın ise antagonistik yüzdesinin düşük olduğu görülmüştür. Organik maddelerin pamuk bitkisinin rhizosfer bölgesinde yararlı fungus ve bakterilerin popülasyonunu arttırdığı fark edilmiştir. Dolayısıyla

organik madde uygulamaları pamukta *Verticillium* solgunluğuna karşı etkili bir yöntem olarak kabul edilmiştir (Huang ve ark., 2006).

Varo-Suárez ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada 35 farklı organik madde ile 16 kompost karışımının zeytinde *V. dahliae*' nın misel gelişimi ve mikrosklerot canlılığına etkisi araştırılmıştır. On bir organik maddenin ve beş kompost karışımın in vitroda inhibisyon etkisi yüksek çıkmıştır. Hastalık şiddetinde üzüm atığı ve zeytin atıklarında %100 azalma görülmüştür. Bu kompostların *Verticillium* solgunluğunun bastırılmasında etkinlik gösterdiği bildirilmiştir.

Tubeileh ve Stephenson, (2020) bazı organik atıkların (at gübresi, üzüm cibresi, zeytin piranası ve karışık mahsul atıkları) *V. dahliae* toprak patojenine etkisini araştırmıştır. Çalışmayı hem arazi hem laboratuvar ortamında gerçekleştirmiştir. Arazide söz konusu dört organik atığın biberde *V. dahliae*'nın gelişimine, bitki gelişimine ve verime etkisi incelenmiştir. Laboratuvarda ise kompostların ekstraktlarının petri ortamında *V. dahliae'*ya etkisine bakılmıştır. Arazi sonuçlarında organik atık ve geleneksel yöntem sonuçları benzer çıkmıştır. Ancak petri koşullarında kompost ekstraktları uygulamadan bir hafta sonra *V. dahliae* gelişimini %40-60 oranında azaltmıştır.

Organik gübrelerin toprak düzenleyici etkilerinin yanı sıra toprak kaynaklı fitopatojenlerin yoğunluğunu kontrol etmek için de iyi bir tarımsal uygulamadır. Cocozza ve ark. (2021) tarafından patateste *Verticillium dahliae* ve *Phytophthora* spp. patojenlerine karşı pirinç kalıntıları, katı atık kompostu, mantar kompostu ve hayvan gübresinin etkisi araştırılmıştır. Değerlendirmeler sonucu *Verticillium* solgunluğuna karşı en etkili kompostun pirinç kalıntıları olduğu *Phytophthora* spp karşı ise hiçbir maddenin etkinlik göstermediği bildirilmiştir (Cocozza ve ark., 2021).

Patlıcan bitkisine uygulanan biyoçarın (10 ton/ha) bitki büyümesine ve *Verticillium* solgunluğuna etkisi araştırılmıştır. Biyoçarın *V. dahliae'*nin şiddetini %70 oranında azalttığı ve patlıcan verimini arttırdığı görülmüştür (Ogundeji ve ark., 2021).

Kimyasal olmayan, bitki hastalık kontrolünde alternatif yol olan, toprak düzenleyici ve organik atıklardan oluşan biyoçarın patojen baskısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Birçok farklı biyoçarın, antagonistik mikroorganizmaların gelişimini etkileyen kök eksudatlarına, toprak özelliklerine, besin mevcudiyetine ve kök ve/veya yaprak patojen kontrolüne katkısı vardır. Ancak yapısı ve uygulama yöntemleri patojene göre değişeceğinden etkili incelemeler devam etmelidir (Poveda ve ark., 2021).

Batı Kenya'daki baklagillerin kök çürüklüğü fungal patojenleri üzerine ve toprak yapısına biyoçar ile vermikompostun etkisi araştırılmıştır. Patlıcandan alınan patojen izolatları

morfolojik özelliklere göre tanımlanmıştır. Biyoçar ve vermikompost bitki gelişimini olumlu yönde etkilerken hastalık şiddetini %40 ile %60 arasında azaltmıştır. Ayrıca *Trichoderma* ve *Paecilomyces lilacinus* gibi faydalı mikroorganizmaların popülasyonlarını, toprak pH'sını ve besin maddelerini arttırmıştır (Were ve ark., 2021).

2.9. Tuz Stresine Biyoçarın Etkisi

Biyoçar, tuzlu toprakları eski haline getirmek ve tuz stresine karşı bitki toleransını artırmak için etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Özellikle toprak katyon değişim kapasitesini, su tutma kapasitesini, toprakta besin tutma kapasitesini, enzim aktivitelerini ve mikrobiyal toplulukların çeşitliliğini arttırdığı belirtilmektedir (Egamberdieva ve ark., 2022).

Teknolojik çağda başarılı mahsul üretim için abiyotik stres faktörleri önemli kısıtlamalar arasına girmektedir. Biyoçar, mahsul üretimini arttıran, farklı abiyotik streslerin olumsuz etkilerini hafifleten çevre dostu olan biyo- uyarıcıdır. Hem bitki gelişimi hem de toprak düzenleyici olarak kullanılabilmektedir. Son zamanlarda popülerlik kazanmasının nedeni toprağın fizyo- biyokimyasal ve biyolojik özellikleri iyileştirmesidir. Ancak biyoçarın stres giderici rolleri tam olarak açıklanamamıştır. Dolayısıyla bu mekanizmanın araştırılması ve uygulama alanlarının arttırılması önerilmektedir (Imran ve ark., 2022).

Tuzlu toprak ile karıştırılan biyoçarın (koyun gübresi ve mısır koçanından pirolize edilen) topraktaki minerolojik yapısına ve kil çeşidine olumlu yönde etkisi olduğu belirtilmektedir. Tespit edilen kil çeşitlerinin, paligorskit, kaolinit, smektit, klorit killeri olduğu gözlemlenmiştir (Demir, 2018).

Tuz stresinde (150 mM) yetiştirilen bibere uygulanan deniz yosunu ve humik asidin meyve, kuru ağırlık, protein, prolin, lipid ve antioksidan enzim aktivitelerine etkileri araştırılmıştır. Sonuçlarda deniz yosunu ve humik asidin tuz stresinde biber bitkisinin vejetatif büyümesini iyileştirdiği fark edilmiştir. Bu iki organik madde tuz stresinde bitkinin yaş ve kuru ağırlığını arttırmıştır. Ayrıca SOD, POD ve CAT aktivitelerinde önemli bir artış olmuştur. Deniz yosunu ve humik asidin tuz toleransını arttırabildiği ve biber bitkisinin oksidatif strese karşı koruma sağladığı belirtilmektedir (Yıldıztekin ve ark., 2018).

Tuzluluk ve kuraklık küresel gıda güvenliğini engelleyen en büyük tehditler arasındadır. Son on yılda, tarımda kimyasal modifikasyon ve toprak verimliliğini artırmada biyoçar büyük bir ilgi görmektedir. Abd El-Mageed ve ark. (2020) bu çalışmasında kükürt ile güçlendirilmiş biyoçarı ve narenciye odun biyoçarını (BCH) 5:100 (a/a) toprağa karıştırmıştır. Bunların toprak özelliklerine, tuz stresi altındaki biberin gelişimine, verimine, tuzluluk zararına etkileri

araştırılmıştır. Bu uygulamalar, dehidrasyon toleransını, beslenme durumunu, bitki büyümesini, verimi ve fotosentetik verimliliği arttırırken, Na ve Cd elementlerini önemli ölçüde azaltmıştır. N, P, K , Fe, Mn, Cu, Zn ve Ca^2 alım değerlerinde artış sağlanmıştır. Etkili mikroorganizmalarla birleştirilmiş kükürtlü biyoçar uygulamaları, yüksek tuzluluk varlığında biberler üzerinde kısa vadeli faydalı etkiler göstermiştir. Bu araştırma ile biber + tuz + biyoçar kombinasyonunun daha faydalı incelemeler ile tekrarlanması ön görülmüştür.

Meyan kökü (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch) özellikle kurak bölgelerde, terk edilmiş topraklarda, tuza ve kuraklığa dayanıklı bir bitkidir. Mısırdan elde edilen biyoçarın (600 °C piroliz edilmiş), meyan kökünün büyümesine, besin alımına, kök sistemine ve tuz stresine etkisi araştırılmıştır. Deneme %2, %4 ve %6 biyoçar oranlarında saksı ortamlarında kurulmuştur. Tuzlu koşullarda kırk gün sonra %2 oranındaki bitkilerin sürgün ve kök boylarında %80 ve %41 oranında artış sağlanmıştır. Kök uzunluğu, sürgün boy, yaprak alanı, kök ağırlığı ve nodülasyon özellikleri gibi kök yapı özellikleri %2 ve %4 biyoçar uygulamasıyla önemli ölçüde artmıştır. Bitki dokusundaki N ve K elementleri de kontrole göre artış göstermiştir (Egamberdieva ve ark., 2021).

Ibrahim ve ark. (2021) yaptığı çalışmada biyoçarın (0, 2.5, 5 ve %10) tuz koşullarında (0.8, 4.1 ve 7.7 dS m^{-1}) yetiştirilen sorgum (*Sorghum bicolor* L) üzerindeki etkisi incelenmiştir. Fide çıkış yüzdesi, kök uzunluğu, sürgün uzunluğu, kök yaş ağırlığı, sürgün yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı ve bağıl su içeriği parametreleri incelenmiştir. Biyoçarın tuzluluk ile arasındaki etkileşim önemli yöndedir. Bu araştırmada uygulanan tüm biyoçar seviyeleri arasında %5 biyoçar oranı tuz stresini azaltmada yüksek etkiye sahiptir. Bu bulgular, biyoçarın uygun miktarda kullanılmasının tuz stresine etkilerini azaltabileceğini kanıtlamıştır. Ancak yüksek düzeyde biyoçar uygulamasının olumsuz etkileri olabileceği düşünülmektedir.

2.10. Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) ve Biyoçar İnteraksiyonu

Sert ağaç kabuklarından piroliz edilen ticari preparat biyoçarın AMF ile kombine uygulamalarında kuşkonmaz bitkisinde önemli sorun olan toprak kaynaklı *Fusarium* spp.'a etkisi incelenmiştir. Sera koşullarında yapılan çalışmada, %1.5 ve %3 oranında biyoçar toprağa karıştırılmıştır. Değerlendirmeler sonucu, %3'lük oranın AMF'nin kök kolonizasyonunda artış sağladığı gözlenmiştir. Kuşkonmaz bitkisinin yapısında bulunan alelokimyasalların (sinnamik, kumarik, ferulik) kök kolonizasyonu üzerindeki negatif etkisi biyoçar ile azaltılmıştır (Elmer ve ark., 2011).

Küçükyumuk ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada vermikompost (0, 2.5, 5 ve 10 g kök^{-1}) ve mikorhizanın (0, 1 ve 2 g kök^{-1}) biber gelişimi ve mineral madde üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yaprak örneklerinden bitki besin analizleri, yaş ve kuru ağırlık parametreleri incelenmiştir. Sonuçlara göre vermikompost ve mikoriza uygulamalarının biberde bitki beslemeye, yaş ve kuru ağırlığa etkileri olumlu yönde olmuştur. En yüksek gelişim ve besin konsantrasyonu vermikompost + mikorhiza kombinasyonunda görülmüştür.

AMF, bitkinin tuzluluğa toleransını arttırdığından biyo-iyileştirici olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla tuzlu toprak koşullarına karşı AMF ve organik madde (biyoçar) kombinasyonlarının yararlı olacağı düşünülmektedir. AMF'nin toprak strüktürünü düzenlerken organik madde ile aralarında sinerjistik etki olduğu bildirilmektedir (Nurbaity, 2014).

Mikrobiyal aktivite bakımından zengin olan biyoçarın hala spesifik etki mekanizmalarının tam olarak açıklanmadığı bildirilmiştir. Akhter ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada domateste (*Solanum lycopersicum* L.*)* toprak kaynaklı patojen olan *Fusarium oxysporum* spp. gelişimine %20'lik kayın ağacı atığı ile bahçe kalıntılarından oluşan kompost ve %3'lük AMF'nin etkisi araştırılmıştır. Kompost + AMF interaksiyonunun domates gelişimi üzerinde olumlu bir etkisi olmuştur. Kullanılan organik atıkların AMF kolonizasyonunu arttırmadığı ancak interaksiyonun *F. oxysporum'*a karşı biyo-koruyucu bir etki gösterdiği bildirilmiştir. Kompostların tekli uygulamaları *F. oxysporum* gelişimi üzerinde değişkenlik göstermiş, bahçe atıklarında hastalık şiddeti en yüksek iken kayın ağacı atığında tersi durum söz konusu olup patojen baskılanmıştır. Dolayısıyla AMF + biyoçar etkileşiminin bitki gelişimi ve *F. oxysporum* baskılanmasında etkinlik gösterdiği bildirilmiştir (Akhter ve ark., 2015).

Sharifi ve ark. (2017) fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) ile tatlı biberde (*Capsicum annuum* L.) biyoçar (%0 ve %10), vermikompost (%0, %15 ve %30) ve AMF (*Glomus intraradices*)'nin etkisini araştırmıştır. Her iki bitkide de uygulamalar arasında fark görülmemiştir. Fesleğenin gelişim parametrelerinde biyoçar uygulamasının pek etkisinin olmadığı, AMF'nin özellikle P alımında artış gösterdiği bildirilmiştir. Biberin gelişim parametrelerinde ise vermikompostla interaksiyonlu uygulamalarda ve P alımında artış görülmüştür. Mikorhiza uygulamalarının biber bitkisindeki parametreleri etkilemediği, biber için bu interaksiyonlu uygulamalardan farklı gübrelerin kullanılması gerektiği bildirilmiştir.

Domateste *V. dahliae'*ya karşı kompost ve AMF'nin etkisi araştırılmıştır. AMF + kompost interaksiyonlu uygulamalarda *V. dahliae'*ya hastalık şiddetinin düşük çıktığı, bitki gelişim parametrelerinin arttığı, stoma iletkenliği ve klorofil değerlerin pozitif yönlü etkilendiği bildirilmiştir. Ayrıca bu AMF + kompost interaksiyonun MDA, SOD, CAT gibi enzim aktivitelerinde önemli gelişmeler gösterdiği belirtilmiştir (Ait Rahou ve ark., 2021).

Son yıllarda bitki verimliliği ve topraktaki mikrobiyal aktivite üzerindeki potansiyel etkisiyle biyoçar, tarımsal alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Gaffar ve ark. (2021) çalışmasında Jalapeno biberine (*Capsicum annuum*) uygulanan on iki farklı biyoçar (350°C ve 500°C'de altı farklı hammaddeden yapılmış) çeşidinin topraktaki yararlı bakteri ve mikorhiza popülasyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Biyoçar uygulamalarının, Jalapeno biberinin büyümesini ve verimini önemli ölçüde etkilemediği, ancak toprak mikroorganizmaları ve enzim aktiviteleri üzerinde pozitif etki gösterdiği fark edilmiştir. Jalapeno biberinin kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğunda %8'lik bir azalma ile birlikte bakteri popülasyonunda %10 bir artış olmuştur. Farklı biyoçarların gözenek yapısı (gözenek boyutu ve hacmi), pH, bitki büyümesi, toprak mikrobiyal popülasyonu ve enzim aktiviteleri özellikleri değişkenlik göstermiştir.

Kırmızı biber bitkisinin besin alımına toprak geliştirici mikorhiza ve biyoçarın etkisi araştırılmıştır. Çalışma üç oranlı veziküler- arbusküler mikoriza [(10 g/bitki (m_1), 15 g/bitki (m_2) ve 20 g/bitki (m_3)] ve üç tip biyoçardan [biyoçar kabuğu %50+%25 toprak+%25 kum (b_1), %50 kum+%25 toprak+%25 biyoçar odunu (b_2) ve %50 biyoçar odunu + %25 toprak + %25 biyoçar kömür kabuğu] oluşmaktadır. Sonuçlara göre fosfor ve potasyum alınımı, yaş ağırlık ve mikorhizal bağımlılık yüzdeleriyle aralarında pozitif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir (Giono ve ark., 2021).

AMF ve biyoçarın hem tekli hem de kombinasyonlu uygulamalarının çemen bitkisinin gelişimini arttırdığı, stres faktörlerinde önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir. Bu iki organik biyo- iyileştirici kombinasyonu hakkında sınırlı sayıda bilgi mevcuttur. Biyoçar ve AMF'nin çemen bitkisinin (*Trigonella foenum-graecum*) gelişimine, kök yapısına, enzimatik aktivitelerine ve fizyolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Verilere göre biyoçar ve AMF'nin sırasıyla bitki boyu (%53.3 ve %66.6), yaprak sayısı (%22.5 ve %45.1), toplam kök uzunluğu (%19.8 ve %40.1), kök ağırlığında (32.1), toplam klorofil içeriği (%30,0 ve %18,1) ve karotenoid içeriği (%60.0 ve %48.0) kontrol muamelesine göre önemli bir fark gözlemlenmiştir. Biyoçar AMF kombinasyonunda ise bitki boyunda %80.9, toplam kök uzunluğunda %68.9, yaprak alanda %48.7, kök yüzey alanında %34.4, kök ağırlığında %78.5, klorofil içeriğinde %34.2 oranında önemli bir artış olmuştur (Jabborova ve ark., 2021).

Bitki gelişimi topraktaki besin mevcudiyetiyle ilişkilidir. Topraktaki C- organik madde, mevcut besin ve faydalı mikroorganizma varlığı önemli faktörlerdir. Rahim, (2021) bu araştırmadaki verileri doğrudan sahadan toplayıp laboratuvarda gözlemlemiştir. Kompost + biyoçar+mikorhiza uygulamasının biber bitkisinde vejetatif büyüme üzerine etkisi araştırılmış ve sonuçta bu üçlü kombinasyonların biber gelişimini teşvik ettiği görülmüştür.

Sclerotinia sclerotiorum (Lib) Bary'in neden olduğu *Sclerotinia* kök çürüklüğü dünyanın birçok yerinde soya fasulyesinde önemli bir hastalık olarak kabul edilmektedir. Bu patojenle mücadele için sürdürülebilir tarım yöntemleri kullanılmaktadır. Safaei Asadabadi ve ark. (2021) tarafından biyoçar, kompost ve AMF'nin soya fasulyesi gelişimine ve *Sclerotinia sclerotiorum'*a etkisi araştırılmıştır. Kompostun gerek AMF'li gerek AMF'siz uygulamalarında hastalık şiddeti düşük çıkmıştır. En yüksek AMF kök kolonizasyonu patojen+ biyoçar + AMF, en düşük kolonizasyon kompost interaksiyonlarında görülmüştür. Ancak soya fasulyesi gelişimi ve hastalık baskılanması açısından kompost uygulamalarının biyoçar ve AMF'den daha olumlu bir etki gösterdiği bildirilmiştir (Safaei Asadabadi ve ark., 2021).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Bitkisel materyal

Çalışmada bitkisel materyal olarak, İBK İklim Bahçe özel firmadan temin edilen ve ön çalışmalar ile *Verticillium dahliae*'ya duyarlılığında en iyi performansı gösteren (Coşkun, 2021) Sera Demre 8 tescilli yerel sivri biber (*Capsicum annuum* L.) çeşidi kullanılmıştır.

3.1.2. *Verticillium dahliae*

Çalışmada virülensliği önceden belirlenmiş olan ve biberden izole edilen *V.dahliae* (virulensliği %80) izolatı kullanılmıştır (Coşkun, 2021). Bu izolat Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Mikoloji Laboratuvarında bulunan kültür stoğundan temin edilmiştir.

3.1.3. Besi ortamı

Çalışmada patojen izolatının çoğaltılması ve uzun süre saklanması için Patates Dekstroz Agar (PDA) ve su agarı besiyeri kullanılmıştır (Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2).

Çizelge 3.1. *Verticillium dahliae* izolatı besi yeri olarak kullanılan PDA ortamı için gerekli kimyasallar ve miktarları

Kimyasallar	Miktar
Patates	200 g
Dekstroz	20 g
Agar	20 g

*121°C'de 20 dk. otoklavlanmıştır.
**1000 ml PDA besi yeri (Dhingra ve Sinclair 1985).

Çizelge 3.2. *Verticillium dahiae* izolatı besi yeri olarak kullanılan su agarı ortamı için gerekli kimyasallar ve miktarları

Kimyasallar	Miktar
Agar	15 g

*121°C'de 20 dk. otoklavlanmıştır.
**1000 ml Su Agarı besi yeri (Barry ve ark. 1970).

3.1.4. Tuz konsantrasyonları

Daha önce yapılmış çalışmalar (Akay Rastgeldi, 2010; Shams ve ark., 2019) dikkate alınarak biber bitkisinin tuz stresine reaksiyonlarını belirlemek amacıyla (0 mM, 50 mM, 100 mM ve 150 mM) NaCl konsantrasyonları kullanılmıştır.

3.1.5. Arbusküler mikorhizal fungus (AMF)

Çalışmada, biyolojik iki farklı AMF türü kullanılmıştır. Bunlardan birincisi Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Mikoloji laboratuvarı stoklarından temin edilen *Funneliformis mosseae* (T.H. Nicolson & Gerd.) C.Walker & A.Schüßler 2010) türüdür. Bir diğeri ise ERS (Endo Roots Soluble) ticari isimli AMF (*Glomus intraradices, Glomus aggregatum, Glomus mosseae, Glomus clarum, Glomus monosporus, Glomus deserticola, Glomus brasillianum, Glomus etunicatum, Gigaspora margarita*) inokulumu Bioglobal Ltd. Şirketinden temin edilmiştir.

3.1.6. Biyoçar

Denemede kullanılan biyoçar organik materyali Tek Karbonlu Mangal Kömür Üretim A.Ş.' den temin edilmiştir. Kömür benzeri bir malzeme olan biyoçar, yüksek yüzey alanına ve yüksek gözenekli yapıya sahip bir materyaldir. Fide şaşırtmasıyla birlikte hazırlanan toprak harcına %2'lik ve %4'lük oranlarda biyoçar karıştırılarak deneme yürütülmüştür (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Denemede kullanılan biyoçarın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kullanılan materyal	Piroliz Türü	Isıtma Hızı	Sıcaklık / ^{0}C
100 % Doğal Meşe toz halinde	Orta Piroliz	Orta	450

3.1.7. Bitki yetiştirme ortamı

Çalışmalar; led bitki gelişim ışıkları ile sağlanan 6000-8000 lux ışık şiddeti, 16 saat aydınlık 8 saat karanlık ışıklanma periyodu, 23±2 ^{0}C sıcaklık ve %60-70 oransal nem koşullarına sahip iklim odasında gerçekleştirilmiştir.

3.1.8. Besin solüsyonunun özellikleri

Hoagland solüsyonu hazırlanarak (Bakır, 2012), (Çizelge 3.4) deneme süresi boyunca sulama ile bitkilere uygulanmıştır (Hoagland ve Arnon 1950).

Çizelge 3.4. Denemede kullanılan besin solüsyonu içeriği (g/l) hoagland çözeltisi

Makro Elementler (10X)*	(g\L)	Mikro Elementler (1X)*	(g\L)
KSO_4	15.7	H_3BO_3	0.124
KH_2PO_4	2.7	$MnSO_4$	0.066
$MgSO_4.7H_2O$	24	$CuSO_4.5H_2O$	0.100
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	47.23	NH_4Mo	0.048
KCl	0.0746	$ZnSO_4.7H_2O$	0.155

*Her 10X, 10 litre Makro besin solüsyonuna 50 ml mikro besin solüsyonu eklenir.
*Her 1X, 1litre makro ve mikro besin solüsyonu için kullanılmadan önce 1ml Fe EDTA eklenir (FeEDTA (1000X) - 365g\l).

3.2. Yöntem

Çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü iklim odası koşullarında iki aşamalı olarak kurulmuştur. İlk aşamasında; öncelikle viyollerde fide yetiştirilmiş daha sonra tuz konsantrasyonlarında biyoçar oranı ve AMF türünün tespiti için saksı ortamına şaşırtılmıştır. İkinci aşamasında ise viyollerde yetiştirilen biber fideleri önceki aşamadan seçilen AMF türü ve biyoçar oranının aynı tuz konsantrasyonlarında *V. dahliae*'ya etkisini belirlemek için saksılara şaşırtılmıştır.

3.2.1. Farklı tuz konsantrasyonlarında bitki gelişimi için uygun biyoçar oranı ve AMF türünün tespit edilmesi

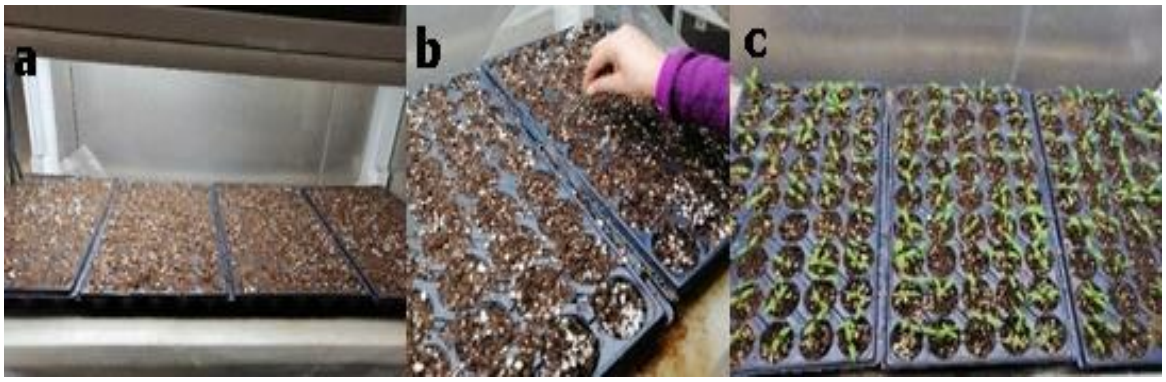
Çalışmanın fide yetiştirme aşaması için biber tohumları 2:1 oranında steril torf-perlit karışımından oluşan harç materyalinin 4.7 x 6.0 cm ebatlarındaki 45'lik plastik viyollere ekilmiştir (Şekil 3.1). Kullanılan harç materyaline ait bazı özellikler aşağıda verilmiştir:

Çimlendirme torfu özellikleri;

- Yüksek kalitede %70 beyaz torf + %30 siyah torf
- Ph değeri 5,2 – 6,0
- Tuz oranı 0,3 gr/lt
- Toplam N-P-K + mikro elementler 1,5 kg/ton
- Elenmiş strüktür: İnce (0-10 mm)

Perlit;

Kimyasal kompozisyonu ağırlıkça yüzde olarak aşağıdaki maddelerden oluşan perlit kullanılmıştır: SiO_2 (72.0 – 76.0 %), Al_2O_3(11.0 – 17.0 %), K_2O(4.0 – 5.0 %), Na_2O(2.9 – 4.0 %), CaO(0.5 – 2.0 %), MgO(0.1 – 0.5 %), Fe_2O_3(0.5 – 1.5 %), TiO_2(0.03 – 0.2 %), MnO_2(0.03 – 0.1 %), SO_3(0 – 0.2 %), H_2O(2 – 7 %).



Şekil 3.1. Biber tohum ekimi ve çimlenmesi a. 2:1 oranında torf-perlit karışımı, b. tohum ekimi, c. tohumların ilk çıkışları.

Çalışmanın birinci aşamasında, Sera Demre 8 yerel biber çeşidi, iki farklı AMF türü (*Funneliformis mosseae* ve *Glomus* spp. içeren ERS ticari preparat), bitki gelişimi üzerindeki en uygun biyoçar dozları (%2 ve %4) hazırlanan toprak harcı ile karıştırılıp toprakta bulunan tuz konsantrasyonlarına (0 Mm, 50 mM, 100 mM ve 150 mM) etkisi belirlenmiştir. Çalışma 24 farklı muamele grubu oluşturularak tesadüf parselleri deneme desenine göre dizayn

edilmiştir. Buna göre her muamele grubunda 5 tekerrür her tekerrürde ise 2 bitki olacak şekilde toplam 240 bitki ile çalışma yürütülmüştür. Bu aşamada yürütülen çalışmada oluşturulan uygulamalar Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Çalışmanın ilk aşamasında yer alan uygulamalar

No	**Uygulama Grubu**	**Açıklama**
1	KD	Hiçbir uygulama yapılmayan biber bitkileri
2	M1	AMF (ERS Ticari) inokulasyonu yapılan biber bitkileri
3	M2	AMF (*F.mosseae*) inokulasyonu yapılan biber bitkileri
4	B1	%2 biyoçar uygulaması yapılan biber bitkileri
5	B2	%4 biyoçar uygulaması yapılan biber bitkileri
6	T1	50 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
7	T2	100 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
8	T3	150 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
9	M1T1	AMF (ERS Ticari) ve 50 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
10	M1T2	AMF (ERS Ticari) ve 100 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
11	M1T3	AMF (ERS Ticari) ve 150 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
12	M2T1	AMF (*F.mosseae*) ve 50 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
13	M2T2	AMF (*F.mosseae*) ve 100 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
14	M2T3	AMF (*F.mosseae*) ve 150 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
15	B1T1	%2 biyoçar ve 50 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
16	B1T2	%2 biyoçar ve 100 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
17	B1T3	%2 biyoçar ve 150 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
18	B2T1	%4 biyoçar ve 50 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
19	B2T2	%4 biyoçar ve 100 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
20	B2T3	%4 biyoçar ve 150 mM tuz uygulaması yapılan biber bitkileri
21	B1M1	%2 biyoçar ve AMF (ERS Ticari) uygulaması yapılan biber bitkileri
22	B1M2	%2 biyoçar ve *F.mosseae* uygulaması yapılan biber bitkileri
23	B2M1	%4 biyoçar ve AMF (ERS Ticari) uygulaması yapılan biber bitkileri
24	B2M2	%4 biyoçar ve *F.mosseae* uygulaması yapılan biber bitkileri

Çalışmanın ikinci uygulaması için toprak örneği Van ilinin Gevaş ilçesi yakınlarında 0-20 cm derinliğinden alınmıştır (Şekil 3.1). Deneme kurulmadan önce toprak örneğinin pH, EC,

kireç, bünye ve organik madde içeriği analizleri sonucu kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.6). Çalışmanın bu aşamasında, 2 kg 14x16 cm ebatlarında plastik saksılar kullanılmıştır. Saksılar kullanım öncesi %10'luk Sodyum Hipoklorit ile steril edilmiştir.

Çizelge 3.6. Toprak örneği analiz sonuçları

Toprak Özellikleri	Birim	Analiz Sonucu
Ph		7.19 (hafif alkali)
EC	MS/cm	64.6 (Tuzsuz)
Kireç	%	2.26 (Düşük kireç)
Organik Madde İçeriği	%	0.87 / 0.044 N
Bünye	%	Kum: 67.2 Kil:17.6 Silt: 15.2

Alınan örnekler havada kurutularak 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Daha sonra toprak örnekleri laboratuvar ortamında otoklavda 121^0C'de 1 saat bekletilerek strerilizasyonu yapılmış ve çalışma için kullanıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Deneme toprağının hazırlanması a. toprak örneğinin hazırlanması, b. toprağın 2 mm'lik elekten geçirilmesi, c. toprak örneklerinin otoklavda dezenfeksiyonu.

3.2.1.1. Fide yetiştiriciliği ve AMF inokulasyonu

Uygun AMF türü ile biyoçar oranının tespit edilebilmesi için ilk etapta fide elde etmek amacıyla viyollere tohum ekimi gerçekleştirilmiş ve bu aşamada aynı zamanda tohum ekimi ile beraber AMF inokulasyonu da yapılmıştır. Bu aşamada biri *Funneliformis mosseae* diğeri ticari ERS preparatı (Endo Roots Soluble) olmak üzere iki farklı AMF türü kullanılmıştır (Şekil 3.3).

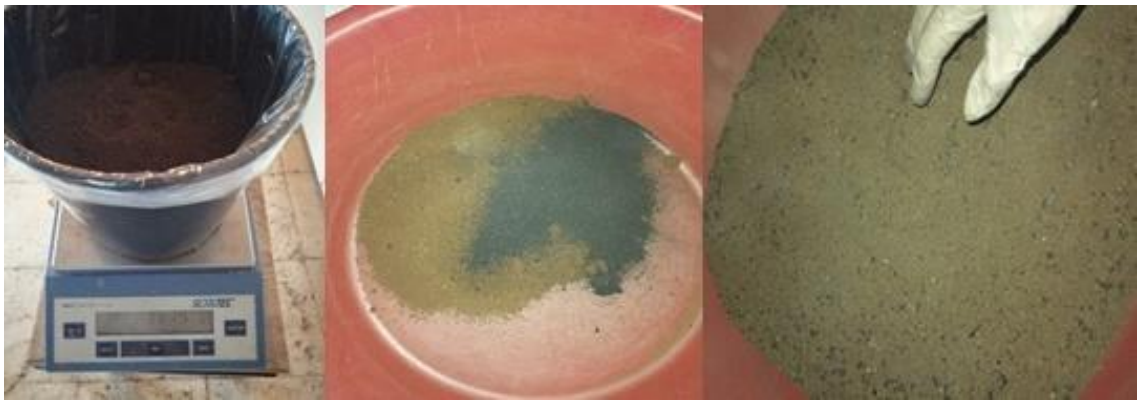
Hazırlanan harç karışımında 2.5-3 cm kalınlığında bir katman oluşturulmuş her bir viyol gözüne 10 g (25-150 spor/g) olacak şekilde tohum yatağına *Funneliformis mosseae* ve ticari AMF (ERS) inokulumları yerleştirilerek tohum ekimi yapılmıştır (Şekil 3.3). AMF uygulaması yapılmayan saksılarda tohum yatağına steril kum bırakılmıştır. Çimlenme süresi boyunca üç günde bir, çimlenme gerçekleştikten sonra iki günde bir sulanmıştır. Tohum ekiminden 4 hafta sonra biber fideleri viyol gözlerinden alınarak saksılara şaşırtılmıştır (Şekil 3.3).



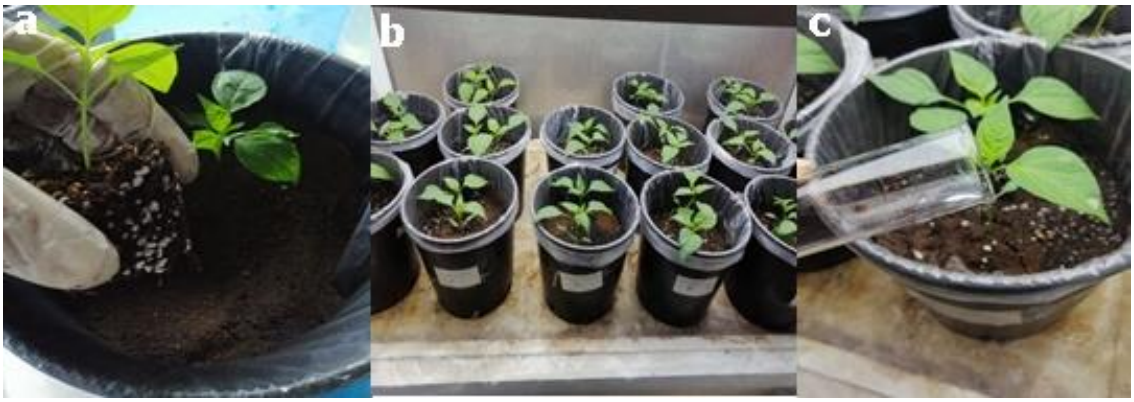
Şekil 3.3. AMF uygulaması ve fide şaşırtması a. tohum ekiminden önce bırakılan AMF, b. biber fidelerinin 4 haftalık gelişimi, c. fidelerin şaşırtmadan önceki son görünümü.

3.2.1.2. Biyoçar uygulaması

Bkz. Şekil 3.2 ve Bkz. Çizelge 3.5. de belirtildiği şekilde sterilizasyonu yapılan toprak karışımı kullanılmıştır. Hazırlanan toprak karışımı ile fide şaşırtma öncesi saksılara %2 ve %4'lük oranlarda biyoçar karıştırılmıştır (Şekil 3. 4). Biyoçar uygulaması yapılmayan muamele gruplarında sadece toprak kullanılmıştır. İkinci gerçek yapraklar ortaya çıktıktan sonra biyoçar uygulanan topraklara şaşırtma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5).



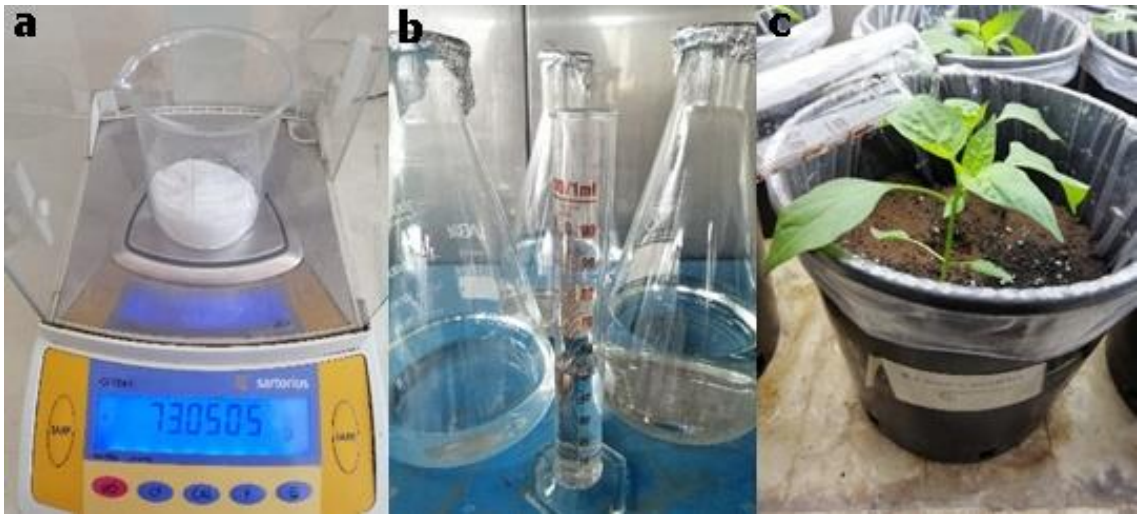
Şekil 3.4. Toprağın tartılması ve biyoçarın karıştırılması.



Şekil 3.5. a. Biber fidelerinin şaşırtma işlemi, b. denemenin kurulması, c. fidelere hoagland solüsyonu uygulaması.

3.2.1.3. Tuz konsantrasyonlarının uygulanması

Stressiz koşullarda yetiştirilen biber fideleri saksılara şaşırtıldıktan 5 gün sonra ve 3 yapraklı aşamada iken tuz stresine maruz bırakılmıştır. Tuz uygulaması, belirlenen düzeylere ulaşıncaya kadar (25 mM) 2 günde bir (0 Mm, 50 mM, 100 mM ve 150 mM) olacak şekilde aynı saatte sulama suyu ile yapılmıştır. Bu şekilde osmotik şok engellenerek 6 uygulama sonrasında (toplam 12 gün) tuz uygulaması sonlandırılmıştır. Her tuz uygulamasında sulama suyunun EC değerleri ölçülmüştür. Kontrol grubuna aynı miktarda tuzsuz su uygulanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Tuz uygulaması a. ve b. tuz konsantrasyonun hazırlanması, c. fidelere tuz uygulaması.

Denemede tuz stresi belirtileri gözlenmeye başlayınca hasat işlemine karar verilmiştir. Deneme 8 hafta sonra sonlandırılarak gerekli analizlere başlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Çalışmanın birinci aşamasından genel görünüm.

3.2.2. Biyoçar oranı ve AMF türünü belirlemede kullanılan parametreler

Hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra, 0-5 skalası, pH, EC, AMF kök kolonizasyonu, topraktaki spor yoğunluğu, mikorhizal bağımlılık oranları, YOSİ, MZİ, klorofil ile bitki gelişim kriterleri değerlendirilerek en iyi performansa sahip AMF türü ve biyoçar dozu seçilerek ikinci aşamada *V. dahliae*'ya patojenine ve tuz stresine etkisi belirlenmiştir

3.2.2.1. 0-5 skalası

Tuz stresi etkilerinin subjektif olarak belirlendiği 0-5 skalası Kuşvuran (2010)'a göre yapılmıştır. Buna göre:

0: Hiç etkilenme yok (kontrol bitkileri)

1: Tuz stresinden hafif etkilenme (%5'e kadar)

2: Alt yapraklarda solgunluk başlangıcı ve tuz stresinden etkilenme (%6-20 arası)

3: Yapraklarda kıvrılma, solgunluk ve sararmalar (%21-50 arası)

4: Yaprakların %51-80 düzeylerinde şiddetli solgunluk, sararma, yapraklarda nekroz ve kurumalar

5: Bitkide %80 üzerinde geriye dönüşümsüz solma, yapraklarda kurumalar veya ölüm.

Tolerans yüzdesi, tuz uygulamasındaki yeşil aksam kuru ağırlığının, kontrol bitkilerinin yeşil aksam kuru ağırlığına bölünmesi ile elde edilmiştir. Buna göre:

Tolerans yüzdesi= Tuz uygulamasındaki yeşil aksam kuru ağırlık/kontroldeki yeşil aksam kuru ağırlık x100 (Alsabbagh ve ark., 2016).

3.2.2.2. Yaprak sayısı ve yaprak alanının belirlenmesi

Yaprak sayısı çalışma sonunda her bir uygulamadaki bitkilerin yaprak alanları yaprak alan ölçer (LICOR, Model: LI-3100, Lincoln, NE, ABD) kullanılarak kaydedilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Yaprak alan ölçümü.

3.2.2.3. Sürgün boyu, kök uzunluğu ve sürgün çapının ölçülmesi

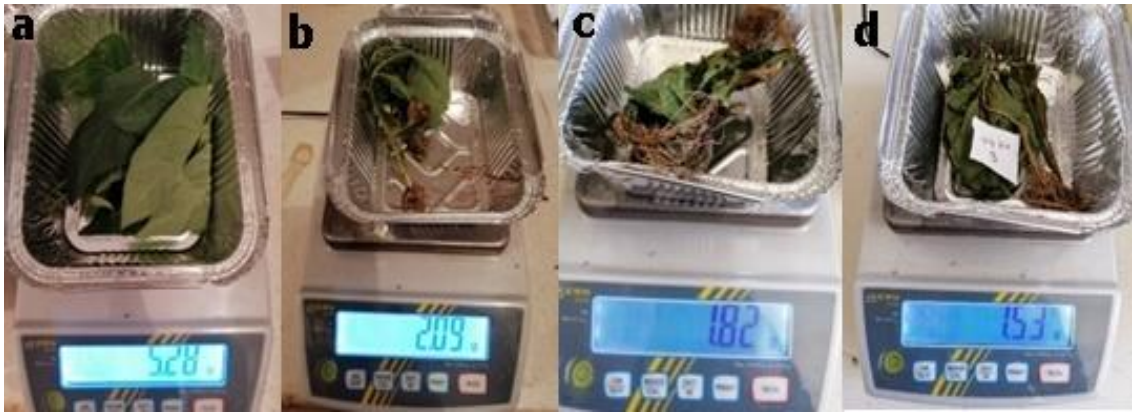
Denemenin sonlandırılmasıyla birlikte her tekerrürden alınan 2 bitkinin kökleri musluk suyu altında daha sonra saf su altında yıkanarak köklere yapışan toprak parçacıklarından arındırılmıştır. Temizlenen bitkilerin sürgün boyu ve kök uzunluğu (cm), sürgün çapı (mm) ölçülmüştür. Bunun için kök boğazından sürgün çapı (mm) kumpas ile kök boğazından sürgün ucuna kadar sürgün boyu (cm), kök boğazından kökün bir diğer uç kısmına kadar kök uzunluğu(cm) cetvelle ölçülmüştür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. a. Bitki köklerinin temizlenmesi, b. sürgün boyu ve kök uzunluğunun ölçülmesi, c. sürgün çapının kumpas ile ölçümü.

3.2.2.4. Yeşil aksamın yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi

Bitkilerin yaş ve kuru ağırlıkları ayrı ayrı ölçülmüştür. Bitki boyu ve çapı alınan bitkilerin sürgün, kök ağırlıkları ayrı ve daha sonra ikisinin toplamı şeklinde hassas terazide yaş ağırlıkları (g) ölçülmüştür. Yaş ağırlıkları (g) tespit edilen bitkiler daha sonra kaplara konularak 70 °C'de 48 saat süresince kurutma dolaplarında tutulup kurutulmuş ve kurutma dolabından çıkarılan bitkiler tartılarak kuru ağırlıkları (g) tespit edilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. a. - b. yeşil aksamın yaş ağırlığının belirlenmesi, c. - d. kuru ağırlığının belirlenmesi.

3.2.2.5. Klorofil miktarının belirlenmesi

Çalışmada yaprakların parçalanmasını gerektirmeyen, hatta yaprak dalından koparılmadan klorofil içeriğinin hesaplanabildiği SPAD 502 Plus cihazı kullanılmıştır. Bu

cihaz, ışığın iki farklı dalga boyunda 660 nm (kırmızı) ve 940 nm (yakın kızıl ötesi)'de, absorbans ölçmektedir. Kırmızı ışık klorofil tarafından kuvvetli şekilde absorblanır; yakın kızıl ötesi ışık ise yaprak yapısındaki farklılıkların ayarlanması için kullanılan referans dalga boyudur. Bu cihaz ile yapraklardaki klorofil miktarı belirlenmiştir (Şekil 3.11).



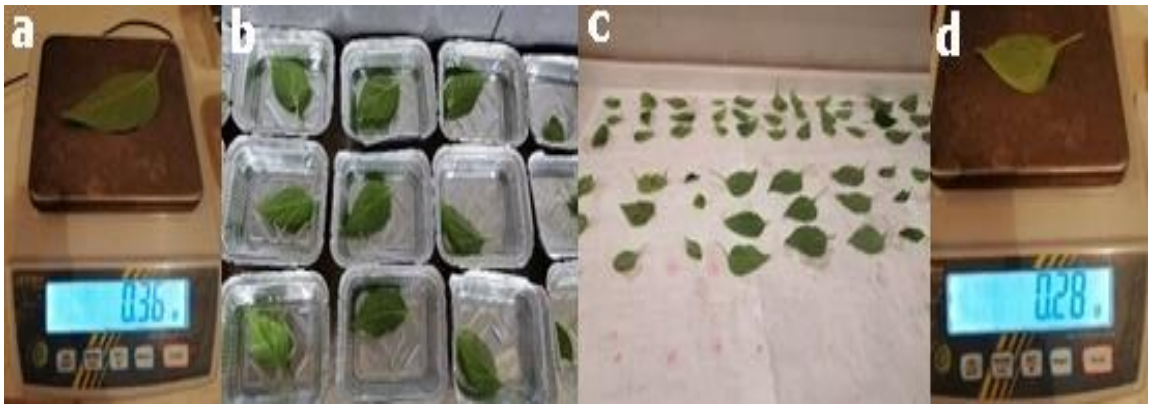
Şekil 3.11. Yaprakta klorofil miktarının belirlenmesi.

3.2.2.6. Yaprak oransal su içeriğinin (YOSİ) belirlenmesi

Bitkilerin 2. veya 3. yaprakları alınıp ilk ağırlıkları ölçülmüştür. Ardından saf su konulmuş kaplarda 4 saat bekletildikten sonra kurutma kâğıdı üzerinde fazla su alınıp tekrar ağırlıkları ölçülmüştür. Örnekler 65 ºC de 48 saat etüve alınarak kuru etüv kuru ağırlığı alındıktan sonra alınan değerler Eş. 3.1'deki yerlerine yazılarak hesaplama yapılmıştır (Kuşvuran, 2010) (Şekil 3.12).

$$YOSİ = (TA-KA)/(TuA-KA)x100 \quad (3.1)$$

TA: Taze Ağırlık, KA: Kuru Ağırlık, TuA: Turgor Ağırlığı



Şekil 3.12. a. Yaprağın ilk ağırlığı, b. yaprakların 4 saat saf suda bekletilmesi, c. yaprakların kurutma kağıdında fazla suyunun alınması, d. yaprakların son olarak yaş ağırlığının alınması.

3.2.2.7. Membran zararlanma indeksi-MZİ belirlenmesi

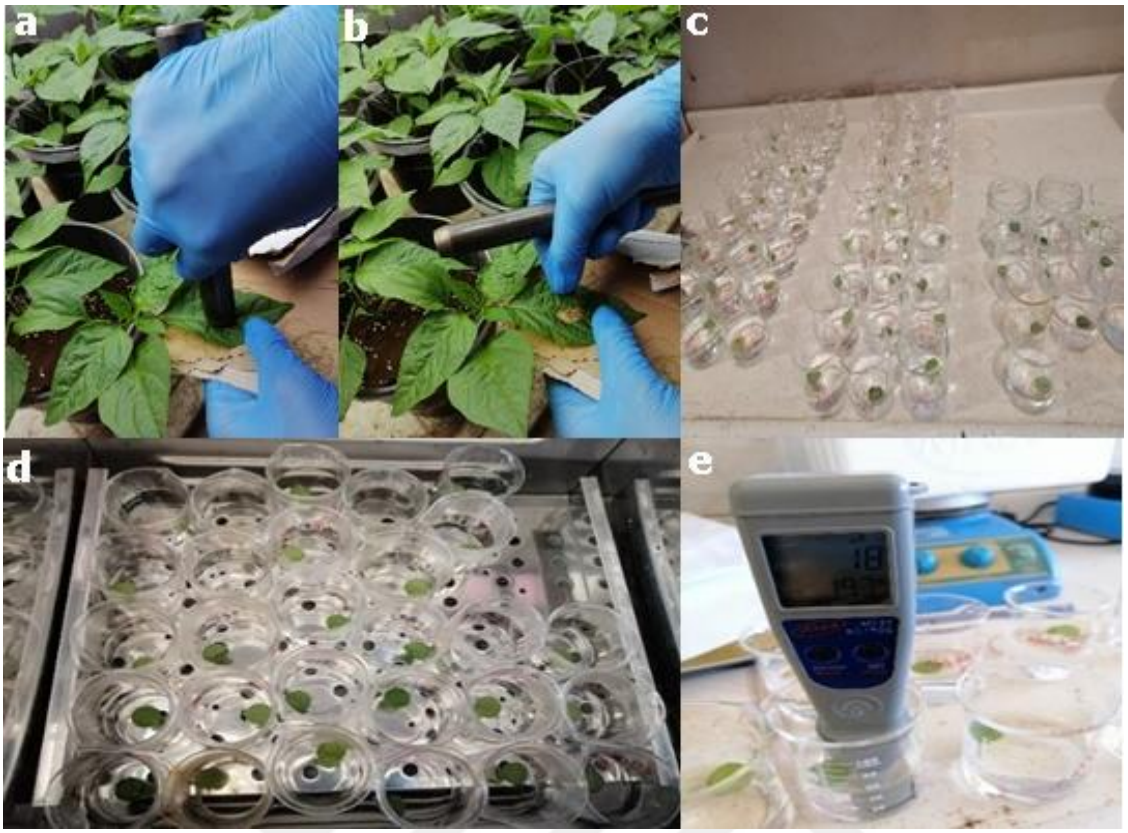
Membran zararlanma indeksi-MZİ (Membran Injury Index-MII) hücreden dışarıya verilen elektrolitin ölçülmesi ile hesaplanmıştır (Dlugokecka ve KacperskaPalacz, 1978; Fan and Blake, 1994). Bitkinin 2. veya 3. yaprakları alınıp bir disk yardımıyla diskler çıkartılmıştır. Saf su içerisinde 4 saat bekletildikten sonra EC değeri ölçülmüş, daha sonra 100 ºC de 10 dk bekletilip ikinci kez EC değeri ölçülmüştür (Şekil 3.13). Alınan EC değerleri Eş. 3. 2'de yerine yazılıp hesaplama yapılmıştır.

M.Z.İ. HESAPLAMA

$$M.Z.İ = ((Lt-Lc)/(1-Lc))*100 \quad (3.2)$$

Lt(uygulama bitkisi)= İlk EC okuma değeri/ ikinci EC okuma değeri

Lc (kontrol bitkisi)= İlk EC okuma değeri/ ikinci EC okuma değeri



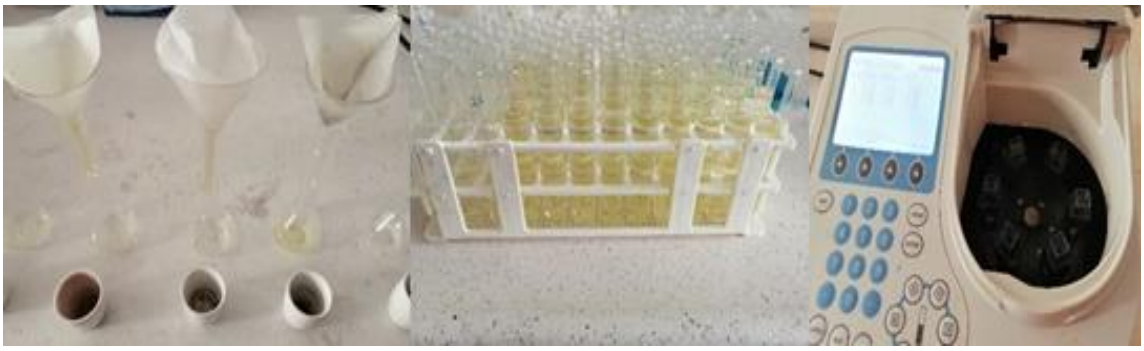
Şekil 3.13. a. - b. Yaprakların bir disk yardımıyla çıkarılması, c. yaprakların saf su içerisinde 4 saat bekletilmesi, d. yaprakların 100 ºC de 10 dk bekletilmesi, e. EC değeri ölçümü.

3.2.2.8. Fosfor analizi

Kurutulmuş bitki örnekleri öğütülerek kuru yakma işlemine tabii tutulmuş ve çeşitli aşamalardan sonra elde edilmiş olan süzükler, vanadomolibdofosforik sarı renk yöntemi ile spektrofotometre (Jenway 6505 UV/vis) kullanılarak fosfor değerleri (ppm) tespit edilmiştir (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15).



Şekil 3.14. Öğütme, ön yakma ve ısıtma işlemleri.



Şekil 3.15. Süzüklerin elde edilmesi ve okuma işlemi.

3.2.2.9. AMF kök kolonizasyonunun belirlenmesi

Boyu ile yaş ağırlıkları alınan biber bitkilerinin kök bölgesinden 1-0.5 g olacak şekilde parçalar alınarak AFA Fiksasyon sıvısına (%70'lik 90 ml Alkol, 5 ml Formaldehit ve 5 ml Asetik asit) konulmuştur. Kökler boyama işlemine kadar fiksasyon sıvısı içerisinde bekletilmiştir (Şekil 3. 16) (Phillips ve Hayman, 1970).

AFA sıvısı içinde muhafaza edilen kökler, AMF'nin varlığını ve kolonizasyonunu belirlemek için Laktofenol mavisi ile boyanmıştır. Boyanan köklerde bulunan AMF'nin kolonizasyon %'sini saptamak için Grid-Line Intersect Metodu kullanılmıştır (Giovanetti ve Mosseae, 1980). Bu metot kapsamında AFA'da muhafaza edilen kökler %10'luk KOH'da yarım gün, %10'luk HCl'de yarım saat bekletilmiştir. Daha sonra boya çözeltisinin içine aktarılarak iki saat bu çözeltide bekletilmiştir. Bu işlemden sonra 50ºC'lik sıcak su içinde 5 dakika kadar ısıtıldı. Isıtılan kökler saf su içinde yıkanarak laktik asit içerisinde bekletilmiştir. Kökler daha sonra laktik asit içinden çıkarılıp mikroskobik incelemeye alınmıştır (Şekil 3. 16). İncelemeye alınan bu kılcal kökler 1-1.5 cm uzunluğunda parçalara ayırılmış, yaklaşık 0.5 g kadar alınıp ve 1 cm^2'lik alanlara ayrılmış petri kabında homojen bir şekilde dağıtılmıştır. Mikroskobik gözlemler sırasında fungusa ait herhangi bir üreme yapısının (hif, klamidospor, vesikül, arbuskül) yer aldığı her bir kök parçası, fungus tarafından kolonize edilmiş olarak değerlendirilmiştir. Köklerdeki kolonizasyon oranı (% AMF), sayımlar sonucu elde edilen değerler Eş. 3 3 yardımıyla yüzde (%) olarak belirlenmiştir (Giovanetti ve Mosse, 1980) (Şekil 3.16).

$$\% \text{ AMF} = AMF_K / K \times 100 \qquad (3.3)$$

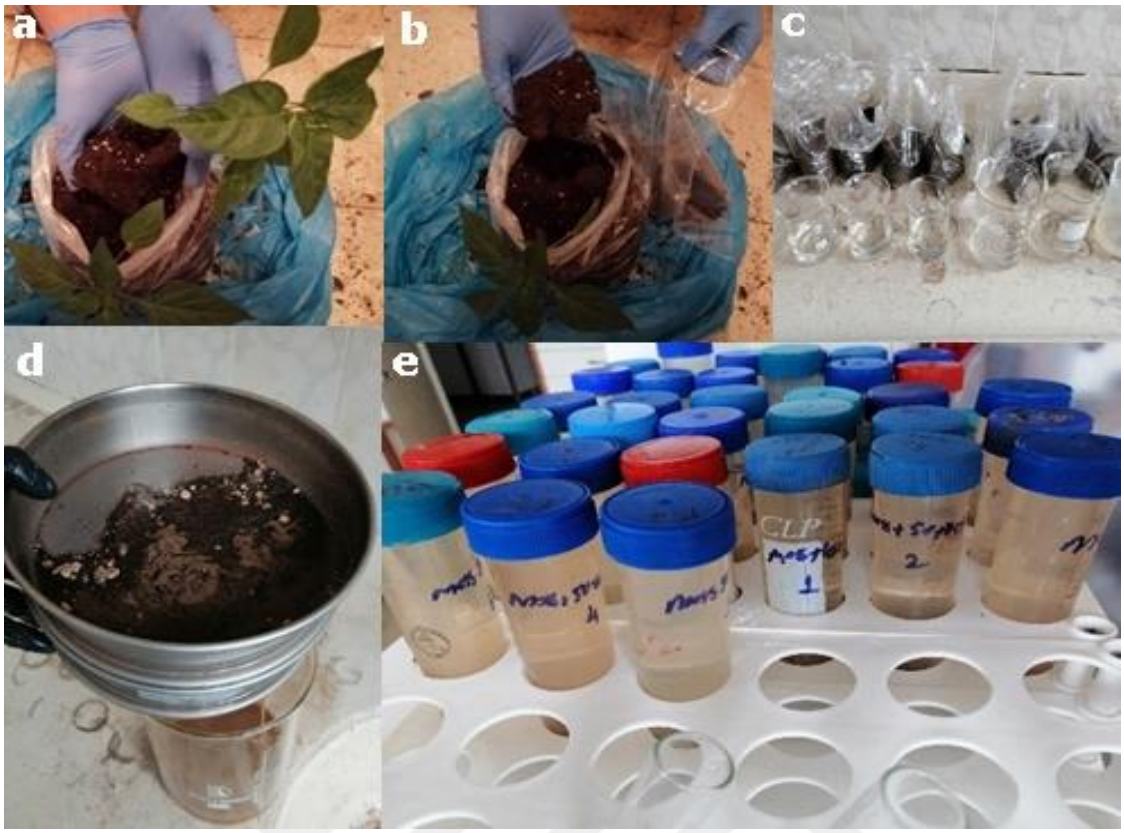
AMF_K = AMF ile kolonize olmuş kök sayısı;
K = Toplam kök sayısı



Şekil 3.16. AMF kök boyama işlemi a. Toprak parçacıklarından temizlenen bitki kökleri, b. bitkilerin kök bölgelerinden alınan 1-0.5 g parça, c. köklerin laktofenol mavisi ile boyanması, d. köklerin 1 cm^2'lik alanlara ayrılmış petri kabında homojen bir şekilde dağılımı.

3.2.2.10. Toprakta AMF spor yoğunluğunun belirlenmesi

AMF'li bitkilerin rizosfer bölgesindeki topraklarda AMF spor yoğunlukları Gerdemann ve Nicholson (1963) tarafından geliştirilen ıslak eleme metodu ile tespit edilmiştir. Bu metot kapsamında AMF'li topraktan 2 mm'lik elekle elenip yaklaşık 10 g tartılarak 100 ml steril saf su bulunduran beher glass içine aktarılmıştır (Şekil 3.17). Baget yardımıyla karışım 3-5 kez karıştırılarak, bitki parçaları ve kaba toprak parçalarının dibe çökmesi için 10 – 15 dakika kadar bekletilmiştir. Üst kısımda kalan sıvı ise önce 80 µm'luk elekten, daha sonra 45 µm'luk elekten geçirilerek beher glassta toplanılmıştır. Daha sonra AMF'li sıvı spor tüplerine konularak 2000 devirde 3 dk santrifüj edilerek üstte kalan sıvı atılmıştır (Şekil 3.17). Tekrar üzerine %5'lik şeker çözeltisi dökülerek tekrar 2000 devirde 3 dk santrifüj edildi ve bu sıvı daha sonra bir petri kabına boşaltılmıştır. En son işlem olarak steoroskobik mikroskop altında sporlar saptanarak g topraktaki spor yoğunluğu tespit edilmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Topraktaki AMF spor yoğunun belirlenmesi a. - b. rhizosfer bölgesinden alınan toprak örneği, c. toprak örneğinin 10 g tartılarak 100 ml steril saf su bulunduran beher glass içine aktarılması, d. örneğin 80 µm ve 45 µm'luk elekten geçirilmesi, e. örneğin spor tüplerine konulması.

3.2.2.11. Mikorhizal bağımlılığın belirlenmesi

Bitkilerin 7 hafta gelişim periyodundan sonra hasat edilen AMF'li ve AMF'siz bitkilerin yaş ve kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Yaş ve kuru ağırlıkları belirlenen bitkilerdeki mikorhizal bağımlılık Eş. 3.4 yardımıyla belirlenmiştir (Declerck ve ark., 1995).

$$MB\% = A-B\ /A \times 100 \qquad (3.4)$$

A = Mikorhizal bitkinin toplam kuru ağırlığı

B = Mikorhizal olmayan bitkinin toplam bitki ağırlığı

3.2.2.12. pH ve EC Analizi

Deneme, 8 haftalık yetiştirme sonucunda tamamlanmıştır. Saksı denemesinde hasattan sonra toprak örnekleri alınmış, alınan toprak örnekleri laboratuvara getirilip kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir.

Elenen toprak örneğinden 20 gr tartılarak 50 ml saf su eklenip her 10 dk'da bir 3 kez cam baget ile yaklaşık 1 dk karıştırılmıştır. Toprak örneklerinin pH'ları Jackson (1958)'a göre 1:2.5 toprak: su karışımında ölçülmüştür (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. pH için toprak su karışımı.

Elenen toprak örneğinden 20 gr tartılarak 50 ml saf su eklenip her 30 dk'da bir baget yardımıyla karıştırılarak 2 saat sonra okuması yapılmıştır. Toprak tuzluluğu (EC), kondaktivite aleti kullanılarak elektriksel iletkenliğin ölçülmesi ile belirlenmiştir (U.S. Salinity Loboratory Staff, 1954) (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. EC için toprak su karışımı.

3.3. Farklı Tuz Konsantrasyonlarında *V. dahliae* İnokule Edilen Biber Bitkisinde AMF ve Biyoçarın Etkisinin Belirlenmesi

İlk aşamada seçilmiş olan *F.mosseae* ve %2 biyoçarın, çalışmanın 2. aşamasında tuz stresi altında (0 mM, 50 mM, 100 mM ve 150 mM) yetiştirilen biberde *Verticillium dahliae* patojenine ve bitki gelişimine etkisi belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşaması, tesadüf parselleri deneme desenine göre 32 farklı uygulama grubu oluşturularak ve her muamele grubu 6 tekerrürden her tekerrürde ise 3 bitki olacak şekilde toplam 576 bitki ile çalışma yürütülmüştür. Bu aşamada yürütülen çalışmada oluşturulan uygulamalar Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Çalışmanın ikinci aşamasında yer alan uygulamalar

No	Uygulama Grubu	Açıklama
1	KD	Hiçbir uygulama yapılmayan biber bitkileri
2	FM	*F.mosseae* AMF inokulasyonu yapılan biber bitkileri
3	BÇ	%2 biyoçar uygulaması yapılan biber bitkileri
4	T1	50 mM NaCl uygulaması yapılan biber bitkileri
5	T2	100 mM NaCl uygulaması yapılan biber bitkileri
6	T3	150 mM NaCl uygulaması yapılan biber bitkileri
7	VD	*V. dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
8	FMBÇ	*F.mosseae* ve %2 biyoçar uygulaması yapılan biber bitkileri
9	FMT1	*F.mosseae* ve 50 mM NaCl uygulaması yapılan biber bitkileri
10	FMT2	*F.mosseae* ve 100 mM NaCl uygulaması yapılan biber bitkileri
11	FMT3	*F.mosseae* ve 150 mM NaCl uygulaması yapılan biber bitkileri
12	FMVD	*F.mosseae* ve *V. dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
13	BÇT1	%2 biyoçar ve 50 mM NaCl uygulaması yapılan biber bitkileri
14	BÇT2	%2 biyoçar ve 100 mM NaCl uygulaması yapılan biber bitkileri
15	BÇT3	%2 biyoçar ve 150 mM NaCl uygulaması yapılan biber bitkileri
16	BÇVD	%2 biyoçar ve *V. dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
17	T1VD	50 mM NaCl ve *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
18	T2VD	100 mM NaCl ve *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
19	T3VD	150 mM NaCl ve *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri

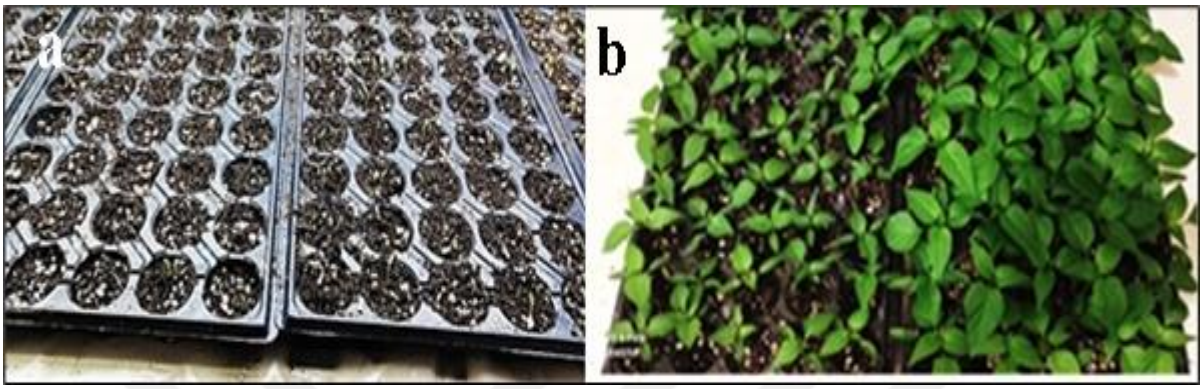
Çizelge 3.8. Çalışmanın ikinci aşamasında yer alan uygulamalar (devam)

No	Uygulama Grubu	Açıklama
20	FMBÇT1	*F.mosseae* inokulasyonu ile %2 biyoçar ve 50 mM NaCl uygulaması yapılmış biber bitkileri
21	FMBÇT2	*F.mosseae* inokulasyonu ile %2 biyoçar ve 100 mM NaCl uygulaması yapılmış biber bitkileri
22	FMBÇT3	*F.mosseae* inokulasyonu ile %2 biyoçar ve 150 mM NaCl uygulaması yapılmış biber bitkileri
23	FMBÇVD	*F.mosseae* inokulasyonu ile %2 biyoçar ve *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
24	FMT1VD	*F.mosseae* ile 50 mM NaCl uygulanmış ve *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
25	FMT2VD	*F.mosseae* ile 100 mM NaCl uygulanmış ve *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
26	FMT3VD	*F.mosseae* ile 150 mM NaCl uygulanmış ve *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
27	BÇT1VD	%2 biyoçar ve 50 mM NaCl uygulanmış ve *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
28	BÇT2VD	%2 biyoçar ve 100 mM NaCl uygulanmış ve *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
29	BÇT2VD	%2 biyoçar ve 150 mM NaCl uygulanmış ve *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
30	FMBÇT1VD	*F.mosseae* ile %2 biyoçar uygulaması yapılmış ve 50 mM NaCl ile *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
31	FMBÇT2VD	*F.mosseae* ile %2 biyoçar uygulaması yapılmış ve 100 mM NaCl ile *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri
32	FMBÇT3VD	*F.mosseae* ile %2 biyoçar uygulaması yapılmış ve 150 mM NaCl ile *V.dahliae* inokulasyonu yapılan biber bitkileri

3.3.1. Tohum ekimi

Çalışmanın ikinci aşamasında AMF türü olarak *Funneliformis mosseae* kullanılmıştır. Biber tohum ekim zamanı bölüm 3.2'de belirtildiği şekilde viyollere AMF'li uygulamalara *F.*

mosseae bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılmıştır. AMF uygulaması yapılmayan saksılarda tohum yatağına steril kum bırakılmıştır. Tohum ekiminden 4 hafta sonra biber fideleri viyol gözlerinden alınarak saksılarda hazırlanan bölüm 3.2'de belirtilen toprağa şaşırtılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. a. Tohum ekiminden sonra ilk tohum çıkışları, b. biber fidelerinin 4 haftalık gelişimi.

3.3.2. Biyoçar (%2) uygulaması

Bölüm 3.2'de belirtildiği gibi hazırlanan toprak karışımı ile %2'lik biyoçar oranı fide şaşırtma öncesi saksılara karıştırılmıştır. Biyoçar karıştırılmayan uygulamalarda sadece toprak kullanılmıştır (Şekil 3.21).

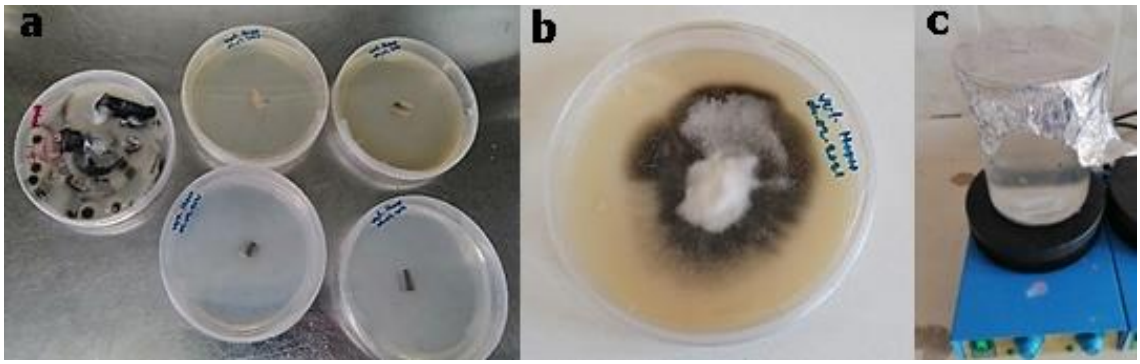


Şekil 3.21. Toprağın ve biyoçarın karışımı.

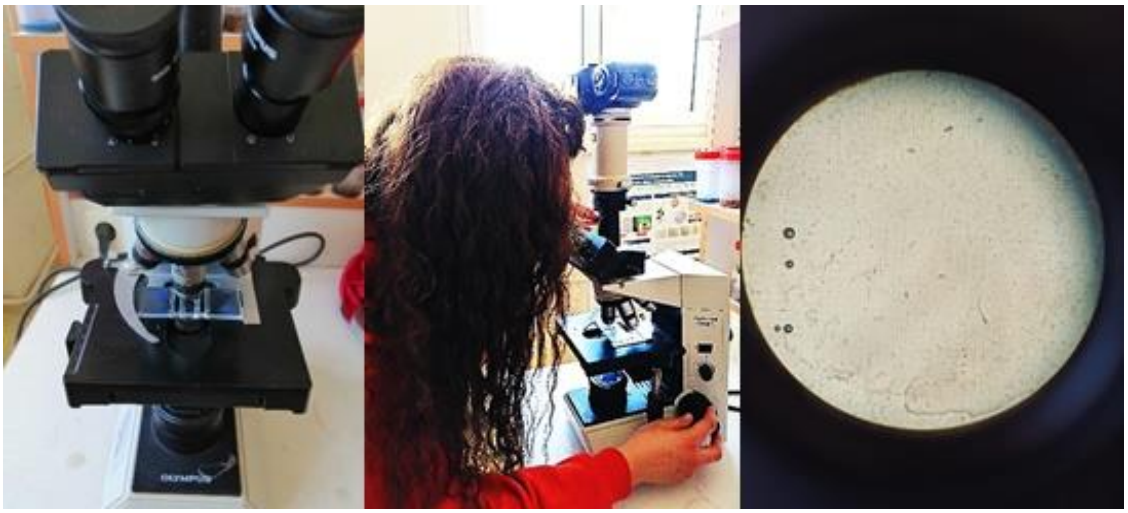
3.3.3. *V. dahliae*'nın bitkiye uygulanması

Şaşırtma işlemi yapılmadan önce biber fidelerine ön çalışmalarda etkinliği belirlenen *V. dahliae* izolatı inokule edilmiştir. İlk olarak, *V.dahliae* izolatı PDA ortamında çoğaltılmıştır. Bu amaçla hazırlanan PDA ortamları steril edildikten sonra fungus kültürleri petri kaplarındaki PDA ortamına ekimleri yapılarak 24°C'de 12 saat karanlık ve 12 saat aydınlık olmak üzere 10 gün süreyle inkübatörde gelişmeye bırakılmıştır (Şekil 3.22, Şekil 3.23). İklim odasında 4 haftalık gelişmeye bırakılan biber fidelerine saksılara şaşırtma öncesi *V. dahliae* izolatının inokulasyonu yapılmıştır (Şekil 3.24).

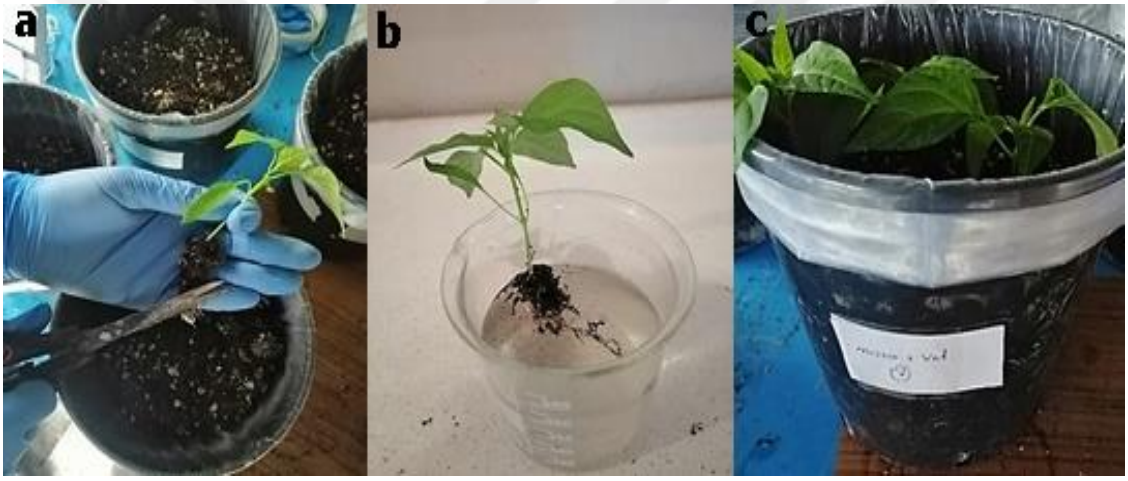
İnokulasyon işleminden önce yukarıda anlatıldığı şekilde çoğaltılan ve geliştirilen *V. dahliae* izolatından cork borer yardımıyla 5 mm'lik parçalar alınarak, stok süspansiyon çözeltisi içine aktarılmıştır (Şekil 3.22). Çalışmada kullanılan stok süspansiyon çözeltisi bileşenleri verilmiştir. Patojenisite testlerinde inokulum olarak kullanılacak süspansiyon dairesel bir çalkalayıcı üzerinde 8 gün boyunca 50 devir/dakika süreyle çalkalanmıştır. Bu süre sonunda testlemeye hazır süspansiyonun, testleme öncesi spor yoğunluğu Thoma lamı kullanılarak saptanıp, spor yoğunluğu $1x10^6$ konidi/ml' ye ayarlanmıştır (Şekil 3.23). Hazırlanan bu solüsyona biber fideleri 5 dakika süreyle daldırılmıştır. Kontrol bitkileri ise süspansiyon yerine akan suya daldırılmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.22. İnokulasyon işleminden önce *V.dahliae* çözeltisinin hazırlanması a. – b. *V.dahliae* izolatının PDA ortamında çoğaltılması, c. *V.dahliae* süspansiyonu.



Şekil 3.23. Hazırlanan süspansiyonun testleme öncesi Thoma lamından görüntüsü.



Şekil 3.24. *V.dahliae'*nın biber fidelerine uygulanması a. şaşırtma öncesi *V.dahliae* uygulanacak fide köklerinin tıraşlanması, b. biber fidelerinin 5 dakika süreyle *V.dahliae* solüsyonunda bekletilmesi, c. *V.dahliae* uygulaması yapılan biber fideleri.

3.3.4. Tuz konsantrasyonlarının uygulanması

Bölüm 3.2.3'te belirtildiği şekilde tuz uygulaması, belirlenen düzeylere ulaşıncaya kadar 2 günde bir aynı saatte sulama suyu ile 25 mM (0 Mm, 50 mM, 100 mM ve 150 mM) olacak şekilde bitkilere verilmiştir (Şekil 3.25). Bu şekilde osmotik şok engellenerek 6 uygulama sonrasında (toplam 12 gün) tuz uygulaması sonlandırılmıştır. Her tuz uygulamasında sulama suyunun EC değerleri ölçülmüştür. Kontrol grubuna aynı miktarda tuzsuz su uygulanmıştır (Şekil 3.26).



Şekil 3.25. a. - b. Tuz konsantrasyonun hazırlanması, c. - d. fidelere tuz uygulaması.



Şekil 3.26. Çalışmanın ikinci aşamasından genel görünüm.

3.3.5. *F.mosseae* ile %2'lik biyoçar oranının *V. dahliae* patojenine ve tuz stresine etkisinin belirlenmesinde kullanılan parametreler

Tuz uygulaması bitiminden bir hafta sonra, tuz stresi ve *V.dahliae* patojeni belirtileri gözlenmeye başlayınca (tohum ekiminden 8 hafta sonra) denemenin sonlandırılmasına karar verilmiştir. Çalışma boyunca aşağıda belirtilen gözlem, ölçüm, tartım ve analizler yapılmıştır.

3.3.5.1. Tuz stresi etkilerinin subjektif olarak belirlendiği 0-5 skalası

Bölüm 3.2.4.1'de belirtildiği gibi Kuşvuran (2010)'a göre tuz 0-5 skalası belirlenmiştir.

3.3.5.2. *V.dahliae* hastalık şiddetinin değerlendirilmesi

Patojen inokulasyonundan 3 hafta sonra bitkilerde ortaya çıkmaya başlayan hastalık simptomları biber fidelerinin toplam 5 haftalık gelişme periyodu sonunda değerlendirilerek hastalık şiddeti belirlenmiştir. Bu amaçla gövde kesitinde incelemesi için ise 0-5 skalası (Bhat et al. 2003), yeşil aksamda solgunluk değerlendirmesi için 0-4 skalası (Zeise and Tiedemann, 2002) kullanılmıştır. Ayrıca hastalık şiddeti (HŞ) yüzdeleri baz alınarak uygulama gruplarının baskılama oranları (BO) hesaplanmıştır.

0-4 Skalası

0=Simptom yok

1=Zayıf simptom; Yaşlı yapraklar deri gibi sert görülür

2=Belirgin simptom; Yaşlı yapraklar ölü, gelişme geriliği var

3=Şiddetli simptom; Hemem hemen bütün yapraklarda simptom var veya bitkinin tamamında gelişme geriliği söz konusu

4=Ölü bitki

Tanımsal skalaya göre; belirlenen değerlerle yeşil aksam Hastalık Şiddeti İndeksi (HŞİ) aşağıdaki Eş. 3.5'e göre hesaplanmıştır.

$$HŞİ\ (\%) = [\Sigma(SD \times BS)] \times 100 / ESD \times TB \qquad (3.5)$$

SD: Skala değeri

BS: Aynı skala değerindeki bitki sayısı

ESD: En yüksek skala değeri

TB: Toplam bitki sayısı

0-5 skalası

0= vasküler dokuda renk değişikliği yok,

1=%1- %25 oranda vasküler dokuda renk değişikliği

2=%26- %50 oranda vasküler dokuda renk değişikliği

3=%51- %75 oranda vasküler dokuda renk değişikliği

4=%76- %100 oranda vasküler dokuda renk değişikliği

5=%100 oranda vasküler dokuda renk değişikliği ve yeşil aksamda solgunluk, ölü bitki (Bhat ve ark., 2003).

Gövde kesiti değerlendirmelerinde skala dereceleri göz önünde tutularak aşağıdaki Eş. 3.6 yardımıyla hastalık şiddeti (HŞ) hesaplanmıştır.

$$HŞ\ (\%) = \frac{(0\ )\ (a) + (1)\ (b) + (2)\ (c) + (3)\ (d)}{n = (a+b+c+d)} \times 100 \qquad (3.6)$$

a,b,c,d: Her skala değerine giren bitki sayısı
n : Toplam bitki sayısı

Baskılama oranı (%)

Hastalık şiddeti yüzdeleri baz alınarak uygulama gruplarının hastalığı baskılama oranları (BO) aşağıdaki Eşitlik 7'ye göre hesaplanacaktır (Eş. 3.7)

$$BO\ (\%) = [(HŞk - HŞ) \div HŞk] \times 100 \qquad (3.7)$$

HŞ: Hastalık şiddeti
HŞk: Pozitif kontrol grubunun hastalık şiddeti değeri

3.3.5.3. Yaprak sayısı ve yaprak alanının belirlenmesi

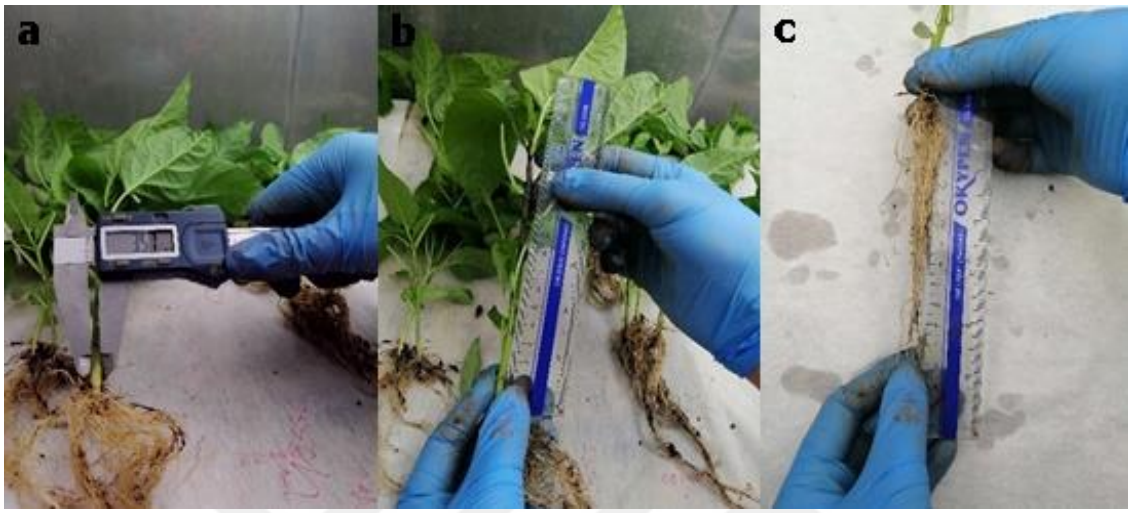
Bölüm 3.2.4.2'de belirtildiği şekilde yaprak sayısı ve alanı kaydedilmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Yaprak alan ölçümü.

3.3.5.4. Sürgün boyu, kök uzunluğu ve sürgün çapının ölçülmesi

Bölüm 3.2.4.3'te belirtildiği şekilde temizlenen bitkilerin sürgün boyu ve kök uzunluğu (cm), sürgün çapı (mm) ölçülmüştür (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. a. Bitki kök boğazından sürgün çap (mm) ölçümü, b. sürgün boy ölçümü, c. kök uzunluğu ölçümü.

3.3.5.5. Yeşil aksamın yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi

Bölüm 3.2.4.4' de belirtildiği şekilde bitkilerin yaş ve kuru ağırlıkları ayrı ayrı ölçülmüştür (Şekil 3.29 ve Şekil 3.30).



Şekil 3.29. a. Hasat edilecek bitkiden genel görünüm, b. örnek bitkinin yıkama aşaması, c. yeşil aksamın yaş ağırlık ölçümü, d. yaş ağırlığı alınan bitki örnekleri.



Şekil 3.30. Yeşil aksamın kuru ağırlığının belirlenmesi ve tartımı.

3.3.5.6. Klorofil miktarının belirlenmesi

Bölüm 3.2.4.5'te belirtildiği şekilde klorofil içeriği SPAD-502Plus cihazı ile belirlenmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Yaprakta klorofil miktarının belirlenmesi.

3.3.5.7. Yaprak oransal su içeriğinin (YOSİ) belirlenmesi

Bölüm 3.2.4.6'da belirtildiği şekilde bitkilerin çeşitli aşamalardaki taze ve kuru ağırlıkları ölçülmüş alınan değerler Eş. 3.8'deki yerlerine yazılarak hesaplama yapılmıştır (Kuşvuran, 2010) (Şekil 3.32).

$$YOSİ = (TA-KA)/(TuA-KA)x100 \quad (3.8)$$

TA: Taze Ağırlık, KA: Kuru Ağırlık, TuA: Turgor Ağırlığı



Şekil 3.32. a. Yaprağın ilk ağırlığı, b. yaprakların 4 saat saf suda bekletilmesi, c. yaprakların kurutma kağıdında fazla suyun alınması.

3.3.5.8. Membran zararlanma indeksi-MZİ belirlenmesi

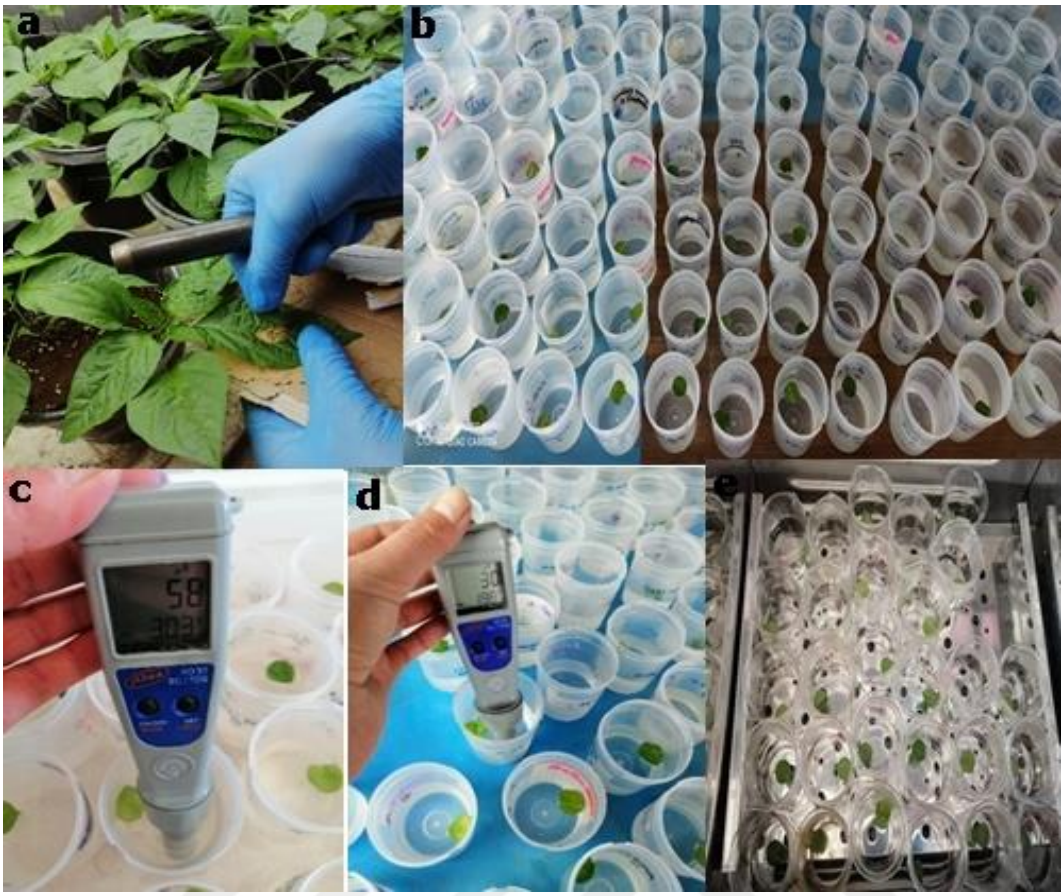
Bölüm 3.2.4.7'de belirtildiği şekilde bitkilerin MZİ değerleri ölçülmüş Eş. 3.9'da yerine yazılıp hesaplaması yapılmıştır (Şekil 3.33).

M.Z.İ. HESAPLAMA

$$M.Z.İ = ((Lt-Lc)/(1-Lc))*100 \quad (3.9)$$

Lt(uygulama bitkisi)= İlk EC okuma değeri/ ikinci EC okuma değeri

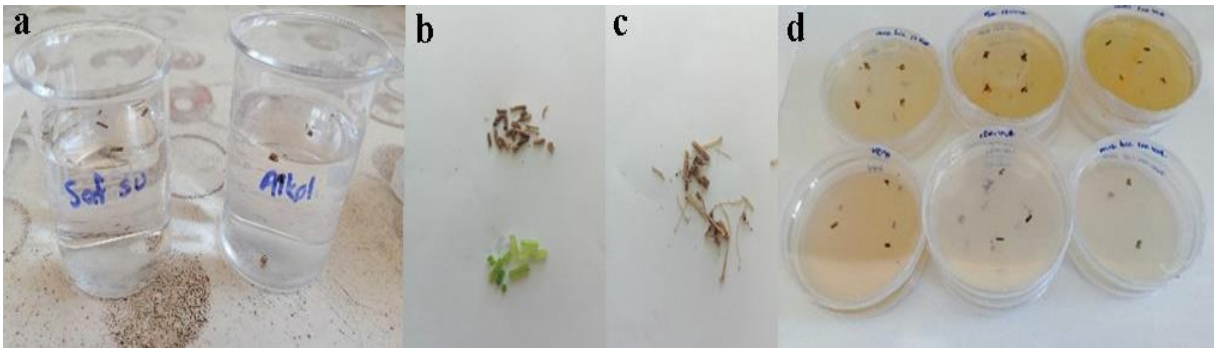
Lc (kontrol bitkisi)= İlk EC okuma değeri/ ikinci EC okuma değeri



Şekil 3.33. a. Yaprakların bir disk yardımıyla çıkarılması, b. yaprakların saf su içerisinde 4 saat bekletilmesi, c. – d. EC değeri ölçümü, e. yaprakların 100 ºC de 10 dk bekletilmesi.

3.3.5.9. *V.dahliae'*da re-izolasyon

V.dahliae uygulamalı biber bitkilerinin hastalık oluşturduğu kısımlarına bağlı olarak farklı bölgelerden örnek alınmıştır. Bu bölgeler içerisinde; kök, yaprak, gövde kesiti bulunmaktadır. Hastalıklı kısımlar küçük parçalara ayrılmıştır. Patojenli örneklerin önce yüzey sterilizasyonu yapılıp, %0.5'lik oranında sulandırılmış sodyum hipoklorit (çamaşır suyu) çözetisinde 2 dakika bekletilmiş, daha sonrada steril su ile yıkanmıştır (Şekil 3.34). Kurutma kağıtlarında kurutulan patojenli örnekler PDA ortamında gelişime bırakılarak izolasyonu belirlenmiştir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. a. Hastalıklı bitki örneklerinin yüzey sterilizasyonu, b. Bç + 150 + Vd uygulamadan alınan örnekler, c. Vd uygulamasından alınan örneklerin küçük parçalara ayrılması, d. hastalıklı bitki örneklerinin PDA ortamına ekimi.

3.3.5.10. Yaprakta mineral madde içerik analizi (P, K, Ca, Na, Fe, Cu, Mn, Zn, Mg)

Yaprakta mineral madde içeriği kuru yakma yöntemine göre belirlenmiştir. Bu yönteme göre her bir uygulamadan alınan biber yaprakları 48 saat boyunca 70°C'de etüvde kurutulduktan sonra öğütülmüştür. Her uygulamadan 0.5 g tartılarak krozelerde 1 ml etil alkol ile ön yakma işlemi yapılmıştır (Şekil 3.35). Bu işlemden sonra krozeler kül fırına yerleştirilerek örnekler 6-9 saat 500 ºC'de kül haline getirilmiştir. Yakma işleminden sonra her krozeye 3 N HCl'den 4 ml karıştırılmıştır. Daha sonra krozeler hot pleyt üzerine bırakılıp sarı renk alıncaya kadar bekletilmiştir. Sarı renk oluşunca krozeler hot pleyt üzerinden alınıp önceden hazırlanmış süzme seti yardımıyla 50 ml balon jojelere aktarılmış ve derecesine tamamlanıncaya kadar saf su eklenmiştir (Şekil 3.35). Fosfor (P) Potasyum (K), Kalsiyum (Ca), Sodyum (Na), Demir (Fe), Bakır (Cu), Mangan (Mn), Çinko (Zn) ve Magnezyum (Mg) elementlerinin belirlenmesi, Kacar (1984)'a göre Atomik Absorpsiyon Spektrofotometrede, fosfor okuması ise spektrofotometrede yapılmıştır (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. a. Biber yapraklarının kurutulması, b. örneklerin öğütülmesi, c. kül fırından çıkarılan örneklere HCI asit eklenmesi d. süzüklerin hazırlanması e. ve f. hazırlanan süzüklerin potasyum (K), kalsiyum (Ca), sodyum (Na), demir (Fe), bakır (Cu), mangan (Mn), çinko (Zn) ve magnezyum (Mg) besin içeriğinin okunması.

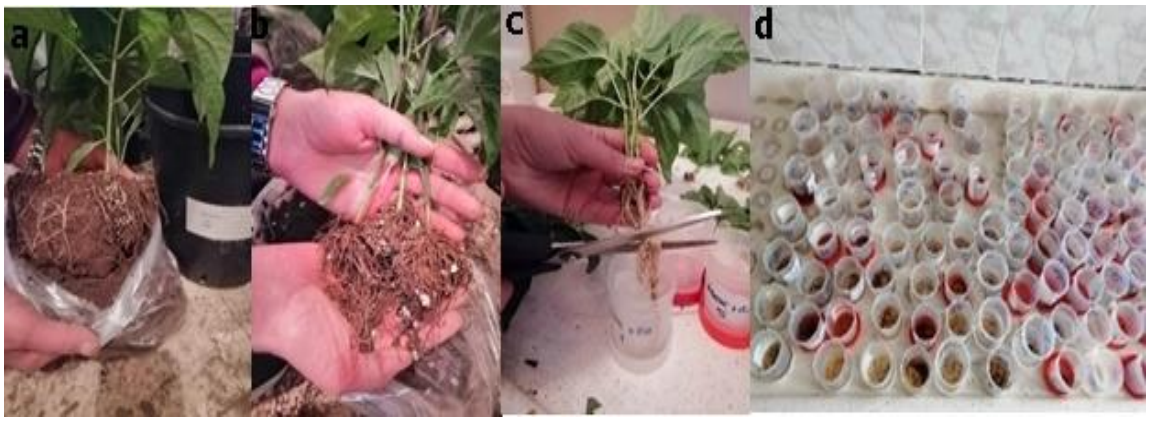
3.3.5.11. AMF'nin kök kolonizasyonunun belirlenmesi

Bölüm 3.2.4.9'da belirtildiği şekilde boyu ve yaş ağırlıkları alınan biber bitkilerinin kök bölgesinden 1-0.5 g olacak şekilde parçalar alınarak AFA Fiksasyon sıvısına (%70'lik 90 ml Alkol, 5 ml Formaldehit ve 5 ml Asetik asit) konulmuştur. Kökler boyama işlemine kadar bu sıvı da bekletildi (Şekil 3.36) (Phillips ve Hayman, 1970).

AFA sıvısı içinde muhafaza edilen kökler, AMF'nin varlığını ve kolonizasyonunu belirlemek için Laktofenol mavisi ile boyanmıştır. Boyanan köklerde bulunan AMF'nin kolonizasyon %'sini saptamak için Grid-Line Intersect Metodu kullanıldı (Giovanetti ve Mosseae, 1980). Köklerdeki kolonizasyon oranı (% AMF), sayımlar sonucu elde edilen değerler Eş. 3.10 yardımıyla yüzde (%) olarak belirlenmiştir.

$$AMF\ (\%) = AMF_K / K \times 100 \qquad (3.10)$$

AMF_K = AMF ile kolonize olmuş kök sayısı; K = Toplam kök sayısı



Şekil 3.36. a. – b. Mikorhizalı bitkinin kök bölgesinden genel görünüm, c. bitkilerin kök bölgelerinden alınan 0.5-1 g kök parçası, d. köklerin %10'luk KOH'da bekletilmesi.

3.3.5.12. Toprakta AMF spor yoğunluğunun belirlenmesi

Bölüm 3.2.4.10'da belirtildiği şekilde AMF'li bitkilerin rizosfer bölgesindeki topraklarda AMF spor yoğunlukları Gerdemann ve Nıcholson (1963) tarafından geliştirilen ıslak eleme metodu ile tespit edilmiştir (Şekil 3.37). Steoroskobik mikroskop altında sporlar saptanarak g topraktaki spor yoğunluğu belirlenmiştir (Şekil 3.37).



Şekil 3.37. a. Rhizosfer bölgesinden alınan toprak, b. toprak örneğinin 10 g tartılarak 100 ml steril saf su bulunan beher glass içinde karıştırılması, c. toprak örneklerinden genel görünüm.

3.3.5.13. Mikorhizal bağımlılığın belirlenmesi

Bölüm 3.2.4.11'de belirtildiği şekilde yaş ve kuru ağırlıkları belirlenen bitkilerdeki mikorhizal bağımlılık Eş. 3.11 yardımıyla belirlenmiştir (Declerck ve ark., 1995).

MB%=A-B /A×100 (3.11)

A = Mikorhizal bitkinin toplam kuru ağırlığı

B = Mikorhizal olmayan bitkinin toplam bitki ağırlığı

3.3.5.14. Toprak analizleri

Bölüm 3.2.4.12'de belirtildiği şekilde hasattan sonra toprak örnekleri alınmış, alınan toprak örnekleri laboratuvara getirilip kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir.

pH analizi

Toprak örneklerinde pH Jackson (1958)'e göre 1:2.5 toprak: su karışımında ölçülmüştür (Şekil 3. 38).

EC analizi

Toprak tuzluluğu (EC), kondaktivite aleti kullanılarak elektriksel iletkenliğin ölçülmesi ile belirlenmiştir (Şekil 3.38) (U.S. Salinity Loboratory Staff, 1954).



Şekil 3.38. pH ve EC için toprak su karışımı.

3.3.6. Fizyolojik analizler

3.3.6.1. Katalaz (CAT) enzim aktivitesinin belirlenmesi

Tez kapsamında, stres koşullarında önemli antioksidatif kapasiteye sahip Katalaz (CAT) enziminin aktivitesi belirlenmiştir. Bu temelde stres uygulamasından sonra taze yaprak örneği (3 ve 4. yapraklar) alınarak analiz yapılıncaya kadar örnekler -80 ºC'de bekletilmiştir (Şekil 3.39).



Şekil 3.39. a. – b. Bitki örneklerinin tartılması, c. bitki örneklerinin buzda bekletilmesi d. bitki örneklerinin -80 ^{0}C buzdolabında bekletilmesi.

Ekstraksiyon çözeltisi için 0.372 gr Na-EDTA (Titriplex) 13.61 gr Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) tartılıp 1 lt saf suda çözdürülmüş ve pH 7.6'a ayarlanmıştır. Buzdolabında bekletilen (-80^{0}C) her uygulamadan 1 gr'lık yaprak örnekleri soğuk zincirin kırılmaması için analize başlamadan önce -20^{0}C'de 15-20 dk bekletilmiştir. Homojenize sırasında 50 ml'lik falkon tüplerine konulmuş örnekler kar dolu bir kap içinde tutularak homojenize işlemi yapılmıştır (Şekil 3.40, Şekil 3.41). Bu uygulama tüm enzim okumaları için yapılmıştır. Böylece hata payı ve enzim kaybı en aza indirgenmiştir. -80^{0}C' de tutulan 1 gr bitki örneği hazırlanan 5 ml ekstraksiyon çözeltisi ile 50 ml'lik falcon tüplerinde homojenize edilmiştir. 1000 devirde +4^{0}C de 10 dk santrijüf edilmiştir. Oluşan şeffaf kısım (süpernatant) 2 ml'lik ependorf tüplere aktarılmıştır (Şekil 3.41). Daha sonra okuma için -20^{0}C buzdolabında bekletilmiştir.

CAT enziminde okuma reaktif çözeltisi için 6.8 gr Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) tartılıp 0.152 ml Hidrojen Peroksit (H_2O_2) 1 lt saf suda karıştırılıp pH 7.0'a ayarlanmıştır. Spektrofotometre 240 nm'a ayarlanmıştır. Kör olarak örnek konulmamış reaktif çözelti kullanılmıştır. Soğuk zincirin kırılmaması için örnekler karın içinde tutulmuştur. Reaktif

çözeltiden 2.5 ml cam kuvars içine konulmuş ve üzerine 0.2 ml süpernatanttan (örnek) eklenmiştir. Hemen spektrofotometrede 0. ve 60. sn okuması yapılmıştır (Şekil 3.41). Katalaz (CAT) aktivitesinin belirlenmesi aşağıda verilen Eş. 3.12'ye göre hesaplanmıştır (Jebara vd., 2010).

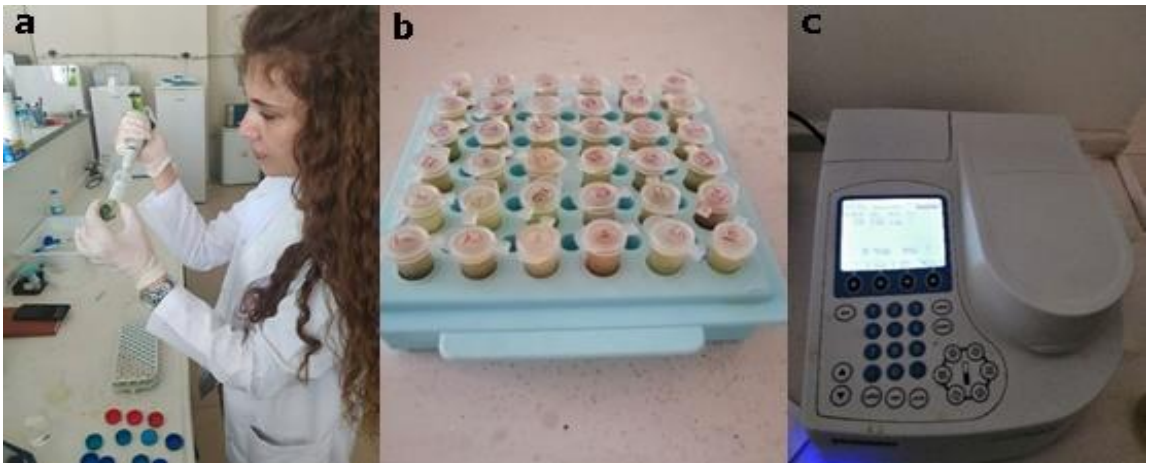
$$((0.sn - 60\ sn)/40)/0.04 \quad (3.12)$$

*: 40' a bölünmesinin sebebi katalaz Ec değeridir.

**: 0.04'e bölünmesinin sebebi 5 ml ekstraksiyonda 1 gr taze bitki varsa 0.2 ml de 0.04 gr taze bitki vardır.



Şekil 3.40. a. CAT ekstraksiyon çözeltisi hazırlama, b. 1 gr bitki örneğine hazırlanan 5 ml ekstraksiyon çözeltisi ekleme, c. 50 ml'lik falcon tüplerinde bulunan ekstraksiyon + örneğin homojenize edilmesi, d. Falcon tüplerindeki örneklerin 1000 devirde +4 ^{0}C de 10 dk santrifüj edilmesi.



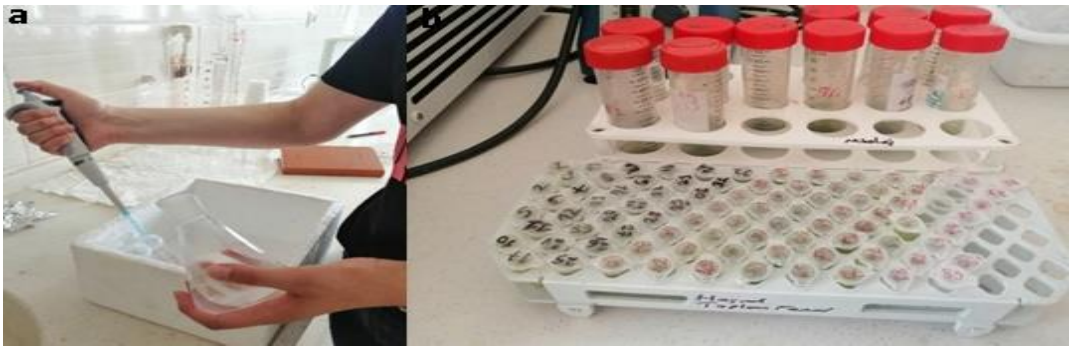
Şekil 3.41. a. Santrijüf sonrası oluşan şeffaf kısımın (süpernatant) 2 ml'lik ependorf tüplere aktarılması, b. örneklerin 2 ml'lik ependorf tüplerden görünüm, c. CAT örneklerinin spektrofotometre 240 nm'da okuması.

3.3.6.2. Yaprakta toplam fenol içeriği ve toplam antioksidan kapasitesi analizi

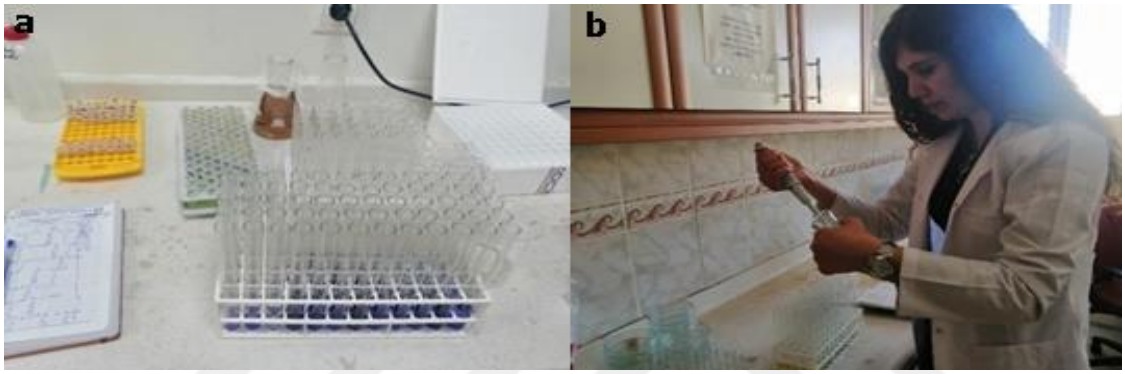
Toplam fenolik madde içeriği ve toplam antioksidan miktarının belirlenmesi için her bir uygulamaya ait bitkilerden örnekler alınmıştır. Yapraklardaki toplam fenol içeriği Swain ve Hillis (1959), toplam antioksidan miktarı FRAP Benzie ve Strain (1996)'e göre yapılmıştır. Toplam fenol için, hasat yapılmadan önce her uygulamadan alınan taze yaprak örnekleri 1 gr olacak şekilde hassas terazide tartışmış ve analiz zamanına kadar -80C^0'de saklanmıştır. Analiz aşamasında örnek üzerine 5 ml metanol eklenerek homojenizatörde parçalanmış ve 12000 rpm de 10 dk santrifüjlenmiştir. Santrifüjde ayrılan üst kısım 2 ml'lik ependorf tüplere aktarılmıştır. Elde edilen ekstraksiyon toplam fenol ve antioksidan kapasitesi (FRAP) için -20°C'de okuma yapılıncaya kadar bekletilmiştir (Şekil 3.42) (Şekil 3.43).

Fenol okuması için hazırlanan ekstraksiyondan, 150 µl alınarak üzerine 2400 µl saf su, 150 µl Folin cioucelta (1:10 çözelti) eklenip 3-4 sn vortexte karıştırılıp üzerine 300 µl %20'lik sodyum karbonat eklenmiş ve 30 dk karanlıkta oda sıcaklığında bekletildikten sonra spektrofotometrede 760 nm dalga boyunda okuması yapılmıştır. Hesaplamada gallik asit eşdeğerinden yararlanılmıştır (Şekil 3.42) (Şekil 3.43).

Antioksidan aktivitesinin okuması için ekstraksiyondan, 150 µl asetate buffer, TPTZ ve Ferric klorürden oluşan FRAP hazırlanmıştır. Hazırlanan FRAP'tan 2850 µl alınıp 10 ml'lik cam tüplere aktarılmıştır. Daha sonra 30 dk karanlıkta oda koşullarında bekletildikten sonra 593 nm dalga boyu spektrofotometrede okuma yapılmıştır. Trolox eşdeğerine göre hesaplama yapılmıştır.



Şekil 3.42. a. Toplam fenol ve antioksidant örneklerine 5 ml metanol eklenmesi, b. homojenize edilmiş örneklerin 50 ml'lik falkon tüplerinden ve 2 ml'lik ependorf tüplerden görünüm.



Şekil 3.43. a. Toplam antioksidant örneklerinin okuması, b. toplam fenol okuması için örneklere sodyum karbonat eklenmesinden görünüm.

3.4. İstatistik Analizi

Çalışmadan alınan veriler tesadüf parsellerine göre varyans analizine tabi tutulmuş, AMF türü, biyoçar oranı, tuz konsantrasyonları ve *V. dahliae* arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır. Değişken sayısı yaprak sayısı, kök uzunluğu, sürgün boy, sürgün çap, toplam yaş ağırlık, toplam kuru ağırlık, klorofil, yaprak alanı, toprak pH, toprak EC, MZİ, YOSİ, toplam fenol, toplam antioksidan, P, Zn, Cu, Mn, Fe, Na, K, Mg, Ca, K/Na, Ca/Na, toprak spor yoğunluğu, kök kolonizasyonu, 0-5 tuz skalası, 0-5 Vd skalası, 0-4 Vd skalası ve CAT özelliklerinin sınıflandırılmasında temel bileşen analizi (PCA) ve kümeleme analizi uygulanmıştır. Varyans analizinde bu değişkenlerin her biri için ayrı ayrı istatistiksel analiz yapılmıştır. PCA ve kümeleme gibi çok değişkenli istatistiksel analizlerde ise olası tüm değişkenler bir arada kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Amaç birbirleriyle yakın ilişkili olan değişkenlerin aynı kümede ya da aynı faktörde olmasını sağlamaktır. Tuz skalasındaki uygulamalar için uyum analizi yapılmıştır. Uyum analizinin amacı hangi tuz skalası ile hangi uygulama arasında yakınlık olduğunu belirlemektir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın birinci aşamasında, tuz stresi altında biberde en etkili AMF inokulumu ve biyoçar oranı tespit edilmiştir. İkinci aşamasında ise ön çalışmada belirlenen en etkili AMF ve biyoçar uygulamalarının biberde tuz stresi altında *Verticillium dahliae* hastalık etmenine karşı etkileri belirlenmiştir.

4.1. Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Biberde (*Capsicum annuum* L) Etkili AMF İnokulumu ve Biyoçar Oranının Tespit Edilmesi

Çalışmanın birinci aşamasında iki farklı AMF türü ile iki biyoçar oranının farklı tuz konsantrasyonlarına etkisi belirlenerek en iyi AMF türü ile biyoçar dozunun seçilmesi hedeflenmiştir. Bu temelde çalışma sonunda bazı fide gelişim kriterleri, AMF gelişimi, görsel olarak tuz stresinin etkisinin belirlendiği 0-5 skalası, MZİ, YOSİ, bitkide P içeriği ile toprağın EC ve pH değerleri incelenmiş ve alt başlıklar halinde verilmiştir.

Çalışmada biyoçar uygulaması olmayan konularda her tuz konsantrasyonunda AMF inokulumları arasında karşılaştırma yapılırken, %2 ve %4 biyoçar dozlarında sadece 0 mM de AMF inokulumları karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda AMF uygulamalarının etkisi her tuz dozunda ayrı ayrı istatistiki bakımdan değerlendirilmiştir. Son olarak ise aynı uygulama içerisinde biyoçar dozları istatistik analize tabi tutulmuştur.

4.1.1. Morfolojik gelişim parametreleri

Çalışmanın birinci aşamasında elde edilen veriler doğrultusunda Sera Demre 8 yerel biber çeşidi, iki farklı AMF inokulumu (*Funneliformis mosseae* ve *Glomus* spp. içeren ERS ticari preparat), bitki gelişimi üzerinde olumsuz etkiye yol açmayacak en uygun biyoçar dozları (%2 ve %4) hazırlanan toprak harcı ile karıştırılıp toprakta bulunan tuz konsantrasyonlarına (0 Mm, 50 mM, 100 mM ve 150 mM) etkisi belirlenmiştir.

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının bitki gelişim parametrelerine etkisi Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının sürgün boyuna (cm) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0 mM	**AMF (-)**	21.12±1.17 A*-*A***	20.87±0.76 A-*A*	22.03±0.50 A-*A*
	F.mosseae	19.46±0.89 AB-*A*	18.26±0.75 A	17.60±0.83 B
	ERS	16.40±1.08 Ba***-*A*	13.60±1.11 Bab	13.05±0.76 Cb
50 mM	**AMF (-)**	15.34±0.30 A-*B*	12.68±1.85 *B*	12.56±0.49-*B*
	F.mosseae	10.16±0.70 B-*B*	-****	-
	ERS	9.30±0.30 B-*B*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	12.76±1.40 Aa-*B*	13.85±0.39a-*B*	9.42±0.68b-*C*
	F.mosseae	10.15±1.29 AB-*B*	-	-
	ERS	7.20±1.13 B-*B*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	7.42±0.90 -*C*	10.58±1.53-*B*	10.53±1.01-*BC*
	F.mosseae	9.84±1.25-*B*	-	-
	ERS	7.80±0.48-*B*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**: Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.2. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının yaprak sayısına (adet/bitki) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0	**AMF (-)**	8.60±0.50AB*-*A***	8.20±0.2AB-*A*	9.20±0.20-*A*
	F.mosseae	9.40±0.24A-*A*	8.80±0.58A	8.60±0.40
	ERS	7.80±0.37B-*A*	7.20±0.48B	8.00±0.70
50 mM	**AMF (-)**	7.60±0.40A-*A*	6.60±0.74-*B*	7.20±0.37-*B*
	F.mosseae	5.80±0.20B-*B*	-****	-
	ERS	5.00±0.31B-*B*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	6.40±0.24Aa***-*B*	6.60±0.24a-*B*	4.60±0.40b-*C*
	F.mosseae	5.60±0.50A-*B*	-	-
	ERS	4.40±0.24B-*B*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	3.40±0.40Bb-*C*	5.60±0.50a-*B*	4.80±0.48ab-*C*
	F.mosseae	5.20±0.48A-*B*	-	-
	ERS	4.00±0.54AB-*B*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**: Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.3. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının sürgün çapına (mm) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0 mM	**AMF (-)**	2.01±0.18A*-*A***	1.89±0.11A-*A*	2.22±0.17A-*A*
	F.mosseae	1.54±0.05B-*A*	1.43±0.05B	1.40±0.08B
	ERS	1.62±0.09B-*A*	1.37±0.08B	1.35±0.11B
50 mM	**AMF (-)**	1.78±0.21Aa***-*A*	0.87±0.20b-*B*	1.68±0.03a-*AB*
	F.mosseae	1.01±0.10B-*B*	-****	-
	ERS	1.08±0.09B-*B*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	1.46±0.17A-*AB*	1.65±0.05-*A*	1.49±0.09-*B*
	F.mosseae	1.20±0.15AB-*AB*	-	-
	ERS	0.73±0.15B-*B*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	1.06±0.18-*C*	1.11±0.12-*B*	1.53±0.32-*B*
	F.mosseae	1.07±0.11-*B*	-	-
	ERS	0.91±0.09-*B*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**: Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.4. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının kök uzunluğuna (cm) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0	**AMF (-)**	17.00±1.14a***-*A***	13.00±1.27b-*A*	16.50±0.70A*a-*A*
	F.mosseae	15.20±1.77-*A*	13.60±0.60	14.00±0.63AB
	ERS	15.66±1.32-*A*	12.66±1.63	10.76±1.59B
50 mM	**AMF (-)**	9.00±1.04A-*B*	8.24±0.58-*B*	10.90±1.11-*B*
	F.mosseae	6.80±1.11AB-*B*	-****	-
	ERS	4.84±0.65B-*B*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	5.64±1.26-*C*	9.28±1.84-*AB*	6.54±1.11-*C*
	F.mosseae	5.80±1.31-*B*	-	-
	ERS	5.40±0.66-*B*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	4.60±0.97-*C*	7.72±1.88-*B*	3.90±0.64-*C*
	F.mosseae	4.20±0.95-*B*	-	-
	ERS	4.18±0.37-*B*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**: Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.5. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının yaş ağırlığa (g) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0	**AMF (-)**	8.04±1.26-*A***	7.42±0.55A*-*A*	8.11±0.53A
	F.mosseae	6.72±0.88-*A*	5.11±0.46B	5.26±0.69B
	ERS	5.46±0.59a***-*A*	3.55±0.86Bab	2.87±0.34Cb
50 mM	**AMF (-)**	2.58±0.37A-*B*	1.40±0.31-*B*	9.59±7.72
	F.mosseae	1.50±0.24B-*B*	-****	-
	ERS	0.98±0.08B-*B*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	2.01±0.57Aa-*B*	1.87±0.35a-*B*	0.61±0.14b
	F.mosseae	1.44±0.24AB-*B*	-	-
	ERS	0.49±0.05B-*B*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	0.46±0.16-*B*	0.98±0.35-*B*	0.82±0.23
	F.mosseae	1.01±0.29-*B*	-	-
	ERS	0.39±0.06-*B*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**: Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.6. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının kuru ağırlığa (g) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0	**AMF (-)**	1.23±0.18A*-*A***	1.08±0.10A-*A*	1.31±0.07A-*A*
	F.mosseae	0.82±0.11AB-*A*	0.68±0.06B	0.71±0.09B
	ERS	0.74±0.10B-*A*	0.47±0.11B	0.47±0.05C
50 mM	**AMF (-)**	0.55±0.02Aa***-*B*	0.42±0.04b-*B*	0.40±0.03b-*B*
	F.mosseae	0.22±0.70B-*B*	-****	-
	ERS	0.19±0.03B-*B*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	0.38±0.09ab-*B*	0.53±0.05a-*B*	0.22±0.04b-*B*
	F.mosseae	0.24±0.01-*B*	-	-
	ERS	0.20±0.04-*B*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	0.28±0.08-*B*	0.35±0.07-*B*	0.24±0.05-*B*
	F.mosseae	0.19±0.03-*B*	-	-
	ERS	0.14±0.02-*B*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**: Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.7. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının yaprak alanına (cm^2) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0	**AMF (-)**	208.91±18.86A*-*A***	203.24±10.61A-*A*	222.35±13.78A-*A*
	F.mosseae	150.93±13.10B-*A*	136.15±12.12B	140.45±13.97B
	ERS	132.19±21.00Ba***-*A*	82.78±8.86Cb	86.61±6.47Cb
50 mM	**AMF (-)**	90.66±6.25A-*B*	61.27±12.45-*B*	65.35±7.80-*B*
	F.mosseae	41.15±6.41B-*B*	-****	-
	ERS	36.91±4.81B-*B*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	69.72±13.00A-*B*	53.45±7.15-*B*	45.22±5.52-*B*
	F.mosseae	37.58±7.37B-*B*	-	-
	ERS	14.73±2.67B-*B*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	20.09±1.70B-*C*	32.79±12.04-*B*	39.69±10.27-*B*
	F.mosseae	44.03±7.53A-*B*	-	-
	ERS	18.42±4.57B-*B*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**: Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.8. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının klorofile (SPAD) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0	**AMF (-)**	38.78±1.27a***-*A***	35.08±1.28b-*A*	42.05±0.70A*a-*A*
	F.mosseae	36.98±1.31-*A*	37.48±0.69	35.61±0.80B
	ERS	36.87±0.50ab-*A*	35.75±0.87b	39.38±1.36Aa
50 mM	**AMF (-)**	33.95±2.34a-*AB*	23.44±2.49b-*B*	28.46±1.36ab-*B*
	F.mosseae	28.11±0.75-*B*	-****	-
	ERS	31.59±3.27-*AB*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	29.59±4.76Aa-*BC*	28.04±1.48ab-*B*	18.72±1.93b-*C*
	F.mosseae	20.03±1.29B-*C*	-	-
	ERS	28.57±0.93AB-*B*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	21.54±0.93Bb-*C*	23.67±1.86ab-*B*	27.76±1.63a-*B*
	F.mosseae	23.78±2.24B-*BC*	-	-
	ERS	30.95±2.02A-*AB*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**: Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının gelişim parametreleri arasında istatistiki açıdan önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Tuz konsantrasyonu arttıkça bütün gelişim parametre değerlerinde azalma gözlemlenmiştir (Şekil 4.1). Çalışmamızda morfolojik gelişim parametreleri değerlendirildiğinde, sürgün boyu (22.03 cm), sürgün çapı (2.22 mm), yaş ağırlık değeri (8.11 g), kuru ağırlık değeri (1.31 g), yaprak alanı (222.35 cm^2) ve klorofil (42.05 SPAD) 0 mM + AMF (-) + %4 Bç uygulamasında, yaprak sayısı (9.40 adet/bitki) 0 mM + %0 Bç + *F.mosseae* uygulamasında ve kök uzunluğu (17.00 cm) 0 mM + AMF (-) + %0 Bç kontrol grubunda en yüksek değerlerde görülmüştür (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8) (Şekil 4.1). Farklı tuz dozları ve biyoçar oranları içerisinde AMF (-) uygulaması incelendiğinde, AMF (-) tuz konsantrasyonlarına göre değişkenlik göstermiş ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Biyoçar oranlarının gelişim parametrelerine etkisi incelendiğinde, çoğunlukla en iyi sonucun %2 Bç uygulamasında olduğu sadece klorofil ve yaprak alan parametre değerlerinde %4 Bç'nin artış gösterdiği fark edilmiştir (Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8) (Şekil 4.1). AMF türleri arasında ise *F.mosseae'*nin biyoçar ile interaksiyonlu uygulamalarında ERS'ye göre gelişim parametreleri üzerinde etkinliğinin daha fazla olduğu, tuz koşullarında bu türlerin uygulamaya göre değişkenlik gösterdiği fark edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde farklı AMF türü ve biyoçar oranlarının gelişim parametrelerine etkisi.

Bu çalışmada elde edilen veriler ve değerlendirmelere göre tuz konsantrasyonu arttıkça biber bitkisinin gelişim parametre değerlerinde azalma olduğu sonucuna varılmıştır (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge

4.8). Biberde farklı tuz konsantrasyonlarının uygulandığı diğer araştırmalarda da tuzun bitki gelişimini (sürgün boy, yaş ve kuru ağırlık, yaprak sayısı, yaprak alanı, klorofil) olumsuz etkilediği rapor edilmiş olup (Akay Rastgeldi, 2010; Kaouther ve ark., 2012) sonuçlarının çalışmamızdaki değerlendirmelerle benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Mevcut çalışmamızda kullanılan AMF inokulumlarının (*F. mosseae* ve ticari AMF) ve biyoçar oranlarının (%2 Bç ve %4 Bç) tuz stresinden olumsuz etkilenen biber gelişimi üzerinde pozitif etkisi olduğu tespit edilmiştir. Özellikle Fm'nin 150 mM konsantrasyonlu uygulamalarda gelişim kriterlerini arttırdığı ve Fm'nin yüksek stres koşullarında etkinlik gösterebildiği belirlenmiştir. Tuz stresi olmayan uygulamalarda %4 Bç'nin %2 Bç'ye göre biberin morfolojik gelişimine etkisi yüksek olurken tuzlu uygulamalarda ise %2 Bç daha iyi sonuç göstermiştir. Bu da tuz stresi koşullarında biyoçar oranının bitki gelişimi açısından önemli bir kriter olduğunu ve düşük orandaki biyoçar uygulamasının gelişimi uyardığını göstermektedir. Abdulhadi ve ark. (2017) tarafından yapılan benzer araştırmada da AMF türlerinin (*G. intraradices, G. margarita* ve *G. mosseae)* tuzlu toprak koşullarında bitki gelişimini teşvik ettiği ve simbiyotik ilişkinin olumlu yönde olduğu rapor edilmiştir. Tuzlu alanda farklı biyoçar oranlarının (%2, %4 ve %6) bitki gelişim özelliklerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, özellikle %2 biyoçar oranının sürgün boy, yaprak alanı, kök ağırlığı ve kök uzunluk değerlerini önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir (Egamberdieva ve ark., 2021). Çalışmamızın genel olarak gelişim parametrelerinde, tuz stresi olmayan (0 mM) AMF gruplarında (*F.mosseae* ve ERS) biyoçarlı uygulama değerleri (%2 Bç ve % 4 Bç) biyoçarsızlara (%0 Bç) göre düşük çıkmıştır. Biber gelişimini, verimini ve toprak yapısını düzenleme amacıyla AMF ile biyoçarın (%3, %2 ve %1) kullanıldığı bir çalışmada ise sadece AMF uygulamasının kontrole kıyasla artış gösterdiği ancak en iyi sonucun AMF + biyoçar kombinasyonunda olduğu görülmüştür (Wang ve ark., 2020). Mevcut çalışmada *F.mosseae* ERS'ye göre bütün gelişim parametrelerinde (klorofil hariç) artış gösterirken, kontrol grubunun (0 mM + %0 Bç) *F.mosseae*'den daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla AMF'nin kontrol grubunda etkinlik göstermediği ve aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir ($p > 0.05$). Tuz stresi altında ya da bu stres olmadan yetiştirilen farklı bitki türlerinde (domates, biber) AMF'nin (*G. intraradices* ve *G. mosseae*) morfolojik gelişim parametrelerini kontrole göre arttırdığı belirlenmiştir (Çekiç ve ark., 2012; Şavur, 2015). Mevcut çalışmamızda görüldüğü gibi biyoçar oranı ve AMF'nin bitki gelişimini arttırması bahsedilen çalışmalarla desteklenmekte olup AMF'nin besin elementleri değerince yüksek biyoçar ortamında mutualistik ilişki kuramaması ile de paralellik göstermektedir.

4.1.2. Toprak pH'sı ve EC değerleri

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının topraktaki EC (dSm^{-1}) ve pH (mS/cm)'a etkisi Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da verilmiştir. Bu çizelgeler parametrelerine göre farklı sonuçlar vermiş aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10).

Çizelge 4.9. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının toprakta EC'ye (dSm^{-1}) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	**AMF İnokulumları**	**Biyoçar Oranları**		
		%0 Bç	**%2 Bç**	**%4 Bç**
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0	**AMF (-)**	406.40±22.46A*-*B***	420.74±12.62A-*B*	442.48±22.27A-*B*
	F.mosseae	502.60±49.60Bb***-*C*	427.72±573.99Aa	457.02±215.72Aa
	ERS	858.60±37.71B-*C*	839.60±73.56B	908.00±71.49B
50 Mm	**AMF (-)**	2343.20±105.88Bab-*C*	1894.40±97.73b-*D*	2551.20±302.94 a-*C*
	F.mosseae	3257.60±295.31A-*B*	-****	-
	ERS	3621.60±242.24A-*B*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	3513.60±216.83B-*B*	3578.00±266.38-*C*	3897.80±295.49-*B*
	F.mosseae	3741.40±229.50B-*B*	-	-
	ERS	5900.00±196.59A-*A*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	6258.80±444.72-*A*	5714.00±242.54-*A*	5840.00±158.14-*A*
	F.mosseae	5671.00±780.69-*A*	-	-
	ERS	6804.20±725.40-*A*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS:** Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.10. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının toprakta pH'a (mS/cm) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0	**AMF (-)**	7.99±0.05AB*b-*A***	8.08±0.04Bb	8.26±0.05a-*AB*
	F.mosseae	8.17±0.12A-*A*	8.45±0.03A	8.34±0.10
	ERS	7.85±0.03Bb***-*A*	8.12±0.08Bab	8.21±0.13a
50 mM	**AMF (-)**	7.64±0.06Bb-*AB*	8.16±0.05a	8.15±0.05a-*B*
	F.mosseae	7.98±0.14A-*AB*	-****	-
	ERS	7.70±0.03AB-*B*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	7.49±0.08Bc-*B*	8.08±0.04b	8.36±0.04a-*A*
	F.mosseae	7.68±0.04A-*B*	-	-
	ERS	7.64±0.01AB-*B*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	7.76±0.05b-*B*	7.98±0.06a	8.14±0.04a-*B*
	F.mosseae	7.78±0.04-*B*	-	-
	ERS	7.76±0.05-*AB*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**: Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.9'dan görüleceği üzere tuz konsantrasyonu arttıkça AMF inokulumlarının EC verilerinde de artış gözlemlenmiş, AMF inokulumları arasındaki istatistiksel fark (150 mM hariç) bütün tuz dozlarında önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ancak Çizelge 4.10'da tersi durum söz konusu olup tuz konsantrasyonu arttıkça (150 mM hariç) AMF inokulumlarının pH değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Toprak analizleri değerlendirildiğinde en yüksek EC değeri (6804.20 dSm^{-1}) 150 mM + ERS uygulamasında, en yüksek pH değeri (8.45mS/cm) 0 mM + *F.mosseae* + %2 Bç interaksiyonunda belirlenmiştir (Çizelge 4.9, Çizelge 4.10). Yapılan başka araştırmalarda da farklı tuz konsantrasyonlarında yetiştirilen biber bitkisinde, tuz dozları arttıkça pH değerinin azaldığı ve EC değerinin artış gösterdiği belirtilmektedir (Altunlu, 2019; Abdelaal ve ark., 2020). Ayrıca tarafımızdan yapılan çalışmada genel olarak toprak tuzluluğu arttıkça AMF popülasyonu değişmiş ve yoğunluğu azalmıştır. AMF inokulumları kıyaslandığında ERS'nin EC değeri *F.mosseae*'ye göre daha fazla iken, *F.mosseae'*nin ERS'ye göre pH değeri bütün tuz dozlarında yüksek çıkmıştır (Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10). Krishnamoorthy ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada kıyı arazisindeki toprak tuzluluğuna göre AMF özellikleri ve AMF yapısındaki değişkenlik incelenmiş ve tuz oranı yüksek bölgelerde AMF etkinliğinin düşük olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla yapılan bu araştırmalar verilerimizi destekler niteliktedir. Ancak orta düzeyde (75 ppm) tuz stresi altında

yetiştirilen biber fidelerinin büyüme ve besin içeriğine AMF (*Glomus intraradices* ve *Gigaspora margarita*) etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada, AMF türlerinin bitki büyümesi ve tuz toleransı üzerinde olumlu bir katkısı olduğu belirtilmiştir (Turkmen ve ark., 2008). Çalışmamızda biyoçar uygulamalarından %4 Bç'nin hem EC hem de pH değerlerinde daha yüksek çıktığı, tuz ve biyoçar arasındaki etkileşimlerin ise uygulamaya göre değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Biyoçar oranı arttıkça topraktaki EC değerinin de artış gösterdiği belirlenmiştir. Biyoçar (0, 2.5, 5 ve %10) ve tuz (0.8, 4.1 ve 7.7 dS m^{-1}) arasındaki etkileşimlerin araştırıldığı bir çalışmada ise %5 biyoçar oranının tuz stresini azalttığı ancak yüksek düzeyde biyoçar uygulamasının olumsuz sonuçları olabileceği rapor edilmiştir (Ibrahim ve ark., 2021). Belirtilen çalışma bulguları tarafımızdan yapılan çalışma bulgularıyla benzerlik göstermiş olup biyoçarın topraktaki tuzluluk miktarını arttırabildiği düşünülse de uygun miktarda kullanılan biyoçarın tuz stresi etkilerini azaltabileceği söylenebilir.

4.1.3. AMF gelişim parametreleri

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının AMF'nin varlığına, toprak spor yoğunluğuna, kök kolonizasyonuna ve mikorhizal bağımlılığa etkisi Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'te verilmiştir. Buna göre tuz konsantrasyonu ve biyoçar dozları arasındaki farklılıkların spor yoğunluğuna etkisi önemli bulunurken, her bir tuz uygulaması içerisinde iki AMF inokulumu arasındaki farklılıklar önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.11). Bu çizelgeler arasında en yüksek toprak spor yoğunluğu (11.00 spor/g toprak) ve kök kolonizasyon (%71.43) oranı 0 mM + ERS + %0 Bç uygulamasında belirlenmiştir (Çizelge 4.11, Çizelge 4.12). Tuz konsantrasyonu arttıkça AMF spor yoğunluğunda azalma (toprak spor yoğunluğu 150 mM + ERS hariç) olduğu görülmüştür. Her bir AMF uygulamasında tuz dozlarının karşılaştırılmasında sadece ERS'nin kök kolonizasyonunda tuz dozlarının etkisi (0 mM + %4 Bç) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.12). Aynı zamanda biyoçar dozları ve farklı tuz konsantrasyonlarındaki AMF inokulumları arasındaki fark da istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Biyoçarlar oranları arasındaki fark ise sadece toprak spor yoğunluğu parametresinde 0 mM tuz uygulamasında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). (Çizelge 4.11). Ayrıca mikorhizal bağımlılık parametresinin bütün uygulamalarında bağımlılığın olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.11. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının toprak spor yoğunluğuna (spor/g toprak) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0 mM	***F.mosseae***	5.80±1.11 a**- *A**	4.00±0.77 ab	3.00±0.44 b
	ERS	11.00±3.20 a- *A*	3.80±0.58 b	3.20±0.58 b
50 mM	***F.mosseae***	3.20±0.96-*B*	-***	-
	ERS	3.40±0.50-*B*	-	-
100 mM	***F.mosseae***	2.20±0.58-*B*	-	-
	ERS	2.60±0.92-*B*	-	-
150 mM	***F.mosseae***	2.00±0.44-*B*	-	-
	ERS	2.80±0.48-*B*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**:Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.
*: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
**: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.12. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının kök kolonizasyonuna (%) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0 mM	***F.mosseae***	38.80±14.26	27.57±8.64	22.03±3.21 B*
	ERS	71.43±6.02-*A***	58.26±12.24	47.61±8.70 A
50 mM	***F.mosseae***	26.23±5.16	-***	-
	ERS	39.48±4.19-*B*	-	-
100 mM	***F.mosseae***	22.88±3.66	-	-
	ERS	26.71±2.84-*BC*	-	-
150 mM	***F.mosseae***	20.27±5.33	-	-
	ERS	19.04±3.29-*C*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**:Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.13. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının mikorhizal bağımlılık oranına (%) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	**%2 Bç**	**%4 Bç**
0 mM	***F.mosseae***	-59.28*	-64.01	-94.75
	ERS	-78.57	-220.25	-190.61
50 mM	***F.mosseae***	-278.22	-**	-
	ERS	-215.05	-	-
100 mM	***F.mosseae***	-62.31	-	-
	ERS	-130.55	-	-
150 mM	***F.mosseae***	-95.92	-	-
	ERS	-102.55	-	-

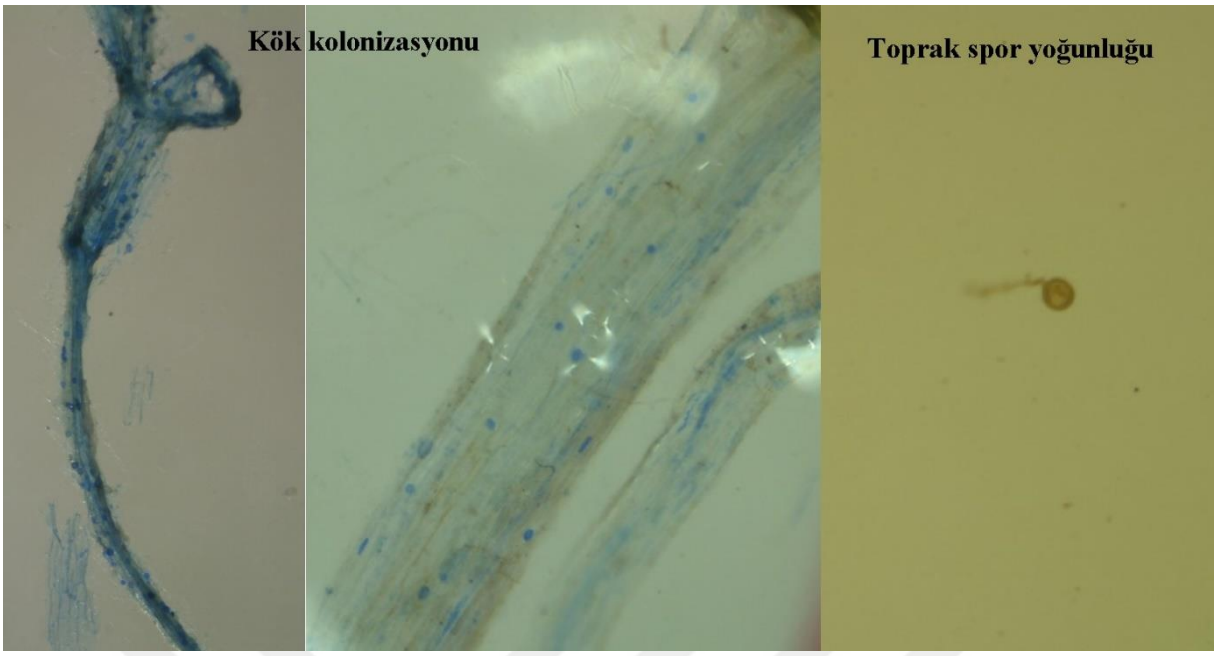
Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**:Ticari AMF uygulaması

* Eksi (-) değer mikorhizal bağımlılığın olmadığını göstermektedir.

** Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

AMF'nin gelişim parametreleri göz önünde bulundurulduğunda, ERS'nin mix karışım halinde olmasına rağmen *F.mosseae* ile aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğu, *F.mosseae'*nin tek başına ERS kadar etkinlik gösterdiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla *F.mosseae'*nin tuz stresi ve biyoçar ortamında toprak spor yoğunluğu, kök kolonizasyonu ve mikorhizal bağımlılık oranındaki etkinliğinin daha fazla olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.11, Çizelge 4.12) (Şekil 4.2). Akköprü ve Demir, (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, AMF'nin biyotik ve abiyotik stres koşullarından etkilenerek kolonizasyon oranının hem olumlu hem de olumsuz yönde değişebileceği belirtilmiştir. Farklı AMF türlerinin (*Glomus mosseae, G. clarum, G. caledonium, G. intraradices* ve *G. etunicatum*) ve bunların karışımlarının biber fidesine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda ise mix AMF'nin kontrole kıyasla artış gösterdiği ve mikorhizal bağımlılığın oluştuğu belirlenmiştir (Ortas ve ark., 2011; Altunlu, 2019). Sonuçlarımızı destekleyen bir başka araştırmada ise toprak tuzluluğunun AMF yoğunluğunda değişkenlik gösterebileceği, kök kolonizasyonu, toprak spor yoğunluğu ve mikorhizal bağımlılığı önemli derecede azaltabildiği belirlenmiştir (Krishnamoorthy ve ark., 2014).

Mevcut çalışmamızda biyoçar oranı arttıkça AMF spor yoğunluğunda azalma olduğu ve %2 Bç + AMF arasındaki etkileşimin olumlu yönde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.11, Çizelge 4.12). Biberde farklı biyoçar türlerinin AMF yoğunluğu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada da biyoçar + AMF interaksiyonun kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğu değerlerinin pozitif kontrole oranla yaklaşık %8'lik bir azalış gösterdiği belirlenmiştir (Gaffar ve ark., 2021). Ancak bir başka çalışmada yüksek orandaki (%3) biyoçarın AMF kök kolonizasyon değerini %100 oranında arttırdığı belirtilmiştir (Elmer ve ark., 2011).



Şekil 4.2. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğu.

4.1.4. Membran zararlanma indeksi (MZİ), yaprak oransal su içeriği (YOSİ) ve fosfor (P) miktarı

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının MZİ, YOSİ ve fosfor miktarına etkisi Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da verilmiştir. Bu Çizelgelere göre tuz konsantrasyonu arttıkça membran zararlanma indeksi değerlerinde artış, yaprak oransal su içeriği ve fosfor miktarında AMF türüne ve biyoçar oranına göre değişkenlik göstermiştir. En yüksek MZİ (%68.65) 150 mM + *F.mosseae* + %0 Bç uygulamasında, YOSİ (%105.55) 150 mM + AMF (-) + %2 Bç interaksiyonunda ve fosfor (0.24 ppm) 150 mM + ERS + %0 Bç etkileşiminde görülmüştür (Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16).

Çizelge 4.14. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının MZİ'ye (%) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0 mM	AMF (-)	0±0Bb-*C***	7.75±1.84Ba-*C*	4.32±0.44Ba-*B*
	F.mosseae	4.68±0.07A*a***-*C*	5.78±0.61Ba	1.14±1.14Bb
	ERS	4.75±0.75Ab-*C*	29.34±7.57Aa	15.85±8.63Aab
50 Mm	AMF (-)	21.99±4.57-*BC*	28.91±9.29-*B*	26.87±9.06-*AB*
	F.mosseae	30.71±6.87-*B*	-****	-
	ERS	22.71±5.51-*BC*	-	-
100 mM	AMF (-)	41.70±7.94-*AB*	32.80±3.60-*B*	42.80±11.49-*A*
	F.mosseae	56.87±4.20-*A*	-	-
	ERS	40.37±6.39-*AB*	-	-
150 mM	AMF (-)	49.33±10.36-*A*	52.93±0.68-*A*	42.39±11.77-*A*
	F.mosseae	68.65±9.68-*A*	-	-
	ERS	49.33±10.36-*A*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**:Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.15. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının YOSİ'ye (%) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0 mM	AMF (-)	95.15±2.29	95.76±1.37	94.04±2.11-*A**
	F.mosseae	92.98±2.07	96.35±1.09	97.29±0.04
	ERS	96.36±1.09	93.65±3.28	90.17±4.62
50 mM	AMF (-)	92.13±5.32	88.90±3.90	84.24±5.31-*A*
	F.mosseae	95.15±2.89	-***	-
	ERS	84.95±5.72	-	-
100 mM	AMF (-)	82.10±1.43ab**	90.65±3.36a	75.36±3.45b-*A*
	F.mosseae	87.51±2.92	-	-
	ERS	69.90±16.28	-	-
150 mM	AMF (-)	72.10±13.49	105.55±22.26	52.69±11.43-*B*
	F.mosseae	95.01±0.57	-	-
	ERS	72.10±13.49	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**:Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.
*: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
**: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.16. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının fosfor miktarına (ppm) etkisi

Tuz Konsantrasyonları	AMF İnokulumları	Biyoçar Oranları		
		%0 Bç	%2 Bç	%4 Bç
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
0 mM	**AMF (-)**	0.14±0.01	0.16±0.01AB*	0.13±0.00
	F.mosseae	0.19±0.02ab-*A***	0.21±0.01Aa	0.14±0.01b***
	ERS	0.18±0.04	0.12±0.01B	0.15±0.02
50 mM	**AMF (-)**	0.23±0.02A	0.19±0.02	0.20±0.01
	F.mosseae	0.12±0.01B-*BC*	-****	-
	ERS	0.15±0.02B	-	-
100 mM	**AMF (-)**	0.21±0.04	0.16±0.02	0.23±0.06
	F.mosseae	0.16±0.01-*AB*	-	-
	ERS	0.12±0.00	-	-
150 mM	**AMF (-)**	0.20±0.00Aba	0.15±0.01ab	0.14±0.02b
	F.mosseae	0.11±0.00B-*C*	-	-
	ERS	0.24±0.04A	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**:Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Küçük harfler; aynı tuz konsantrasyonu içerisinde her bir AMF uygulamasındaki biyoçar oranlarının karşılaştırmasını ifade etmektedir.
****Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.14'te tuz stresi olmayan (0 mM) uygulamada *F.mosseae*'nın MZİ değeri ERS'ye göre düşük iken tuz uygulaması yapılan interaksiyonların tamamında bu durumun tersi söz konusu olup *F.mosseae*'nın daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca aynı çizelgede *F.mosseae*'nın biyoçar ile pozitif yönlü bir etkileşim kurarak stressiz koşullarda MZİ değerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Çizelge 4.15'te ise bütün uygulamaların (%4 Bç hariç) farklı tuz konsantrasyonlarında tuz dozları arasındaki istatistiksel fark önemsiz bulunmuştur (p>0.05). *F.mosseae* gerek stressiz koşullardaki biyoçar uygulamalarında gerekse tuz stresi altında en iyi YOSİ değerlerine ulaşırken bu artışın önemli olmadığı görülmüştür. Farklı AMF türlerinin (*G. mosseae, G. microcarpum, G. fasciculatum, G. intraradices, G. margarita* ve *G. heterogama*) tuz stresine etkisinin araştırıldığı başka çalışmalarda da tuz konsantrasyonu arttıkça YOSİ değerinde azalma MZİ değerinde artış olduğu belirtilmiştir. Bununla beraber AMF ile tuz interaksiyonlu uygulamaların YOSİ değerlerinin kontrole göre yüksek çıktığı belirlenmiştir (Kumar ve ark., 2010; Kumar ve ark., 2015; Altunlu, 2019). Çizelge 4.16'da ise fosfor miktarı AMF inokulumuna ve biyoçar oranına göre değişkenlik göstermiştir. AMF uygulamaları arasında *F.mosseae'*nın özellikle tuz uygulanmayan (0 mM) ancak biyoçar ile kombinasyonlu grubu (Fm + %2 Bç) fosfor değerinin diğer bütün biyoçarlı uygulamalardan daha yüksek çıktığı, biyoçar oranı arttıkça fosfor değerinin azaldığı tespit edilmiştir. AMF(-) + 100 mM

interaksiyonunda ise tersi durum söz konusu olup biyoçar oranı arrtıkça fosfor değeri artış göstermiştir. Farklı abiyotik stres koşulları altında *F. mosseae*'nin fosfor değerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda da Fm'nin kontrol grubuna göre fosfor alımını arttırdığı belirlenmiştir (Beltrano ve ark., 2013; Altuntas ve ark., 2016; Almaca ve ark., 2021).

4.1.5. Tuz skalası (0-5) değeri

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF ve biyoçar uygulamalarının 0-5 skalasına etkisi Çizelge 4.17'de verilmiştir. Buna göre; bütün uygulamalar arasında en yüksek skala değeri 4.40 ile 150 mM tuz + AMF (-) + %0 Bç ve 150 mM + ERS (4.40)'de, en düşük değer 1.20 ile 50 mM + *F.mosseae* + %0 Bç interaksiyonunda belirlenmiştir (Çizelge 4.17) (Şekil 4.3).

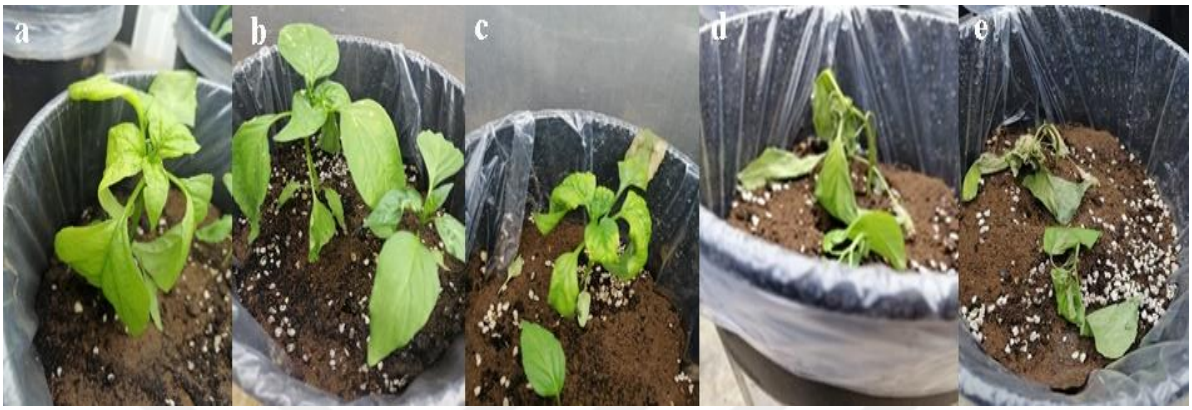
Çizelge 4.17. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde (*Capsicum annuum* L) AMF ve biyoçar uygulamalarının 0-5 skalasına etkisi

Tuz Konsantrasyonları	**AMF İnokulumları**	**Biyoçar Oranları**		
		%0 Bç	**%2 Bç**	**%4 Bç**
		$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
50 mM	**AMF (-)**	2.80±0.48A*-*B***	2.80±0.58	2.00±0.77-*B*
	F.mosseae	1.20±0.20B-*B*	-***	-
	ERS	1.60±0.24B-*B*	-	-
100 mM	**AMF (-)**	3.20±0.48-*AB*	3.60±0.60	4.00±0.31-*A*
	F.mosseae	2.80±0.66-*AB*	-	-
	ERS	3.60±0.50-*A*	-	-
150 mM	**AMF (-)**	4.40±0.24-*A*	4.00±0.44	3.80±0.58-*AB*
	F.mosseae	3.20±0.80-*A*	-	-
	ERS	4.40±0.40-*A*	-	-

Bç: Biyoçar uygulaması, **AMF (-):** AMF'siz uygulamalar, **ERS**:Ticari AMF uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.
*: İtalik olmayan büyük harfler; her bir tuz konsantrasyonundaki AMF uygulamalarının karşılaştırılmasını ifade etmektedir.
**: İtalik büyük harfler; her bir AMF uygulamasının farklı tuz dozları içerisindeki karşılaştırmasını ifade etmektedir.
***: Kısa çizgi (-) AMF türü ve biyoçar seçimi yapılacağı için uygulamaların yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.17'ye göre 0-5 skalası açısından AMF inokulumları arasındaki istatistiksel fark sadece 50 mM +%0 Bç uygulamasında önemli bulunmuştur ($p<0.05$). En yüksek tuz konsantrasyonlarında dahi *F.mosseae'*nın, kontrol ve ERS gruplarına göre skala değerini düşürdüğü ancak bu düşüşün istatistiki bakımdan önemli olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.3). Bitkilerde farklı tuz dozları etkisinin skala ile ölçüldüğü araştırmalarda da bitkide çeşitli düzeylerde zararlanmalar meydana geldiği ve zararlanma düzeyi arttıkça skala değerinin de arttığı belirlenmiştir (Kaya, 2011; Köksal ve Külahlıoğlu, 2013). Çalışmamızda 0-5 skalasına

göre tuz stresi koşullarında biyoçar oranları arasındaki fark bütün uygulamalarda istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Tuz konsantrasyonları arasındaki farkın skala değerleri üzerine etkisi ise %0 Bç ve %4 Bç uygulamalarının tamamında önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. a. Skala 1: tuz stresinden hafif etkilenme, b. skala 2: alt yapraklarda solgunluk başlangıcı ve tuz stresinden etkilenme, c. skala 3:yapraklarda kıvrılma, solgunluk ve sararmalar, d. skala 4: yaprakların %51-80 düzeylerinde şiddetli solgunluk, sararma, yapraklarda nekroz ve kurumalar, e. bitkide %80 üzerinde geriye dönüşümsüz solma, yapraklarda kurumalar veya ölüm.

4.2. In Vitro Koşullarda AMF ve Biyoçar Uygulamalarının Biberde Tuz Stresi Şartlarında *Verticillium dahliae* Hastalık Etmenine Karşı Etkilerinin Belirlenmesi

Çalışmanın ilk aşamasından elde edilen veriler göz önünde bulundurulduğunda, genel olarak en iyi sonuç veren AMF inokulumunun *F.mosseae* ve biyoçar oranının ise %2 olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, *F.mosseae* ve %2 biyoçarın, çalışmanın bu 2. aşamasında tuz stresi altında (0 mM, 50 mM, 100 mM ve 150 mM) yetiştirilen biberde *Verticillium dahliae* patojenine ve bitki gelişimine etkisi belirlenmiştir.

4.2.1. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının biberde morfolojik gelişim parametrelerine etkisi

Biyotik (*V. dahliae)* ve abiyotik (tuz) stres faktörlerinde *F.mosseae* ile %2 biyoçarın biber bitkisinin morfolojik gelişim parametrelerine etkisi Çizelge 4.18'de ve Çizelge 4.19'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.18. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaprak sayısı (adet/bitki), kök uzunluğu (cm), sürgün boyu (cm) ve sürgün çapına (mm) etkisi

Uygulamalar	**Yaprak sayısı** (adet/bitki)	**Kök uzunluk** (cm)	**Sürgün boy** (cm)	**Sürgün çap** (mm)
	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
Kontrol	22.33±0.42^{E-H}	6.33±0.84^{J-L}	19.06±0.30^{E}	2.87±0.10^{B-D}
Fm	33.83±1.07^{AB}	19.00±0.96^{B}	31.33±0.31^{B}	**3.98±0.07^{A}**
Bç	30.83±0.79^{BC}	16.91±0.55^{BC}	26.33±0.91^{C}	3.12±0.11^{BC}
50 mM	26.33±1.99^{DE}	11.33±0.76^{EF}	12.83±0.87^{G-K}	2.52±0.19^{D-G}
100 mM	20.66±2.10^{G-K}	8.00±0.44^{H-J}	10.66±0.49^{LM}	2.10±0.25^{G-I}
150 mM	15.16±1.66^{MN}	4.66±0.42^{L-O}	8.50±0.61^{NO}	1.60±0.25^{J-L}
Vd	20.33±0.84^{G-L}	9.16±0.78^{F-I}	14.86±0.47^{FG}	2.44±0.08^{D-H}
Fm+ Bç	**36.83±0.60^{A}**	**22.50±0.42^{A}**	**34.28±0.80^{A}**	**4.20±0.21^{A}**
Fm +50 mM	22.83±1.81^{E-G}	10.66±0.90^{FG}	13.61±0.29^{F-J}	2.44±0.15^{D-H}
Fm + 100 mM	19.00±1.71^{G-M}	9.65±1.18^{F-H}	12.00±0.73^{J-L}	2.09±0.18^{G-I}
Fm +150 mM	16.66±1.20^{J-N}	5.85±0.26^{J-M}	13.75±0.71^{F-J}	2.12±0.20^{G-I}
Bç + 50 mM	21.50±1.70^{F-I}	13.16±2.49^{DE}	14.16±0.40^{F-I}	2.56±0.11^{D-G}
Bç + 100 mM	16.00±1.41^{L-N}	4.70±0.36^{L-O}	14.00±0.56^{F-J}	2.12±0.08^{G-I}
Bç + 150 mM	17.33±2.76^{I-M}	3.16±0.40^{N-P}	13.66±0.76^{F-J}	2.35±0.11^{E-H}
Fm + Vd	27.66±0.71^{CD}	10.71±0.46^{FG}	21.66±0.73^{D}	3.25±0.15^{B}
Bç+ Vd	20.00±0.57^{G-L}	6.70±0.91^{I-L}	15.66±0.47^{F}	2.46±0.09^{D-G}
Vd+50 mM	21.66±0.71^{G-I}	6.81±0.50^{I-L}	12.45±0.33^{D}	2.21±0.07^{F-I}
Vd+100 mM	17.50±1.05^{I-M}	6.26±0.64^{J-L}	11.11±0.23^{K-M}	2.08±0.09^{GH}
Vd+150 mM	**8.33±1.85^{O}**	2.38±0.40^{OP}	**7.73±0.65^{O}**	**1.10±0.14^{M}**
Fm +Bç+50 mM	25.83±0.60^{D-F}	14.83±1.42^{CD}	20.16±0.60^{DE}	2.07±0.10^{G-I}
Fm +Bç+100 mM	20.00±1.94^{G-L}	11.00±0.81^{EF}	14.66±0.98^{F-H}	1.33±0.09^{K-M}
Fm +Bç+150 mM	18.00±0.73^{H-M}	8.33±0.42^{G-J}	12.66±0.55^{H-L}	2.14±0.08^{G-I}
Fm +Bç+Vd	26.33±0.80^{DE}	9.68±0.76^{F-H}	19.43±0.88^{E}	2.79±0.15^{C-E}
Fm +50 mM+Vd	21.83±0.54^{F-I}	5.20±0.48^{K-N}	12.10±0.59^{I-L}	2.32±0.17^{E-H}
Fm +100 mM+Vd	21.16±0.79^{G-J}	7.68±0.27^{H-K}	13.95±0.49^{F-J}	2.34±0.04^{E-H}
Fm +150 mM+Vd	20.83±0.47^{G-K}	6.63±0.63^{I-L}	13.58±0.28^{G-J}	2.42±0.05^{D-H}
Bç + 50 mM+ Vd	16.50±0.67^{K-N}	3.31±0.07^{N-P}	11.96±0.24^{J-L}	1.79±0.13^{I-K}
Bç + 100 mM+ Vd	12.50±1.83^{N}	3.66±0.37^{M-P}	9.95±0.61^{MN}	1.52±0.24^{J-M}
Bç + 150 mM+ Vd	**7.66±2.09^{O}**	**1.80±0.26^{P}**	8.76±0.44^{NO}	1.16±0.30^{LM}
Fm +Bç+50 mM+ Vd	21.16±0.47^{G-J}	9.56±0.84^{F-H}	13.16±0.79^{G-K}	1.93±0.12^{H-J}
Fm +Bç+100 mM+ Vd	21.66±1.22^{F-I}	7.61±0.52^{H-K}	12.83±1.01^{G-K}	2.68±0.08^{C-F}
Fm +Bç+150 mM+ Vd	21.66±1.22^{F-I}	6.61±0.67^{I-L}	12.50±0.50^{I-L}	2.39±0.09^{D-H}
$p^{uygulama}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$

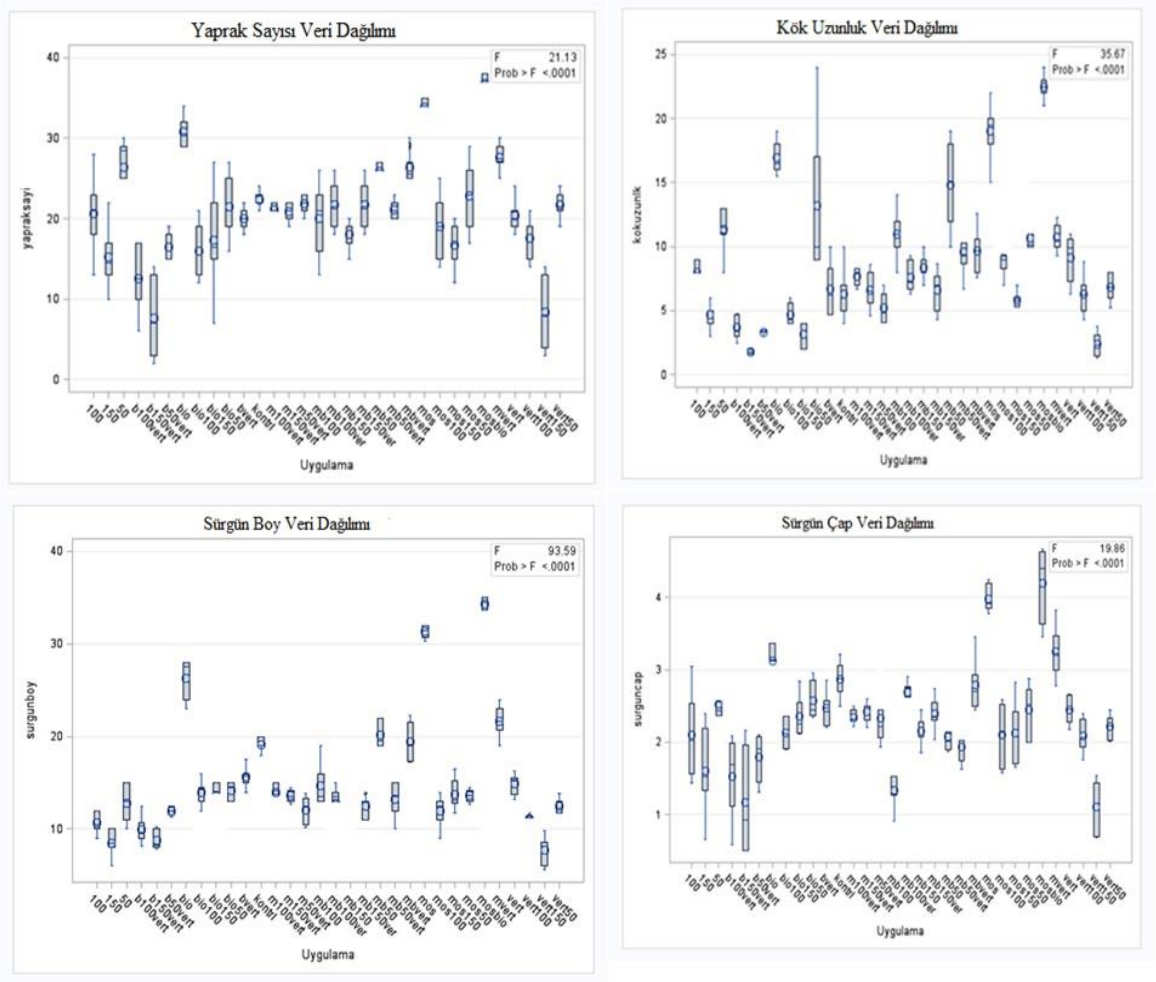
Bç: Biyoçar uygulaması, **Fm:** *F.mosseae* uygulaması, **Vd**: *V. dahliae* uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.

Çizelge 4.18'de tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaprak sayısı (adet/bitki), kök uzunluğu (cm), sürgün boyu (cm) ve sürgün çapına (mm) etkisi verilmiştir. Bu çizelgede bulunan tüm morfolojik parametreler açısından, uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Çizelge 4.18'de morfolojik gelişim parametreleri değerlendirildiğinde, yaprak sayısı (36.83 adet/bitki), kök uzunluğu (22.50 cm), sürgün boy (34.28 cm) en yüksek Fm + Bç interaksiyonunda ve sürgün çap değerinin (4.20 mm) en yüksek Fm + Bç ve Fm (3.98 mm) uygulamalarında görülmüştür. Bu çizelgede Fm + Bç kombinasyonun kontrol grubuna kıyasla yaprak sayısında %65, kök

uzunluğunda %255, sürgün boyunda %80 ve sürgün çapında %46 oranında artış gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.18) (Şekil 4.5). Ayrıca Vd, Bç ve Fm uygulamalarının tamamında tuz konsantrasyonu arttıkça yaprak sayısı, kök uzunluğu, sürgün boyu ve sürgün çap değerlerinde azalma gözlenmiştir. Tuz stresinden kaynaklı dayanıklılığı azalan biber bitkisinin Vd ile interaksiyonunun bitki gelişim kriterlerini olumsuz etkilediği, biyotik ve abiyotik stres faktörleri arasında sinerjistik bir etkileşim olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.18) (Şekil 4.5). Sagar ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada da topraktaki yüksek tuz konsantrasyonun bitki hücre yapısını bozarak gelişime engel olduğu, biyokimyasal ve fizyolojik yapısına zarar verdiği belirlenmiştir. Mevcut çalışmamızda ise hem biyotik (*V.dahliae*) hem de abiyotik stres (tuz) koşullarında Fm'nin tekli ya da Bç ile kombinasyonlu uygulamalarının gelişim parametre değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.18) (Şekil 4.5). Bu konuya yönelik olarak yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür (Nurbaity, 2014; Akhter ve ark., 2015; Giono ve ark., 2021). Bu kapsamda stres koşulları altında AMF ve Bç'nin bitki gelişiminde önemli roller üstlendiği ve bunun hem besin alımı hem de güvenli bir yaşam alanı oluşturmasıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir (Nurbaity, 2014; Akhter ve ark., 2015; Giono ve ark., 2021). Warnock ve ark. (2007) AMF + Bç kombinasyonundaki mekanizmaların tam olarak bilinmediği; ancak biyoçarın toprak yapısının düzenlenmesinde ve AMF'yi zararlılara karşı korumada etkinlik sağladığı ifade edilmiştir. Aynı zamanda biyoçar tarafından absorbe edilen mineral maddelerin AMF hifleri aracılığıyla konukçu bitkiye aktarıldığı, AMF ve biyoçar birlikteliğinin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin olumlu yönde olduğu belirlenmiştir (Hammer ve ark., 2014; Zhuo ve ark., 2020). Farklı AMF türlerinin çeşitli bitkilerde sorun olan *Verticillium* solgunluğuna ve bitki gelişim parametrelerine etkisinin araştırıldığı farklı çalışmalarda, AMF'nin stres faktörlerinde dahi gelişim parametrelerini (sürgün boyu, yaprak sayısı ve kök uzunluğu vb.) teşvik ettiği ve bitki patojenlerine karşı toleransını arttırdığı tespit edilmiştir (Khrieba ve ark., 2019; Coşkun, 2021; Kaouther ve ark., 2012; Lala ve ark., 2021). Çalışmamızda genellikle tuz + *V.dahliae* interaksiyonlu uygulamaların parametre değerlerinde *F. mosseae'*nin bitki gelişimine etkisi biyoçardan daha yüksek çıkmıştır (Çizelge 4.18) (Şekil 4.5). Bu durum AMF'nin türüne ve stres faktörlerine bağlı olmakla birlikte; bitkide oluşan hasarı daha iyi onarabildiği, enfeksiyon durumunda kök sistemini uyararak besin rekabetinde bulunduğu ve hif ağları vasıtasıyla su emilimi sağlayarak stres faktörlerinin etkilerini azalttığı belirtilmiştir (Sheng ve ark., 2008; Pozo ve ark., 2010; Hameed ve ark., 2014; Bagyaraj, 2018; Singh ve ark., 2019). AMF ve biyoçar kombinasyonun stres koşullarında bitki gelişimine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, bitki gelişim parametrelerinin pozitif yönlü etkilendiği, faydalı mikroorganizmaların

popülasyonunu arttırarak biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı koruma sağladığı tespit edilmiştir (Elmer ve ark., 2011; Were ve ark., 2021). Çizelge 4.18'de dikkat çeken bir diğer nokta ise dörtlü interaksiyonların (Fm + Bç +50 mM + Vd) gelişim parametre değerleri üçlü interaksiyonlara göre (Bç + 50 mM + Vd) daha yüksek çıkmış ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4. 18) (Şekil 4.5). Jabborova ve ark., (2021) tarafından yapılan çalışmada da stres faktörlerine karşı kullanılan AMF ve biyoçar kombinasyonunun bitki gelişimine olumlu etkisi olduğu ve yaklaşık %80 oranında artış sağladığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.18'de belirtilen parametre uygulamalarının ortalama değişkenliği ve box-plot veri dağılımı Şekil 4.4'te verilmiştir. Fm ile Bç'nin biyotik (Vd) ve abiyotik (tuz) stres faktörlerinde veri dağılımına etkisi box-plot grafiğinde görsel olarak belirtilmiştir (Şekil 4.4). Ayrıca Fm + Bç interaksiyonundaki ortalamanın tüm parametrelerde en yüksek çıktığı, kutudaki veri dağılımının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Yaprak sayısı, kök uzunluğu, sürgün boy ve sürgün çap için uygulamaların box-plot veri dağılımı.



Şekil 4.5. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının gelişim parametrelerine etkisinden görünüm.

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaş ağırlık (g), kuru ağırlık (g), yaprak alanı (cm^2) ve klorofile (SPAD) etkisi Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaş ağırlık (g), kuru ağırlık (g), klorofil (SPAD) ve yaprak alanına (cm^2) etkisi

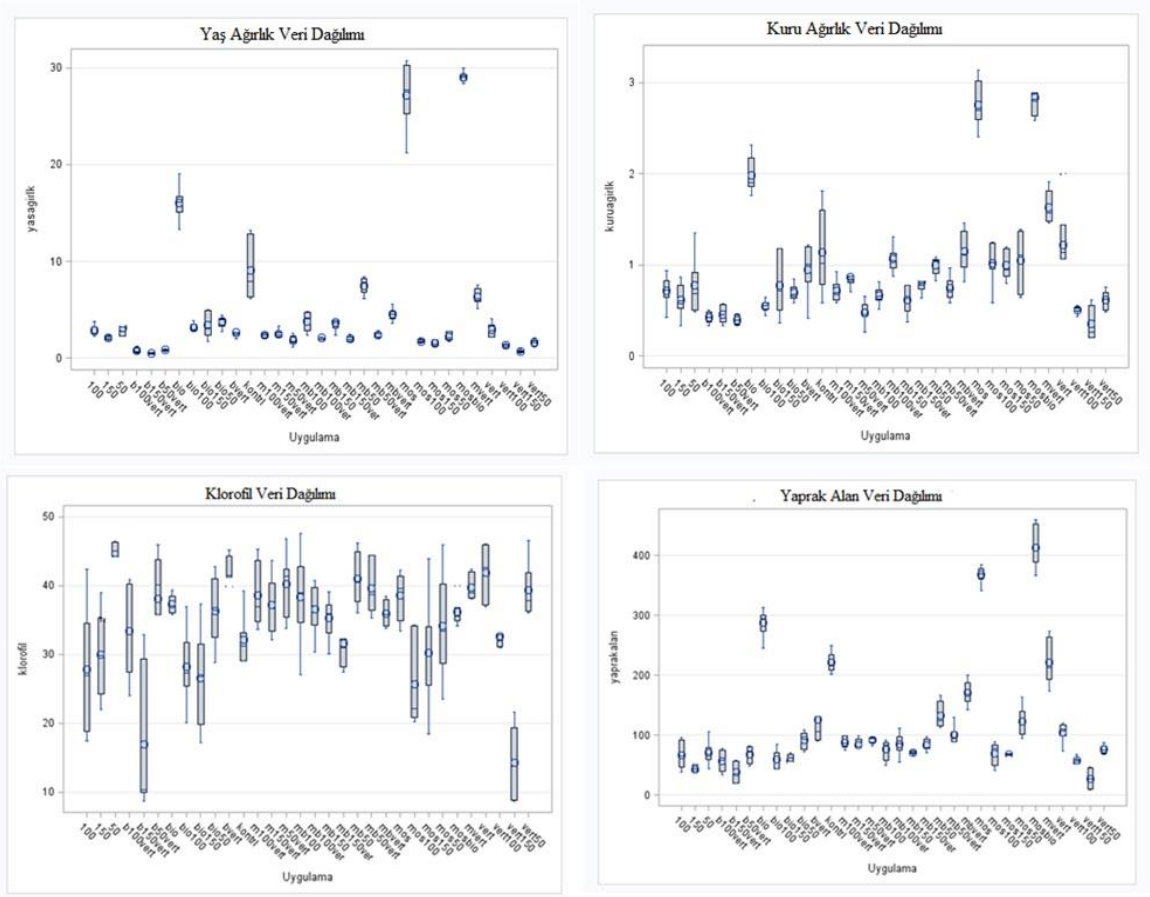
Uygulamalar	**Yaş ağırlık** (g)	**Kuru ağırlık** (g)	**Yaprak alanı** (cm^2)	**Klorofil** (SPAD)
	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
Kontrol	9.08±1.28^{D}	1.13±0.19^{DE}	221.63±7.20^{D}	32.16±1.56^{D-J}
Fm	27.16±1.45^{B}	**2.75±0.11^{A}**	367.31±6.47^{B}	38.54±1.52^{A-E}
Bç	16.04±0.78^{C}	1.98±0.08^{B}	287.16±9.83^{C}	37.28±0.54^{A-G}
50 Mm	3.11±0.48^{F-K}	0.77±0.14^{F-L}	71.11±8.55^{I-K}	**43.73±1.75^{A}**
100 mM	2.80±0.23^{G-L}	0.71±0.07^{G-N}	67.12±9.51^{I-K}	27.85±3.96^{H-J}
150 mM	2.07±0.10^{J-O}	0.62±0.07^{J-P}	43.20±7.97^{K-M}	30.03±2.82^{G-J}
Vd	2.92±0.30^{G-L}	1.21±0.19^{D}	104.04±6.87^{GH}	41.89±1.70^{AB}
Fm + Bç	**29.03±0.22^{A}**	**2.83±0.10^{A}**	**413.65±14.84^{A}**	36.13±0.83^{A-G}
Fm +50 mM	2.23±0.18^{I-N}	1.05±0.13^{D-F}	122.44±10.82^{FG}	34.17±3.33^{B-I}
Fm + 100 mM	1.74±0.07^{K-P}	1.01±0.09^{D-G}	69.63±7.92^{I-K}	25.63±2.74^{J}
Fm +150 mM	1.53±0.13^{L-P}	0.99±0.06^{D-H}	68.51±3.08^{I-K}	30.23±3.62^{F-J}
Bç + 50 mM	3.76±0.25^{F-H}	0.69±0.03^{H-N}	91.17±6.07^{HI}	36.35±2.24^{A-G}
Bç + 100 mM	3.16±0.18^{N-P}	0.54±0.02^{K-P}	58.90±6.63^{J-L}	28.15±2.39^{H-J}
Bç + 150 mM	3.40±0.55^{F-J}	0.77±0.13^{F-L}	56.86±7.18^{J-L}	26.59±3.04^{IJ}
Fm + Vd	6.32±0.36^{E}	1.63±0.07^{C}	221.47±16.64^{D}	39.77±0.79^{A-D}
Bç + Vd	2.62±0.26^{G-M}	0.94±0.12^{D-I}	125.05±20.65^{FG}	40.11±2.72^{A-D}
Vd +50 mM	1.59±0.14^{L-P}	0.61±0.04^{J-P}	75.90±3.23^{H-J}	39.39±1.69^{A-E}
Vd +100 mM	1.30±0.09^{M-P}	0.50±0.01^{L-P}	57.62±2.48^{J-L}	32.65±0.91^{D-J}
Vd +150 mM	**0.69±0.07^{OP}**	**0.35±0.07^{P}**	**27.32±7.30^{M}**	**14.30±2.44^{K}**
Fm + Bç +50 mM	7.50±0.36^{E}	0.99±0.04^{D-H}	132.88±9.16^{F}	41.02±1.61^{A-C}
Fm + Bç +100 mM	3.82±0.43^{FG}	0.66±0.04^{I-O}	75.79±7.17^{H-J}	38.33±2.88^{A-E}
Fm + Bç +150 mM	3.65±0.36^{F-I}	0.61±0.06^{J-P}	70.88±1.44^{I-K}	35.24±1.33^{B-H}
Fm + Bç +Vd	4.51±0.27^{F}	1.14±0.09^{DE}	170.30±8.90^{E}	35.97±0.76^{A-G}
Fm +50 mM+Vd	1.82±0.21^{K-P}	0.47±0.05^{L-P}	92.38±2.55^{HI}	40.20±1.97^{A-D}
Fm +100 mM+Vd	2.33±0.12^{H-M}	0.72±0.05^{G-N}	87.76±3.99^{HI}	38.53±1.94^{A-E}
Fm +150 mM+Vd	2.50±0.18^{G-M}	0.87±0.05^{E-J}	84.01±6.75^{H-J}	37.16±1.79^{A-G}
Bç + 50 mM+ Vd	0.82±0.03^{N-P}	0.39±0.02^{OP}	67.75±5.93^{I-K}	38.07±3.36^{A-F}
Bç + 100 mM+ Vd	0.79±0.11^{N-P}	0.42±0.02^{N-P}	56.98±7.58^{J-L}	33.37±2.91^{C-J}
Bç + 150 mM+ Vd	**0.49±0.03^{P}**	0.45±0.04^{M-P}	37.81±7.84^{LM}	**16.94±4.51^{K}**
Fm + Bç+50 mM+ Vd	2.33±0.11^{H-M}	0.75±0.05^{G-M}	100.89±6.27^{GH}	39.65±1.60^{A-E}
Fm + Bç +100 mM+ Vd	2.05±0.04^{J-O}	1.06±0.06^{D-F}	85.16±7.80^{H-J}	36.53±1.62^{A-G}
Fm + Bç +150 mM+ Vd	1.96±0.11^{J-O}	0.82±0.06^{F-K}	82.93±4.29^{H-J}	31.56±1.73^{E-J}
$p^{uygulama}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$

Bç: Biyoçar uygulaması, **Fm:** *F.mosseae* uygulaması, **Vd:** *V. dahliae* uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.

Çizelge 4.19'a göre; yaş ve kuru ağırlıklar, yaprak alanı ve klorofil içeriğinde uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Bç, Fm ve Vd uygulamalarının tamamında tuz konsantrasyonu arttıkça yaş ağırlık, kuru ağırlık, yaprak alanı ve klorofil değerlerinde azalma gözlemlenmiştir (Çizelge 4.19). Çizelge 4.19'dan görüleceği üzere Fm'nin söz konusu parametreler üzerindeki etkinliğinin Bç'den yüksek olduğu ancak Fm + Bç interaksiyonlu uygulamalarının gerek tuz gerek patojen stres koşullarında tekli kombinasyonlardan daha iyi gelişim sağladığı tespit edilmiştir (Şekil 4.5). Çalışmada, yaş ağırlık (29.03 g), kuru ağırlık (2.83 g) ve yaprak alan değeri (413.65 cm^2) en yüksek Fm + Bç

ve Fm uygulamalarında, klorofil ise (43.73 SPAD g) 50 mM uygulamasında elde edilmiştir (Çizelge 4.19). En düşük değerleri ise yaş ağırlık (0.49 g) ve klorofil (16.94 SPAD) Bç + 150 mM+ Vd uygulamasında, kuru ağırlık (0.35 g) ve yaprak alan (27.32 cm^2) Vd+ 150 mM uygulamasında kaydedilmiştir. Yaş ağırlık, kuru ağırlık ve yaprak alan parametrelerinin Fm + Bç interaksiyonlu uygulamalarının, kontrol grubuna göre sırasıyla %220, %150 ve %86 oranında artış sağladığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.19). Farklı tuz konsantrasyonlarının bitki gelişim parametrelerine etkisinin incelendiği çalışmalarda da artan tuz dozlarının gelişim parametresi ve klorofil değerlerinde azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir (Qados, 2015; Mehmood ve ark., 2020). Mevcut çalışmamızda ise *F. mosseae* farklı tuz konsantrasyonlarında biyoçara oranla yaprak alanı, kuru ağırlık, yaş ağırlık ve klorofil değerlerini arttırmış ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.19). Konuyla alakalı olarak yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür (Sensoy ve ark., 2007; Ortas ve ark., 2011). AMF türlerinin biber bitkisinin gelişimi üzerine yapılan araştırmalarda bütün AMF türlerinin bitki gelişimini arttırdığı saptanmıştır (Sensoy ve ark., 2007; Ortas ve ark., 2011). Farklı stres koşullarında AMF + Bç interaksiyonunun biber gelişimine etkisi incelendiğinde, bu sinerjistik etkinin stres faktörlerine karşı direnç sağladığı ve gelişim parametre değerlerini (yaş ağırlık, kuru ağırlık, yaprak alanı) arttırdığı tespit edilmiştir (Wang ve ark., 2020; Yu ve ark., 2020). Mevcut çalışmamızın tuz uygulamalarından sadece yaş ağırlık parametre değerinde Bç, Fm'ye göre artış göstermiştir. Diğer parametrelerde hem biyotik (Vd) hem de abiyotik (tuz) koşullarda bu durumun tersi söz konusu olup Fm daha etkili olmuştur. Dolayısıyla bu uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.19). Rahim (2021) tarafından yapılan araştırmada da topraktaki organik madde, besin varlığı ve faydalı mikroorganizma yoğunluğunun bitki gelişiminde önemli faktörler olduğu belirlenmiştir. Graber ve ark. (2010) biyoçarın besin değerince düşük topraklarda yetiştirilen biber bitkisinin gelişimine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Demir ve ark., (2015) *V.dahliae* solgunluğunda AMF, humik asit ve peyniraltı suyunun bitki gelişim parametrelerini arttırdığı; kontrol grubu ve patojenli uygulamalara göre pozitif yönlü etkileşim sağlandığı saptanmıştır.

Çizelge 4.19'da belirtilen parametre uygulamalarının ortalama değişkenliği ve box-plot veri dağılımı Şekil 4.6'da verilmiştir. Fm ile Bç'nin tuz ve patojen stres faktörlerinde veri dağılımına etkisi box-plot grafiğinde görsel olarak belirtilmiştir. Veri dağılımının daha çok yaş ağırlık ve yaprak alan parametrelerinde birbirlerine yakın olduğu, her dört parametrede de 150 mM + Vd interaksiyonlu uygulamaların en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Yaş ağırlık, kuru ağırlık, klorofil ve yaprak alanı için uygulamaların box-plot veri dağılımı.

4.2.2. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının biber bitkilerinin yetiştirme ortamındaki toprak pH'sı ve toprak tuzluluğuna (EC) etkisi

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının toprak pH (mS/cm) ve toprak EC'ye (dSm^{-1}) etkisi Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde (*Capsicum annuum* L) AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının toprak pH (mS/cm) ve toprak EC'ye (dSm^{-1}) etkisi

Uygulamalar	**pH (mS/cm)**	**EC (dSm^{-1})**
	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
Kontrol	7.26±0.08^{F-K}	661.00±103.76^{J}
Fm	7.64±0.06^{BC}	618.00±56.69^{J}
Bç	7.89±0.05^{A}	535.75±85.72^{J}
50 mM	7.18±0.05^{H-K}	2395.00±82.20^{HI}
100 mM	7.19±0.05^{H-K}	4992.50±274.23^{EF}
150 mM	**6.90±0.15^{L}**	7305.00±498.77^{C}
Vd	7.54±0.05^{B-D}	**358.50±22.48^{J}**
Fm + Bç	7.48±0.10^{C-F}	1598.75±444.06^{IJ}
Fm +50 mM	7.27±0.11^{F-J}	3145.75±228.12^{GH}
Fm + 100 mM	7.05±0.03^{KL}	4372.50±462.73^{FG}
Fm +150 mM	7.06±0.02^{J-L}	**12580.00±225.16^{A}**
Bç + 50 mM	7.50±0.06^{B-E}	2587.50±185.53^{HI}
Bç + 100 mM	7.51±0.02^{B-E}	4897.50±506.48^{EF}
Bç + 150 mM	7.32±0.01^{D-I}	7805.00±879.30^{C}
Fm + Vd	7.70±0.01^{AB}	440.75±47.45^{J}
Bç + Vd	**7.90±0.12^{A}**	491.00±65.58^{J}
Vd +50 mM	7.28±0.01^{E-J}	2617.50±108.50^{HI}
Vd +100 mM	7.26±0.05^{F-K}	3492.50±247.63^{GH}
Vd +150 Mm	7.18±0.01^{H-K}	5170.00±504.71^{EF}
Fm + Bç +50 mM	7.36±0.03^{D-H}	2662.50±220.24^{HI}
Fm + Bç +100 mM	7.38±0.03^{D-H}	5810.00±301.52^{DE}
Fm + Bç +150 mM	7.24±0.01^{G-K}	6877.50±622.62^{CD}
Fm + Bç +Vd	7.40±0.12^{D-H}	930.75±115.84^{J}
Fm +50 mM+Vd	7.12±0.03^{I-K}	2812.50±115.92^{HI}
Fm +100 mM+Vd	7.07±0.04^{J-L}	5537.50±410.637^{D-F}
Fm +150 mM+Vd	7.14±0.04^{I-K}	9372.50±663.46^{B}
Bç + 50 mM+ Vd	7.47±0.04^{C-F}	2705.00±133.69^{HI}
Bç + 100 mM+ Vd	7.50±0.05^{B-E}	4342.50±742.61^{FG}
Bç + 150 mM+ Vd	7.42±0.03^{C-G}	6730.00±125.63^{CD}
Fm + Bç+50 mM+ Vd	7.54±0.09^{B-D}	2401.00±412.83^{HI}
Fm + Bç +100 mM+ Vd	7.33±0.05^{D-I}	5577.50±590.35^{D-F}
Fm + Bç +150 mM+ Vd	7.41±0.08^{D-H}	6845.00±1127.16^{CD}
$p^{uygulama}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$

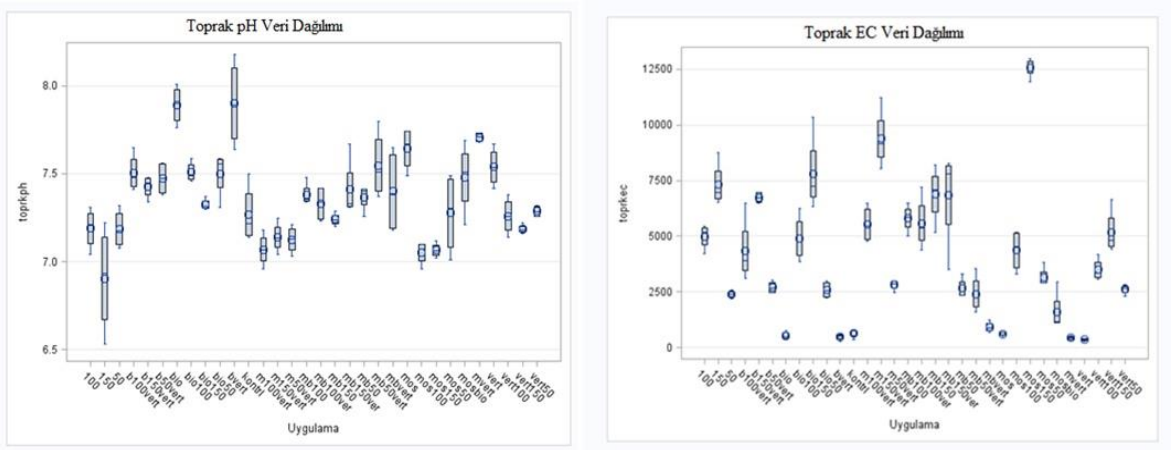
Bç: Biyoçar uygulaması, **Fm:** *F.mosseae* uygulaması, **Vd***: V. dahliae* uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.

Çizelge 4.20'ye göre topraktaki pH ve EC değerlerinde uygulamalar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Tuz konsantrasyonu arttıkça Bç, Fm ve Vd uygulamalarının pH değerlerinde azalış, EC değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.20). Çalışmada en yüksek pH ile EC değerleri sırasıyla Bç + Vd (7.90 mS/cm), Fm+150 mM (12580.00 dSm^{-1}) interaksiyonlarında, en düşük 150 mM (6.90 mS/cm), Vd (358.50 dSm^{-1}) uygulamalarında görülmüş, aralarındaki fark ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.20). Zhang ve ark., (2019 b) tarafından yapılan çalışmada da tuz stresine karşı biyoçarın etkisi araştırılırken pH değerinin artış göstermediği; diğer uygulamalarla aralarındaki farkın önemsiz olduğu, 300^0C de piroliz edilen biyoçar pH

değerinin 600^0C'den daha yüksek çıktığı görülmüştür. Çalışmamızda Vd ve Fm'li uygulamaların pH değerleri kontrol grubuna göre yüksek çıkmış, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.20). Buna paralel olarak bazı çalışmalarda da topraktaki pH değerinin mikroorganizma yoğunluğunu etkileyebildiği belirtilmektedir (Rousk ve ark., 2009; Dilegge ve ark., 2019). Aynı zamanda topraktaki alkalilik seviyesini arttıran biyoçarın, asidik ortamları tercih eden fungusların gelişimine engel olduğu tespit edilmiştir (Yao ve ark., 2017; Shi ve ark., 2018; Ogundeji ve ark., 2021). Başka çalışmalarda ise biyoçar uygulamasının toprağın kimyasal özelliklerini değiştirebildiği, bitki patojenlerine karşı antagonistik etki oluşturarak funguslar için daha iyi bir yaşam alanı sunduğu belirtilmiştir (Liu ve ark., 2015; Dilegge ve ark., 2019; Ogundeji ve ark., 2021).

Çizelge 4.20'nin EC parametresinde tuz konsantrasyonu arttıkça EC değerlerinde artış gözlenmiştir. Tuz konsantrasyonlarında Bç'nin EC değeri Fm'ye göre düşük çıkmış ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 20). Fm'nin ya da Bç'nin ayrı ayrı tuz ile interaksiyonlu uygulamalarındaki (Fm + tuz ya da Bç + tuz) EC değerlerinin üçlü kombinasyondan (Fm + Bç + tuz) daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Dolayısıyla artan tuz dozlarına rağmen Fm + Bç etkileşiminin EC değerini düşürdüğü tespit edilmiştir (Çizelge 4.20). Bu kapsamda başka çalışmalarda ise, mikorhizalı uygulamaların tuzluluk toleransını arttırıp EC değerini düşürdüğü belirtilirken, yüksek pH ve EC değerinin toprağa karıştırılan biyoçar oranıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir (Oztekin ve ark., 2013; Azeem ve ark., 2019). Aynı zamanda katyon değişim kapasitesi ve güçlü emici özelliğe sahip biyoçarın, topraktaki toksik iyonları absorbe ederek daha faydalı iyonlar saldığı ve tuz stresine maruz kalan bitkilerin olumsuz etkilerini azaltabildiği tespit edilmiştir (Novak ve ark., 2012). Toprak tuzluluğuna karşı 600^0C'de piroliz edilen biyoçar etkisinin incelendiği bir araştırmada, Bç'li uygulamaların EC değerini düşürüp pH değerini arttırdığı ve fide gelişimi için iyi bir toprak ortamı sağladığı belirlenmiştir (Zhang ve ark., 2019b). Dolayısıyla bu çalışma bulguları tarafımızdan yapılan çalışma bulgularını desteklemekte olup Bç'li uygulamalardaki yüksek pH değeri biyoçarın piroliz sıcaklığı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.20'deki pH ve EC parametre uygulamalarının ortalama değişkenliği ve box-plot veri dağılımı Şekil 4.7'de verilmiştir. Fm ve Bç'nin stres koşullarında veri dağılımına etkisi box-plot grafiğinde görsel olarak belirtilmiştir. Ph veri dağılımının 6.5-8 mS/cm arası, EC veri dağılımının 0-12500 dSm^{-1} arasında toplandığı belirlenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Toprakta pH ve EC için uygulamaların box-plot veri dağılımı.

4.2.3. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının AMF gelişim parametrelerine (kolonizasyon, toprak spor yoğunluğu ve mikorhizal bağımlılık) etkisi

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının toprak spor yoğunluğuna (spor/g toprak), kök kolonizasyonuna (%) ve mikorhizal bağımlılık oranına (%) etkisi Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının kök kolonizasyonuna (%), toprak spor yoğunluğuna (spor/g toprak) ve mikorhizal bağımlılık oranına (%) etkisi

Uygulamalar	**Kök kolonizasyonu (%)**	**Toprak spor yoğunluğu (spor/g toprak)**	**Mikorhizal bağımlılık oranı (%)**
	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	
Fm	**92.10±1.79^{A}**	**13.00±2.17^{A}**	59.14
Fm + Bç	45.61±8.22^{B-E}	4.50±0.42^{EF}	29.57
Fm +50 mM	42.105±3.84^{C-D}	7.83±1.19^{B-E}	17.63
Fm + 100 mM	64.91±4.83^{B}	4.66±0.66^{EF}	22.62
Fm+150 mM	53.50±5.83^{BC}	7.00±2.30^{B-E}	37.43
Fm + Vd	46.49±8.08^{B-E}	5.33±0.66^{D-F}	24.56
Fm +Bç+50 mM	35.96±6.28^{C-D}	9.16±1.49^{B-D}	29.19
Fm +Bç+100 mM	50.87±4.00^{B-D}	5.66±1.05^{C-F}	**16.07**
Fm +Bç+150 mM	40.35±4.64^{C-D}	9.66±1.70^{AB}	**-38.76**
Fm +Bç+ Vd	**28.07±4.83^{E}**	2.83±0.16^{F}	10.44
Fm +50 mM+ Vd	55.26±8.01^{BC}	6.16±1.37^{E-F}	**-38.18**
Fm +100 mM+ Vd	48.24±7.11^{B-E}	5.66±0.42^{C-F}	28.03
Fm +150 mM+ Vd	54.38±7.14^{BC}	3.00±0.63^{F}	57.33
Fm +Bç+50 mM+ Vd	30.70±7.11^{DE}	4.83±0.60^{EF}	46.45
Fm +Bç+100 mM+ Vd	42.10±6.07^{C-D}	9.50±1.17^{ABC}	**60.04**
Fm +Bç+150 mM+ Vd	50.00±6.62^{B-D}	**2.50±0.22^{F}**	42.01
$p^{uygulama}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$	

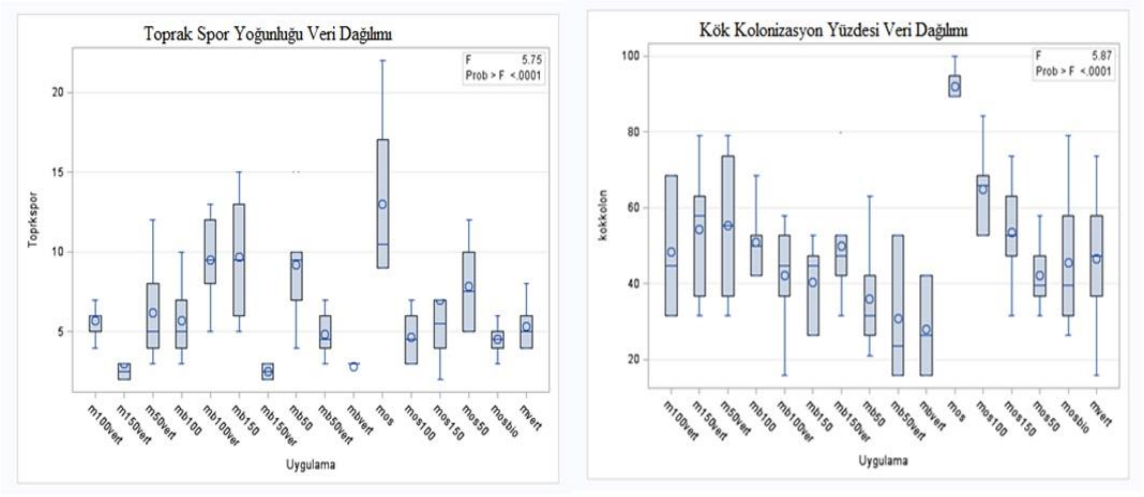
Bç: Biyoçar uygulaması, **Fm:** *F.mosseae* uygulaması, **Vd**: *V. dahliae* uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.
* Eksi (-) değer mikorhizal bağımlılığın olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.21'e göre kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğunun bütün uygulamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Kök kolonizasyon parametresinde, en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla Fm (%92.10), Fm +Bç +Vd (%28.07) uygulamalarında olup aralarında yaklaşık %70 oranında istatistiksel fark bulunmuştur (Çizelge 4.21) (Şekil 4.9). Toprak spor yoğunluğunda, en yüksek değer Fm'de (13.00 spor/g toprak), en düşük değer Fm +Bç +Vd (2.83 spor/g toprak) ve Fm + Bç +150 mM + Vd (2.50 spor/g toprak) uygulamalarında gözlemlenmiş, aralarında yaklaşık %78 oranında fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.21) (Şekil 4.10). Mikorhizal bağımlılık parametresinde ise en yüksek ve en düşük değer sırasıyla Fm +Bç + 100 mM+ Vd (%60.04) ve Fm +Bç + Vd (%10.44) interaksiyonlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.21). Kök kolonizasyonu ile ilgili benzer çalışmalarda da AMF türleri arasından *F. mosseae'*nın en iyi kök kolonizasyonuna sahip olduğu ve biber bitkisini yaklaşık %38.66 - %61 oranları arasında kolonize ettiği tespit edilmiştir (Yıldız, 2010; Aslanpay, 2011). Biyotik stres koşullarında farklı bitkilere uygulanan AMF'nin kök kolonizasyonuna etkisi incelenirken, en yüksek değerin AMF kontrol gruplarında, en düşük değerin ise AMF + patojen kombinasyonunda olduğu belirlenmiştir (Aysan, 2008; Demir ve ark., 2015). Ancak halen birçok çalışmada AMF + patojen interaksiyonunun kök kolonizasyonu ve spor yoğunluğu üzerindeki etkisi tartışılmaktadır (Boutaj ve ark., 2020). Mevcut çalışmamızda, kök kolonizasyon %'si pozitif kontrolden (Fm) sonra daha çok 100 mM ve 150 mM kombinasyon uygulamalarında belirlenmiştir. Ayrıca Fm'nin abiyotik koşullardaki (tuz uygulamaları) kolonizasyon yüzdesi biyotik koşullardakine (Vd) göre daha yüksek çıkmıştır ve aralarındaki istatistiki fark önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.21). Genel olarak çalışmamızda, tuz konsantrasyonu arttıkça uygulamalardaki kök kolonizasyon yüzdesi değeri, toprak spor yoğunluğu ve mikorhizal bağımlılık oranı farklılık göstermiştir (Çizelge 4.21) (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10). Tuz stresinde AMF etkinliğinin incelendiği benzer çalışmalarda da tuzluluğun sadece konukçu bitki gelişimini etkilemediği, aynı zamanda kök kolonizasyonu, toprak spor yoğunluğu, spor çimlenmesi ve hif gelişimi üzerinde de olumsuz etkisinin olduğu belirlenmiştir (Besri, 1993; Jahromi ve ark., 2008; Evelin ve ark., 2009).

Çizelge 4.21'de dikkat çeken bir diğer nokta ise toprak spor yoğunluğu parametresindeki Fm'nin (13.00 spor/g toprak) Fm + Vd (5.33 spor/g toprak) uygulaması ile arasında %59'luk, Fm +Bç +Vd (2.83 spor/g toprak) ile arasında %78'lik bir spor yoğunluğu azalmasının görülmesidir (Şekil 4.10). Mikorhizal bağımlılık oranında da aynı durum söz konusu olup Fm'nin patojen ve tuz ile interaksiyonun [Fm +150 mM + Vd (%57.33)] biyoçarlı uygulamalara [Fm +Bç (%29.57) ve Fm+Bç + 100 mM (%16.07)] göre bağımlılık oranının

daha fazla olduğu, dörtlü kombinasyon ortalamalarının diğer uygulamalarınkinden daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.21). Ancak Fm +Bç + 150 mM (% -38.76) ile Fm + 50 mM+ Vd (% -38.18) uygulamalarında mikorhizal bağımlılığın oluşmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.21). Benzer çalışmalarda da AMF ve biyoçarın hem biyotik hem de abiyotik stres koşullarında mikorhizal bağımlılık değeri, kök kolonizasyonu ve topraktaki spor yoğunluğu üzerinde negatif etkisi olduğu belirtilirken (Beltrano ve ark., 2013; Yang ve ark., 2018; Ait Rahou ve ark., 2021; Gaffar ve ark., 2021) bazılarında pozitif etkisi olduğu tespit edilmiştir (Blackwell ve ark., 2010). Bona ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise Kompost + AMF etkileşiminin *V. dahliae* koşullarında mikorhizal bağımlılık yüzdesini arttırdığı saptanmıştır. Çalışmamızda elde edilen bulgular konuyla ilgili yapılan araştırmalarla paralellik göstermiş olup biyoçar özelliklerinin, topraktaki mineral madde miktarının ya da biyoçarın piroliz edilme sıcaklığının AMF yoğunluğunu etkileyebildiği düşünülmektedir. Buna ek olarak Bç + AMF kombinasyonunun orta- yüksek seviyeli tuz stresinde ve Vd'li ortamlarda bitki gelişimini teşvik ederek biyoçarın mikorhizal bağımlılık üzerindeki rolleriyle de bağdaşmıştır.

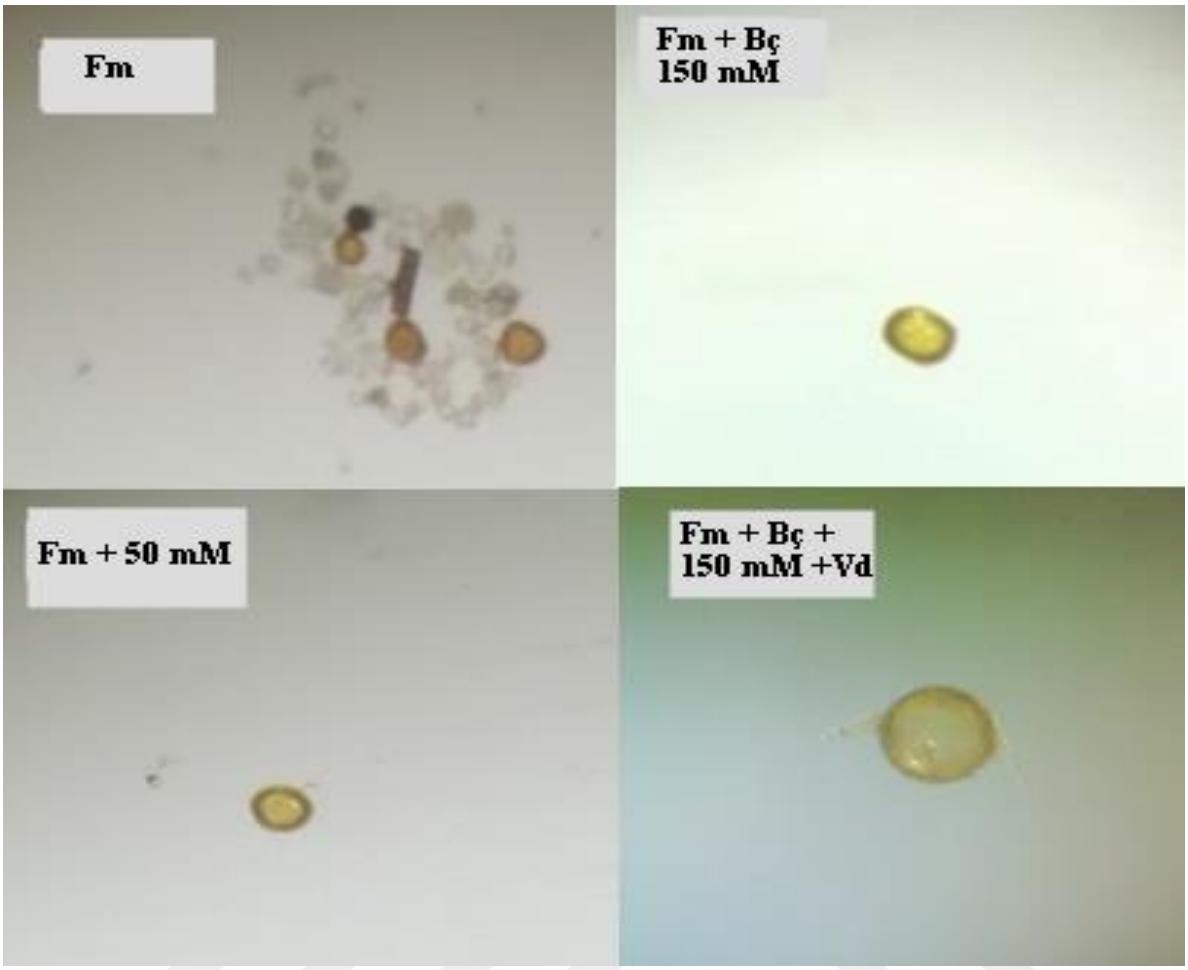
Kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğu parametre uygulamalarının ortalama değişkenliği ve box-plot veri dağılımı Şekil 4.8'de verilmiştir. Fm ve Bç'nin stres koşullarında veri dağılımına etkisi box-plot grafiğinde görsel olarak belirtilmiştir. Kök kolonizasyon veri dağılımının %20-%100 arasında olduğu, toprak spor yoğunluğu veri dağılımının 5-20 spor/g toprak arasında toplandığı belirlenmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Toprak spor yoğunluğu ve AMF kök kolonizasyon için uygulamaların box-plot veri dağılımı.



Şekil 4.9. Stereomikroskop altında AMF kök kolonizasyon spor yapılarından görünüm.



Şekil 4.10. Stereomikroskop altında topraktaki spor yapısından görünüm.

4.2.4. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının membran zararlanma indeksi (MZİ) ve yaprak oransal su içeriğine (YOSİ)'ne etkisi

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının MZİ (%) ve YOSİ'ye (%) etkisi Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının MZİ (%) ve YOSİ'ye (%) etkisi

Uygulamalar	**MZİ (%)**	**YOSİ (%)**
	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
Kontrol	**0±0^{E}**	111.43±7.70^{A-E}
Fm	72.62±3.11^{B-D}	99.87±2.25^{B-E}
Bç	71.22±2.68^{CD}	110.72±12.40^{A-E}
50 mM	67.79±7.70^{CD}	102.80±2.17^{B-E}
100 mM	74.12±4.98^{B-D}	92.79±6.45^{DE}
150 mM	80.30±2.14^{BC}	112.33±25.51^{A-E}
Vd	71.47±2.67^{CD}	127.90±3.53^{A-D}
Fm + Bç	67.85±0.48^{CD}	106.21±2.93^{B-E}
Fm +50 mM	69.34±2.61^{CD}	108.12±4.34^{B-E}
Fm + 100 mM	70.54±1.56^{CD}	112.05±15.85^{A-E}
Fm +150 mM	81.17±7.31^{BC}	99.89±1.56^{B-E}
Bç + 50 mM	73.90±4.90^{B-D}	109.20±26.57^{B-E}
Bç + 100 mM	70.01±9.63^{CD}	129.34±24.56^{A-C}
Bç + 150 mM	71.72±4.12^{CD}	106.96±15.16^{B-E}
Fm + Vd	70.46±2.37^{CD}	94.20±11.30^{C-E}
Bç + Vd	71.97±1.08^{B-D}	**144.53±4.53^{A}**
Vd +50 mM	75.72±1.63^{BC}	121.08±9.79^{A-E}
Vd +100 mM	80.28±1.00^{BC}	125.32±2.98^{A-E}
Vd +150 mM	76.32±3.44^{BC}	**89.66±3.65^{E}**
Fm + Bç +50 mM	73.31±3.50^{B-D}	102.13±2.63^{B-E}
Fm + Bç +100 mM	71.33±3.64^{CD}	131.02±12.03^{AB}
Fm + Bç +150 mM	71.14±3.13^{CD}	105.70±6.30^{B-E}
Fm + Bç +Vd	86.37±5.87^{B}	111.41±2.19^{A-E}
Fm +50 mM+Vd	69.12±1.13^{CD}	114.87±7.73^{A-E}
Fm +100 mM+Vd	**59.79±3.11^{D}**	116.86±7.51^{A-E}
Fm +150 mM+Vd	68.69±1.62^{CD}	120.97±2.63^{A-E}
Bç + 50 mM+ Vd	72.64±7.38^{B-D}	105.29±3.55^{B-E}
Bç + 100 mM+ Vd	**98.61±9.60^{A}**	96.88±2.88^{B-E}
Bç + 150 mM+ Vd	70.85±2.05^{CD}	100.04±1.56^{B-E}
Fm + Bç+50 mM+ Vd	70.16±1.69^{CD}	102.32±1.44^{B-E}
Fm + Bç +100 mM+ Vd	72.71±3.59^{B-D}	95.06±3.28^{B-E}
Fm + Bç +150 mM+ Vd	68.06±2.33^{CD}	105.80±2.57^{B-E}
$p^{uygulama}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0718}$

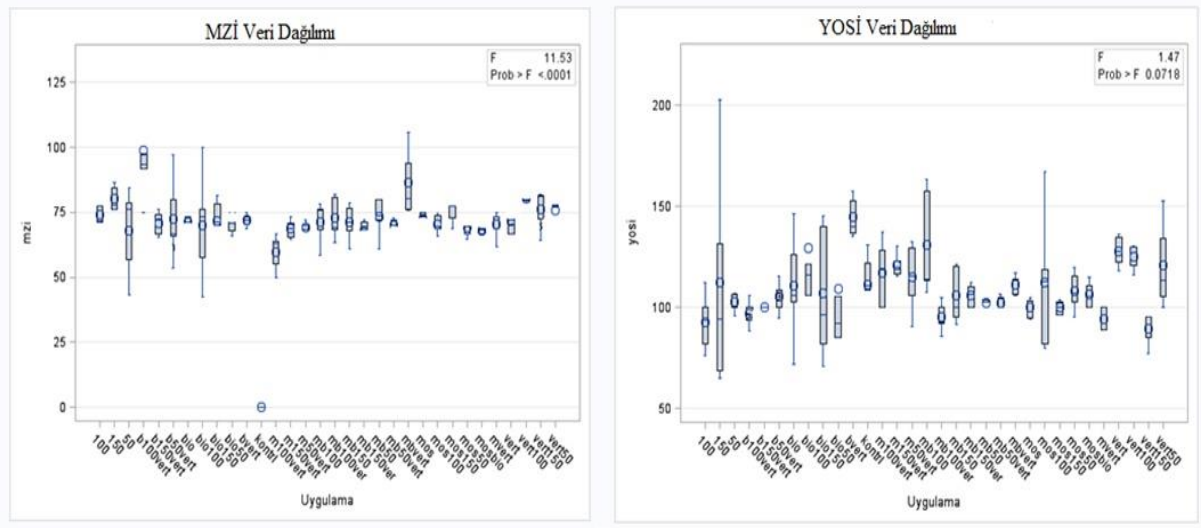
Bç: Biyoçar uygulaması, **Fm:** *F.mosseae* uygulaması, **Vd**: *V. dahliae* uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.

Çizelge 4.22'ye göre; uygulamalar arasındaki farkın YOSİ ve MZİ ortalamaları üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Membran zararlanma indeksi (MZİ) ve yaprak oransal su içeriği (YOSİ) parametrelerinde, tuz konsantrasyonu arttıkça bütün uygulama değerleri Fm, Bç ve Vd'ye göre değişkenlik göstermiş, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.22). Kontrol grubu biber bitkilerinin MZİ'ye göre Bç + 100 mM+ Vd (%98.61), Fm + Bç +Vd (%86.37) ve Fm + 150 mM (%81.17) uygulamalarının en yüksek zararlanmaya, Fm + 100 mM+ Vd (%59.79), Fm + Bç (%67.859) ve 50 mM (%67.79) uygulamalarının ise en düşük zararlanmaya sahip oldukları belirlenmiştir (Çizelge 4.22). YOSİ parametresinde Bç + Vd (%144.53), Fm +

Bç+ 100 mM (%131.02) ve Bç+ 100 mM (129.34) uygulamalarının en yüksek değere, Vd + 150 mM (%89.66) ve 100 mM (%92.79) uygulamasında en düşük yaprak su içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.22). Çizelge 4.22'de genel olarak Fm ve Bç'nin bulunduğu uygulamaların kontrol grubuna göre MZİ'nin düşük, YOSİ'nin ise yüksek değerde olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.22). Nitekim tuz stresinde organik atıkların MZİ değerine olan etkisini araştıran çalışmalarda, organik atık her ne kadar tuz stresinde engelleyici bir faktör olarak görülse de tuz konsantrasyonu arttıkça MZİ değerinin de artış gösterdiği saptanmıştır (Kuşvuran, 2010; Altunlu, 2019; Mehmood ve ark., 2020; Başdinç ve Kabay, 2022). Boutaj ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada *V. dahliae* ile enfekteli bitkilerde kök yapısına ve hastalık şiddetine göre MZİ değerinin farklılık gösterebileceği rapor edilmiştir. Mahmoud ve ark. (2022) ise tuzlu topraklara uygulanan biyoçarın bitki gelişimini teşvik edebildiği gibi fotosentez oranı, klorofil ve yaprak oransal su içeriğini de arttırdığı, stomayı koruduğu, tuz stresi altında bitkinin su içeriğini dengelediğini bildirmiştir. Çizelge 4.22'de Fm'nin biyotik ve abiyotik koşullarda Fm +100 mM + Vd (%59.79) MZİ değeri sadece patojen + tuz interaksiyonlu uygulamalara Vd + 100 mM (%80.28) göre düşük çıkmış ve aralarındaki fark (%34) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Biyoçarın ise 100 mM ve 150 mM interaksiyonlu uygulamaların tamamı (Bç + 100 mM+ Vd hariç) kontrol gruplarıyla kıyaslandığında MZİ değeri düşük çıkmış aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.22). Bu konuyla ilgili benzer çalışmalarda da bitkideki savunma mekanizmasının uyarılması, membran zararlanma indeksinin azaltılması ve patojen zararının onarımı gibi faktörlerin AMF etkisiyle ortaya çıktığı belirlenmiştir (Li ve ark., 2018; Math ve ark., 2019). Farhangi-Abriz ve Torabian, (2017) tarafından yürütülen çalışmada tuz stresi altında yetiştirilen fidelerin gelişimine biyoçarın olumlu katkıları olduğu, ancak antioksidan aktivitelerinde, yapraktaki su konsantrasyonunda ve MZİ değerlerinde azalmaların olmasının nedeninin, biyoçar oranıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Mevcut çalışmamızda *V. dahliae*'nın (%127.90) *F. mosseae* ile interaksiyonu (%94.20) YOSİ değerinde %26'lık bir azalma gösterirken biyoçarla interaksiyonu (%144.53) %13'lük bir artış göstermiştir. Dolayısıyla *F. mosseae'*nın gerek biyotik gerek abiyotik koşullarda (Fm + Bç+ 100 mM hariç) YOSİ değerine etkisi biyoçardan düşük çıkmıştır (Çizelge 4.22). Conversa ve ark. (2015)'na göre, AMF + biyoçar uygulamasının bitki gelişimini arttırmasının yanı sıra biyoçarlı uygulamaların AMF'den daha çok yaprak oransal su içerdiği saptanmış olup sonuçları tarafımızdan yapılan bulgularla paralellik göstermiştir.

Çizelge 4.22'deki MZİ ve YOSİ parametre uygulamalarının ortalama değişkenliği ve box-plot veri dağılımı Şekil 4.11'de verilmiştir. Stres koşullarında (tuz ve patojen) Fm ve

Bç'nin veri dağılımına etkisi box-plot grafiğinde görsel olarak belirtilmiştir. MZİ veri dağılımının %0-%125 arasında ve yığılımın daha çok %75 dolaylarında olduğu tespit edilmiştir. YOSİ veri dağılımının ise %50-%200 arasında olduğu ve yığılımın daha çok %100 dolaylarında toplandığı belirlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. MZİ ve YOSİ için uygulamaların box-plot veri dağılımı.

4.2.5. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının makro ve mikro besin elementi içeriğine etkisi

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaprakta fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum mineral maddelerine etkisi Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaprakta fosfor (ppm), potasyum (ppm), kalsiyum (ppm) ve magnezyum (ppm) mineral maddelerine etkisi

Uygulamalar	**P (ppm)**	**K (ppm)**	**Ca (ppm)**	**Mg (ppm)**
	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
Kontrol	2722.49±322.73^{A-C}	593.02±20.48^{B-E}	**194.26±7.57^{H}**	123.35±6.21^{D}
Fm	**3264.38±577.98^{A}**	626.05±33.04^{A-D}	236.65±2.79^{E-H}	152.86±12.73^{A-D}
Bç	2343.83±91.32^{B-F}	527.82±17.02^{B-G}	220.09±17.74^{F-H}	129.24±6.63^{CD}
50 mM	2050.03±309.08^{C-I}	485.34±26.82^{D-J}	255.63±25.33^{B-H}	136.98±14.57^{B-D}
100 mM	1802.59±522.85^{D-K}	413.96±49.88^{F-J}	364.66±47.68^{A-D}	155.67±16.83^{A-D}
150 mM	2226.31±54.75^{B-H}	408.39±33.01^{F-J}	378.64±53.86^{A-B}	156.87±15.11^{A-D}
Vd	1566.90±122.95^{E-K}	444.14±41.76^{E-J}	212.76±13.37^{G-H}	128.65±11.31^{CD}
Fm + Bç	2951.00±757.11^{AB}	**768.36±23.92^{A}**	284.55±14.20 $^{B-H}$	171.63±13.69^{A-D}
Fm +50 mM	1416.74±241.79^{G-K}	406.06±30.74^{F-J}	325.53±12.46^{A-G}	162.07±5.03^{A-D}
Fm + 100 mM	1815.00±45.85^{E-K}	513.40±36.17^{B-I}	**436.14±51.79^{A}**	197.03±16.96^{A-B}
Fm +150 mM	1397.15±100.86^{H-K}	457.58±24.46^{E-J}	319.67±44.61^{A-H}	177.84±9.89^{A-D}
Bç + 50 mM	2095.51±102.35^{C-I}	500.00±12.41^{C-J}	234.65±35.64^{E-H}	151.78±18.13^{A-D}
Bç + 100 mM	1495.09±133.32^{F-K}	434.72±49.84^{E-J}	319.47±22.37^{A-H}	141.14±26.40^{B-D}
Bç + 150 mM	1906.40±142.24^{C-K}	427.09±47.35^{F-J}	307.34±28.97^{B-H}	131.66±15.45^{CD}
Fm + Vd	2552.75±329.87^{A-D}	565.64±70.26^{B-F}	297.52±40.22^{B-H}	155.10±9.78^{A-D}
Bç + Vd	1357.98±77.61^{H-K}	540.98±84.52^{B-G}	226.83±20.93^{B-H}	136.21±12.08^{BD}
Vd +50 mM	1436.33±216.40^{G-K}	391.14±73.45^{G-J}	259.72±8.26 $^{B-H}$	142.02±15.83^{B-D}
Vd +100 mM	1371.04±412.98^{H-K}	438.71±87.03^{E-J}	336.05±70.59^{A-G}	187.29±41.63^{A-C}
Vd +150 mM	**1044.60±108.72^{K}**	359.48±43.83^{H-J}	358.93±64.45^{A-E}	169.55±10.99^{A-D}
Fm + Bç +50 mM	1978.21±200.13^{C-J}	526.63±47.67^{B-G}	259.38±11.98 $^{B-H}$	125.74±8.69^{CD}
Fm + Bç +100 mM	1638.72±107.34^{E-K}	509.12±33.05^{B-I}	300.83±29.20 $^{B-H}$	152.49±4.14^{A-D}
Fm + Bç +150 mM	1299.22±116.97^{I-K}	375.67±26.58^{G-J}	303.91±34.43 $^{B-H}$	136.30±5.81^{B-D}
Fm + Bç +Vd	2304.65±256.17^{B-G}	662.13±18.22^{AB}	246.61±24.59^{C-E}	**121.62±12.14^{D}**
Fm +50 mM+Vd	1958.63±218.23^{C-J}	653.46±79.25^{A-C}	293.06±37.97 $^{B-H}$	150.03±14.88^{A-D}
Fm +100 mM+Vd	1403.68±106.81^{H-K}	532.27±8.13^{B-G}	276.13±29.82^{B-H}	179.91±21.08^{A-D}
Fm +150 mM+Vd	1808.47±142.78^{D-K}	524.02±79.12^{B-H}	369.09±75.69^{A-C}	**211.07±53.17^{A}**
Bç + 50 mM+ Vd	1083.77±25.00^{JK}	422.75±46.71^{F-J}	305.13±28.52 $^{B-H}$	158.78±15.47^{A-D}
Bç + 100 mM+ Vd	1606.08±192.05^{E-K}	**340.60±58.62^{J}**	256.03±58.36 $^{B-H}$	119.79±17.28^{D}
Bç + 150 mM+ Vd	2441.76±52.77^{B-E}	353.59±40.38^{I-J}	286.00±26.63 $^{B-H}$	140.18±8.63^{B-D}
Fm + Bç+50 mM+ Vd	1207.82±98.50^{I-K}	380.67±28.66^{G-J}	242.37±8.50^{D-H}	147.97±7.82^{B-D}
Fm + Bç +100 mM+ Vd	1749.71±91.71^{D-K}	417.89±48.86^{F-J}	232.98±9.49^{E-H}	127.74±14.37^{CD}
Fm + Bç +150 mM+ Vd	1318.81±185.12^{I-K}	419.01±45.37^{F-J}	340.08±24.37^{A-F}	156.00±17.19^{A-D}
$p^{uygulama}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0005}$	$p^{0.0014}$	$p^{0.0459}$

Bç: Biyoçar uygulaması, **Fm:** *F.mosseae* uygulaması, **Vd**: *V. dahliae* uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.

Çizelge 4.23'e göre; fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriğinde uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). Çizelge 4.23'ün fosfor parametresinde, tuz konsantrasyonu arttıkça fosfor değeri uygulamalara göre değişkenlik göstermiştir. (Çizelge 4.23). En yüksek fosfor değeri *F. mosseae* (3264.38 ppm) uygulamasında görülürken en düşük değer Vd + 150 mM (1044.60 ppm) interaksiyonunda belirlenmiştir. Çizelge 4.23'e göre en yüksek potasyum içeriği değeri (768.36 ppm) Fm + Bç, en düşük Bç+ 100 mM + Vd (340.60 ppm) uygulamalarında saptanmıştır. Kalsiyum parametresinde ise en düşük değer kontrol grubunda (194.26 ppm), en yüksek değer Fm + 100 mM uygulamasında (436.14 ppm) ve aralarında yaklaşık %125'lik bir fark olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23'e göre en yüksek magnezyum içeriği değeri Fm + 50 mM + Vd (211.07 ppm) uygulamalarında elde edilmiştir.

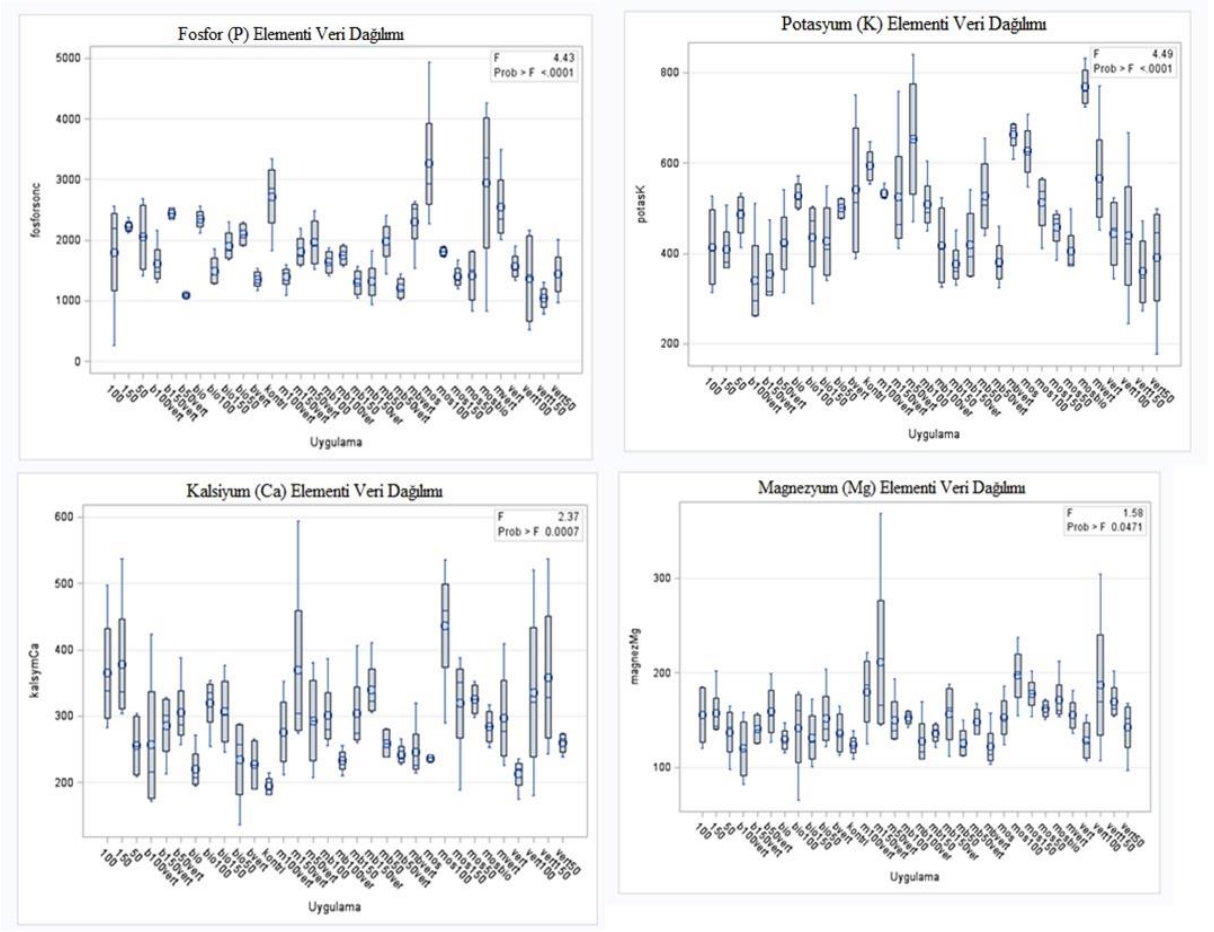
Mevcut çalışmada, Fm (3264.38 ppm) fosfor içeriğinde kontrol grubu (2722.49 ppm) ile kıyaslandığında %20'lik bir artış sağlarken, Vd + 150 mM kontrole göre %62'lik bir azalışa neden olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.23) Uygulamalar arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Beltrano ve ark. (2013) AMF'nin bitki gelişimi üzerine etkisinin daha çok fosfor alımı ile ilgili olduğunu, AMF'nin bütün tuzluluk seviyelerinde fosfor değerini arttırdığı, mikorhizalı olmayan yüksek tuz seviyelerinde (100 mM ve 150 mM) ise bitki fosfor değerinin düşük olduğu belirtilmiştir. Çalışmamızla paralellik gösteren bu sonuçların AMF'nin fosfor alımı üzerindeki etkisi, bitkide tuzluluğa toleransını arttıran mekanizmalardan birini oluşturmasıyla ilişkili bulunmuştur (Beltrano ve ark., 2013). Mevcut çalışmada ayrıca Vd'nin (1566.90 ppm), Fm ile interaksiyonunda (2552.75 ppm) fosfor değerinin %63 oranında arttığı, biyoçar ile interaksiyonun (1357.98 ppm) %13 oranında azaldığı belirlenmiştir. Dolayısıyla *F. mosseae'*nın biyotik (Vd) koşullarda fosfor değerini arttırdığı görülmüştür (Çizelge 4.23). Konuyla ilgili benzer çalışmalarda, AMF'nin topraktan fosfor ve besin alımını arttırdığı gibi konukçu bitkideki hastalık toleransını da arttırdığı belirtilmektedir (Merina Prem Kumari ve Jeberlin Prabina, 2019). AMF'nin bitki köküyle kolonizasyonu sonrası bol miktarda hif üreterek, bitki kökünün yüzey alanını genişlettiği ve kökün besin alamadığı yerlere hifleri vasıtasıyla besin alımını sağladığı ifade edilmiştir. (Palta ve ark., 2010; Çelik ve ark., 2019). Coşkun, (2021) tarafından yapılan bir başka çalışmada, AMF'nin tekli veya kombine uygulamaların besin içeriğinin kontrole oranla artış gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmamızda Fm + Bç (2951.00 ppm) interaksiyonun çoğu uygulamalara göre fosfor değerinin yüksek çıktığı, Bç'nin fosfor alımında Fm'ye olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.23) (Şekil 4.11). Ayrıca üç interaksiyonlu uygulamaların (Fm + Bç+ 50 mM vb.) fosfor değeri ortalamaları dörtlü interaksiyonlulara (Fm + Bç+ 100 mM + Vd vb.) kıyasla daha yüksek çıkmış ve bu uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.23). Xu ve ark., (2016) biyoçarın piroliz edilme sıcaklığının bitkideki P alımını etkilediği, düşük sıcaklıkta piroliz edilmiş biyoçar P değerinin yüksek, yüksek sıcaklıklarda piroliz edilmiş biyoçarda ise düşük çıktığı belirlenmiştir. Özellikle tuzlu topraklarda biyoçar ve fosfor arasındaki olumsuz etkileşimin önemli olduğu bildirilmiştir (Xu ve ark., 2016). Çalışmamızda ise bu sonucun uygulamalara göre değişkenlik gösterdiği, Fm'nin P değerini arttırdığı ve biyoçarın Fm ile interaksiyonunda hem biyotik hem de abiyotik koşullarda fosfor değerinin korunduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.23).

Kalsiyum parametresinde, 50 mM, Vd + 50 mM, Fm + Bç+ 50 mM ve Fm + Bç+ 50 mM + Vd uygulamalarında tuz konsantrasyonu arttıkça kalsiyum değerleri artmış diğer uygulamalarda ise değişkenlik göstermiştir (Çizelge 4.23). Çalışmamızda Vd'li (212.76 ppm) uygulamanın Fm + Vd (297.52 ppm) ile arasında %40 oranında bir değer artışı sağlanırken Bç + Vd (226.83 ppm) ile arasında %7'lik bir artış olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.23). Bu da Fm'nin Vd'li ortamda Ca değeri üzerindeki etkinliğinin Bç'den daha fazla olduğunu göstermektedir. Başka çalışmalarda da bazı abiyotik stres faktörlerinde mikorhizalı uygulamaların Mg, Cu, Mn, N, P, K ve Ca elementlerin değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir (Zhang ve ark., 2019a ; Zhao ve ark., 2021). Karagiannidis ve ark. (2002) biyotik stres koşullarında (*V. dahliae*) Ca, Mg ve K mineral madde değerlerinin kontrol grubuyla benzer çıktığı aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Nzanza ve ark. (2012) ise *F.mosseae* ve kompost interaksiyonlu uygulamaların Ca, B, Cu, Mn, Na ve Zn besin madde değerlerini etkilemediğini belirterek çalışmamızdaki bulguları desteklemektedir. Çalışmamızda genellikle Fm + Bç kombinasyonunun biyotik (Vd) ve abiyotik (tuz) uygulamaları ile interaksiyonlu koşullarda kalsiyum değerleri kontrol gruplarına göre yüksek çıkmış, aralarındaki fark ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.23). Fm'nin (Fm + 50 mM, Fm + 100 mM ve Fm + 150 mM) kontrol grubu tuz uygulamalarına (50 mM, 100 mM ve 150 mM) göre kalsiyum değerini arttırdığı, Bç'li uygulamaların (Bç + 50 mM, Bç + 100 mM ve Bç + 150 mM) ise kontrol grubu olan tuz uygulamalarından daha düşük çıktığı belirlenmiş ve bu uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.23). Bu sonuçlarla paralellik gösteren başka çalışmalarda da tuz stresi koşullarında *F. mosseae*'nın P ve Ca konsantrasyonlarını arttığı tespit edilmiştir (Wu ve ark., 2010; Abdel Latef ve ark., 2014).

Mevcut çalışmamızda potasyum ve magnezyum parametrelerinde, genel itibariyle tuz dozları arttıkça potasyum değerlerinde azalma, magnezyum mineral madde değerinde değişkenlik fark edilmiştir (Çizelge 4.23). Biró ve ark. (2000)'na göre biyoçar uygulamalarının mikorhizalı uygulamalara göre Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve S gibi besin elementi değerlerinin değişkenlik göstermiştir. Ancak farklı bir araştırmada ise tuzlu topraklarda mikorhizalı uygulamaların K konsantrasyonunu, biyoçarlı uygulamaların K, Ca ve Mg değerlerini arttırdığı saptanmıştır (Giri ve ark., 2007). Zhang ve ark. (2019 b) biyoçarın besin maddelerini doğrudan absorbe ettiği ancak belirli etkileşimlerde (tuz, ağır metal, patojen gibi) besin maddesi alımını yavaşlattığı tespit edilmiştir. Bu özelliğinin gözenekli yapısı, toprak nemi ve besin salınımını engelleyen yoğunluktan kaynaklı olduğu belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2019b). Çizelge 4.23'te *F. mosseae'*nın gerek biyotik gerek abiyotik koşullarda potasyum ve magnezyum değeri

biyoçar uygulamalarına göre daha yüksek çıkmış ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Karagiannidis ve ark. (2002) yaptığı bir araştırmada mikorhizalı uygulamalarda K, Ca ve Mg elementi değerlerinin kontrol grubu ile aralarında fark olmadığı, Zn, Mn, Fe ve Cu konsantrasyonlarında ise azalma olduğu belirlenmiştir.

Fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum parametre uygulamalarının ortalama değişkenliği ve box-plot veri dağılımı Şekil 4.12'de verilmiştir. Fm ve Bç'nin stres koşullarında veri dağılımına etkisi box-plot grafiğinde görsel olarak belirtilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum elementi için uygulamaların box-plot veri dağılımı.

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaprakta çinko, bakır, mangan ve demir mineral maddelerine etkisi Çizelge 4.24'te verilmiştir.

Çizelge 4.24. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının yaprakta çinko (ppm), bakır (ppm), mangan (ppm) ve demir (ppm) mineral maddelerine etkisi

Uygulamalar	**Zn (ppm)**	**Cu (ppm)**	**Mn (ppm)**	**Fe (ppm)**
	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
Kontrol	0.34±0.05^{B-D}	0.08±0.00^{A}	2.54±0.04^{D-F}	7.43±0.28^{D}
Fm	0.17±0.02^{CD}	0.12±0.01^{A}	3.77±0.22^{A-E}	15.02±3.54^{B-D}
Bç	0.21±0.05^{B-D}	0.08±0.00 ^{A}	3.10±0.12^{A-F}	16.42±3.02^{B-D}
50 mM	0.25±0.01^{B-D}	0.12±0.03 ^{A}	4.26±0.59^{AB}	14.99±4.87^{B-D}
100 mM	0.23±0.01^{B-D}	0.13±0.03 ^{A}	4.10±0.31^{A-C}	11.11±1.03^{B-D}
150 mM	0.25±0.01^{B-D}	0.13±0.05 ^{A}	3.14±0.08^{A-F}	9.83±0.51^{B-D}
Vd	0.32±0.05^{B-D}	0.11±0.02 ^{A}	4.02±0.08^{A-D}	**27.41±7.87^{A}**
Fm + Bç	0.27±0.07^{B-D}	0.11±0.01 ^{A}	3.82±0.63^{A-E}	7.66±0.11^{CD}
Fm +50 mM	0.19±0.00^{CD}	0.10±0.00 ^{A}	3.50±0.13^{A-F}	8.37±1.10^{CD}
Fm + 100 mM	0.20±0.02^{B-D}	0.09±0.02 ^{A}	3.14±0.10^{A-F}	8.82±1.08^{CD}
Fm +150 mM	0.21±0.03^{B-D}	0.14±0.04 ^{A}	2.52±0.18^{D-F}	8.19±0.96^{CD}
Bç + 50 mM	0.23±0.02^{B-D}	0.07±0.00 ^{A}	3.10±0.12^{A-F}	18.43±3.88^{A-D}
Bç + 100 mM	0.23±0.02^{B-D}	0.08±0.00 ^{A}	2.72±0.80^{C-F}	9.35±1.22^{B-D}
Bç + 150 mM	0.22±0.01^{B-D}	0.10±0.01 ^{A}	2.76±0.15^{C-F}	8.54±1.82^{CD}
Fm + Vd	0.26±0.05^{B-D}	0.10±0.02 ^{A}	**2.09±0.48^{F}**	17.47±5.07^{A-D}
Bç + Vd	0.22±0.03^{B-D}	0.10±0.02 ^{A}	2.88±0.18^{B-F}	14.75±2.96^{B-D}
Vd +50 mM	0.22±0.45^{B-D}	0.09±0.01 ^{A}	4.01±0.80^{A-D}	17.20±4.29^{A-D}
Vd +100 mM	0.21±0.06^{B-D}	0.08±0.01 ^{A}	3.91±0.44^{A-E}	14.71±2.13^{B-D}
Vd +150 mM	0.27±0.07^{B-D}	0.07±0.00 ^{A}	4.37±0.41^{AB}	19.22±4.43^{A-C}
Fm + Bç +50 mM	0.38±0.07^{BC}	0.09±0.01 ^{A}	2.96±0.28^{A-F}	12.06±3.72^{B-D}
Fm + Bç +100 mM	**0.16±0.01^{D}**	0.10±0.01 ^{A}	2.74±0.06^{C-F}	7.37±1.14^{D}
Fm + Bç +150 Mm	0.22±0.01^{B-D}	0.08±0.00 ^{A}	3.58±0.37^{A-F}	12.52±1.98^{B-D}
Fm + Bç +Vd	**0.58±0.18^{A}**	0.07±0.00 ^{A}	2.48±0.19^{E-F}	7.65±0.67^{CD}
Fm +50 mM+Vd	0.37±0.08^{BC}	0.11±0.03 ^{A}	2.94±0.15^{A-F}	6.97±0.24^{D}
Fm +100 mM+Vd	0.18±0.00^{CD}	0.10±0.02 ^{A}	2.89±0.18^{B-F}	7.79±1.39^{CD}
Fm +150 mM+Vd	0.24±0.04^{B-D}	0.13±0.04 ^{A}	2.61±0.39^{C-F}	8.05±1.78^{CD}
Bç + 50 mM+ Vd	0.25±0.03^{B-D}	0.07±0.00 ^{A}	2.92±0.51^{A-F}	8.69±1.32^{CD}
Bç + 100 mM+ Vd	0.27±0.07^{B-D}	0.07±0.02 ^{A}	2.93±0.40^{A-F}	8.9±1.48^{CD}
Bç + 150 mM+ Vd	0.29±0.06^{B-D}	0.11±0.02 ^{A}	**4.40±0.81^{A}**	20.64±7.32^{AB}
Fm + Bç+50 mM+ Vd	0.21±0.01^{B-D}	0.10±0.03 ^{A}	4.38±0.37^{AB}	17.92±7.30^{AD}
Fm + Bç +100 mM+ Vd	0.40±0.10^{B}	0.10±0.01 ^{A}	3.23±0.66^{A-F}	9.59±2.07^{BD}
Fm + Bç +150 mM+ Vd	0.22±0.03^{B-D}	0.14±0.02 ^{A}	2.93±0.27^{A-F}	7.97±0.71^{CD}
$p^{uygulama}$	$p^{0.0070}$	$p^{0.8629}$	$p^{0.0010}$	$p^{0.0042}$

Bç: Biyoçar uygulaması, **Fm:** *F.mosseae* uygulaması, **Vd**: *V. dahliae* uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.

Çizelge 4.24'e göre Zn, Mn ve Fe içeriği uygulama grupları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli (p<0.05), Cu içeriği uygulamaları arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur (p>0.05). En yüksek çinko elementi değeri Fm + Bç+ Vd (0.58 ppm) ve en düşük çinko değeri Fm + Bç+ 100 mM (0.16 ppm) uygulamalarında elde edilmiştir. Bakır elementi içeriğinin bütün uygulamalar arasındaki farkı istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (p>0.05) (Çizelge 4.24). Mangan ve demir içeriğindeki uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.24). En yüksek bakır elementi değeri Fm + 150 mM ve Fm + Bç+ 150 mM + Vd (0.14 ppm) uygulamalarında belirlenmiştir (Çizelge 4.24). En yüksek mangan elementi değeri Bç + 150 mM + Vd (4.40 ppm) ve en düşük Fm+ Vd (2.09 ppm)

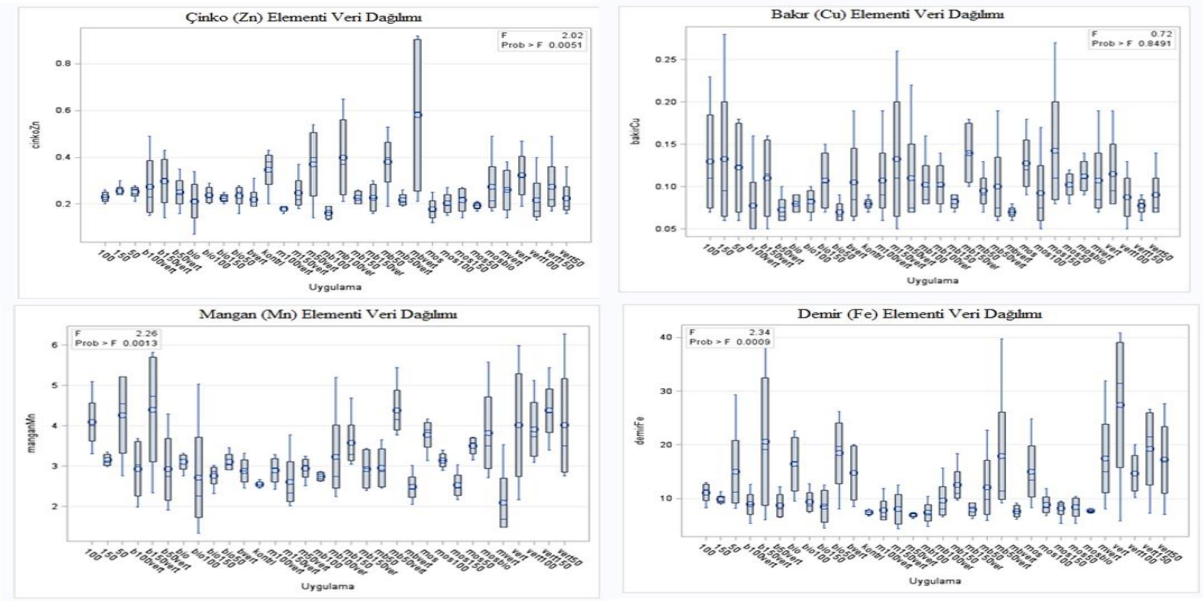
uygulamalarında, aralarında %110'luk fark tespit edilmiştir (Çizelge 4.24). Çizelge 4.24'e göre demir içeriğinde kontrol grubunun (7.43 ppm) en yüksek demir elementi değeri [*V. dahliae* (27.41 ppm)] ile arasında %73'lük bir artış, en düşük değer ile [Fm + 50 mM + Vd (6.97 ppm)] arasında %6'lık bir azalma olduğu aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24'ten de görüleceği üzere çinko içeriğinde, Fm + Bç+ Vd (0.58 ppm) ve Fm + Bç+ 100 mM (0.16 ppm) uygulamaları kontrol grubu (0.34 ppm) ile kıyaslandıklarında sırasıyla %71'lik bir artış ve %53 oranında bir azalma olduğu belirlenmiş, bu uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.24). Ancak yapılan bazı çalışma sonuçlarında bu durumun tersi söz konusu olduğu, Vd'li uygulamaların Zn içeriğinin kontrole göre düşük çıktığı ve bu düşüşün istatistiki olarak önemli olduğu belirtilmektedir (Demir ve ark. 2015; Kesimci ve ark. ,2019; Coşkun 2021). Abd El-Mageed ve ark. (2020) ise biyoçarın tuz stresi altında yetiştirilen biberin Zn değerini arttırdığı ve besin alımını kolaylaştırdığını bildirilmiştir. Dolayısıyla çalışmamızda Vd'ye rağmen Fm + Bç+ Vd interaksiyonunda Zn artışı Bç ile bağlantılıdır. Abd El-Mageed ve ark., (2020) tarafından yapılan çalışmada da tuz stresinde biber bitkisine uygulanan biyoçarın Zn değerini arttırdığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.24'e göre bakır içeriğinde bütün uygulamalar arasındaki farkın önemsiz olduğu, mangan içeriğinde çoğunlukla Bç'li ve Fm'li uygulamaların kontrol grubuna göre artış gösterdiği belirlenmiştir. Nzanza ve ark. (2012)'nın çalışmasında *F.mosseae* ve biyoçar interaksiyonlu uygulamaların yapraktaki Ca, B, Cu, Mn, Na ve Zn alımını etkilemediğine yönelik sonuçlar çalışmada elde edilen Cu alımı bulgularını destekler niteliktedir. Benzer şekilde Abd El-Mageed ve ark. (2020) biyoçarlı uygulamalarda Cu ve Mn besin elementi değerlerinde düşüş olduğunu rapor etmişlerdir. Farklı bitkilere uygulanan *V. dahliae'* nın besin minerallerine etkisinin incelendiği araştırmalarda ise bitkideki Cu ve Mn içeriklerinin kontrole göre önemli azalmalar gösterdiği tespit edilmiştir (Demir ve ark., 2015; Kesimci ve ark., 2019). Mevcut çalışmada Bç, Vd ve Fm+ Bç uygulamalarının sadece tuz ile interaksiyonunun tuz konsantrasyonu arttıkça uygulamalar arasındaki mangan değeri değişkenlik göstermiş, diğer uygulamalarda konsantrasyon arttıkça mangan değerinde azalma görülmüştür (Çizelge 4.24). Benzer araştırmalarda ise mikorhizanın Mn ve Zn elementi içeriğini arttırdığı belirtilmiştir (Demir ve ark., 2015; Giri ve ark., 2007). Dolayısıyla Çizelge 4. 24'e göre Fm'nin hem tekli hem de Bç ile kombinasyonu besin elementi içeriğini (Zn ve Mn) sadece stres uygulamalarında artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Çalışmada, *F. mosseae* (15.02 ppm) ve biyoçarın (16.42 ppm) yapraktaki demir içeriği kontrole (7.43 ppm) göre yüksek çıkarken birbiriyle olan interaksiyonu ile [Fm + Bç (7.66 ppm)] arasında istatistiki olarak önemli bir fark olmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Çizelge 4.24'ün demir parametresinde, Fm + 100 mM, Vd + 150 mM ve Fm + Bç+ 150 mM kombinasyonlarında tuz konsantrasyonu arttıkça değerler uygulamalara göre değişkenlik göstermiştir (Şekil 4.13). Bazı uygulamalarda (50 mM, Bç + 50 mM ve Fm + Bç+ 50 mM + Vd) tuz dozlarındaki artış demir (Fe) elementi değerini düşürmüş, bazı uygulamalarda (Fm + 50 mM + Vd ve + Bç + 50 mM + Vd) ise tersi durum söz konusu olup değerlerde artış sağlanmıştır (Çizelge 4.24). Bu uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Dolayısıyla *F. mosseae* ve biyoçarın hem biyotik hem de abiyotik koşullarda ikili interaksiyonların (Fm+ tuz, Fm + Vd, Bç + tuz, Bç+ Vd gibi) yapraktaki demir elementi değerini arttırdığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.24). Başka bir çalışmada Vahedi ve ark. (2022) AMF + biyoçar kombinasyonun mineral madde değerince kontrol grubuna kıyasla P, Fe (2.38) ve Zn (1.29) değerlerini önemli ölçüde arttırdığı belirtilirken, Biró ve ark. (2000) AMF uygulanmayan grupların kontrole göre Fe konsantrasyon değerinin daha yüksek çıktığını bildirmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda Bç'li uygulamaların Fe elementi değerini arttırdığı düşünülmektedir.

Zn, Cu, Ca ve Mg parametre uygulamalarının ortalama değişkenliği ve box-plot veri dağılımı Şekil 4.12'de verilmiştir. Fm ve Bç'nin stres koşullarında veri dağılımına etkisi box-plot grafiğinde görsel olarak belirtilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.13. Çinko, bakır, mangan ve demir elementi için uygulamaların box-plot veri dağılımı.

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının sodyum, potasyum / sodyum oranı ve kalsiyum / sodyum oranın mineral maddelerine etkisi Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının sodyum (Na), K / Na oranı (ppm) ve Ca / Na oranın mineral maddelerine etkisi

Uygulamalar	**Na(ppm)**	**K / Na(ppm)**	**Ca / Na(ppm)**
	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
Kontrol	**31.95±1.50^{I}**	**18.64±0.81^{A}**	6.09±0.20^{AB}
Fm	39.21±3.23^{I}	16.19±1.18^{B}	6.13±0.42^{AB}
Bç	33.62±2.79^{I}	15.92±0.95^{B}	**6.61±0.49^{A}**
50 mM	232.58±53.68^{D-G}	2.35±0.43^{H-J}	1.22±0.21 $^{E-I}$
100 mM	380.13±4.04^{BC}	1.20±0.16^{IJ}	1.04±0.11^{G-I}
150 mM	316.87±12.44^{B-E}	1.29±0.09^{IJ}	1.18±0.14 $^{E-I}$
Vd	53.81±5.07^{I}	8.68±1.57^{D}	3.99±0.20^{C}
Fm + Bç	139.31±10.84^{GI}	5.62±0.50^{E}	2.06±0.21^{E-G}
Fm +50 mM	168.87±34.19^{F-I}	2.76±0.62^{F-J}	2.22±0.50^{DE}
Fm + 100 mM	**588.31±16.27^{A}**	**0.86±0.04^{J}**	**0.73±0.07^{I}**
Fm +150 mM	434.32±25.13^{B}	**1.05±0.06^{J}**	**0.75±0.13^{I}**
Bç + 50 mM	232.81±29.80^{D-G}	2.25±0.29^{H-J}	1.10±0.27^{F-I}
Bç + 100 mM	338.58±115.56^{B-D}	1.76±0.47 $^{H-J}$	1.53±0.59 $^{E-I}$
Bç + 150 mM	379.28±43.79^{BC}	**1.12±0.01^{J}**	**0.82±0.05^{I}**
Fm + Vd	53.35±1.39^{I}	10.68±1.53^{C}	5.59±0.75^{B}
Bç + Vd	51.41±6.27^{I}	10.86±1.91^{C}	4.46±0.17^{C}
Vd +50 mM	231.65±43.60^{D-G}	1.88±0.50 $^{H-J}$	1.23±0.21^{E-I}
Vd +100 mM	189.92±54.84^{E-H}	2.54±0.45^{G-J}	1.90±0.26^{E-H}
Vd +150 mM	340.75±18.51^{B-D}	**1.05±0.11^{J}**	1.05±0.16^{G-I}
Fm + Bç +50 mM	150.98±12.45^{F-I}	3.55±0.42^{E-I}	1.75±0.07^{E-I}
Fm + Bç +100 mM	237.34±37.96^{D-G}	2.32±0.42^{H-J}	1.38±0.29 $^{E-I}$
Fm + Bç +150 mM	273.31±25.85^{C-G}	1.40±0.14^{IJ}	1.14±0.16^{F-I}
Fm + Bç +Vd	45.66±1.71^{I}	14.54±0.55^{B}	5.38±0.42^{B}
Fm +50 mM+Vd	138.72±18.03^{GI}	4.82±0.48^{E-F}	2.16±0.22^{D-F}
Fm +100 mM+Vd	150.94±37.11^{F-I}	4.00±0.65^{E-H}	1.98±0.21^{E-G}
Fm +150 mM+Vd	279.45±50.93^{C-F}	1.94±0.20^{H-J}	1.34±0.16 $^{E-I}$
Bç + 50 mM+ Vd	239.49±57.62^{D-G}	1.98±0.35^{H-J}	1.44±0.25 $^{E-I}$
Bç + 100 mM+ Vd	149.80±23.89^{F-I}	2.28±0.14^{H-J}	1.68±0.15 $^{E-I}$
Bç + 150 mM+ Vd	283.07±50.89^{C-F}	1.34±0.21^{IJ}	1.16±0.30 $^{E-I}$
Fm + Bç+50 mM+ Vd	85.48±10.93^{H-I}	4.66±0.60^{E-G}	3.05±0.57^{D}
Fm + Bç +100 mM+ Vd	150.06±21.39^{F-I}	2.90±0.35^{F-J}	1.69±0.33^{E-I}
Fm + Bç +150 mM+ Vd	393.94±25.62^{BC}	**1.06±0.09^{J}**	0.86±0.05^{H-I}
$p^{uygulama}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$

Bç: Biyoçar uygulaması, **Fm:** *F.mosseae* uygulaması, **Vd**: *V. dahliae* uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.

Çizelge 4.25'te ki uygulama grupları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Çizelge 4.25'ten de görüleceği üzere sodyum içeriğinde en yüksek değer Fm + 100 mM (588.31 ppm) ve en düşük değer kontrol (31.95 ppm) grubunda olup aralarındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Çizelge 4.25'e göre K / Na oran içeriğinde, en yüksek değer kontrol grubunda (18.64) iken en düşük değer Fm +100 mM

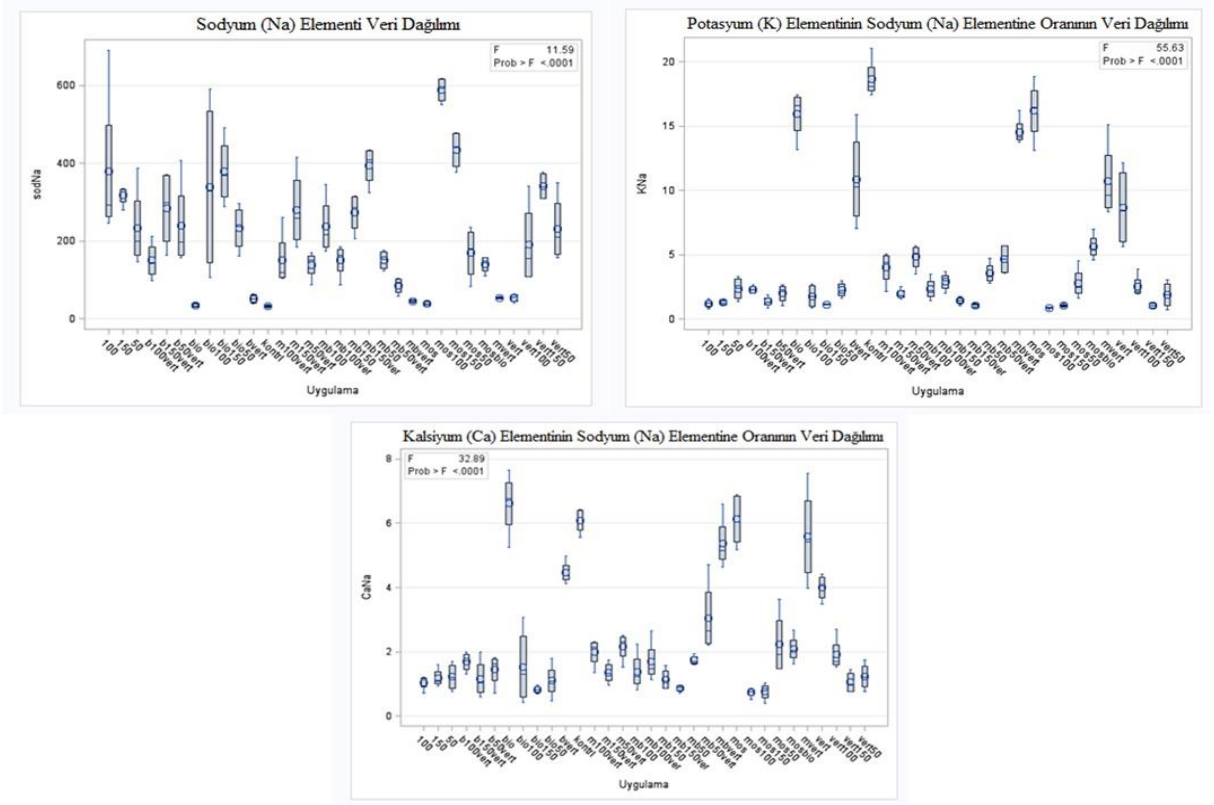
(0.86 ppm) uygulamasında elde edilmiştir (Çizelge 4.25). Bu uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemli olup %95'lik bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Ca/Na oranında; uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). En yüksek Ca / Na oranı biyoçar (6.61 ppm), en düşük değer Fm +100 mM (0.73 ppm) uygulamalarında olup aralarındaki %89'luk azalma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25'e göre sodyum içeriğinde, sadece Bç + 50 mM, Fm + Bç+ 50 mM, Fm + 50 mM + Vd ve Fm + Bç+ 50 mM + Vd uygulamalarında tuz konsantrasyonu arttıkça sodyum değerinde artış sağlanmış, Bç'li uygulamaların Na değeri üzerindeki etkisi uygulama gruplarına göre değişkenlik göstermiştir (Çizelge 4.25). Farklı araştırmalarda da ise hem tuz stresi koşullarında hem de stres olmayan koşullarda biyoçarın bitki gelişimini teşvik ettiği, tuz toleransını arttırdığı, toprak özelliklerini iyileştirdiği, besin alımını kolaylaştırdığı ve Na alımını azalttığı tespit edilmiştir (Ali ve ark., 2017; Farhangi-Abriz ve Torabian, 2018 b). Mevcut çalışmamızda, biyoçar ve *F. mosseae'*nın sodyum elementine etkisi Fm + 100 mM (588.31 ppm), Fm + Bç+ 100 mM (237.34 ppm) ve Fm + Bç+ 100 mM + Vd (150.06 ppm) uygulamalarında bariz bir şekilde görülmüş, genel anlamda Fm uygulamalarının biyoçar uygulamalarına göre sodyum değeri daha yüksek çıkmıştır (Çizelge 4.25). Ayrıca Fm + Bç (139.31 ppm) uygulaması ile Fm + Bç+ Vd (45.66 ppm) interaksiyonu arasında yaklaşık %67'lik bir fark olduğu görülmüştür. Bu farkın Vd ile ilişkili olduğu, Vd uygulamalarının olduğu gruplarda sodyum değerlerinin düşük çıktığı fark edilmiştir. Giri ve ark. (2007) ise mikorhizalı uygulamaların tuzlu ortamda geliştirilen bitkideki Na konsantrasyon değerinin kontrol grubundan daha düşük çıktığı belirlenmiştir.

K/Na oranı incelendiğinde, genelde tuz konsantrasyonlu uygulamalar kontrol gruplarına göre düşük çıkmış ve aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemli bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.25). Bu durumun bir önceki Çizelge 4. 24'te belirtilen K ve Na parametrelerinde, tuz oranı artışıyla birlikte Na değerinin arttığı ve K değerinin düşmesiyle bağlantılı olmasıdır. Çalışmamızda çoğunlukla tuz konsantrasyonu arttıkça uygulamalar arasındaki K / Na oranı değişkenlik göstermiştir (Çizelge 4.25). Özellikle Fm ve Bç interaksiyonlu uygulamaların [Fm + Bç +100 mM (2.32 ppm)] ikili kombinasyonlara [Fm +100 mM (0.86 ppm) ve Bç + 100 mM (1.76 ppm)] göre K / Na oranı değerinin daha yüksek çıktığı saptanmıştır (Çizelge 4.25). Başka çalışma bulgularının da benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bunlar arasında, Wu ve ark., (2010) tuz stresi altında yetiştirilen bitkinin *F. mosseae*'lı uygulamalarında Na değeri önemli derecede azalırken K, Mg ve K/ Na oranlarında artış gösterdiği belirlenmiştir. Abdel Latef ve ark., (2014) ise biyoçarın bitki besin alınımını (N, P, Ca ve Mg) kolaylaştırdığını ve K/Na oranını arttırdığını ifade etmişlerdir. Çalışmamızda tuz

uygulamalarının K / Na oranı, Vd'li uygulamalara göre düşük çıkmış aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.25). Hem tuz hem Vd'li uygulamalarda Fm ve Bç'nin K / Na oranı farklılık göstermiştir. Özellikle Fm + Bç + 50 mM + Vd (4.66 ppm) ile Fm + 50 mM + Vd (4.82 ppm) arasında %3'lük bir azalma görülürken, Bç + 50 mM + Vd (1.98 ppm) uygulaması ile %135'lik bir artış olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.25). Başka çalışmalarda ise AMF'nin tuz stresi altında yetiştirilen bitkide Na değerini azaltırken K değerini arttırdığı dolayısıyla K/ Na oranını önemli derecede arttırdığı belirtilmektedir (Giri ve ark., 2007; Chandrasekaran ve ark., 2014).

Ca/Na oranında, stres koşullarında Bç ve Fm'nin uygulama gruplarına göre değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.25). Benzer çalışmalarda da tuz stresine karşı toprağa karıştırılan biyoçarın gözenekli yapısıyla topraktaki su içeriğini dengelediği ve Ca değerini arttırıp Na miktarını olumlu yönde değiştirdiği (Zhang ve ark., 2019a), *F. mosseae*'nın ise hem Ca/Na oranını hem de Mg/Na oranını arttırdığı belirlenmiştir (Hajiboland ve ark., 2010; Wu ve ark., 2010). Çalışmamızda tuz uygulamaları arasında en yüksek (3.05 ppm) Ca / Na oranı Fm + Bç + 50 mM + Vd (3.05 ppm) interaksiyonunda elde edilmiştir. Bu uygulama ile Fm + Bç + 150 mM + Vd (0.86 ppm) kombinasyonu arasında yaklaşık %82'lik bir azalma gözlemlenmiştir. Aralarındaki fark ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.25). Na, K/Na ve Ca / Na parametre uygulamalarının ortalama değişkenliği ve box-plot veri dağılımı Şekil 4.14'te verilmiştir. Fm ile Bç'nin stres (tuz ve Vd) koşullarında bu parametrelerin veri dağılımına etkisi box-plot grafiğinde görsel olarak belirtilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Sodyum, K / Na oranı ve Ca / Na oranın elementi için uygulamaların box-plot veri dağılımı.

4.2.6. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının toplam fenolik madde, toplam antioksidan içeriği ve CAT enzim aktivitesine etkisi

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının toplam fenolik madde, toplam antioksidan içeriği ve CAT aktivitesine etkisi Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde (*Capsicum annuum* L) AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının toplam fenolik madde, toplam antioksidan ve CAT enzim analizine etkisi

Uygulamalar	**Toplam fenolik madde (mg GAE / 100 g)**	**Toplam antioksidan (Trolox µmol TE /100g)**	**CAT (mmol g^{-1} T.A)**
	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$	$\bar{x} \pm s.hata$
Kontrol	462.66±33.43^{C-F}	6.71±0.66^{K-O}	**0.0021±0 ^{M}**
Fm	407.85±75.94^{D-F}	6.18±0.48^{L-O}	0.0056±0 $^{L-M}$
Bç	338.96±63.90^{EF}	5.07±0.70^{N-O}	0.0067±0^{L-M}
50 mM	628.59±96.45^{B-F}	8.55±0.75^{I-O}	0.0133±0^{K-M}
100 mM	750.81±17.79^{B-F}	12.93±0.95^{C-I}	0.1088±0^{F-G}
150 mM	1034.00±71.67^{AB}	15.00±0.95^{C-F}	0.1534±0^{D}
Vd	949.55±171.18^{B}	10.38±1.33^{F-M}	0.0142±0^{K-M}
Fm + Bç	856.07±119.10^{B-D}	5.69±0.18^{M-O}	0.0065±0^{L-M}
Fm +50 mM	600.44±97.37^{B-F}	**4.82±0.88^{O}**	0.0238±0^{J-K}
Fm + 100 mM	**307.11±102.08^{F}**	12.21±0.42^{D-I}	0.0581±0^{I}
Fm +150 mM	**304.14±141.13^{F}**	12.33±0.64^{D-I}	0.1125±0^{F}
Bç + 50 mM	1020.66±58.11^{AB}	6.24±0.22^{L-O}	0.0115±0 $^{K-M}$
Bç + 100 mM	995.11±72.24^{AB}	8.82±0.88^{H-O}	0.0122±0 $^{K-M}$
Bç + 150 mM	628.44±268.85^{B-F}	11.14±0.78^{F-J}	0.0141±0^{K-M}
Fm + Vd	588.44±115.29^{B-F}	7.23±0.56^{J-O}	0.0092±0 $^{K-M}$
Bç + Vd	601.77±64.53^{B-F}	11.47±2.63^{E-J}	0.0123±0 $^{K-M}$
Vd +50 mM	578.96±43.70^{B-F}	10.60±2.21^{F-L}	0.0138±0^{K-M}
Vd +100 mM	807.11±104.80^{B-E}	16.13±0.73^{B-E}	0.2469±0.1^{B}
Vd +150 mM	733.03±170.54^{B-F}	20.13±1.61^{B}	**0.2691±0.1^{A}**
Fm + Bç +50 mM	1030.89±34.20^{AB}	9.75±0.87^{G-N}	0.0109±0 $^{K-M}$
Fm + Bç +100 mM	811.77±198.89^{B-E}	13.47±1.35^{C-H}	0.0184±0^{K-L}
Fm + Bç +150 mM	**1417.33±403.41^{A}**	17.10±0.27^{BC}	0.0494±0^{I}
Fm + Bç +Vd	706.22±103.30^{B-F}	7.24±0.38^{J-O}	0.0106±0 $^{K-M}$
Fm +50 mM+Vd	882.88±182.47^{B-D}	7.23±0.53^{J-O}	0.0729±0^{H}
Fm +100 mM+Vd	**1411.78±227.20^{A}**	12.00±0.54^{D-I}	0.1438±0^{D-E}
Fm +150 mM+Vd	463.40±78.00^{C-F}	16.14±0.07^{BE}	0.1750±0^{C}
Bç + 50 mM+ Vd	556.00±78.63^{B-F}	10.29±0.44^{F-M}	0.0123±0^{K-M}
Bç + 100 mM+ Vd	663.59±76.43^{B-F}	14.30±3.56^{C-G}	0.0231±0^{J-K}
Bç + 150 mM+ Vd	827.33±89.21^{B-D}	16.58±3.08^{B-D}	0.0344±0 ^{J}
Fm + Bç+50 mM+ Vd	1030.67±72.59^{AB}	12.54±1.20^{C-I}	0.0784±0^{H}
Fm + Bç +100 mM+ Vd	976.22±88.11^{AB}	12.24±0.98^{D-I}	0.0956±0^{G}
Fm + Bç +150 mM+ Vd	889.55±171.63^{BC}	**24.37±3.40^{A}**	0.1391±0^{E}
$p^{uygulama}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$	$p^{0.0001}$

Bç: Biyoçar uygulaması, **Fm:** *F.mosseae* uygulaması, **Vd**: *V. dahliae* uygulaması
Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark p<0.05'e göre önemsizdir.

Çizelge 26'ya göre uygulama grupları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). En yüksek fenol içeriği değeri Fm + 100 mM + Vd (1411.78 mg GAE / 100 g) uygulamasında, en düşük değer Fm + 100 mM (307.11 mg GAE / 100 g) ve Fm + 150 mM (304.14 mg GAE / 100 g) uygulamalarında olup aralarında yaklaşık %78'lik bir azalma görülmüştür. Aralarındaki fark ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05) (Çizelge 4.26). En yüksek antioksidan değeri Fm + Bç +150 mM+ Vd (24.37 trolox µmol TE /100g) interaksiyonunda, en düşük değer Fm + 50 mM (4.82 trolox µmol TE /100g) uygulamasında olup aralarında %80'lik bir azalış tespit edilmiştir. Bu iki uygulama arasındaki fark ise istatistiki

olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Katalaz parametresinde ise en yüksek değer Vd + 150 mM (0.2691 mmol g^{-1} T.A) ve Vd + 100 mM (0.2469 mmol g^{-1} T.A), en düşük değer kontrol (0.0021 mmol g^{-1} T.A), *F.mosseae* (0.0056 mmol g^{-1} T.A), biyoçar (0.0067 mmol g^{-1} T.A), Fm + Bç (0.0065 mmol g^{-1} T.A) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.26). Bu uygulamalar arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

Fenolik bileşikler, bir hidroksil grubunu içeren aromatik halka, bitkiye tat ve renk veren fotokimyasal olarak bilinmektedir. Bitki yapısında flavonoidler, fenolik asitler, ligninler, melaninler, tanenler, kantonlar ve kumarin gibi fenolik bileşikler bulunduğu tespit edilmiştir. Fenolik bileşiklerin bitki savunma mekanizmalarında etkili olup, stres faktörlerine karşı çeşitli şekillerde antioksidan etkisi gösterdikleri ve bu etkilerin fenol grubu ile bitki türüne göre farklılık gösterebildiği belirlenmiştir (Boyraz ve Sürel, 2004; Şavur, 2015). Biberin fenolik madde içeriği bakımından zengin bir bitki olduğu ve yüksek oranda flavanoid içerdiği tespit edilmiştir (Ergün, 2021). Mevcut çalışmada da tuz konsantrasyonu arttıkça Fm ve Vd'nin ikili kombinasyonların toplam fenol değeri azalırken ve Vd'li uygulamalarda bu değerin değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle 50 mM ve Bç+ 50 mM + Vd uygulamalarında tuz dozu arttıkça fenol değerince artış sağlanmış, Fm + 50 mM, Bç + 50 mM ve Fm+ Bç+ 50 mM + Vd kombinasyonlarında azalış olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4. 26). Konuyla ilgili yapılan benzer çalışmalarda da biyotik ve abiyotik stres koşullarında yetiştirilen farklı bitkilerin fenolik madde miktarının arttığı, AMF'nin bitkilerle simbiyotik ilişki kurarken aynı zamanda bitkinin savunma mekanizmalarını harekete geçirdiği ve enzim aktiviteleri üzerinde pozitif bir etki oluşturduğu tespit edilmiştir (Morandi, 1996; Azcón-Aguilar ve Barea, 1997a; Abada ve Ahmed, 2014; Boyno ve ark., 2022). AMF'nin fenolik madde üzerindeki etkisi ve mekanizmaları tam olarak bilinmemekle birlikte; lignifikasyon, hipersensitif reaksiyon, hidroksiprolin gibi fiziksel bariyerler ve antifungal enzimlerin üretilmesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir (Demir ve Akköprü, 2007). Bazı çalışmalarda ise AMF kök kolonizasyonun biyokimyasal dayanıklılığı teşvik ettiği, toprak kaynaklı patojenlere karşı PR proteinlerini (kitinaz, peroksidaz enzimi gibi) aktive ederek dayanıklılık sağladığı tespit edilmiştir (Dumas-Gaudot ve ark., 2000; Dalpe ve Monreal 2004; Garmendia ve ark., 2006; Şavur, 2015). Goicoechea ve ark., (2010) ise AMF'nin stres faktörlerinde bitkiyi korumasının yanı sıra, hücre duvarını güçlendirdiği ve fenolik madde miktarını azalttığı belirlenmiştir. Coşkun (2021) tarafından yapılan çalışmada da biberde Vd'li uygulamaların fenolik madde miktarının zamana göre değişkenlik gösterdiği saptanmıştır. Mevcut çalışmamızda elde edilen sonuçların yukarıda sözü edilen çalışma bulgularıyla paralellik gösterdiği ancak bazı uygulamalarda farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızda ayrıca Fm (407.85 mg GAE / 100 g) ve Bç (338.96 mg

GAE / 100 g) uygulamalarının fenol içeriği değerleri arasında %17'lik bir fark olduğu, Fm + Bç (856.07 mg GAE / 100 g) interaksiyonu ile %110'luk bir artış olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4. 26). Ayrıca Fm + Vd (588.44 mg GAE / 100 g) ile Bç + Vd (601.77 mg GAE / 100 g) kombinasyonları Vd (949.55) uygulamasıyla kıyaslandığında aralarında yaklaşık %61'lik bir artış olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla Bç'nin fenolik madde miktarının genellikle Fm'li uygulamalardan daha yüksek çıktığı fark edilmiştir. Bunun yanı sıra Fm'nin sadece tuz ile interaksiyonlu uygulamalarında toplam fenol içeriği azalırken Bç ile ya da Vd+tuz ile kombinasyonunda bu değer artış göstermiştir (Çizelge 4. 26). Solaiman ve ark., (2019) ve Castañeda ve ark., (2020) tarafından yapılan çalışmalarda da biyoçar + AMF kombinasyonlu uygulamaların toplam fenol ve antioksidan aktivitelerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmaların bulguları mevcut çalışmamızın bulgularıyla paralellik gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.26'da antioksidan parametresinde uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli olup ($p<0.05$), tuz konsantrasyonu arttıkça Fm, Bç ve Vd uygulamalarının gerek tekli gerek kombinasyonlarının antioksidan değerinde artış gözlemlenmiştir. Ancak Fm + 50 mM (4.82 trolox µmol TE /100g) ile kontrol grubu (6.71 trolox µmol TE /100g) arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır ($p>0.05$) (Çizelge 4.26). Başka çalışmalarda da benzer sonuçlar gösterdiği, farklı bitkilerde mikorhizalı uygulamaların antioksidan ve enzim aktivitelerinin kontrole göre arttığı özellikle stres koşullarında (AMF + stres) bu değerin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Özgönen ve ark. 2009; Boyno ve ark., 2022). Boyraz ve Sürel, (2004) bitki patojenlerine karşı fenol ve antioksidanların fenol gruplarına (flavonoid) göre farklılık gösterebileceği belirlenmiştir. Mevcut çalışma bulgularında da Vd'li uygulamaların fenol ve antioksidan değerinin değişkenlik gösterdiği, Fm + Vd (7.23 trolox µmol TE /100g) uygulamasının antioksidan değerinin Bç + Vd (11.47 trolox µmol TE /100g) kombinasyonundan %37 daha düşük çıktığı, Fm + Bç + Vd (7.24 trolox µmol TE /100g) interaksiyonu ile arasında fark olmadığı saptanmıştır (Çizelge 4.26). Ayrıca Fm'nin sadece abiyotik koşullarda (50 mM, 100 mM ve 150 mM) ortalama antioksidan değeri Bç'ye göre (Bç + 50 mM gibi) yüksek çıkarken, biyotik (Fm + Vd ve Bç + Vd) koşullarda tersi durum söz konusu olup Bç'nin Vd ile olan interaksiyonlu ortalama değerinin daha fazla çıktığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.26). Dolayısıyla her ne kadar toplam antioksidan ve fenolde AMF ve biyoçarın mekanizması bilinmese de antioksidan ve fenol madde içeriğini arttığı, stres faktörlerinin azaltıldığı ve bitki gelişiminin teşvik edildiği belirlenmiştir (Şavur, 2015; Bamagoos ve ark., 2021; Turan, 2021).

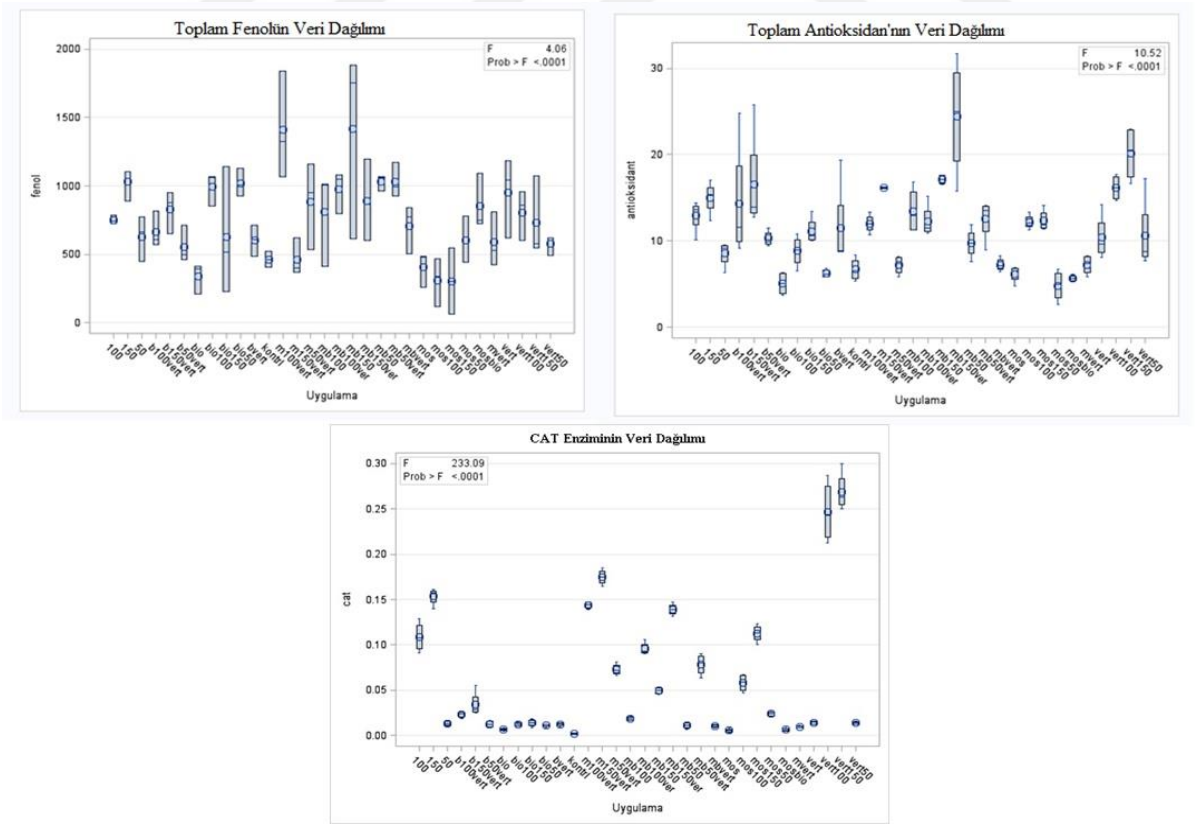
Çeşitli stres faktörlerine sebep olan ROT'ların aynı zamanda bitki hücre yapısına da zarar verdiği belirlenmiştir. Bitkiler antioksidan savunma sistemleriyle birlikte stres

faktörlerinin sebep olduğu olumsuzluklarla başa çıkabilmektedir. Stres uyartısı alındığında ilgili genler ve reseptörler antioksidan görevlerini yapmaktadırlar (Abbott ve ark., 2009; Anjum ve ark., 2016; Kireçci, 2018). Katalaz enzimi de (CAT) bir antioksidan görevi görüp oksidatif strese karşı bitkiyi koruyan, hidrojen peroksidin (H_2O_2), O_2 ve H_2O'ya ayrışmasında önemli bir rol oynayan enzim olarak bilinmektedir (Kaushal ve ark., 2018). Bitki katalazlarının fotosentetik dokularda belirginlik gösterdiği, lignifikasyonda önemli rol oynadığı ve çoğunlukla genç bitkilerde fazla olduğu tespit edilmiştir. Katalaz, stres koşullarında ROT'un detoksifikasyonunda temizleyici görevi gördüğü saptanmıştır. Katalaz değerindeki artışın muhtemelen hidrojen peroksidin toksik seviyesini azaltıp, doku metabolizmasında stresin üstesinden gelmeye yardımcı bir özelliği olduğu belirlenmiştir. Dokularda çoğalan katalazın lignifikasyondaki önemi, patojen gelişimi ve direnciyle ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Kaushal ve ark., 2018; Kireçci, 2018).

Çalışmadaki katalaz (CAT) enzim aktivitesinde ise uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.26). Uygulamaların tamamında tuz konsantrasyonu arttıkça katalaz enzim değerlerinde artış olduğu, Fm'nin sadece tuz ile interaksiyonlu uygulamalarında CAT değerlerinin kontrol gruplarına (tuz) göre düşük çıktığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.26). Benzer çalışmalarda da bitkinin tuza maruz kaldığı süre ve dozu arttıkça CAT değerinin arttığı, mikorhizal bitkilerde oksidatif hasarın kontrole göre az olduğu ve AMF'li uygulamaların CAT değerini düşürdüğü belirlenmiştir (Çekiç ve ark., 2012; Evelin ve Kapoor., 2014; Altunlu, 2019). Bir başka çalışmada ise tuz stresi altında yetiştirilen domates bitkisinin tüm enzimlerinde artış olduğu, AMF'li uygulamalarda enzim aktivitelerinde farklılık gözlendiği ve AMF uygulamasının yapraklardaki SOD, POD ve ASA-POD aktivitelerini önemli derecede arttırırken CAT üzerinde çok az etkisi olduğu tespit edilmiştir (Huang ve ark., 2010). Latef ve ark. (2011) *F. mosseae*'nın hem tuz stresi koşullarında hem patojen gruplarında SOD, CAT, APX ve POD analizlerinin artış gösterdiği belirlenirken çalışma bulgularımızla benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Blilou ve ark. (2000) rizosfer bölgesinde appresorum oluşumu sırasında bitki köklerindeki CAT ve askorbat peroksidaz enzim aktivitelerinin arttığı, AMF'nin stres faktörlerine karşı bir savunma tepkisi gösterdiği belirtilmektedir (Blilou ve ark., 2000). Mevcut çalışmamızda Fm + 100 mM + Vd (0.1438 mmol g^{-1} T.A) uygulamasının biyoçar ile interaksiyonundan [Fm + Bç + 100 mM + Vd (0.0956 mmol g^{-1} T.A)] daha yüksek CAT değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Biyoçar da aynı durum söz konusu olmayıp tek başına patojen ve tuz kombinasyonlarında Bç + 100 mM + Vd enzim aktivite değerini düşürdüğü saptanmıştır (Çizelge 4.27). Çalışmamızın abiyotik interaksiyonlu uygulamalarında Bç'nin Fm'ye göre CAT aktivitesini düşürmede daha etkin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca

Fm'nin (0.0056 mmol g^{-1} T.A) Fm + Vd (0.0092 mmol g^{-1} T.A) ile arasında %64, biyoçarın (0.0067 mmol g^{-1} T.A) Bç + Vd (0.0123 mmol g^{-1} T.A) ile %84 oranında katalaz enzim değerinde artış olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.27). Başka çalışmalarda farklı stres koşullarında farklı bitkilerde biyoçarın SOD, POD, CAT, APX, ASC, GSH, GR ve GSSC enzim aktivitelerini arttırdığı saptanmıştır (Farhangi-Abriz ve Torabian, 2017; Bamagoos ve ark., 2021). Ait Rahou ve ark., (2021) tarafından yapılan çalışmada ise AMF ve organik atık uygulamalarının biyotik stres koşullarında SOD, CAT, APX enzim aktivite değerlerinin kontrol grubuna kıyasla azaldığı tespit edilmiştir.

Mevcut çalışmada toplam fenolik madde, toplam antioksidan ve CAT enzimi parametre uygulamalarının ortalama değişkenliği ve box-plot veri dağılımı Şekil 4.15'te verilmiştir. Stres koşullarında (tuz ve patojen) Fm ve Bç'nin veri dağılımına etkisi box-plot grafiğinde görsel olarak belirtilmiştir. Toplam fenol içeriği veri dağılımının 0-2000 mg GAE / 100 g arasında ve yığılmanın daha çok 500-1000 mg GAE / 100 g dolaylarında olduğu, toplam antioksidan veri dağılımının 0-30 trolox µmol TE /100g arasında ve yığılmanın 0-20 trolox µmol TE /100g dolaylarında olduğu ve CAT enzimi veri dağılımının 0.00-0.30 mmol g^{-1} T.A arasında ve yığılmanın daha çok 0.00-0.10 mmol g^{-1} T.A dolaylarında toplandığı belirlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Toplam fenol, toplam antioksidan ve CAT enzimi için uygulamaların box-plot veri dağılımı.

4.2.7. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının hastalık şiddetine etkisi

Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının gövde kesiti (0-5 skalası baz alınarak hesaplanmıştır) ile yeşil aksama (0-4 skalası baz alınarak hesaplanmıştır) göre hastalık şiddeti oranlarına ve hastalığı baskılama oranına etkileri Çizelge 4. 27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının gövde kesiti ile yeşil aksama göre hastalık şiddeti oranlarına ve hastalığı baskılama oranına etkisi

Uygulamalar	**Hastalık Şiddeti*** **(%)**	**Baskılama Oranı (%)**	**Hastalık Şiddeti**** **(%)**	**Baskılama Oranı (%)**
	$\bar{x} \pm s.hata$		$\bar{x} \pm s.hata$	
Vd	48.66±3.28^{D}		62.46±4.16^{CD}	
Fm +Vd	**11.06±2.23^{H}**	**77**	**9.68±3.33^{H}**	**85**
Bç+Vd	28.86±3.29^{EG}	41	43.03±8.97^{EF}	31
Vd +50 mM	72.21±7.78^{C}	-48	73.60±1.49^{BC}	-18
Vd +100 mM	80.00±0^{BC}	-64	75.00±0.51^{BC}	-20
Vd +150 mM	**100.00±0^{A}**	-105	**100.00±0^{A}**	-60
Fm +Bç +Vd	12.20±2.67^{H}	75	15.23±3.34^{H}	76
Fm +50 mM+ Vd	48.85±7.02^{D}	-39	54.11±7.05^{DE}	13
Fm +100 mM+ Vd	42.16±11.23^{DE}	13	44.41±9.04^{EF}	29
Fm +150 mM+ Vd	33.30±2.44^{EF}	32	41.63±3.04^{EF}	33
Bç + 50 mM+ Vd	87.71±1.11^{AB}	-80	87.45±1.85^{AB}	-40
Bç + 100 mM+ Vd	93.33±4.21^{AB}	-92	91.66±5.27^{A}	-47
Bç + 150 mM+ Vd	**100.00±0^{A}**	-105	**100.00±0^{A}**	-60
Fm +Bç +50 mM+ Vd	14.40±4.01^{GH}	70	16.61±3.72^{GH}	73
Fm +Bç +100 mM+ Vd	23.30±4.79^{FH}	52	24.95±4.30^{GH}	60
Fm +Bç +150 mM+ Vd	22.20±6.13^{FH}	54	31.91±10.18^{FG}	49
$p^{uygulama}$	$p^{0.0001}$		$p^{0.0004}$	

Bç: Biyoçar uygulaması, **Fm:** *F.mosseae* uygulaması, **Vd**: *V. dahliae* uygulaması **P^{n}**: Önem seviyesini gösteren P değeri

*: Gövde kesitine göre, **: yeşil aksama göre hastalık şiddeti oranları hesaplanmıştır.

Bütün veriler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş olup, aynı harfle işaretlenen uygulama grupları arasındaki fark $p<0.05$'e göre önemsizdir.

Çizelge 4.27'de gövde kesiti ve yeşil aksamda belirlenen hastalık şiddeti oranları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Gövde kesiti ve yeşil aksamdaki hastalık şiddetine göre en yüksek hastalık şiddeti oranı Vd + 150 mM (100.00) ve Bç + 150 mM + Vd (100.00) uygulamalarında kaydedilmiştir. En düşük hastalık şiddeti oranı ise Fm + Vd ve Fm + Bç + Vd uygulamalarında elde edildiği ve aralarındaki farkın istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.27). Biber bitkilerinde Vd'den kaynaklanan hastalık şiddetinin baskılanma oranları da aynı uygulama gruplarında belirlenmiştir (Çizelge 4.27). Her iki hastalık şiddetinin baskılama oranları incelendiğinde, genellikle tuz stresi koşularında baskılama yüzdesi negatif iken üçlü ve dörtlü interaksiyonlu

uygulamaların baskılama oranı pozitif çıkmıştır (Çizelge 4.27). Çizelge 4.27'de Vd'nin (48.66) Fm+ Bç interaksiyonlu uygulamalarında gövde kesiti ve yeşil aksamdaki hastalık şiddeti değişkenlik göstermiştir. Kontrol grubuna göre hastalık şiddetinin Fm + Vd kombinasyonun gövde kesitinde (11.06) %77 oranında, yeşil aksamda (9.68) %85 oranında; Bç + Vd interaksiyonunda sırasıyla gövde kesitinde (28.86) %41 ve yeşil aksamda (43.03) %31 oranında baskılandığı tespit edilmiştir. Aralarındaki fark ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ayrıca Fm ve Bç'nin biberde Vd'ye karşı gövde kesitinde %13-%77 arasında, yeşil aksamda %13-%85 arasında değişen oranlarda hastalığı baskıladığı belirlenmiştir (Çizelge 4.27). Dehne (1982)'nin yaptığı bir araştırmada da kök sistemine yerleşen mikorhizanın, sadece simbiyotik ilişki kurduğu bölgede patojen gelişimini engelleme yeteneğinde olduğu ve bitki savunma mekanizmalarını aktive ettiği belirtilmiştir. Tsror ve ark. (1998) AMF ve *V. dahliae* interaksiyonunun biber bitkisindeki hastalık şiddeti üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada AMF'li uygulamaların hastalık şiddetinin (0-5skalasına göre) 3.7 – 4.9 arasında olduğu ve pozitif kontrole kıyasla patojen zararının azaldığı ifade edilmiştir. Demir (1998) tarafından yapılan *V. dahliae* üzerine yapılan bir çalışmada AMF(+) uygulamalarındaki patojen spor sayısının AMF(-)'ye göre düştüğü tespit edilmiştir. Farklı bitkilerde *Verticillium* solgunluğu hastalık şiddetinin incelendiği farklı çalışmalarda ise hem gövde hem de vasküler dokuların hastalık şiddeti pozitif kontrolden daha yüksek çıktığı, *Verticillium* türleri arasında *V. dahliae'*nın patojenite testi değerinin diğerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Uppal ve ark., 2008; Alkher ve ark., 2009; Nair ve ark., 2019). Mevcut çalışmamızda biberde Vd'li uygulamaların kök - gövde yapılarında renk bozulması (koyu kahverengi, yer yer siyahlaşma), bitkide bodurlaşma ve yapraklarda deformeler gözlenmiştir (Şekil 4.16, Şekil 4.17). Benzer semptomlar gösteren başka çalışmalarda da hastalığa duyarlı bitki türlerinde bodurlaşmalar, damarlarda renk değişikliği, bitki gövdesinde kahverengi çizgiler gözlemlenmiş ve belirtilerin daha çok gövde ya da dallarda oluştuğu, mikrosklerotların bu bölgelerde çoğaldığı tespit edilmiştir (Fitt ve ark., 1992; Alkher ve ark., 2009). Çalışmamızda uygulamaların tuz konsantrasyonu arttıkça gövde kesitinin hastalık şiddeti değişkenlik göstermiştir. Fm + 50 mM + Vd kombinasyonunda tuz oranı arttıkça hastalık şiddeti değerinde düşüş, Vd + 50 mM ve Bç+ 50 mM + Vd uygulamalarında artış olduğu saptanmıştır. Li ve Kang (2018)'ın çalışmasında tuz stresi altında yetiştirilen bitkide toprak kaynaklı patojenlerin (*F. oxyporum* ve *V. dahliae*) hem bitki gelişimindeki olumsuz etkisinin hem de hastalık şiddeti artışının önemli olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.27'deki uygulamalar arasında dörtlü kombinasyonların (Fm + Bç + 50 mM + Vd gibi) hastalık şiddeti değerlerinin üçlü kombinasyonlardan (Fm + 100 mM + Vd ve Bç + 150 mM + Vd gibi) daha düşük çıktığı tespit edilmiş ve aralarındaki fark istatistiki olarak

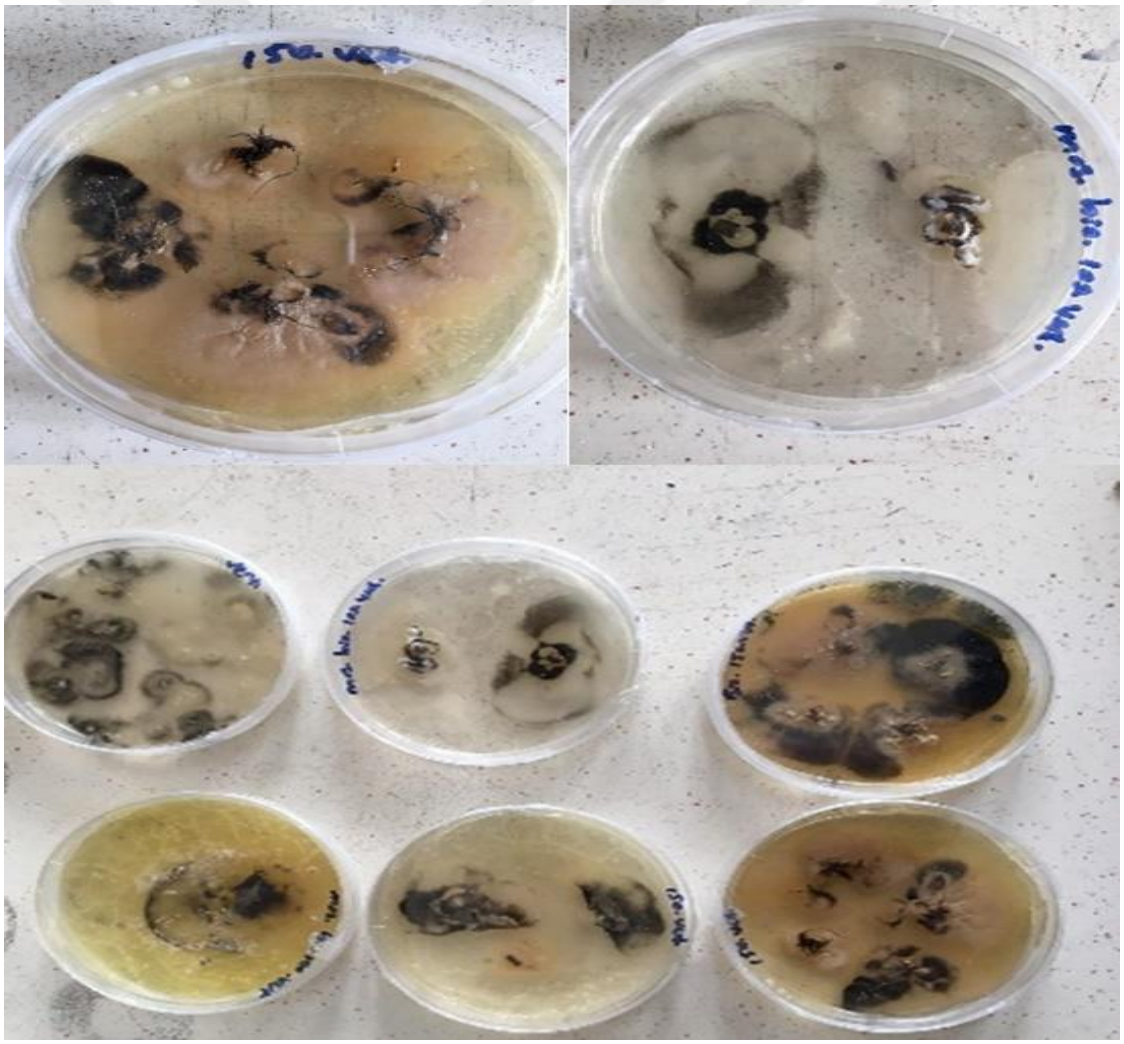
önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Bu konuyla ilgili yapılan benzer çalışmalardan elde edilen bulguların tarafımızdan belirlenen bulgularla paralellik gösterdiği tespit edilmiştir (Ait Rahou ve ark., 2021; Ogundeji ve ark., 2021). Ogundeji ve ark. (2021) bitkide biyoçarlı uygulamaların *Verticillium* solgunluğunu %70 oranında azaltıp kontrole kıyasla verimi arttırdığı belirtmiştir. Ait Rahou ve ark. (2021) kompost + AMF interaksiyonun *V. dahliae* ile infekteli uygulamalara göre hastalık şiddetinin düştüğünü ve patojenitesinin azaldığını ifade etmiştir. Patojen + AMF + kompost kombinasyonunda hastalık şiddetinin düşük çıkması, AMF + kompost interaksiyonun toprakta sağladığı bol miktardaki mineral maddeyle ilişkili olduğu belirtilmektedir (Bona ve ark., 2018; Li ve ark., 2020). Dolayısıyla çalışmamızdaki bulgular bu çalışmalarla uyum göstermiş, Fm ve Bç'nin tuz koşullarında Vd hastalık şiddetindeki düşüşü, bitki beslenmesi ya da rizosferdeki mikroorganizmaların etkileşimi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Çizelge 4.27, Şekil 4.17). Ayrıca çalışma kapsamında biber bitkisinin patojenite testinden sonra hastalık belirtileri gösteren bitkilerden re izolasyon yapılmış elde edilen izolatlar Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.16. *V.dahliae* hastalık şiddetinin 0-5 skalasından (gövde kesiti) görünüm.

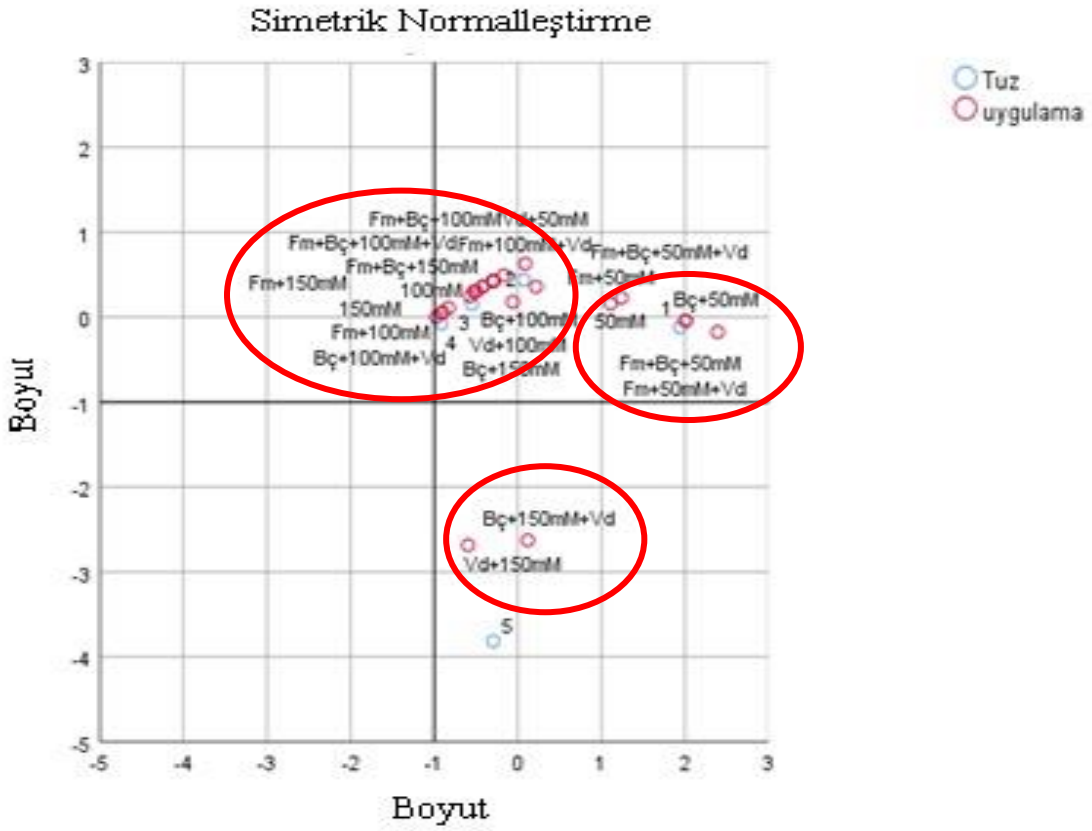


Şekil 4.17. *V.dahliae* hastalık şiddetinin 0-4 skalasından (yeşil aksam) görünüm.



Şekil 4.18. *V.dahliae* patojeninin biber bitkisindeki re-izolasyonu.

4.2.8. AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının tuz stresi üzerine etkisinin görsel olarak belirlenmesi (0-5 skalası)



Şekil 4.19. 0-5 tuz skalası için uyum (Correspondence) analizi.

Correspondence analizi; değişkenler arasındaki ilişkinin iki veya daha çok boyutlu çapraz tablolarla incelendiğinde kullanılan çok değişkenli istatistiksel bir teknik olarak tanımlanmaktadır. Bu analizde, her bir değişkenin kategoriler arasındaki uyum ilişkisine bakılmaktadır (Alpar, 2013; Kılıç, 2016). Bu analizin çapraz tablolarda satır ve sütun arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak göstermek amacıyla yapıldığı belirtilmiştir (Alpar, 2013).

Şekil 4.19'da tuz stresi altında yetiştirilen biberde AMF, biyoçar ve *V. dahliae* uygulamalarının tuz skalasına (0-5) etkisi verilmiştir. Bu şekilde aynı bölgede bulunan uygulamaların skala değerleri birbirlerine yakın iken uzak düşenlerin farklı bölgede olduğu tespit edilmiştir. Mevcut çalışmamızın skala 1 değerinde 50 mM, Bç + 50 mM, Fm + 50 mM + Vd ve Fm + Bç + 50 mM uygulamalarının bulunduğu ve bunların birbirlerine yakın değerde olduğu saptanmıştır. Tuz stresinin, farklı interaksiyonlarda ve farklı oranlarda zararlanmaya sebebiyet verdiği, zararlanma düzeyi arttıkça skala değerinin de arttığı tespit edilmiştir. Konuyla ilgili başka çalışmalarda da tuzlu topraklarda yetiştirilen farklı bitkilerin tuz

yoğunluğu arttıkça skala değerinin de artış gösterdiği belirlenmiştir (Kuşvuran, 2010; Kaya, 2011; Güldüren, 2012; Fidan ve Ekincialp, 2017). Buna karşın çalışmamızda tuz stresi altında yetiştirilen biber bitkisindeki 0-5 skala değerinin belirgin semptomları Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir. Skala 5'te Vd + 150 mM ve Bç + 150 mM + Vd interaksiyonları bulunup değerlerin birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Skala 1 ve skala 5 uygulamaları arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Şekil 4. 20). Skala 2'de Fm + 50 mM, Fm + Bç + 50 mM+ Vd , Vd + 50 mM ve Fm + Bç + Bç + 100 mM uygulamaları bulunurken geriye kalan diğer bütün uygulamaların skala 3 ve 4'te yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.19). Ayrıca 0-5 tuz skalasının yaprak üzerindeki etkisi Şekil 4. 21'de verilmiştir.



Şekil 4.20. a. Skala 1: Tuz stresinden hafif etkilenme, b. skala 2: Alt yapraklarda solgunluk başlangıcı ve tuz stresinden etkilenme, c. skala 3: Yapraklarda kıvrılma, solgunluk ve sararmalar, d. skala 4: Yaprakların %51-80 düzeylerinde şiddetli solgunluk, sararma, yapraklarda nekroz ve kurumalar, e. Bitkide %80 üzerinde geriye dönüşümsüz solma, yapraklarda kurumalar veya ölüm.



Şekil 4.21. Tuz stresi etkilerinin yapraktan 0-5 skalası görünümü.

4.3. Korelasyon, Temel bileşenler (PCA) ve Kümeleme (Cluster) Analizleri

Temel bileşen analizi (PCA) değişkenler arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığı ve benzerlik derecelerinin belirlenmesinde kullanılan çok değişkenli istatistik analiz yöntemlerinden biridir. Birçok sayıdaki değişkenin doğrusal bileşenlerini oluşturarak, daha az sayıda yeni değişkene dönüştürmek PCA'nın amacı olduğu belirtilmiştir (Demir ve ark., 2021). PCA analizinin boyut azaltma yöntemi olarak kullanıldığı ve analizi sonucunda çoğu zaman ilk iki ya da ilk üç temel bileşenin dikkate alınarak yorumlandığı ifade edilmiştir. Bu nedenle PCA'nın değişkenlerin özetlenmesinde ve yorumlanmasında kolaylık sağladığı tespit edilmiştir (Demir ve ark., 2016; 2021). Çalışmamızda parametreler arasındaki ilişkiyi ve uygulamalar arasındaki farklılıkları belirlemek için ayrıca PCA (Temel Bileşenler Analizi) ve kümeleme (cluster) analizi yapılmıştır.

Çalışmada incelenen 31 adet özellik arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizi yapılmış ve bu parametreler arasındaki ilişkilere ait korelasyon değerleri Çizelge 4. 28'de verilmiştir. Çizelge 4. 28'e göre YA ile SB (0.971), TKA ile TYA (0.926), YA ile TKA (0.949) özellikleri gibi gelişim parametreleri, K ile P (0.651) ve CAT ile Mg özellikleri arası pozitif korelasyon göstermiştir. EC, TA, Na, Ca, Tuz 0-5 skala, Vd 0-5 skala, Vd 0-4 skala, CAT özellikleri ile bütün gelişim parametreleri arasında (YS, KU, SB, SÇ, TYA, TKA, K, YA ve pH) negatif korelasyon belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Temel bileşenler analizi (PCA) ile varyasyonu oluşturan özellikler tespit edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen öz değer (Eigen) ve varyans değerleri ile uygulamalar arası farklılığa neden olan özelliklerin katkıları (PCA yükleri) belirlenmiştir. Buna göre 31 özellik kullanılarak oluşan 5 PCA bileşeni ve bu bileşenlere ait PCA yükleri (Çizelge 4. 29) ile birlikte ilk iki bileşenin kullanılmasıyla elde edilen özellikler arasındaki ilişkileri ve uygulamalar arasındaki farklılıkları gösteren iki boyutlu ölçeklemeler (Şekil 4. 22 ve Şekil 4. 23) oluşturulmuştur.

Çizelge 4.28. Özellikler arasındaki korelasyon katsayıları

D	YS	KU	SB	SÇ	TYA	TKA	K	YA	pH	EC	MZİ	YOSİ	TF	TA	P	Zn	Cu	Mg	Fe
YS**																			
KU	**0.889***																		
SB	**0.872**	**0.853**																	
SÇ	**0.897**	**0.747**	**0.868**																
TYA	**0.778**	**0.823**	**0.938**	**0.798**															
TKA	**0.836**	**0.836**	**0.942**	**0.880**	**0.926**														
K	**0.642**	**0.485**	**0.391**	**0.465**	0.221	0.288													
YA	**0.850**	**0.815**	**0.971**	**0.875**	**0.943**	**0.949**	0.337												
pH	**0.351**	**0.368**	**0.512**	**0.378**	**0.390**	**0.429**	0.302	**0.491**											
EC	**-0.540**	**-0.482**	**-0.504**	**-0.479**	**-0.412**	**-0.418**	**-0.465**	**-0.557**	**-0.605**										
MZİ	-0.175	-0.039	-0.195	-0.251	-0.177	-0.136	-0.030	-0.261	0.067	0.213									
YOSİ	-0.001	-0.052	-0.020	-0.026	-0.116	-0.115	0.315	-0.082	0.159	-0.150	-0.103								
TF	-0.158	-0.065	-0.227	-0.210	-0.188	-0.301	0.097	-0.263	-0.165	0.92	0.069	0.059							
TA	**-0.635**	**-0.559**	**-0.609**	**-0.615**	**-0.490**	**-0.525**	**-0.472**	**-0.596**	-0.328	**0.607**	0.218	-0.078	0.259						
P	**0.591**	**0.565**	**0.702**	**0.649**	**0.736**	**0.715**	0.087	**0.738**	0.201	**-0.355**	-0.278	-0.204	-0.255	**-0.527**					
Zn	0.074	-0.066	0.059	0.085	-0.055	-0.014	0.060	0.64	-0.029	-0.238	-0.020	-0.149	0.094	-0.166	0.236				
Cu	0.141	0.058	0.025	0.142	0.093	0.207	0.050	0.028	-0.277	**0.432**	0.043	-0.070	-0.085	0.242	0.140	-0.264			
Mg	-0.112	0.080	-0.149	-0.158	0.061	-0.028	-0.200	-0.077	-0.062	-0.130	0.137	-0.209	0.177	0.192	-0.098	-0.174	0.068		
Fe	-0.096	0.069	-0.031	-0.063	-0.021	0.037	0.005	-0.14	**0.405**	**-0.363**	0.133	-0.012	0.071	0.019	-0.007	-0.070	-0.096	**0.574**	
Na	**-0.502**	**-0.394**	**-0.526**	**-0.474**	**-0.402**	**-0.421**	**-0.607**	**-0.570**	**-0.588**	**0.726**	0.203	-0.145	-0.071	**0.522**	**-0.355**	-0.331	0.245	0.044	0.259

***** Koyu karakterle yazılan değerler 0'dan farklıdır ve anlamlılık düzeyi alfa: 0.05'tir.

**YS: yaprak sayısı, KU: kök uzunluk, SB: sürgün boy, SÇ: sürgün çap, TYA: toplam yaş ağırlık, TKA: toplam kuru ağırlık, K: klorofil, YA: yaprak alanı, pH: toprakta pH, EC: toprakta tuz, MZİ: membran zararlanma indeksi, YOSİ : yaprak oransal su içeriği, TF: toplam fenol, TA: toplam antioksidan, P: fosfor, Zn: Çinko, Cu: Bakır, Mg: magnezyum, Fe: demir, Na: sodyum, K: potasyum, Mg: magnezyum, Ca: kalsiyum, K:Na: potasyumun sodyuma oranı, Ca: Na: kalsiyumun sodyuma oranı, TS: toprak spor yoğunluğu, KK: kök kolonizasyonu, Tuz 0-5: tuz skalası, Vd 0-5 : *V. dahliae* skalası, Vd 0-4 : *V. dahliae* skalası, CAT: katalaz

Çizelge 4.28. Özellikler arasındaki korelasyon katsayıları (devam)

Değişken	YS	KU	SB	SÇ	TYA	TKA	K	YA	pH	EC	MZİ	YOSİ	TF	TA	P	Zn	Cu	Mg	Fe
K**	**0.755***	**0.629**	**0.765**	**0.738**	**0.668**	**0.673**	**0.406**	**0.750**	0.169	**-0.437**	-0.284	0.184	-0.178	**-0.588**	**0.651**	0.297	0.055	-0348	-0.284
Mg	-0.062	-0.006	-0.104	-0.034	-0.039	0.002	-0.197	-0.090	**-0.450**	**0.407**	0.073	0.068	-0.156	0.265	-0.172	**-0.459**	0.336	0.013	-0.207
Ca	**-0.372**	-0.310	**-0.418**	**-0.379**	-0.306	-0.297	**-0.530**	**-0.411**	**-0.596**	**0.578**	0.262	-0.099	-0.79	**0.488**	-0.282	-0.313	0.284	-0.009	-0.331
K:Na	**0.568**	**0.427**	**0.675**	**0.623**	**0.558**	**0.617**	0.335	**0.726**	**0.543**	**-0.677**	**-0.429**	0.120	-0.322	**-0.551**	**0.588**	0.303	-0.178	-0.231	0.133
Ca: Na	**0.546**	**0.411**	**0.643**	**0.590**	**0.507**	**0.600**	**0.361**	**0.697**	**0.618**	**-0.701**	-0.331	0.108	-0.304	**-0.539**	**0.522**	0.246	-0.180	-0.210	0.219
TS	**0.403**	**0.438**	**0.367**	0.332	0.336	**0.399**	0.290	0.326	-0.079	0.082	0.034	-0.249	0.146	-0.148	0.167	0.003	0.228	-0.115	-0.248
KK	**0.434**	**0.416**	**0.382**	**0.379**	0.347	**0.444**	0.228	**0.355**	-0.143	0.155	0.012	-0.133	-0.050	-0.047	0.216	-0.089	**0.394**	-0.240	-0.369
Tuz 0-05	**-0.778**	**-0.648**	**-0.767**	**-0.753**	**-0.594**	**-0.658**	**-0.643**	**-0.753**	**-0.593**	**0.763**	0.317	-0.240	0.138	**0.718**	**-0.551**	-0.306	0.103	0.199	-0.186
Vd 0-5	**-0.574**	**-0.554**	**-0.446**	**-0.491**	**-0.377**	**-0.449**	-0.277	**-0.377**	-0.007	0.018	0.252	-0.030	0.023	**0.418**	**-0.370**	0.083	-0.257	0.316	0.303
Vd 0-4	**-0.562**	**-0.558**	**-0.446**	**-0.475**	**-0.389**	**-0.443**	-0.239	**-0.378**	0.021	0.007	0.243	0.028	0.030	**0.433**	**-0.390**	0.098	-0.215	0.302	0.321
CAT	**-0.425**	**-0.395**	**-0.469**	**-0.380**	-0.345	**-0.361**	**-0.419**	**-0.416**	**-0.532**	**0.494**	0.153	-0.110	0.168	**0.681**	**-0.417**	-0.129	0.235	0.208	-0.039

***** Koyu karakterle yazılan değerler 0'dan farklıdır ve anlamlılık düzeyi alfa: 0.05'tir.

**YS: yaprak sayısı, KU: kök uzunluk, SB: sürgün boy, SÇ: sürgün çap, TYA: toplam yaş ağırlık, TKA: toplam kuru ağırlık, K: klorofil, YA: yaprak alanı, pH: toprakta pH, EC: toprakta tuz, MZİ: membran zararlanma indeksi, YOSİ : yaprak oransal su içeriği, TF: toplam fenol, TA: toplam antioksidan, P: fosfor, Zn: Çinko, Cu: Bakır, Mg: magnezyum, Fe: demir, Na: sodyum, K: potasyum, Mg: magnezyum, Ca: kalsiyum, K:Na: potasyumun sodyuma oranı, Ca: Na: kalsiyumun sodyuma oranı, TS: toprak spor yoğunluğu, KK: kök kolonizasyonu, Tuz 0-5: tuz skalası, Vd 0-5 : *V. dahliae* skalası, Vd 0-4 : *V. dahliae* skalası, CAT: katalaz

Çizelge 4.28. Özellikler arasındaki korelasyon katsayıları (devam)

Değişken	Na	K	Mg	Ca	K:Na	Ca:Na	TS	KK	Tuz 0-5	Vd 0-5	Vd 0-4	CAT
K**	**-0419***											
Mg	**0.473**	0.084										
Ca	**0.810**	-0.244	**0.710**									
K:Na	**-0.754**	**0.593**	**-0.377**	**-0.629**								
Ca: Na	**-0.792**	**0.507**	**-0.362**	**-0.603**	**0.975**							
TS	-0.135	0.275	0.108	-0.029	0.084	0.094						
KK	0.029	**0.438**	**0.409**	0.193	0.075	0.069	**0.863**					
Tuz0-5	0.782	**-0.717**	**0.375**	**-0.679**	**-0.806**	**-0.790**	-0.147	-0.100				
Vd 0-5	-0.026	**-0.396**	0.066	0.025	-0.236	-0.197	**-0.372**	-0.348	**0.362**			
Vd 0-4	-0.047	**-0.378**	0.057	0.001	-0.214	-0.176	**-0.379**	-0.337	0.323	**0.993**		
CAT	0.367	-0.306	**0.602**	**0.557**	**-0.405**	**-0.383**	-0.078	0.029	**0.595**	**0.353**	0.345	**1**

***** Koyu karakterle yazılan değerler 0'dan farklıdır ve anlamlılık düzeyi alfa: 0.05'tir.

**YS: yaprak sayısı, KU: kök uzunluk, SB: sürgün boy, SÇ: sürgün çap, TYA: toplam yaş ağırlık, TKA: toplam kuru ağırlık, K: klorofil, YA: yaprak alanı, pH: toprakta pH, EC: toprakta tuz, MZİ: membran zararlanma indeksi, YOSİ : yaprak oransal su içeriği, TF: toplam fenol, TA: toplam antioksidan, P: fosfor, Zn: Çinko, Cu: Bakır, Mg: magnezyum, Fe: demir, Na: sodyum, K: potasyum, Mg: magnezyum, Ca: kalsiyum, K:Na: potasyumun sodyuma oranı, Ca: Na: kalsiyumun sodyuma oranı, TS: toprak spor yoğunluğu, KK: kök kolonizasyonu, Tuz 0-5: tuz skalası, Vd 0-5 : *V. dahliae* skalası, Vd 0-4 : *V. dahliae* skalası, CAT: katalaz

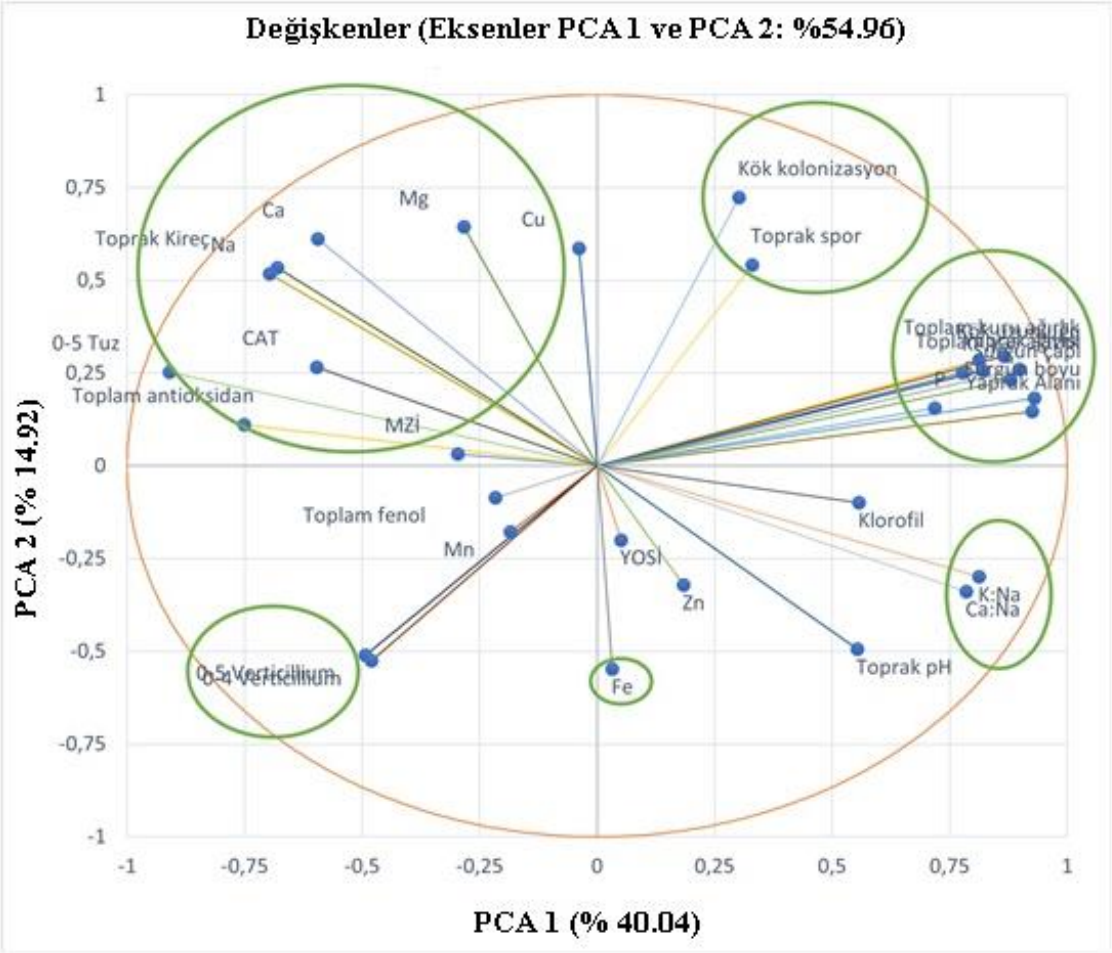
Çizelge 4.29. Çalışmada incelenen özelliklere göre gerçekleştirilen PCA analizi

	PCA-1	**PCA-2**	**PCA-3**	**PCA-4**	**PCA-5**
Öz değer	12.413	4.626	2.293	1.820	1.581
Varyans %	40.043	14.923	7.395	5.869	5.101
Toplam varyans %	40.043	54.966	62.362	68.231	73.332
		Özellikler			
Yaprak Sayı	**0.255***	0.121	0.025	0.117	0.054
Kök Uzunluk	**0.231**	0.132	0.156	0.198	-0.003
Sürgün Boy	**0.264**	0.085	0.114	-0.037	0.004
Sürgün Çap	**0.250**	0.107	0.060	-0.027	0.036
Toplam Yaş Ağırlık	0.233	0.120	**0.235**	-0.063	-0.059
Toplam Kuru Ağırlık	**0.246**	0.137	0.217	-0.058	-0.015
Klorofil	0.158	-0.046	-0.178	**0.405**	0.265
Yaprak Alan	**0.263**	0.068	0.161	-0.102	-0.014
Toprak pH	0.157	**-0.230**	0.127	0.065	0.140
Toprak EC	-0.193	**0.248**	-0.070	-0.024	-0.080
MZİ	-0.084	0.014	0.189	**0.271**	-0.010
YOSİ	0.014	-0.093	-0.223	0.054	**0.607**
Toplam Fenol	-0.061	-0.040	-0.075	**0.479**	-0.157
Toplam Antioksidan	**-0.213**	0.052	0.146	0.022	0.014
P	0.204	0.072	0.079	-0.245	**-0.250**
Zn	0.052	-0.150	-0.205	-0.095	**-0.408**
Cu	-0.011	**0.273**	0.116	0.062	0.087
Mn	-0.052	-0.083	**0.481**	0.190	-0.119
Fe	0.009	-0.255	**0.384**	0.155	0.032
Na	-0.198	**0.241**	-0.001	-0.125	-0.042
K	**0.221**	0.117	-0.103	-0.143	0.101
Mg	-0.080	0.299	0.176	-0.131	**0.386**
Ca	-0.169	**0.284**	0.059	-0.171	0.096
K: Na	**0.231**	-0.139	-0.036	-0.223	0.025
Ca: Na	**0.223**	-0.158	0.003	-0.170	0.062
Toprak Spor Yoğunluğu	0.094	0.252	-0.019	**0.328**	-0.177
Kök Kolonizasyonu	0.086	**0.336**	0.000	0.150	0.019
Tuz 0-5 skala	**-0.258**	0.117	0.074	-0.037	-0.101
Vd 0-5 skala	-0.140	-0.237	**0.264**	-0.105	0.084
Vd 0-4 skala	-0.136	-0.244	**0.253**	-0.091	0.122
CAT	-0.169	0.124	**0.196**	-0.086	0.109

***** Koyu karakterle yazılan sayılar özelliklere ait en yüksek değerlerdir.

Çizelge 4.29'da çalışmada kullanılan özelliklere göre gerçekleştirilen PCA analizi sonucu beş bileşen oluşturulmuştur. Çizelge 4.29'da her bir temel bileşenin öz değerleri ve öz değerlerin toplam varyans oranı (%) verilmiştir. Temel bileşen analizi için öz değeri 1'den büyük, toplam varyansın %70'inin açıklandığı bileşenler esas alınmıştır. Buna göre beş bileşenin toplam varyasyonun % si 73.33'sini, ilk bileşenin ise toplam varyasyonun %25'ini açıklayabilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Mozafari ve ark., 2019; Seymen ve ark., 2019). Bu sonuca paralel olarak çalışmamızda da ilk iki bileşenin açıklandığı toplam varyansın %54'ün üzerinde olduğu dolayısıyla PCA analizinin başarılı bir şekilde kullanılabildiği belirlenmiştir. Cao ve ark. (2017) ve Demir ve ark. (2021) çalışmalarında stres koşullarındaki parametrelerin birbirleriyle olan ilişkisini ve benzerliğini belirlemek için PCA analizi kullanıldığı ifade edilmiştir.

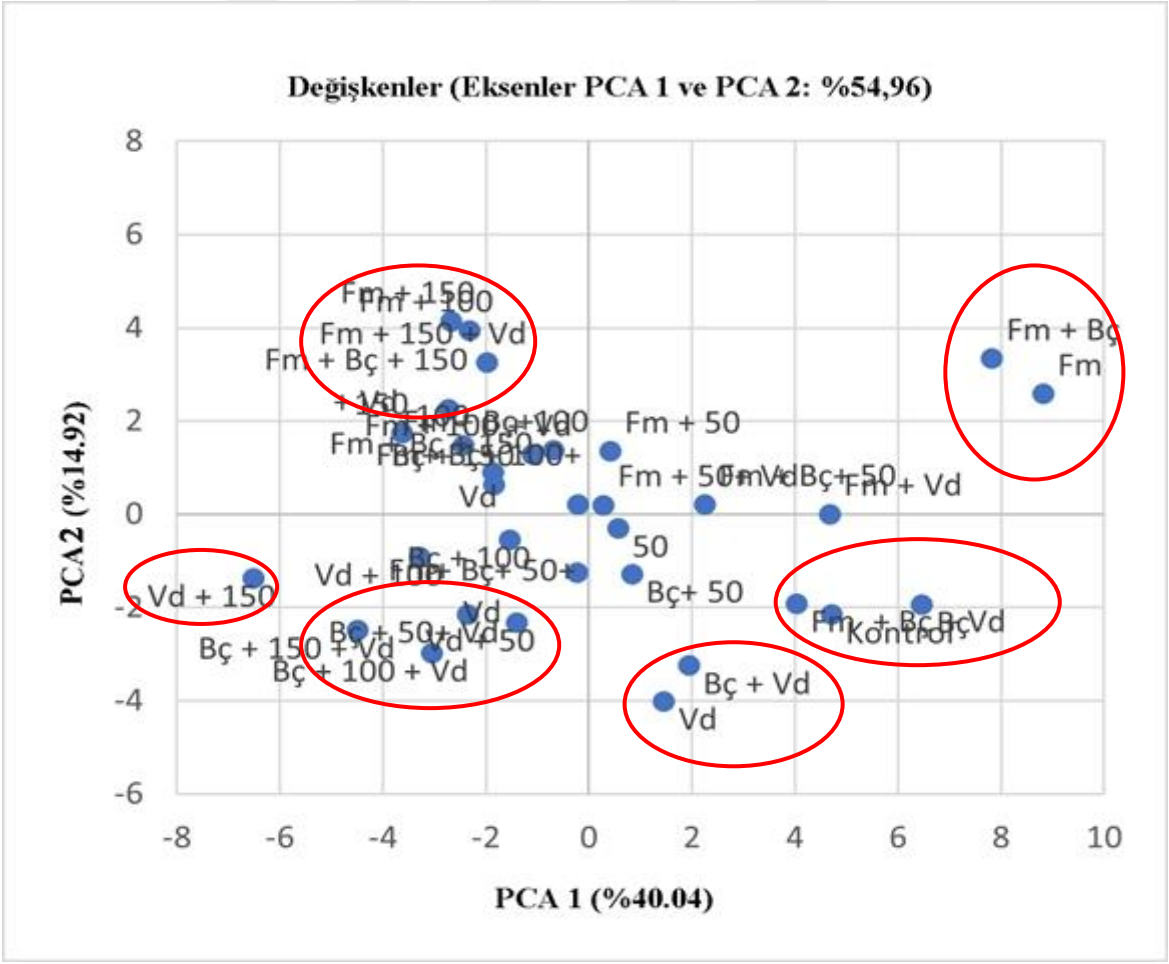
Çizelge 4.29 incelendiğinde varyasyonun %40'ını açıklayan ilk bileşende yaprak sayısı (0.255), kök uzunluk (0.231), sürgün boy (0.264), sürgün çap (0.250), toplam kuru ağırlık (0.246), yaprak alan (0.263), toplam antioksidan (0.213), K (0.221), K: Na (0.231), Ca:Na (0.223) ve tuz 0-5 skala (0.117) özelliklerinin açıklanmasında en yüksek katkıyı sağladıkları tespit edilmiştir (Çizelge 4.29). İkinci temel bileşende, toprak pH (0.230) toprak EC (0.248), Cu (0.273), Na (0.241), Ca (0.284), kök kolonizasyonu (0.336) özelliklerinin en yüksek katkıyı sağladıkları belirlenmiştir. Üçüncü temel bileşende, toplam yaş ağırlık (0.235), Mn (0.481), Fe (0.384), Vd 0-5 skala (0.264), Vd 0-4 skala (0.253) ve CAT (0.196) özelliklerinin açıklanmasında en yüksek katkıyı sağladıkları tespit edilmiştir (Çizelge 4.29). Dördüncü temel bileşende klorofil (0.405), MZİ (0.271), toplam fenol (0.479) ve toprak spor yoğunluğu (0.328) ve beşinci temel bileşende YOSİ (0.607), P (0.250), Zn (0.408) ve Mg (0.386) özelliklerinin en yüksek katkıyı sağladıkları belirlenmiştir (Çizelge 4.29). Bu temel bileşen değişkenleri arasında en yüksek değer beşinci bileşenin (PCA-5) YOSİ (0.607), en düşük değer (PCA-3) kök kolonizasyonu (0.00) özelliklerinde tespit edilmiştir. Dolayısıyla özellikler arasındaki en yüksek değişkenliği açıklayan temel bileşenler birinci (PCA 1) ve ikinci PCA (2) bileşen olarak saptanmıştır (Çizelge 4.29).



Şekil 4.22. Çalışmada incelenen özelliklerin PCA grafiği üzerinde dağılımı.

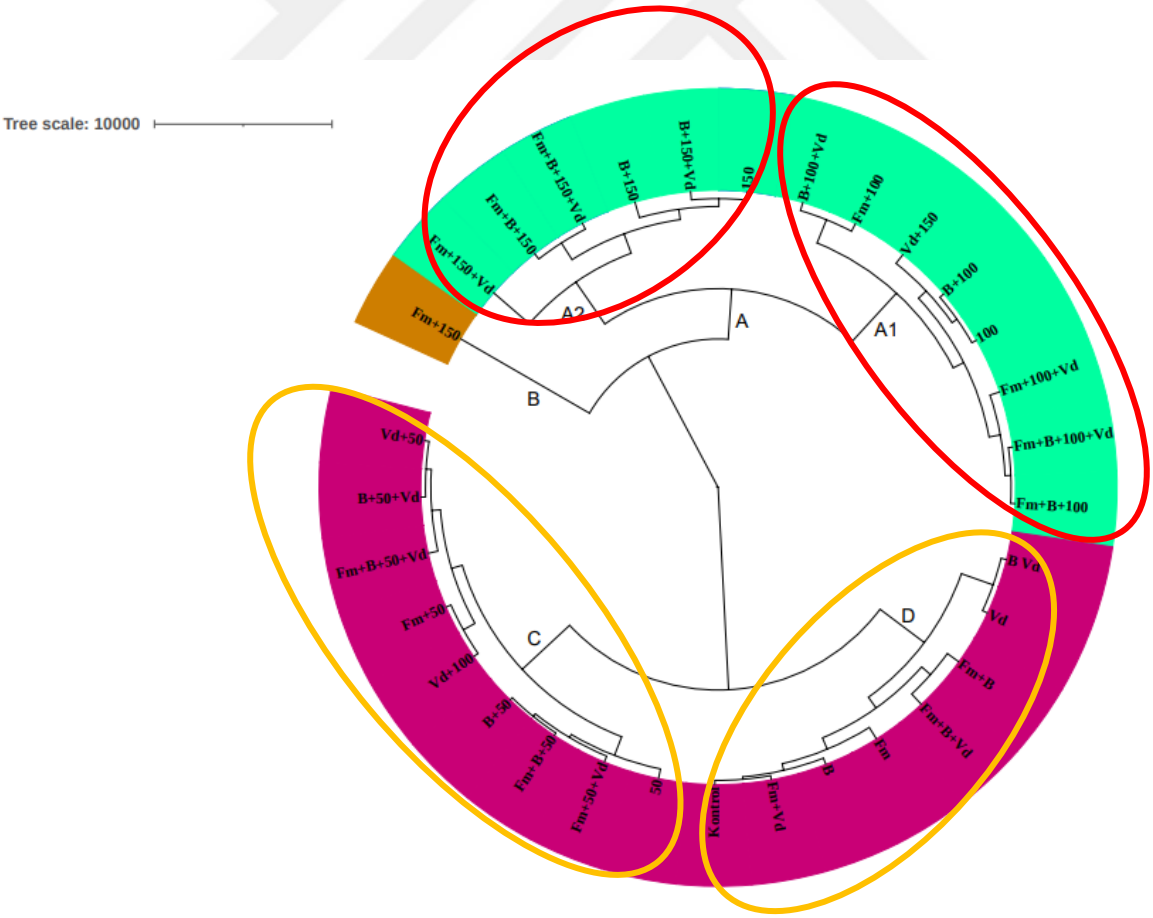
Şekil 4.22'de çalışmada incelenen özelliklerin PCA grafiği üzerinde dağılımı verilmiştir. Yan ve Kang, (2003) ve Seymen, (2020) çalışmalarında vektörler arasındaki açı <90° ise pozitif korelasyon, >90° ise negatif korelasyon ve 90° ise anlamlı bir ilişkinin olmadığını belirtmiştir. Buna göre çalışmamızda yer alan PCA 1 %40.04 ile PCA 2 %14.92 temel bileşen fonksiyonları değerlendirildiğinde, kök kolonizasyonu, toprak spor yoğunluğu, bitki gelişim parametreleri (toplam yaş ağırlık, toplam kuru ağırlık, kök uzunluk, sürgün boy, sürgün çap, yaprak alanı) ve P uygulamaları arasındaki açının < 90° olduğu ve aralarında pozitif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğu değeri arttıkça bitki gelişim parametreleri ve P elementi değerinin de artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu söz konusu uygulamaların *V. dahliae* skalaları (0-5 ve 0-4) ile arasında negatif bir korelasyon olduğu, kök kolonizasyonu, toprak spor yoğunluğu, bitki gelişim parametreleri ve P elementi değeri arttıkça Vd skala değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.22'de ayrıca K: Na, Ca: Na, klorofil, YOSİ, Fe, Zn ve toprak pH uygulamaları arasındaki açının < 90° olduğu ve aralarında pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bu uygulamaların değerleri arttıkça toprak EC, tuz skalaları, Mg, Ca, Cu, MZİ, CAT, toplam antioksidan ve toplam fenol değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 4.22'de dikkat çeken bir diğer nokta ise Ca: Na oranı arttıkça Na ve Ca değerlerinin azalış gösterdiği aralarında ters orantı olduğu belirlenmiştir. Aynı durum MZİ ile YOSİ, toprak pH ile toprak EC arasında da tespit edilmiştir (Şekil 4.22). Benzer bulgular gösteren Sarabi ve ark. (2017)'nın yaptığı bir araştırmada da tuz stresinde fizyolojik ve biyokimyasal parametreler incelenirken PCA analizinde toplam varyansın %97.17, ilk bileşen varyansının 66.96 olduğu belirlenmiştir. Shelke ve ark. (2017) ise toplam varyansı %95.07, birinci temel bileşeni %82.65 olarak açıklamıştır. Her iki çalışmada da tuz konsantrasyonu arttıkça varyans değerinin artabileceği ve bitkilerin farklı konsantrasyonlarda reaksiyon gösterebileceği belirtilmiştir (Sarabi ve ark. 2017; Shelke ve ark., 2017).



Şekil 4.23. Uygulamaların iki boyutlu PCA grafiği üzerinde dağılımı.

Şekil 4.23'te uygulamaların iki boyutlu PCA grafiği üzerindeki dağılımı verilmiştir. Birbirine yakın değerdeki uygulamalar benzer kabul edilmiştir. Çalışmamızın birinci temel bileşen PCA 1 (%40.04) ve ikinci temel bileşen PCA 2 (14.92)'ye göre birbirine en yakın değerler Fm ile Fm + Bç uygulamaları arasında, Bç ile Bç + Vd uygulamaları ve kontrol ile Bç ve Fm + Bç+ Vd uygulama değerleri arasında belirlenmiştir. Aynı zamanda yüksek stres faktörlerinin bulunduğu uygulamaların da birbirine yakın olduğu ve benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle Fm + 150, Fm + 100, Fm + 150 + Vd ve Vd + 150 interaksiyonların birbiriyle, Bç + 50 + Vd, Bç + 100 + Vd ve Bç + 150 + Vd uygulamalarının da kendi aralarında benzerlik gösterdiği ve yakın değerde olduğu saptanmıştır. Yapılan başka çalışmalarda da tuza tolerantlılığın değerlendirilmesinde aynı yaklaşımların kullanıldığı belirtilmiştir (Kang ve ark., 2020; Miceli ve ark., 2020). Şekil 4.23'te aynı zamanda Vd + 150 ile Vd+100 uygulamalarının iki boyutlu dağılımındaki verilerinin birbirine çok yakın çıktığı tespit edilmiştir. Bunun biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin birbirlerini etkileyebildikleriyle ilişkili bulunmuştur (Şekil 4.23). Dolayısıyla Fm'nin Bç'ye göre tuz stresi zararını azaltmada daha etkin olduğu saptanmıştır (Şekil 4.23).



Şekil 4.24. Uygulamalar arasındaki benzerliği belirlemede kümeleme analizi kullanılarak elde edilen dendogram.

Uygulamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesi amacıyla yapılan kümeleme analizi sonucunda elde edilen dendogram Şekil 4.24'te verilmiştir. Bu dendograma göre; Fm + 150 uygulaması ayrı bir dallanma (B), diğer uygulamaların ise dendogramda A, B, C ve D olmak üzere toplamda 4 grupta dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. A, C ve D gruplarının ise kendi arasında alt gruplara ayrıldığı saptanmıştır (Şekil 4.24). Kontrol uygulamalarının (kontrol, Fm, Bç, Fm + Vd, Vd, Fm +Bç gibi) çoğunlukla D grubunda, yüksek stresli (Fm + 150, Fm + 150 + Vd, Fm + B+ 150, Fm + Bç + 150 + Vd) uygulamaların ise genellikle A ve B gruplarında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.24). Özellikle 150 mM tuz stresinin olduğu uygulamaların çoğunlukla A2 alt grubunda yer aldığı, Fm türünün mevcut olduğu uygulamaların ayrı bir grupta konumlandığı dikkati çekmiştir. Benzer şekilde 100 mM NaCl konsantrasyonunun mevcut olduğu uygulamaların çoğunun da yine A1 alt grubunda yer aldığı ve Fm içeren uygulamaların farklı dallanmaya sahip oldukları saptanmıştır. C grubunda çoğunlukla 50 mM tuz stresinin olduğu uygulamalar yer alırken, D grubunda kontrol, Vd, Fm ve Bç uygulamaları ile bunların kombinasyonları yer almıştır (Şekil 4.24).

5. SONUÇ

Tuz stresi altında yetiştirilen biber (*Capsicum annuum* L)'de Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) ve biyoçarın *Verticillium dahliae* etmeninin hastalık şiddetine, bitki gelişimine, AMF'nin varlığına, topraktaki fizyolojik değişimlere, antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmanın sonuç ve önerileri aşağıda özetlenmiştir.

- Çalışmanın ilk aşamasında Sera Demre 8 yerel biber çeşidinde iki farklı AMF türünün (*Funneliformis mosseae* ve *Glomus* spp. içeren ERS ticari preparat), iki farklı biyoçar oranlarının (%2 ve %4) toprakta bulunan tuz konsantrasyonlarına (0 Mm, 50 mM, 100 mM ve 150 mM) etkisi değerlendirilmiştir. Değerlendirmelere göre tuz konsantrasyonu arttıkça biber bitkisinin gelişim parametre değerleri ve AMF yoğunluğunun azaldığı, EC değerinin arttığı tespit edilmiştir. Biber bitkisinin tuz konsantrasyonları arasında en fazla 100 mM dozda kendini tolere edebildiği, 150 mM'da ise duyarlılığının fazla olduğu saptanmıştır.
- Çalışmanın ilk aşamasında, ERS ve *F. mosseae* AMF inokulumlarının %2 Bç ile interaksiyonlu uygulamalarının bitki gelişimine olumlu katkıları olduğu belirlenmiştir.
- AMF'nin gelişim parametrelerinde, birçok *Glomus* AMF türününün karışımını içeren ERS ile *F. mosseae* arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Ancak *F. mosseae*'nın tek başına ERS kadar etkinlik gösterdiği ve toprak spor yoğunluğunda %2 Bç ile interaksiyonlu uygulamasının etkinliğini artırdığı saptanmıştır. Ayrıca bütün uygulamalarda mikorhizal bağımlılığın oluşmadığı tespit edilmiştir. Bunun AMF türlerindeki genetik çeşitliliğinin yanı sıra biberin mikorhizaya bağımlı kalmadan kendi besin elementlerini karşılayabilmesinden kaynaklı olduğu belirlenmiştir.
- Çalışmanın ilk aşamasında, veriler göz önünde bulundurularak en iyi sonuç veren AMF türünün *F.mosseae* ve biyoçar oranının %2 olduğu tespit edilmiştir.
- *F.mosseae* ve %2 biyoçarın çalışmanın ikinci aşamasında tuz stresi altında (0 mM, 50 mM, 100 mM ve 150 mM) yetiştirilen biberde *Verticillium dahliae* patojeni, tuz stresi ve bitki gelişimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Genel olarak *F.mosseae* ve/veya biyoçarın tuz koşullarında dahi bitki gelişimine teşvikinin yüksek olduğu belirlenmiştir.
- AMF ve Bç'nin tekli, ikili ve üçlü kombine uygulamalarının *V. dahliae* hastalık şiddetini %13-%85 oranında baskıladıkları tespit edilmiştir.

- Fm + Vd + tuz interaksiyonlu uygulamaların topraktaki EC değeri, Bç + Vd + tuza göre yüksek çıktığı pH değerinde ise tersi durum söz konusu olup düşük çıktığı saptanmıştır.
- Çalışmanın ilk aşamasında mikorhizal bağımlılık görülmez iken, ikinci aşamada uygulamaya eklenen Vd'nin (Fm +Bç+100 mM+ Vd) Fm üzerindeki etkinliğini arttırdığı, Fm'nin biyotik + abiyotik stres kombinasyonlarında spor sayısının artış gösterdiği belirlenmiştir.
- Bç'nin biber köklerindeki AMF kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğunu değiştirdiği, ancak tuz ve Vd'nin bulunduğu uygulamalarda kök kolonizasyonu ve rizosferdeki spor yoğunluğunun pozitif yönlü etkilendiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra yüksek stres koşullarından (150 mM + Vd) önemli derecede etkilenen biber kökünde spor yapılarının büzüştüğü ve bunun ozmotik potansiyelin azalmasından kaynaklı olabileceğine karar verilmiştir.
- MZİ ve YOSİ parametrelerinde, tuz konsantrasyonu arttıkça değerlerin Bç ve Fm uygulamalarına göre değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Fm'nin MZİ değeri, Bç'nin YOSİ değeri üzerindeki etkinlikleri ayrı ayrı çalışmaya önem katmıştır.
- Fm ve Bç'nin tuz ve Vd'ye rağmen mineral madde parametrelerinden başta P olmak üzere Mn, Fe ve Mg besin elementi değerlerini arttırdığı ancak Zn ile Cu elementleri üzerinde pek etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Özellikle P elementindeki artışın Fm'nin yanı sıra çalışmada kullanılan biyoçarın piroliz edilme sıcaklığı ile ilişkili bulunmuştur.
- Tuz konsantrasyonu arttıkça Ca ve Na mineral madde değerlerinin arttığı, K değerinin azaldığı belirlenmiştir. K ve Na arasındaki besin rekabeti ile K mineral maddenin stres kaynaklı oksidatif hasarı onardığı belirlenmiştir. Genel itibariyle Fm ve Bç'nin tekli veya interaksiyonlarının biyotik - abiyotik stres faktörlerinde söz konusu besin maddeleri, K / Na ve Ca/Na oranları üzerindeki etkinliğinin olumlu yönde olduğu tespit edilmiştir.
- Bç'nin toplam fenol değerini arttırmada Fm'den daha etkin olduğu, Vd'li uygulamalarda fenol ve antioksidan değerinin değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. AMF + Bç kombine uygulamasının toplam fenol ve antioksidan değeri üzerindeki etkisinin pozitif yönlü olduğu belirlenmiştir.
- CAT enzim aktivasyonunda tuz konsantrasyonu arttıkça CAT değerinin arttığı ancak Fm'nin sadece tuz ile interaksiyonlu uygulamalarının kontrol gruplarından daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. Bu durumun tuz stresi koşullarında artan reaktif oksijen

türleriyle birlikte bitkinin savunma mekanizmalarını devreye koyduğu bununla birlikte CAT değerinin arttırdığı ve Fm'nin bu zararlanmayı baskıladığı tespit edilmiştir.

- Tuz stresi 0-5 skalasında farklı interaksiyonların farklı oranlarda zararlanmaya sebep olduğu, zararlanma düzeyi arttıkça skala değerininde arttığı tespit edilmiştir.

Yukarıda belirtilen sonuçlar baz alınarak değerlendirme yapıldığında bu çalışmanın en büyük faydasının, AMF ve biyoçarın hem tekli hem de ikili interaksiyonlarının biber gibi ekonomik değeri yüksek sebzenin gelişimine, toprak yapısına, biyotik ve abiyotik stres koşullarındaki etkisine olan katkılarının ortaya konulmasıdır.

Çalışmamızın bir diğer önemli boyutu da *V. dahliae* gibi mücadelesi zor ve geniş bir konukçu dizisine sahip patojen gelişiminin engellenmesi açısından katkı sağlamasıdır. Bu çalışmayla birlikte pozitif etkileşimli biyoçar + AMF kombinasyonun sürdürülebilir tarım için son derece yararlı bir yaklaşım, tuzluluk stresine karşı bitki toleransını geliştirmede verimli, uygulanabilir ve pratiğe aktarılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışma sürdürülebilir tarımda biyolojik kontrol amaçlı kullanılan AMF + biyoçar interaksiyonunun toprak patojenine (*V. dahliae*) karşı koruyucu ve tuz stresi üzerindeki olumlu etkisini desteklemektedir. AMF ve biyoçarın stres faktörlerindeki etkinliği, yeni yapılacak çalışmalara yön vermesi ve özgünlüğü ile katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Uygulayıcılara, biber üretiminde AMF + biyoçar gibi bitki gelişimi ve dayanıklılığını teşvik edici, toprağa faydalı, ekolojik ve çevreye dostu, ekonomik katkısı yüksek sürdürülebilir tarıma alternatif yöntemlerin tavsiye edilmesi önerilmektedir. Hatta bilinçsizce toprağa uygulanan kimyasalların hem ekonomik hem de ekosisteme verdiği zarar düşünüldüğünde bu çalışmanın sonuçları sürdürülebilirlik açısından kamu ve özel sektörlerde kolaylık sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abada, K.A., Ahmed, M.A., 2014. Management *Fusarium* wilt of sweet pepper by *Bacillus* strains. ***American Journal of Life Sciences,*** **2** (6-2): 19-25.

Abbott, D. A., Suir, E., Duong, G. H., de Hulster, E., Pronk, J. T., van Maris, A. J., 2009. Catalase overexpression reduces lactic acid-induced oxidative stress in Saccharomyces cerevisiae. ***Applied and Environmental Microbiology,*** **75** (8): 2320-2325.

Abd El-Mageed, T.A., Rady, M.M., Taha, R.S., Abd El Azeam, S., Simpson, C.R., Semida, W.M., 2020. Effects of integrated use of residual sulfur-enhanced biochar with effective microorganisms on soil properties, plant growth and short-term productivity of *Capsicum annuum* under salt stress. ***Scientia Horticulturae,*** **261**: 108930.

Abdel Latef, A.A., 2013. Growth and some physiological activities of pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to cadmium stress and mycorrhizal symbiosis. ***Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology,*** **15**:1437-1448.

Abdel Latef, A. A. H., Chaoxing, H., 2014. Does inoculation with *Glomus mosseae* improve salt tolerance in pepper plants? ***Journal of Plant Growth Regulation,*** **33**(3): 644-653.

Abdel Latef, A.A.H., Miransari, M., 2014. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress. ***In Use of microbes for the alleviation of soil stresses*** (23-38). Springer, New York.

Abdelaal, K.A., Mazrou, Y.S., Hafez, Y.M., 2020. Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. ***The Plant Journal,*** **9** (6): 733. 5

Abdulhadi, S., Seymen, M., Türkmen, Ö., 2017. Tuzlu toprak koşullarında kabakta arbusküler mikoriza fungi uygulamalarının fide gelişmesine etkisi. ***Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences,*** **7** (2).

Abeer, H., Abd_Allah, E. F., Alqarawi, A. A., El-Didamony, G., Alwhibi, M., Egamberdieva, D., Ahmad, P., 2014. Alleviation of adverse impact of salinity on faba bean (Vicia faba L.) by arbuscular mycorrhizal fungi. ***Pakistan Journal Botany,*** **46** (6): 2003-2013.

Abidalrazzaq Musluh Al Rubaye, O., Yetisir, H., Ulas, F., Ulas, A., 2021. Enhancing salt stress tolerance of different pepper (*Capsicum annuum* L.) inbred line genotypes by rootstock with vigorous root system. ***Gesunde Pflanzen,*** **73** (3): 375-389.

Abudureyimu, B., Aksoy, E., 2019. Comparison of the Sensitivity of *Arabidopsis* SOS Pathway Mutants under salt stress. ***Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology,*** **7** (11): 1982-1989.

Acosta-Motos, J.R., Penella, C., Hernández, J.A., Díaz-Vivancos, P., Sánchez-Blanco, M.J., Navarro, J.M., Barba-Espín, G., 2020. Towards a Sustainable Agriculture: Strategies Involving Phytoprotectants against Salt Stress. ***Agronomy,*** **10** (2): 194.

Adams, S.S., D.I. Rouse R.L. Bowden., 1987. Performance of alternative versions of POTWIL: a computer model that simulates the seasonal growth of *Verticillium*-infected potato (Abstract). ***American Journal of Potato Research.,*** **64**: 429.

Ahmad, P., Abdel Latef, A. A., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Gucel, S., Tran, L. S. P., 2016. Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. ***Frontiers in Plant Science***, **7:** 347.

Ahmed, S.M., 2013. Inter-simple sequence repeat (ISSR) markers in the evaluation of genetic polymorphism of Egyptian *Capsicum* L. hybrids. ***African Journal of Biotechnology,*** **12** (7): 665-669.

Ait Rahou, Y., Ait-El-Mokhtar, M., Anli, M., Boutasknit, A., Ben-Laouane, R., Douira, A., Meddich, A., 2021. Use of mycorrhizal fungi and compost for improving the growth and yield of tomato and its resistance to *Verticillium dahliae*. ***Archives of Phytopathology and Plant Protection,*** **54** (13-14): 665-690.

Akay Rastgeldi, Z.H., 2010. ***Biberde Farklı Tuz Konsantrasyonlarının Bazı Fizyolojik Parametreler ile Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). HÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Akça, M.O., Namli, A., 2015. Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper and lettuce plants growth. ***Eurasian Journal of Soil Science,*** **4** (3): 161-168.

Akhter, A., Hage-Ahmed, K., Soja, G., Steinkellner, S., 2015. Compost and biochar alter mycorrhization, tomato root exudation, and development of *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici. ***Frontiers in Plant Science***, **6***:* 529.

Akköprü, A., Demir, S., 2005. Biological control of *Fusarium* wilt in tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici by AMF *Glomus intraradices* and some rhizobacteria. ***Journal of Phytopathology***, **153** (9): 544-550.

Akladious, S.A., Mohamed, H.I., 2018. Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annuum*) plants grown under salt stress. ***Scientia Horticulturae,*** **236**: 244-250.

Al-Amri, S.M., 2019. Mıtıgatıon of Salınıty Stress of Pepper (*Capsıcum Annuum* L.) By Arbuscular Mycorrhızal Fungus, *Glomus Constrıctum*. ***Applıed Ecology and Envıronmental Research,*** **17** (4): 9965-9978.

Alar, Y., 2019. ***Diyarbakır İlinde Biber Üretim Alanlarında Bulunan Fitoplazmaların Moleküler Yötemlerle Saptanması*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). HÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Ibrahim, M., Riaz, M., Shahzad, A.N., 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. ***Environmental Science and Pollution Research,*** **24** (14): 12700-12712.

Alkher, H., El Hadrami, A., Rashid, K.Y., Adam, L.R., Daayf, F., 2009. Cross-pathogenicity of *Verticillium dahliae* between potato and sunflower. ***European Journal of Plant Pathology***, **124**(3): 505-519.

Almaca, A., Almaca, N.D., Senbayram, M., 2021. Interactıve Effect of Arbuscular Mycorrhızal Fungı Inoculatıon and Phosphorus Fertılızer Applıcatoın on Yıeld and Nutrıent Content of Red Pepper (*Capsicum Annuum* L.) In a Semı-Arıd Regıon. ***Applıed Ecology and Envıronmental Research,*** **19** (4): 2779-2792.

Alpar, R., 2013. ***Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemler.*** HÜ, Tıp Fak., Ankara. 4.

Alsabbagh, M.H.A., Türkmen, Ö., Seymen, M., 2016. *Citrillus lanatus* var. *lanatus* ve *Citrillus lanatus* var. *citroides* kaynaklı bazı karpuz genotiplerinin tuza tolerans düzeylerinin belirlenmesi. ***Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,*** **21** (1): 24-38.

Altunlu, H., 2019. The effects of mycorrhiza application on growth and antioxidative enzymes of capia type pepper (*Capsicum annuum* L.) seedling under salty conditions. ***Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,*** **56** (2): 139-146.

Altuntas, O., Dasgan, H.Y., Kutsal, I.K., 2016. Effects of mycorrhiza on pepper plant growth and nutrients under salinity stress. ***In Proceedings of XVI th EUCARPIA Capsicum and Eggplant Working Group Meeting in memoriam Diamond Congress Ltd.*** 12-14 September 2016, Kecskemét, Hungary. 194-202.

Anjum, N. A., Sharma, P., Gill, S. S., Hasanuzzaman, M., Khan, E. A., Kachhap, K., Tuteja, N., 2016. Catalase and ascorbate peroxidase—representative H_2O_2-detoxifying heme enzymes in plants. ***Environmental Science and Pollution Research***, **23** (19): 19002-19029.

Anonim, 2008. ***Ziraat Müdendisleri Odası Raporları***. TMMOB ZMO Genel Merkezi, Ankara.

Anonim, 2022. Biber yetiştiriciliği. https://www.hortiturkey.com/bitki-yetistiriciligi/biber-yetistiriciligi. (Erişim Tarihi: 17.02.2022).

Antón-Herrero, R., Vega-Jara, L., García-Delgado, C., Mayans, B., Camacho-Arévalo, R., Moreno-Jiménez, E., Eymar, E. 2022. Synergistic effects of biochar and biostimulants on nutrient and toxic element uptake by pepper in contaminated soils. ***Journal of the Science of Food and Agriculture***, **102** (1): 167-174.

Arisha, M.H., Shah, S.N., Gong, Z.H., Jing, H., Li, C., Zhang, H.X., 2015. Ethyl methane sulfonate induced mutations in M2 generation and physiological variations in M1 generation of peppers (*Capsicum annuum* L.). ***Frontiers in Plant Science,*** **6**: 399.

Aroca, R., Ruiz-Lozano, J. M., Zamarreño, Á. M., Paz, J. A., García-Mina, J. M., Pozo, M. J., López-Ráez, J. A., 2013. Arbuscular mycorrhizal symbiosis influences strigolactone production under salinity and alleviates salt stress in lettuce plants. ***Journal of Plant Physiology,*** **170** (1): 47-55.

Aslanpay, B., 2011. ***Arbusküler mikorhizal fungus (AMF) ve humik asitin biber (Capsicum annum L.) bitkisinin gelişimi ve Phytophthora capsici Leonian'ın neden olduğu kök boğazı çürüklüğü hastalığına etkileri*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Augé, R. M., Toler, H. D., Saxton, A. M., 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. ***Mycorrhiza,*** **25** (1): 13-24.

Aysan, E., 2008. ***Arbüsküler mikorhizal funguslar (AMF) ve rhizobium bakteri aşılamasının fasulye (Phaseolus vulgaris L.)'de kök çürüklüğü etmeni (Sclerotinia Sclerotiorum (Lib.) De Bary)'ne karşı kullanılma olanakları üzerine bir araştırma*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.

Azcón-Aguilar, C., Barea, J.M., 1997 a. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. ***Scientia Horticulturae,*** **68** (1-4): 1-24.

Azcón-Aguilar, C., Barea, J.M., 1997 b. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens–an overview of the mechanisms involved. ***Mycorrhiza,*** **6** (6): 457-464.

Azcón-Aguilar, C., Jaizme-Vega, M. C., Calvet, C., 2002. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to the control of soil-borne plant pathogens. **In m*ycorrhizal technology in agriculture***, 187-197.

Azeem, M., Hayat, R., Hussain, Q., Ahmed, M., Pan, G., Tahir, M.I., Irfan, M., 2019. Biochar improves soil quality and N2-fixation and reduces net ecosystem CO^2 exchange in a dryland legume-cereal cropping system. ***Soil and Tillage Research,*** **186**: 172-182.

Bagyaraj, D. J., 2006. Current status of VAM as biocontrol agents for the management of plant diseases. ***Current Status of Biological Control of Plant Diseases Using Antagonistic Organisms in India,*** 125-134.

Bagyaraj, D.J., 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi and biological control of soil-borne plant pathogens. ***Kavaka,*** **51** (1): 1-6.

Bakır, M., 2012. ***Asma Çeşit ve Anaçlarında Kuraklık ve Tuz stresi Toleransına yönelik Mikrodizin Analizleri ve Stres ile İlgili Transkriptomların Tespiti*** (doktora tezi basılmamış). AÜ, Biyoteknoloji Enstitüsü, Ankara.

Bamagoos, A., Alharby, H., Fahad, S., 2021. Biochar coupling with phosphorus fertilization modifies antioxidant activity, osmolyte accumulation and reactive oxygen species synthesis in the leaves and xylem sap of rice cultivars under high-temperature stress. ***Physiology and Molecular Biology of Plants,*** **27** (9): 2083-2100.

Barry, A.L., Garcia, F., Thrupp. L.D., 1970. An improved single.disk method for testing the antibiotic susceptibility of rapidly-growing pathogens. ***American Journal of Clinical Pathology,*** **53**:149-158.

Basak, H., Çimrin, K.M., Turan, M., Güneş, A., Ozlu, E., 2019. Response of Mycorrhiza-Inoculated Pepper and Amino Acids to Salt Treatment at Different Ratios. ***Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50** (3): 350-361.

Başdinç, M. A., Kabay, T., 2022. Tuz Stresindeki Ispanakta Vermikompost ve Su Yosununun Bazı Fizyolojik Unsurlara Etkileri. ***Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi***, **9** (1): 188-194.

Bayram, S.E., Elmacı, Ö.L., Özden, N., 2019. Manisa-Akhisar Yöresi Biber (*Capsicum annuum*) Plantasyonlarının Beslenme Durumları. ***Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16** (2): 144-155.

Beltrano, J., Ruscitti, M., Arango, M.C., Ronco, M., 2013. Effects of arbuscular mycorrhiza inoculation on plant growth, biological and physiological parameters and mineral nutrition in pepper grown under different salinity and p levels. ***Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13** (1): 123-141.

Benzie, F.F.I., Strain, J.J., 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant Power: The FRAP Assay. ***Analytical Biochemistry*, 239**: 70-76

Besri, M., 1993. Effects of salinity on plant diseases development. ***In Towards the rational use of high salinity tolerant plants***. Springer, Dordrecht. 67-74.

Bhat, R.G., Subbarao, K.V., 1999. Host range specificity in *Verticillium dahliae.* ***Phytopathology*, 89** (12): 1218-1225.

Bhat, R.G., Smith, R.F., Koike, S.T., Wu, B.M., Subbarao, K.V., 2003. Characterization of *Verticillium dahliae* isolates and wilt epidemics of pepper. ***Plant Disease*, 87** (7): 789-797.

Biró, B., Köves-Péchy, K., Vörös, I., Takács, T., Eggenberger, P., Strasser, R. J., 2000. Interrelations between *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers and arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of alfalfa in sterile, AMF-free or normal soil conditions. ***Applied Soil Ecology*, 15** (2): 159-168.

Blackwell, P., Krull, E., Butler, G., Herbert, A., Solaiman, Z., 2010. Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertiliser use in south-western Australia: An agronomic and economic perspective. ***Soil Research*, 48** (7): 531-545.

Blilou, I., Bueno, P., Ocampo, J.A., García-Garrido, J.M., 2000. Induction of catalase and ascorbate peroxidase activities in tobacco roots inoculated with the arbuscular mycorrhizal *Glomus mosseae*. ***Mycological Research***, **104** (6): 722-725.

Bona, E., Scarafoni, A., Marsano, F., Boatti, L., Copetta, A., Massa, N., Berta, G., 2016. Arbuscular mycorrhizal symbiosis affects the grain proteome of *Zea mays*: a field study. ***Scientific Reports*, 6** (1): 1-14.

Bona, E., Todeschini, V., Cantamessa, S., Cesaro, P., Copetta, A., Lingua, G., Massa, N., 2018. Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization**. *Scientia Horticulturae*, 234**: 160-165.

Bora, M., 2014. ***Değişik Vejetasyon Dönemlerine Kadar Uygulanan Farklı Tuz Konsantrasyonlarının Biberde Meydana Getirdiği Fizyolojik, Morfolojik ve Kimyasal Değişikliklerin Belirlenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). NKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Borisade, O. A., Uwaidem, Y. I., Salami, A. E., 2017. Preliminary report on *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici (Sensu lato) from some tomato producing agroecological areas in Southwestern Nigeria and susceptibility of F1-resistant tomato hybrid (F1-Lindo) to infection. ***Annual Research & Review in Biology***, 1-9.

Boutaj, H., Meddich, A., Wahbi, S., Moukhli, A., El Alaoui-Talibi, Z., Douira, A., El Modafar, C., 2019. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on *Verticillium* wilt development of olive trees caused by *Verticillium dahliae*. ***Research Journal of Biotechnology Vol***, **14:** 8.

Boutaj, H., Meddich, A., Chakhchar, A., Wahbi, S., El Alaoui-Talibi, Z., Douira, A., El Modafar, C., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi improve mineral nutrition and tolerance of olive tree to *Verticillium* wilt. ***Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 53** (13-14): 673-689.

Boutaj, H., Meddich, A., Chakhchar, A., Wahbi, S., Alaoui-Talibi, Z.E., Douira, A., El Modafar, C., 2021. Induction of early oxidative events in mycorrhizal olive tree in response to *Verticillium* wilt. ***Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 54** (17).

Boyno, G., Demir, S., Danesh, Y. R., 2022. Effects of some biological agents on the growth and biochemical parameters of tomato plants infected with *Alternaria solani* (Ellis & Martin) Sorauer. ***European Journal of Plant Pathology*, 162** (1): 19-29.

Boyraz, N., Sürel, B., 2004. Roles of phenolics in plant diseases resistance. ***Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 18** (34): 56-69.

Brundrett, M.C., 2009. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: Understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. ***Plant Soil.* 320**: 37–77

Brundrett, M.C., Ashwath, N., 2013. *Glomeromycotan* mycorrhizal fungi from tropical Australia III. Measuring diversity in natural and disturbed habitats. ***Plant and Soil*, 370** (1): 419-433.

Bücking, H., Liepold, E., Ambilwade, P., 2012. The role of the mycorrhizal symbiosis in nutrient uptake of plants and the regulatory mechanisms underlying these transport processes. ***Plant Science*, 4**: 108-132.

Canto-Flick, A., Balam-Uc, E., Bello-Bello, J.J., Lecona-Guzman, C., Solís-Marroquín, D., Avilés-Viñas, S., Iglesias-Andreu, L. G., 2008. Capsaicinoids content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.): hottest known cultivars. ***Hortscience*, 43** (5): 1344-1349.

Cao, Y., Ma, C., Chen, G., Zhang, J., Xing, B., 2017. Physiological and biochemical responses of Salix integra Thunb. under copper stress as affected by soil flooding. ***Environmental Pollution*, 225:** 644-653.

Castañeda, W., Toro, M., Solorzano, A., Zúñiga-Dávila, D., 2020. Production and nutritional quality of tomatoes (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) are improved in the presence of biochar and inoculation with arbuscular mycorrhizae. ***American Journal of Plant Sciences*, 11** (3): 426-436.

Chandrasekaran, M., Boughattas, S., Hu, S., Oh, S. H., Sa, T., 2014. A meta-analysis of arbuscular mycorrhizal effects on plants grown under salt stress. ***Mycorrhiza*, 24** (8): 611-625.

Chen, T., Kan, J., Yang, Y., Ling, X., Chang, Y., Zhang, B., 2016. A and Homologous Gene from *Gossypium barbadense*, Gbvdr3, Enhances The Defense Response Against *Verticillium dahliae*. ***Plant Physiology and Biochemistry*, 98**: 101-111.

Cheng, C.H., Lehmann, J., Engelhard, M.H., 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.

Chliyeh, M., Ouazzani-Touhami, A., Filali-Maltouf, A., El Modafar, C., Moukhli, A., Oukabli, A., Benkirane, R., Douira, A., 2014. Effect of a composite endomycorrhizal inoculum on the growth of olive trees under nurseries conditions in Morocco, ***International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 2**: 1-14.

Choudhury, A.R., Choi, J., Walitang, D.I., Trivedi, P., Lee, Y., Sa, T., 2021. ACC deaminase and indole acetic acid producing endophytic bacterial co-inoculation improves physiological traits of red pepper (*Capsicum annum* L.) under salt stress. ***Journal of Plant Physiology*, 267**: 153544.

Chunxue, Y.A.O., Joseph, S., Lianqing, L.I., Genxing, P.A.N., Yun, L.I.N., Munroe, P., Donne, S., 2015. Developing more effective enhanced biochar fertilisers for improvement of pepper yield and quality. ***Pedosphere,*** **25** (5): 703-712.

Cocozza, C., Abdeldaym, E. A., Brunetti, G., Nigro, F., Traversa, A., 2021. Synergistic effect of organic and inorganic fertilization on the soil inoculum density of the soilborne pathogens *Verticillium dahliae* and *Phytophthora* spp. under open-field conditions. ***Chemical and Biological Technologies in Agriculture***, **8** (1): 1-11.

Conversa, G., Bonasia, A., Lazzizera, C., Elia, A., 2015. Influence of biochar, mycorrhizal inoculation, and fertilizer rate on growth and flowering of Pelargonium (*Pelargonium zonale* L.) plants. ***Frontiers in Plant Science,*** **6**: 429.

Corwin, D.L., 2021. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. ***European Journal of Soil Science,*** **72** (2): 842-862.

Costa, J., Rodríguez, R., Garcia-Cela, E., Medina, A., Magan, N., Lima, N., Santos, C., 2019. Overview of fungi and mycotoxin contamination in *Capsicum* pepper and in its derivatives. ***Toxins,*** **11** (1): 27.

Coşkun, F., Demır, S., Alptekın, Y., 2021. The Effectıveness of Arbuscular Mycorrhızal Fungı and Salıcylıc Acıd Agaınst *Vertıcıllium dahlıae* Infectıng Pepper (*Capsıcum annuum* L.). ***Applied Ecology and Envıronmental Research,*** **19** (6): 5045-5057.

Coşkun, F., 2021. ***Biberde (Capsicum Annuum L.)'De Solgunluk Hastalık Etmeni Verticillium Dahliae'e Karşı Arbusküler Mikorhizal Fungusların (AMF) ve Salisilik Asit Uygulamalarının Hastalık Şiddeti, Bitki Gelişimi ve Bazı Antioksidatif Enzimlerin Aktivitesi Üzerine Etkileri*** (doktora tezi basılmamış). K.S.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Creamer, A.E., Gao, B., 2016. Carbon-based adsorbents for postcombustion CO^2 capture: a critical review. ***Environmental Science & Technology,*** **50** (14): 7276-7289.

Cui, R., Lu, X., Chen, X., Malik, W. A., Wang, D., Wang, J., Ye, W., 2021. A novel raffinose biological pathway is observed by symbionts of cotton≡ *Verticillium dahliae* to improve salt tolerance genetically on cotton. ***Journal of Agronomy and Crop Science***, **207** (6): 956-969.

Çekiç, F. Ö., Ünyayar, S., Ortaş, İ., 2012. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on biochemical parameters in *Capsicum annuum* grown under long term salt stress. ***Turkish Journal of Botany,*** **36** (1): 63-72.

Çelik, S., 2018. ***Pamukta (Gossypium Hirsutum L.) İlişkilendirme Haritalaması Analiziyle Solgunluk Hastalığı (Verticillium dahliae Kleb.) İle İlişkili DNA Markörlerinin Belirlenmesi*** (doktora tezi basılmamış). K.S.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Çelik, Y., Yarşi, G., Özarslandan, A., 2019. Mikorizaların bitkilerde stres mekanizması üzerine etkileri. ***DÜSTAD Dünya Sağlık ve Tabiat Bilimleri Dergisi,*** **2019** (2): 1-15.

Çolakoğlu, B., 2018. ***Tarımsal Atıkların Alternatif Kullanım Alanları Konusunda Üretici Eğilimleri*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). NKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Dalpe, Y., Monreal, M., 2004. Arbuscular mycorrhiza inoculum to support sustainable cropping systems. ***Crop Management,*** **3** (1): 1-11.

Declerck, S., Plenchette, C., Strullu, D.G., 1995. Mycorrhizal dependency of banana (Musa acuminate, AAA group) cultivar. ***Plant Soil.,*** **176**: 183-187.

Dehne, H. W., 1982. Interactions between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens***. Phytopathology***, **72**: 1115-1119.

Demir, S., 1998. ***Bazı Kültür Bitkilerinde Vesiküler-Arbusküler Mikorhiza (VAM) Oluşumu ve Bunun Bitki Gelişimi ve Dayanıklılıktaki Rolü Üzerine Araştırmalar*** (doktora tezi basılmamış). E.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Demir, S., 2005. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. ***Turkish Journal of Biology,*** **28** (2-4): 85-90.

Demir, S., Şensoy, S., Ocak, E., Tüfenkci, Ş., Durak, E.D., Erdinc, C., Ünsal, H., 2015. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungus, Humic Acid, and Whey on Wilt Diseasecaused By *Verticillium dahliae* Kleb. In Three Solanaceous Crops. ***Turkish Journal of Agriculture and Forestry,*** **39** (2): 300-309.

Demir, Y., Esenbuğa, N., Bilgin, ÖC., 2016. İvesi Koyunlarının Et Kalitesini Değerlendirmede Temel Bileşenler Analizinin (PCA) Kullanılması. ***Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*** **20** (3): 536-541.

Demir, F., 2018. ***Farklı Tuz Konsantrasyonu ve Biyoçar Uygulanan Toprakların Kil Minerolojisi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). HÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Demir, Y., Keskin, S., Çavuşoğlu, Ş., 2021. Doğrusal Olmayan Temel Bileşenler Analizinin Tanıtımı ve Uygulanabilirliği. ***Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi,*** **24** (2): 442-450.

Dhingra, D.D., Sinclair, J.B., 1985. ***Basic Plant Pathology Methods.*** CRC Press İnc. Boca, Florida.

Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P.I., Fall, D., Hocher, V., Svistoonoff, S., 2020. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. ***Diversity,*** **12** (10): 370.

Dikilitas, M., Yucel, N., Dervis, S., 2017. Production of antioxidant and oxidant metabolites in tomato plants infected with verticillium dahliae under saline conditions. **In** ***Reactive oxygen species and antioxidant systems in plants: role and regulation under abiotic stress***. 315-329. Springer, Singapore.

Dilegge, M. J., Manter, D.K., Vivanco, J.M. 2019. A novel approach to determine generalist nematophagous microbes reveals Mortierella globalpina as a new biocontrol agent against Meloidogyne spp. nematodes. ***Scientific Reports,*** **9** (1): 1-9.

Dlugokecka, E., Kacperska-Palacz, A., 1978. Re-examination of Electrical Conductivity Method for Estimation of Drought In-Jury. ***Biologia Plantarum,*** **20**: 262–267.

Dölarslan, M., Gül, E., 2012. Toprak bitki ilişkileri açısından tuzluluk. ***Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi***, **5** (2): 56-59.

Duan, Y., Gao, S., Hanson, B., 2022. Effects of biochar and fertilizer sources on nitrogen uptake by chilli pepper plants under Mediterranean climate**.** ***Soil Use and Management,*** **38** (1):714-728.

Dumas-Gaudot, E., Gallotte, A., Cordier, C., Gianinazzi, S., Gianinazzi-Pearson, V., 2000. Modulation of host defense systems. In: Douds DD, Kapulnik Y, editors. ***Arbuscular Mycorrhizas: Molecular Biology and Physiology. Kluwer Academic Press***, 173-200

Duran, İ., Özgenen, Ö.H., 2016. Kumluca ilçesi sera alanlarında toprak ve yaprak kökenli fungal hastalık etmenlerinin belirlenmesi. ***Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,*** **20** (1): 111-122.

Egamberdieva, D., Ma, H., Alaylar, B., Zoghi, Z., Kistaubayeva, A., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S.D., 2021. Biochar Amendments Improve Licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) Growth and Nutrient Uptake under Salt Stress. ***Plants,*** **10** (10): 2135.

Egamberdieva, D., Alaylar, B., Kistaubayeva, A., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S.D., 2022. Biochar for improving soil biological properties and mitigating salt stress in plants on salt-affected soils. ***Communications in Soil Science and Plant Analysis,*** **53** (2): 140-152.

Elmer, W.H., Pignatello, J.J., 2011. Effect of biochar amendments on mycorrhizal associations and *Fusarium* crown and root rot of *asparagus* in replant soils. ***Plant Disease,*** **95** (8): 960-966.

Elzobair, K.A., Stromberger, M.E., Ippolito, J.A., Lentz, R.D., 2016. Contrasting effects of biochar versus manure on soil microbial communities and enzyme activities in an Aridisol. ***Chemosphere,*** **142**: 145-152.

Ergün, F., 2021. Kırşehir'de Yetiştirilen Cemele Biberinin Biyoaktif Bileşenlerinin ve Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi. ***Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi***, **8** (3): 693-701.

Essalimi, B., Esserti, S., Rifai, L. A., Koussa, T., Makroum, K., Belfaiza, M., Faize, M., 2022. Enhancement of plant growth, acclimatization, salt stress tolerance and *Verticillium* wilt disease resistance using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) associated with plum trees (*Prunus domestica*). ***Scientia Horticulturae,*** **291**: 110621.

Etesami, H., Beattie, G. A., 2018. Mining halophytes for plant growth-promoting halotolerant bacteria to enhance the salinity tolerance of non-halophytic crops. ***Frontiers in Microbiology***, **9:** 148.

Evelin, H., Kapoor, R., Giri, B., 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. ***Annals of Botany,*** **104** (7): 1263-1280.

Evelin, H., Giri, B., Kapoor, R., 2012. Contribution of *Glomus intraradices* inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed Trigonella foenum-graecum. ***Mycorrhiza,*** **22**: 203 -217.

Evelin, H., Kapoor, R., 2014. Arbuscular mycorrhizal symbiosis modulates antioxidant response in salt-stressed Trigonella foenum-graecum plants. ***Mycorrhiza***, **24** (3): 197-208.

Evelin, H., Devi, T.S., Gupta, S., Kapoor, R., 2019. Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: current understanding and new challenges. ***Frontiers in Plant Science,*** **10**: 470.

Fahad, S., Rehman, L., Akram, S., Ahmad, T., Hussain, H., Ilyas, M., Shah, S.M., 2022. Morphological characterization of *Verticillium dahliae* isolated from olive trees in District Mardan. ***Biomedical Letters,*** **8** (1): 14-20.

Fan, S., Blake, T.G., 1994. Abscisic Acid Induced Electrolyte Leakage in Woody Species with Contrasting Ecological Require-ments. ***Plant Physiology and Biochemistry,*** **89**: 817-823.

Fang, J., Zhan, L., Ok, Y. S., Gao, B., 2018. Minireview of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass. ***Journal of Industrial and Engineering Chemistry,*** **57**: 15-21.

Faostat, 2020. Visualize Data. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize. (Erişim tarihi: 17.02.2022).

Farhangi-Abriz, S., Torabian, S., 2017. Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress. ***Ecotoxicology and Environmental Safety,*** **137**: 64-70.

Farhangi-Abriz, S., Torabian, S., 2018 a. Biochar improved nodulation and nitrogen metabolism of soybean under salt stress. ***Symbiosis,*** **74** (3): 215-223.

Farhangi-Abriz, S., Torabian, S., 2018 b. Effect of biochar on growth and ion contents of bean plant under saline condition. ***Environmental Science and Pollution Research,*** **25** (12): 11556-11564.

Fidan, E., Ekincialp, A., 2017. Bazı fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinin farklı seviyelerdeki tuz stresine gösterdikleri tepkilerin incelenmesi. ***Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi***, **27** (4): 558-568.

Fiorilli, V., Vallino, M., Biselli, C., Faccio, A., Bagnaresi, P., Bonfante, P., 2015. Host and non-host roots in rice: cellular and molecular approaches reveal differential responses to arbuscular mycorrhizal fungi. ***Frontiers in plant science,*** **6**: 636.

Fitt, B.D., Bauers, F., Burhenne, S., Paul, V. H., 1992. Occurrence of *Verticillium dahliae* on linseed (*Linum usitatissimum*) in the UK and Germany. ***Plant pathology***, **41** (1): 86-90.

Free, H.F., McGill, C.R., Rowarth, J.S., Hedley, M.J., 2010. The effect of bioçars on maize (*Zea mays*) germination. ***New Zealand journal of agricultural research,*** **53** (1): 1-4.

Gaffar, S., Riquelme, C., Jayachandran, K., 2021. Investigating the Effects of Twelve Biochars on the Growth of *Capsicum annuum* 'Jalapeno'Pepper, Microbial Population and Enzyme Activities in Soil. ***Journal of Horticultural Sciences,* 8**: 296.

Garmendia, I., Aguirreolea, J., Goicoechea, N., 2006. Defence-related enzymes in pepper roots during interactions with arbuscular mycorrhizal fungi and/or *Verticillium dahliae*. ***Biological Control,* 51** (3): 293-310.

Gayoso, C., De Ilárduya, O. M., Pomar, F., De Cáceres, F. M., 2007. Assessment of real time PCR as a method for determining the presence of *Verticillium dahliae* in different *Solanaceae* cultivars. ***European Journal of Plant Pathology,* 118**: 199-209.

Geleta, L.F., Labuschagne, M.T., 2006. Combining ability and heritability for vitamin C and total soluble solids in pepper (*Capsicum annuum* L.). ***Journal of the Science of Food and Agriculture,* 86** (9): 1317-1320.

Gerdemann L.W., Nicholson T.H., 1963. Spores of mycorrhizal endogene extraeted from soil by wet sieving and decanting, ***Transactions of the British Mycological Society,* 46**: 235-244.

Giono, B.R.W., Solle, M.S., Idrus, M.I., Sofyan, S., 2021. Utilization of biochar and mycorrhiza to increase the absorption of elemental nutrients of cayenne chili plant (*Capsicum fruntescnes* L.). ***Journal of Tropıcal Soıls,* 26** (2): 75-86.

Giovanetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesiculararbuscular mycorrhizal infection in roots. ***New Phytologist.,* 84**: 489-500.

Giri, B., Kapoor, R., Mukerji, K. G., 2007. Improved tolerance of Acacia nilotica to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. ***Microbial ecology,* 54** (4): 753-760.

Goicoechea, N., Aguirreolea, J., Cenoz, S., Garcia-Mina, J. M., 2000. *Verticillium dahliae* modifies the concentrations of proline, soluble sugars, starch, soluble protein and abscisic acid in pepper plants. ***European Journal of Plant Pathology,* 106** (1): 19-25.

Goicoechea, N., Garmendia, I., Sánchez-Díaz, M., Aguirreolea, J., 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) as bioprotector agents against wilt induced by *Verticillium* spp. in pepper. ***Spanish Journal of Agricultural Research,* 8**: 25-42.

Gomes da Silva, M., de Oliveira Gondim, A. R., Feitosa Lêdo, E. R., Francilino, A. H., da Silva, Y. A., Gheyi, H. R., 2021. Response of two pepper species (*Capsicum chinense* Jacq. and Capsicum frutescens L.) to salt stress at germination stage in Northeast Brazil. ***Revista de Ciencias Agrícolas,* 38** (2): 75-88.

Graber, E.R., Meller Harel, Y., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., Rav David, D., Elad, Y., 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. ***Plant and Soil,* 337** (1): 481-496.

Graber, E.R., Frenkel, O., Jaiswal, A.K., Elad, Y., 2014. How May Biochar İnfluence Severity of Diseases Caused by Soilborne Pathogens? ***Carbon Management,* 5** (2): 169-183.

Gujre, N., Soni, A., Rangan, L., Tsang, D.C., Mitra, S., 2021. Sustainable improvement of soil health utilizing biochar and arbuscular mycorrhizal fungi: A review. ***Environmental Pollution,* 268**: 115549.

Güldüren, Ş., 2012. ***Kuzey Doğu Anadolu Bölgesi ve Çoruh Vadisi'nden Toplanan Bazı Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Genotiplerinin Tuza Toleransı*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). ATAÜNİ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Güneş, H., Boyno, G., Durak, E.D., Demir, S., 2021. Çeşitli Organik Atıkların Barbunya Fasulyesi (*Phaseolus vulgaris* L. var. *Pinto*) Bitkisinin Gelişimine ve Arbusküler Mikorhizal Funguslar'a Etkisi. ***Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi,* 8** (2): 235-247.

Güvenç, İ., 2020. Türkiye'de Biber Üretimi, Dış Ticareti ve Rekabet Gücü. ***Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi,* 23** (2): 441-445.

Hajiboland, R., Aliasgharzadeh, N., Laiegh, S.F., Poschenrieder, C., 2010. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. ***Plant and Soil*, 331** (1): 313-327.

Hajiboland, R., 2013. Role of arbuscular mycorrhiza in amelioration of salinity. **In *Salt stress in plants***, 301-354. Springer, New York, NY.

Hallasgo, A. M., Hauser, C., Steinkellner, S., Hage-Ahmed, K., 2022. Single and coinoculation of Serendipita herbamans with arbuscular mycorrhizal fungi reduces *Fusarium* wilt in tomato and slows disease progression in the long-term. ***Biological Control***, **168**: 104876.

Hameed, A., Dilfuza, E., Abd-Allah, E. F., Hashem, A., Kumar, A., Ahmad, P., 2014. Salinity stress and arbuscular mycorrhizal symbiosis in plants. **In *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses*, 1:** 139-159.

Hammer, E.C., Balogh-Brunstad, Z., Jakobsen, I., Olsson, P.A., Stipp, S.L., Rillig, M.C., 2014. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces. ***Soil Biology and Biochemistry*, 77**: 252-260.

Hansen, J.W. Is Agricultural Sustainability a Useful Concept? 1996. ***Agricultural Systems***, **50:** 117–143.

Harrier, L. A., Watson, C. A., 2004. The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. ***Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 60** (2): 149-157.

Hasanuzzaman, M., Gill, S. S., Fujita, M., 2013. Physiological role of nitric oxide in plants grown under adverse environmental conditions. **In *Plant acclimation to environmental stress*,** 269-322. Springer, New York, NY.

Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A.M., Alqarawi, A.A., Al-Arjani, A.B.F., Singh, G., Abd_Allah, E.F., 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. ***Saudi Journal of Biological Sciences*, 26** (3): 614-624.

Hatzig, S., Kumar, A., Neubert, A., Schubert, S., 2010. PEP-carboxylase activity: a comparison of its role in a C4 and a C3 species under salt stress. ***Journal of Agronomy and Crop Science*, 196**:185-192.

He, D., Xiang, X., He, J.S., Wang, C., Cao, G., Adams, J., Chu, H., 2016. Composition of The Soil Fungal Community is More Sensitive to Phosphorus Than Nitrogen Addition in The Alpine Meadow on The Qinghai-Tibetan Plateau. ***Biology and Fertility of Soils*, 52** (8): 1059-1072.

Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Circular California Agricultural Experiment Station. ***University of California, Berkeley***, 347.

Hooker, J.E., Jaizme-Vega, M., Atkinson, D., 1994. Biocontrol of plant pathogens using arbuscular mycorrhizal fungi. ***In Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems.*** 191-200. Birkhäuser, Basel.

Horrigan, L., Lawrence, R.S., Walker, P., 2002. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. ***Environmental Health Perspectives*, 110** (5): 445-456.

Hu, J., Hou, S., Li, M., Wang, J., Wu, F., Lin, X., 2020. The better suppression of pepper Phytophthora blight by arbuscular mycorrhizal (AM) fungus than Purpureocillium lilacinum alone or combined with AM fungus. ***Journal of Soils and Sediments*, 20** (2): 792-800.

Huang, J., Li, H., Yuan, H., 2006. Effect of organic amendments on *Verticillium* wilt of cotton. ***Crop Protection***, **25** (11): 1167-1173.

Huang, Z., He, C.X., He, Z.Q., Zou, Z.R., Zhang, Z.B., 2010. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxyradical scavenging system of tomato under salt tolerance. ***Agricultural Sciences in China***, **9** (8): 1150-1159.

Ibrahim, M.E.H., Ali, A.Y.A., Elsiddig, A.M.I., Zhou, G., Nimir, N.E.A., Agbna, G.H., Zhu, G., 2021. Mitigation effect of biochar on sorghum seedling growth under salinity stress. ***Pakistan Journal of Botany*, 53.**

Iijima, M., Yamane, K., Izumi, Y., Daimon, H., Motonaga, T., 2015. Continuous application of biochar inoculated with root nodule bacteria to subsoil enhances yield of soybean by the nodulation control using crack fertilization technique. ***Plant Production Science,* 18** (2): 197-208.

Imran, S., Sarker, P., Hoque, M.N., Paul, N.C., Mahamud, M.A., Chakrobortty, J., Solaiman, Z., 2022. Biochar actions for the mitigation of plant abiotic stress. ***Crop and Pasture Science.***

Ippolito, J. A., Laird, D. A., Busscher, W.J., 2012. Environmental benefits of biochar. ***Journal of Environmental Quality,* 41** (4): 967-972.

Isaac, I., 1967. Speciation in *Verticillium*. ***Annual Review of Phytopathology***. 201-222.

Isayenkov, S.V., Maathuis, F.J., 2019. Plant salinity stress: many unanswered questions remain. ***Frontiers in Plant Science,* 10**: 80.

İslam, E., 2016. ***Fındık Zurufu Kompostunun Toprak Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). ODÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.

Jaaf, S. M. M. A., Li, Y., Günal, E., El Enshasy, H. A., Salmen, S. H., Sürücü, A., 2022. The impact of corncob biochar and poultry litter on pepper (*Capsicum annuum* L.) growth and chemical properties of a silty-clay soil. ***Saudi Journal of Biological Sciences,* 29** (4): 2998-3005.

Jaafar, N.M., 2014. Biochar as a Habitat for Arbuscular Mycorrhizal Fungi. **In** ***Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration.*** (297-311). Springer, Berlin, Heidelberg.

Jabborova, D., Annapurna, K., Choudhary, R., Bhowmik, S. N., Desouky, S. E., Selim, S., Elkelish, A., 2021. Interactive Impact of Biochar and Arbuscular Mycorrhizal on Root Morphology, Physiological Properties of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and Soil Enzymatic Activities. ***Agronomy,* 11** (11): 2341.

Jackson, M.L., 1958. ***Chemical Composition of Soils.*** 71-141. In F.E. Bear (ed.) Chemistry of the soil, 2nd edition. Reinhold Publ. Corp., New York.

Jahromi, F., Aroca, R., Porcel, R., Ruiz-Lozano, J.M., 2008. Influence of salinity on the in vitro development of *Glomus intraradices* and on the in vivo physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants. ***Microbial Ecology,* 55** (1): 45-53.

Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., Foolad, M.R., 2011. Gene expression profiling of plants under salt stress. Crit. Rev. ***Plant Science,* 30** (5): 435-458.

Jebara, S., Drevon, J.J., Jebara, M., 2010. Modulation of symbiotic efficiency and nodular antioxidant enzyme activities in two *Phaseolus vulgaris* genotypes under salinity. ***Acta Physiologiae Plantarum*, 32** (5): 925-932.

Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, AC., Van Groenigen, JW., Hungate, BA., Verheijen, F., 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. ***Environmental Research Letters,* 12** (5): 053001.

Kacar, B., 1984. ***Bitki Besleme Uygulama Kılavuzu,*** Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları : 900. Uygulama Kılavuzu, 214. Ankara. 140s.

Kacjan Maršić, N., Štolfa, P., Vodnik, D., Košmelj, K., Mikulič-Petkovšek, M., Kump, B., Šircelj, H., 2021. Physiological and Biochemical Responses of Ungrafted and Grafted Bell Pepper Plants (*Capsicum annuum* L. var. *grossum* (L.) Sendtn.) Grown under Moderate Salt Stress. ***Plants,* 10** (2): 314.

Kang, W.H., Sim, Y.M., Koo, N., Nam, J.Y., Lee, J., Kim, N., Yeom, S.I., 2020. Transcriptome profiling of abiotic responses to heat, cold, salt, and osmotic stress of *Capsicum annuum* L. ***Scientific Data,*** **7** (1): 1-7.

Kaouther, Z., Mariem, B.F., Fardaous, M., Cherif, H., 2012. Impact of salt stress (NaCl) on growth, chlorophyll content and fluorescence of Tunisian cultivars of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). ***Journal of Stress Physiology & Biochemistry,*** **8** (4): 236-252.

Kapoor, R., Sharma, D., Bhatnagar, A. K., 2008. Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. ***Scientia Horticulturae****,* **116** (3): 227-239.

Kapoor, R., Evelin, H., Mathur, P., Giri, B., 2013. Arbuscular mycorrhiza: approaches for abiotic stress tolerance in crop plants for sustainable agriculture. ***In Plant acclimation to environmental stress,*** 359-401. Springer, New York, NY.

Kapoulas, N., Ilić, Z. S., Koukounaras, A., Ipsilantis, I., 2019. Application of arbuscular mycorrhizal inoculum in greenhouse soil with manure induced salinity for organic pepper production. ***Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus****,* **18** (1): 129-139.

Karaağaç, O., Kübra, T.A.Ş., Özgen, R., Kanal, A., Balkaya, A., 2020. *Capsicum* türlerinin kök yapılarının incelenmesi ve kök özellikleri yönünden karşılaştırılması. ***Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi,*** **30** (2): 266-279.

Karagiannidis, N., Bletsos, F., Stavropoulos, N., 2002. Effect of *Verticillium* wilt (*Verticillium dahliae* Kleb.) and mycorrhiza (*Glomus mosseae*) on root colonization, growth and nutrient uptake in tomato and eggplant seedlings. ***Scientia Horticulturae,*** **94** (1-2): 145-156.

Kaushal, J., Mehandia, S., Singh, G., Raina, A., Arya, S. K., 2018. Catalase enzyme: Application in bioremediation and food industry. ***Biocatalysis and Agricultural Biotechnology,*** **16:** 192-199.

Kaya, E., 2011. ***Erken Bitki Gelişme Aşamasında Kuraklık ve Tuzluluk Streslerine Tolerans Bakımından Fasulye Genotiplerinin Taranması*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). ÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Kehri, H.K., Akhtar, O., Zoomi, I., Pandey, D., 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi: taxonomy and its systematics. ***International Journal of Life Sciences Research,*** **6** (4): 58-71.

Keshavarz Afshar, R., Hashemi, M., DaCosta, M., Spargo, J., Sadeghpour, A., 2016. Biochar application and drought stress effects on physiological characteristics of Silybum marianum. ***Communications in Soil Science and Plant Analysis,*** **47** (6): 743-752.

Kesimci, T.G., Demirci, E., Şimşek, U., Tohumcu, F., Erdel, E., 2019. Çilek bitkilerinde besin elementi miktarına *Verticillium dahliae*'nın etkisi*.* ***Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,*** **9** (2): 626-635.

Khalloufi, M., Martínez-Andújar, C., Lachaâl, M., Karray-Bouraoui, N., Pérez-Alfocea, F., Albacete, A., 2017. The interaction between foliar GA3 application and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improves growth in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by modifying the hormonal balance. ***Journal of Plant Physiology,*** **214**: 134-144.

Khan, H.A., Pervez, M.A., Ayub, C.M., Ziaf, K., Balal, R.M., Shahid, M.A., Akhtar, N., 2009. Hormonal priming alleviates salt stress in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). ***Soil and Environment,*** **28** (2): 130-135.

Khaosaad, T., Garcia-Garrido, J. M., Steinkellner, S., Vierheilig, H., 2007. Take-all disease is systemically reduced in roots of mycorrhizal barley plants. ***Soil Biology and Biochemistry****,* **39** (3): 727-734.

Khaskheli, M.I., Sun, J.L., He, S.P., Du, X.M., 2013. Screening of Cotton Germplasm for Resistance to *Verticillium dahlia* Kleb. Under Greenhouse and Field Conditions. ***European Journal of Plant Pathology,*** **137** (2): 259-272.

Khrieba, M. I., Sharifnabi, B., Zangeneh, S., 2019. Interaction between Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF) with *Verticillium dahliae* Kleb. on Olive Tree under Greenhouse Conditions. ***Research Journal of Agricultural Sciences,*** **6** (3): 185-191.

Kireçci, O. A., 2018. Bitkilerde enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar. ***Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi***, **7** (2): 473-483.

Klimes, A., Dobinson, K.F., Thomma, B.P., Klosterman, S.J., 2015. Genomics spurs rapid advances in our understanding of the biology of vascular wilt pathogens in the genus *Verticillium*. ***Annual Review of Phytopathology,*** **53**: 181-198.

Kılıç, A. F., 2016. Uyum Analizi (Correspondence Analysis). ***YBS ansiklopedi,*** **3** (1): 1-20.

Kolton, M., Meller Harel, Y., Pasternak, Z., Graber, E. R., Elad, Y., Cytryn, E., 2011. Impact of biochar application to soil on the root-associated bacterial community structure of fully developed greenhouse pepper plants. ***Applied and Environmental Microbiology,*** **77** (14): 4924-4930.

Kothari, S. K., Marschner, H., Römheld, V., 1990. Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on acquisition of mineral nutrients by maize (Zea mays L.) in a calcareous soil. ***New Phytologist,*** **116** (4): 637-645.

Kotuby-Amacher, J., Koenig, R., Kitchen, B. 2000. ***Salinity and Plant Tolerance***. Electronic Publication AG-SO-03, Utah State University Extension, Logan.

Kowalska, B., 2021. Management of the soil-borne fungal pathogen *Verticillium dahliae* Kleb. causing vascular wilt diseases. ***Journal of Plant Pathology,*** **103** (4): 1185-1194.

Köksal, N., Külahlıoğlu, İ. 2013. Tuz stresinin sümbül (Hyacinthus orientalis) bitkisinin gelişimine etkisi. ***V. Süs Bitkileri Kongresi.*** 06-09 Mayıs 2013,Yalova. 860-865.

Krishnamoorthy, R., Kim, K., Kim, C., Sa, T., 2014. Changes of arbuscular mycorrhizal traits and community structure with respect to soil salinity in a coastal reclamation land. ***Soil Biology and Biochemistry***, **72**: 1-10.

Kumar, A., Elad, Y., Tsechansky, L., Abrol, V., Lew, B., Offenbach, R., Graber, E. R., 2018. Biochar potential in intensive cultivation of *Capsicum annuum* L.(sweet pepper): crop yield and plant protection. ***Journal of the Science of Food and Agriculture,*** **98** (2): 495-503.

Kuşvuran, Ş., 2010. ***Kavunlarda Kuraklık ve Tuzluluğa Toleranslı Fizyolojik Mekanizmalar Arasındaki Bağlantılar*** (doktora tezi, basılmamış). Ç.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Küçükyumuk, Z., Gültekin, M., Erdal, I., 2014. Effects of vermicompost and mycorrhiza on plant growth and mineral nutrition in pepper. ***Ziraat Fakültesi Dergisi-Süleyman Demirel Üniversitesi,*** **9** (1): 51-58.

Laghari, M., Mirjat, MS., Hu, Z., Fazal, S., Xiao, B., Hu, M., Chen, Z., Guo, D., 2015. Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. ***Catena,*** **135**: 313-320.

Lala, F., Jasil, Y., Habeahan, K., Bayuaji, H., Wahab, A., 2021. The effect of arbuscular mycorrhizal fungus on morphological characters and yield of cayenne pepper (*Capsicum frutescens* L.). ***In E3S Web of Conferences***. Vol. 306 EDP Sciences

Latef, A.A.H.A., Chaoxing, H., 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. ***Scientia Horticulturae***, **127** (3): 228-233.

Latef, A. A. H. A., Hashem, A., Rasool, S., Abd_Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Egamberdieva, D., Ahmad, P., 2016. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and abiotic stress in plants: a review. ***Journal of Plant Biology***, **59** (5): 407-426.

Lee, J.E., Lee, E.H., Eom, A.H., 2021. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Inoculation on the Growth of Red Pepper and Soil Glomalin Content. ***The Korean Journal of Mycology,*** **49**: 518.

Lehmann, J., Joseph, S., 2009. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), Biochar For Environmental Management: ***Science and Technology***. Earthsan, London, Uk, P. 416.

Li, N., Kang, S., 2018. Do volatile compounds produced by *Fusarium oxysporum* and *Verticillium dahliae* affect stress tolerance in plants? ***Mycology*, 9** (3): 166-175.

Li, F., Guo, Y.E., Christensen, M.J., Gao, P., Li, Y., Duan, T., 2018. An arbuscular mycorrhizal fungus and *Epichloë festucae* var. *lolii* reduce Bipolaris sorokiniana disease incidence and improve perennial ryegrass growth. ***Mycorrhiza*, 28** (2): 159-169.

Li, X., Wang, X., Shi, X., Wang, Q., Li, X., Zhang, S., 2020. Compost tea-mediated induction of resistance in biocontrol of strawberry *Verticillium* wilt. ***Journal of Plant Diseases and Protection*, 127** (2): 257-268.

Li, X., Qi, Z., Yu, X., Xu, M., Liu, Z., Du, G., Yang, Y., 2021 a. Soil pH drives the phylogenetic clustering of the arbuscular mycorrhizal fungal community across subtropical and tropical pepper fields of China. ***Applied Soil Ecology*, 165**: 103978.

Li, M., Hou, S., Wang, J., Hu, J., Lin, X., 2021 b. Arbuscular mycorrhizal fungus suppresses tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) *Ralstonia* wilt via establishing a soil–plant integrated defense system. ***Journal of Soils and Sediments***, **21** (11): 3607-3619.

Li, M., Cai, P., Hou, S., Cheng, Z., Wu, F., Lin, X., Hu, J., 2022. Degradation of soil arbuscular mycorrhizal fungal diversity and functionality accompanied by the aggravation of pepper Phytophthora blight in a facility shed in Southwest China. ***Land Degradation & Development.***

Linderman, R.G., 1994. ***Role of VAMF in biocontrol.*** In: Mycorrhizae and Plant Health (Eds.: Pfleger, F.L and Linderman, R.G.). ASP, St. Paul, 1-26.

Lingua, G., D'Agostino, G., Massa, N., Antosiano, M., Berta, G., 2002. Mycorrhiza-induced differential response to a yellows disease in tomato. ***Mycorrhiza***, **12** (4): 191-198.

Liu, G., Liu, R.L., Zhang, W.G., Yang, Y.B., Bi, X. Q., Li, M.Z., Zhu, Z.H., 2021. Arbuscular mycorrhizal colonization rate of an exotic plant, Galinsoga quadriradiata, in mountain ranges changes with altitude. ***Mycorrhiza*, 31** (2): 161-171.

Liu, J., Zheng, Z., Zhou, X., Feng, C., Zhuang, Y., 2015. Improving the resistance of eggplant (*Solanum melongena*) to *Verticillium* wilt using wild species *Solanum linnaeanum*. ***Euphytica*, 201** (3): 463-469.

Lugtenberg, B., Chin-A-Woeng, T., Bloemberg, G., 2002. Microbeplant interactions: principles and mechanisms. ***Antonie Van Leeuwenhoek.* 81**: 373–383.

Ma, X., Li, X., Ludewig, U., 2021. Arbuscular mycorrhizal colonization outcompetes root hairs in maize under low phosphorus availability. ***Annals of Botany*, 127** (1): 155-166.

Macrae, R.J., Hill, S.B., Henning, J., Mehuys, G.R., 1989. Agricultural science and sustainable agriculture: a review of the existing scientific barriers to sustainable food production and potential solutions. ***Biological Agriculture & Horticulture*, 6** (3): 173-219.

Mahajan, S., Tuteja, N., 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. ***Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444** (2): 139-158.

Mahmoud, A.W.M., Samy, M.M., Sany, H., Eid, R.R., Rashad, H.M., Abdeldaym, E.A. 2022. Nanopotassium, Nanosilicon, and Biochar Applications Improve Potato Salt Tolerance by Modulating Photosynthesis, Water Status, and Biochemical Constituents. ***Sustainability*, 14** (2): 723.

Math, S., Arya, S., Sonawane, H., Patil, V., Chaskar, M., 2019. Arbuscular mycorrhizal (*Glomus fasciculatum*) fungi as a plant immunity booster against fungal pathogen. ***Current Agriculture Research Journal*, 7** (1): 99.

Mcgovern, R. J., 2015. Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. ***Crop Protection***, **73**: 78-92.

Mehmood, S., Ahmed, W., Ikram, M., Imtiaz, M., Mahmood, S., Tu, S., Chen, D., 2020. Chitosan modified biochar increases soybean (*Glycine max* L.) resistance to salt-stress by

augmenting root morphology, antioxidant defense mechanisms and the expression of stress-responsive genes. ***Plants,*** **9** (9): 1173.

Mehta, C. M., Palni, U., Franke-Whittle, I. H., Sharma, A. K., 2014. Compost: its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. ***Waste Management***, **34** (3): 607-622.

Merina Prem Kumari, S., Jeberlin Prabina, B., 2019. Protection of tomato, *Lycopersicon esculentum* from wilt pathogen, *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* by arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus* sp. ***International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,*** **8** (4): 1368-1378

Mert, M., Kurt, S., Gencer, O., Akiscan, Y., Boyaci, K., Tok, F.M., 2005. Inheritance of Resistance to *Verticillium* Wilt *(Verticillium dahliae)* in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). ***Plant Breeding,*** **124**: 102-104.

Miceli, A., Vetrano, F., Moncada, A., 2020. Effects of foliar application of gibberellic acid on the salt tolerance of tomato and sweet pepper transplants. ***Horticulturae***, **6** (4): 93.

Mishra, V.K., Jha, S.K., Damodaran, T., Singh, Y.P., Srivastava, S., Sharma, D.K., Prasad, J., 2019. Feasibility of coal combustion fly ash alone and in combination with *gypsum* and green manure for reclamation of degraded sodic soils of the Indo-Gangetic Plains: A mechanism evaluation. ***Land Degradation & Development,*** **30** (11): 1300-1312.

Mohammadi, A. H., Banihashemi, Z., Maftoun, M., 2007. Interaction between salinity stress and Verticillium wilt disease in three pistachio rootstocks in a calcareous soil. ***Journal of Plant Nutrition***, **30** (2): 241-252.

Mohawesh, O., Albalasmeh, A., Gharaibeh, M., Deb, S., Simpson, C., Singh, S., Hanandeh, A. E., 2021. Potential use of biochar as an amendment to ımprove soil fertility and tomato and bell pepper growth performance under arid conditions. ***Journal of Soil Science and Plant Nutrition,*** **21** (4): 2946-2956.

Morandi, D., 1996. Occurrence of phytoalexins and phenolic compounds in endomycorrhizal interactions, and their potential role in biological control. ***Plant and Soil,*** **185** (2): 241-251.

Mozafari, A.A., Ghaderi, N., Havas, F., Dedejani, S., 2019. Comparative investigation of structural relationships among morpho-physiological and biochemical properties of strawberry (Fragaria× ananassa Duch.) under drought and salinity stresses: A study based on in vitro culture. ***Scientia Horticulturae***, **256**: 108601.

Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H.S., Sharma, P.C., Bolan, N.S., 2021. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. ***Journal of Environmental Management,*** **280**: 111736.

Munns, R., 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together**.** ***New Phytol.,*** **67**: 645-663.

Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. ***Annual Review of Plant Biology,*** **59**: 651-681.

Nair, P.V.R., Wiechel, T.J., Crump, N.S., Taylor, P.W.J., 2019. Seed tuber incidence, identification and pathogenicity of *Verticillium* species infecting potatoes in South East Australia. ***Australasian Plant Pathology,*** **48** (6): 637-650.

Nurbaity, A., 2014. Application of AM Fungi in Remediation of Saline Soils. **In** ***Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration.*** 313-324. Springer, Berlin, Heidelberg.

Novak, J. M., Busscher, W. J., Watts, D. W., Amonette, J. E., Ippolito, J. A., Lima, I. M., Schomberg, H., 2012. Biochars impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. ***Soil Science***, **177** (5): 310-320.

Nzanza, B., Marais, D., Soundy, P., 2012. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation and biochar amendment on growth and yield of tomato. ***Internatıonal Journal of Agrıculture & Biology.*** **14** (6): 965-969.

Ogundeji, A.O., Li, Y., Liu, X., Meng, L., Sang, P., Mu, Y., Li, S., 2021. Eggplant by grafting enhanced with biochar recruits specific microbes for disease suppression of *Verticillium* wilt. ***Applied Soil Ecology,* 163**: 103912.

Ohsowski, B.M., Zaitsoff, P.D., Öpik, M., Hart, M.M., 2014. Where the wild things are: looking for uncultured Glomeromycota. ***New Phytologist,* 204** (1): 171-179.

Okay, C.Ö., 2019. ***Nitelikli Biber Islah Hatlarının Genetik ve Bazı Virüs Hastalıklarına Dayanıklılık Yönünden Moleküler Karakterizasyonu*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). ODÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.

Ombodi, A., GóGáN, A.C., Birkas, Z., Kappel, N., Morikawa, C.K., Koczka, N., Posta, K., 2019. Effects of mycorrhiza inoculation and grafting for sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) crop under low-tech greenhouse conditions. ***Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca,* 47 (**4): 1238-1245.

Orak, A.B., Demir, S., 2011. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus and different phosphorus doses against cotton wilt caused *Verticillium dahliae* Kleb. ***Plant Pathology Journal,* 10** (3): 108-114.

Ortas, I., Sari, N., Akpinar, Ç., Yetisir, H., 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. ***Scientia Horticulturae,* 128** (2): 92-98.

Ossai, C., 2021. Poultry manure and arbuscular mycorrhiza fungi remediation of sodium chloride induced substrate salinity for Pepper production. ***Journal of Current Opinion in Crop Science,* 2** (3): 363-368.

Özalp, R., 2010. Ülkemizde biber üretimi ve örtüaltı biber yetiştiriciliği. ***Tarım Türk Dergisi,* 24** (5): 29-32.

Palansooriya, K.N., Yang, Y., Tsang, Y.F., Sarkar, B., Hou, D., Cao, X., Ok, Y. S., 2020. Occurrence of contaminants in drinking water sources and the potential of biochar for water quality improvement: a review**. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology,* 50** (6): 549-611.

Palta, Ş., Demir, S., Şengönül, K., Kara, Ö., Şensoy, H., 2010. Arbüsküler mikorizal funguslar (AMF), bitki ve toprakla ilişkileri, mera ıslahındaki önemleri. ***Bartın Orman Fakültesi Dergisi,* 12** (18): 87-98.

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., Prasad, S. M., 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. ***Environmental Science and Pollution Research***, **22** (6): 4056-4075.

Pegg, G.F., Brady, B.L., 2002. *Verticillium* Wilts. CABI Publishing. ***CAB International Wallingford****, UK*.

Phillips, J.M., Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. ***Transactions of the British Mycological Society,* 55** (1): 158-161.

Ren, L., Lou, Y., Sakamoto, K., Inubushi, K., Amemiya, Y., Shen, Q., Xu, G., 2010. Effects of arbuscular mycorrhizal colonization on microbial community in rhizosphere soil and Fusarium wilt disease in tomato. ***Communications in Soil Science and Plant Analysis***, **41** (11): 1399-1410.

Ryan, M. H., Graham, J. H., 2002. Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? ***Plant and Soil***, **244** (1): 263-271.

Pola, W., Sugaya, S., Photchanachai, S. 2020. Influence of postharvest temperatures on carotenoid biosynthesis and phytochemicals in mature green chili (*Capsicum annuum* L.). ***Antioxidants,* 9** (3): 203.

Poveda, J., Martínez-Gómez, Á., Fenoll, C., Escobar, C., 2021. The Use of Biochar for Plant Pathogen Control. ***Phytopathology***, **111** (9): 1490-1499.

Pozo, M.J., Jung, S.C., López-Ráez, J.A., Azcón-Aguilar, C., 2010. Impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on plant response to biotic stress: the role of plant defence mechanisms. ***In Arbuscular mycorrhizas: physiology and function.*** 193-207. Springer, Dordrecht.

Qados, A. A., 2015. Effects of salicylic acid on growth, yield and chemical contents of pepper (*Capsicum annuum* L,) plants grown under salt stress conditions. ***International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS),*** **8** (2): 107-113.

Quicker, P., Weber, K., 2016. Biokohle. ***Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten. Wiesbaden***.

Rahim, I., 2021. Vegetative phase of pepper plants on the combination of compost and biochar with the addition of mycorrhiza. ***In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.*** 807. IOP Publishing.

Rahou, Y. A., Boutaj, H., Boutasknıt, A., Douıra, A., Benkırane, R., El Modafar, C. H. E. R. K. A. O. U. I., Meddıch, A., 2021. Colonızatıon of tomato roots wıth Arbuscular Mycorrhızal Fungı changes of antıoxıdatıve actıvıty and ımproves tolerance to *Verticillium dahliae*. ***Plant Cell Bıotechnology and Molecular Bıology***, 65-81.

Rekanovic, E., Milijasevic, S., Todorovic, B., Potocnik, I., 2007. Possibilities of biological and chemical control of *Verticillium* wilt in pepper. ***Phytoparasitica,*** **35** (5): 436-441.

Rousk, J., Brookes, P.C., Baath, E., 2009. Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. ***Applied and Environmental Microbiology,*** **75** (6): 1589-1596.

Ruiz-Lozano, J.M., Porcel, R., Azcón, C., Aroca, R., 2012. Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. ***Journal of Experimental Botany,*** **63** (11): 4033-4044.

Sá, F.V.D.S., Souto, L.S., Paıva, E.P.D., Torres, S. B., Olıveıra, F.A.D., 2019. Initial development and tolerance of pepper species to salinity stress. ***Revista Catinga,*** **32**: 826-833.

Saadatmand, A. R., Banihashemi, Z., Sepaskhah, A. R., Maftoun, M., 2008. Soil salinity and water stress and their effect on susceptibility to Verticillium wilt disease, ion composition and growth of pistachio. ***Journal of phytopathology***, **156** (5): 287-292.

Sagar, A., Rathore, P., Ramteke, P. W., Ramakrishna, W., Reddy, M. S., Pecoraro, L., 2021. Plant growth promoting rhizobacteria, arbuscular mycorrhizal fungi and their synergistic interactions to counteract the negative effects of saline soil on agriculture: Key macromolecules and mechanisms. ***Microorganisms,*** **9** (7): 1491.

Safaei Asadabadi, R., Hage-Ahmed, K., Steinkellner, S., 2021. Biochar, compost and arbuscular mycorrhizal fungi: a tripartite approach to combat *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. ***Journal of Plant Diseases and Protection,*** **128** (6): 1433-1445.

Saltali, K., Sari, H., Mendil, D., Altin, S., 2004. Cadmium and phosphorus accumulates in soil under intensive cultivation in Turkey. ***Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science,*** **54** (4): 267-272.

Sarabi, B., Bolandnazar, S., Ghaderi, N., Ghashghaie, J., 2017. Genotypic differences in physiological and biochemical responses to salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.) plants: Prospects for selection of salt tolerant landraces. ***Plant Physiology and Biochemistry,*** **119**: 294- 311.

Sayğan, E.P., 2017. ***Biyokömürün (Biochar) Toprak Düzenleyicisi Olarak Kullanım Potansiyellerinin Belirlenmesi*** (doktora tezi). HÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Schenck, N.C., 1987. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and the control of fungal root disease. ***In: Innovative Approaches to Plant Disease Control*** (Ed.: Chet, I.). Wiley, New York, 179-191.

Schnathorst, W.C. 1981. Life Cycle and Epidemiology of *Verticillium*. ***Fungal Wilt Diseases of Plants.*** Academic Pres, New York, 640.

Schüßler A, Schwarzott, D., Walker, C., 2001. A new fungal *phylum*, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. ***Mycological Research,*** **105**: 1413–1421.

Schüßler, A., Walker, C., 2010. The Glomeromycota: a species list with new families and new genera. ***Effectively Published***. Gloucester, England

Selvakumar, G., Shagol, C.C., Kang, Y., Chung, B.N., Han, S.G., Sa, T.M., 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi spore propagation using single spore as starter inoculum and a plant host. ***Journal of applied microbiology,*** **124** (6): 1556-1565.

Sensoy, S., Demir, S., Turkmen, O., Erdinc, C., Savur, O. B., 2007. Responses of some different pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi. ***Scientia Horticulturae,*** **113** (1): 92-95.

Seymen, M., Yavuz, D., Dursun, A., Kurtar, E.S., Türkmen, Ö., 2019. Identification of drought-tolerant pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) genotypes associated with certain fruit characteristics, seed yield, and quality. ***Agricultural Water Management***, **221**: 150-159.

Seymen, M., 2020. ***Çerezlik Kabakta (Cucurbita Pepo L.) Kuraklığa Tolerant Genotiplerin Fizyolojik ve Agronomik Yöntemlerle Araştırılması.*** (doktora tezi) SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Shahbaz, M., Ashraf, M., 2013. Improving salinity tolerance in cereals Crit. Rev. ***Plant Science,*** **32**: 237-249.

Shams, M., 2019. ***Tuz Stresinin Biberde Bitki Gelişimi, Fizyolojik ve Biokimyasal Özellikler, Dna Metilasyonu ile Tohum Çimlenmesi Üzerine Etkisi*** (doktora tezi). ATAÜNİ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Shams, M., Ekinci, M., Ors, S., Turan, M., Agar, G., Kul, R., Yildirim, E., 2019. Nitric oxide mitigates salt stress effects of pepper seedlings by altering nutrient uptake, enzyme activity and osmolyte accumulation. ***Physiology and Molecular Biology of Plants,*** **25** (5): 1149-1161.

Sharma, R., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., Kumar, A., 2020. A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. ***Computers & Operations Research,*** **119**: 104926.

Shelke, D.B., Pandey, M., Nikalje, G., Zaware, B.N., Suprasanna, P., 2017. Salt responsive physiological, photosynthetic and biochemical attributes at early seedling stage for screening soybean genotypes. ***Plant Physiology and Biochemistry***, **118**: 519-528.

Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F., Huang, Y., 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. ***Mycorrhiza***, **18** (6): 287-296.

Shi, R.Y., Hong, Z.N., Li, J.Y., Jiang, J., Kamran, M.A., Xu, R.K., Qian, W., 2018. Peanut straw biochar increases the resistance of two Ultisols derived from different parent materials to acidification: A mechanism study. ***Journal of Environmental Management,*** **210**: 171-179.

Shrivastava, P., Kumar, R., 2015. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. ***Saudi journal of biological sciences,*** **22** (2): 123-131.

Siebrecht, N., 2020. Sustainable agriculture and its implementation gap-overcoming obstacles to implementation. ***Sustainability,*** **12** (9): 3853.

Singh, A.K., Arora, S., Singh, Y.P., Verma, C.L., Bhardwaj, A.K., Sharma, N., 2018. Water use in rice crop through different methods of irrigation in a sodic soil. ***Paddy and Water Environment,*** **16** (3): 587-593.

Singh, A., Kumar, R., Singh, D., 2019. Mycorrhizal fungi as biocontrol agent for soil borne pathogens: a review***. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry,*** **8**: 281-284.

Singh, A., Sharma, R., Pant, D., Malaviya, P., 2021. Engineered algal biochar for contaminant remediation and electrochemical applications. ***Science of The Total Environment,* 774**: 145676.

Sinha, R., 2009. Modeling stress and drug craving in the laboratory: implications for addiction treatment development. ***Addiction Biology,* 14** (1): 84-98.

Smith, S.E., Facelli, E., Pope, S., Andrew Smith, F., 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. ***Plant and Soil,* 326** (1): 3-20.

Smith, S. E., Read, DJ., 2010. **Mycorrhizal Symbiosis**. Academic press.

Soesanto, L., Termorshuizen, A. J., 2001. Effect of temperature on the formation of microsclerotia of *Verticillium dahliae*. ***Journal of Phytopathology*, 149** (11-12): 685-691.

Sohı, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., Bol, R., 2010. ***Biochar, Climate Change and Soil: A Review to Guide Future Research.*** Rep. No. 05/09. CSIRO.

Solaiman, Z.M., Abbott, L.K., Murphy, D.V., 2019. Biochar phosphorus concentration dictates mycorrhizal colonisation, plant growth and soil phosphorus cycling. ***Scientific Reports,* 9** (1): 1-11.

Sosa-Hernández, M.A., Leifheit, E.F., Ingraffia, R., Rillig, M.C., 2019. Subsoil Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Sustainability and Climate-Smart Agriculture: A Solution Right Under Our Feet? ***Frontiers in Microbiology,* 10**: 744.

Staff, U. S., Salinity Lab., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. ***Agricultural Handbook,*** 60: United State Department of Agriculture.

St-Arnaud, M., Vujanovic, V., 2007. Effect of the arbuscular mycorrhizal symbiosis on plant diseases and pests. ***Mycorrhizae in Crop Production,*** 67-122.

Sundha, P., Basak, N., Rai, A.K., Yadav, R.K., Sharma, P.C., Sharma, D.K., 2020. Can conjunctive use of gypsum, city waste composts and marginal quality water rehabilitate saline-sodic soils? ***Soil and Tillage Research,* 200**: 104608.

Swain, T., Hillis, W.E., 1959. The phenolic constituents of *Prunusdomestica* L. The quantitative analysis of phenolic constituents. ***Journal of the Science of Food and Agriculture,* 10**: 63–68.

Şalk, A., Arın, L., Deveci, M., Polat, S., 2008. **Özel sebzecilik**, Tekirdağ. 448.

Şavur, O.B., 2015. ***Domates kök ve kök boğazı çürüklüğü hastalığına (Fusarium oxysporum f.sp. radicis- lycopersici jarvis & shoemaker) karşı arbusküler mikorhiza (amf) ve salisilik asit uygulamalarının domates (Solanum lycopersicum L.) bitkisinin bazı gelişim ve verim parametreleri ile hastalık şiddetine etkisi.*** (doktora tezi). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Tahat , M.M., Kamaruzaman, Sijan and Othman, R., 2010. Mycorrhizal fungi as biocontrol agent. ***Plant Pathology. J,* 9**: 198-207.

Talaat, N.B., Shawky, B.T., 2014. Protective effects of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat (Triticum aestivum L.) plants exposed to salinity. ***Environmental and Experimental Botany,* 98**: 20-31.

Talukder, M., Sarkar, A., Rashid, M., 2019. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in the bioprotection of ash gourd (*Benincasa hispida*) against damping off disease. ***Fundamental and Applied Agriculture,* 4** (1): 704–712.

Tıan, L., Lı, J. J., Daı Xiao-Feng, Z. D. D., Chen, J. Y., 2022. From Functional Genes to Biological Characteristics: The Molecular Basis of Pathogenicity in *Verticillium dahliae*. ***Biotechnology Bulletin*, 38** (1): 51.

Tito, G. A., Chaves, L. H. G., Dantas, E. R. B., Laurentino, L. G. D. S., De Souza, F. G., Guerra, H. O. C., 2020. Biochar on soil chemical properties and beak pepper (*Capsicun chinense*) production. ***Agricultural Sciences,* 11** (12): 1133.

Tjamos, E.C., Tjamos, R.C., Rowe, J.B., Heale, D.R., 2000. Fraveladvances in *Verticillium* Research and Disease Management Aps Press. ***The American Phytopathological Society,*** St. Paul, Mn (2000) 378.

Trabelsi, M., Mandart, E., Le Grusse, P., Bord, J.P., 2016. How to Measure the Agroecological Performance of Farming in Order to Assist with the Transition Process. ***Environmental Science and Pollution Research,*** **23**: 139–156.

Tsror, L., Erlich, O., Amitai, S., Hazanovsky, M., 1998. *Verticillium* wilt of paprika caused by a highly virulent isolate of *Verticillium dahliae.* ***Plant Disease,*** **82** (4): 437-439.

Tubeileh, A.M., Stephenson, G.T., 2020. Soil amendment by composted plant wastes reduces the *Verticillium dahliae* abundance and changes soil chemical properties in a bell pepper cropping system. ***Current Plant Biology,*** **2**: 100148.

TUİK, 2021. Bitkisel Üretim İstatistikleri. TUİK, http://www.tuik.gov.tr/ http://www.tuik.gov.tr/PreTabloArama.do?metod=search&araType=vt (Erişim Tarihi: 17.02.2022).

Turan, V., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and pistachio husk biochar combination reduces Ni distribution in mungbean plant and improves plant antioxidants and soil enzymes. ***Physiologia Plantarum,*** **173** (1): 418-429.

Turkmen, O., Sensoy, S., Demir, S., Erdinc, C., 2008. Effects of two different AMF species on growth and nutrient content of pepper seedlings grown under moderate salt stress. ***African Journal of Biotechnology,*** **7** (4).

Tyvaert, L., Everaert, E., Lippens, L., Cuijpers, W.J.M, França, S.C., Höfte, M., 2019. Interaction of Colletotrichum coccodes and *Verticillium dahliae* in pepper plants. ***European Journal of Plant Pathology***, **155** (4): 1303-1317.

Uppal, A.K., El Hadrami, A., Adam, L.R., Tenuta, M., Daayf, F., 2008. Biological control of potato *Verticillium* wilt under controlled and field conditions using selected bacterial antagonists and plant extracts. ***Biological Control,*** **44** (1): 90-100.

U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. ***USDA Hdbk***. **60**: 160

Vahedi, R., Rasouli-Sadaghiani, M.H., Barin, M., Vetukuri, R.R., 2022. Effect of Biochar and Microbial Inoculation on P, Fe, and Zn Bioavailability in a Calcareous Soil. ***Processes,*** **10** (2): 343.

Vasileva, K., Todorova, V., Masheva, S., 2019. Evaluation of collection of pepper (*Capsicum* spp.) resources for resistance to *Verticillium dahliae* Kleb. ***Bulgarian Journal of Agricultural Science,*** **25** (5): 1030-1038.

Vasileva, K., Todorova, V., 2020. Evaluation of pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties to several methods of inoculation with *Verticillium dahliae* Kleb. in different conditions. ***Bulgarian Journal of Agricultural Science,*** **26** (2): 423-430.

Varo-Suárez, A., Raya-Ortega, M. C., Agustí-Brisach, C., García-Ortiz-Civantos, C., Fernández-Hernández, A., Mulero-Aparicio, A., Trapero, A., 2018. Evaluation of organic amendments from agro-industry waste for the control of *verticillium* wilt of olive. ***Plant Pathology***, **67** (4): 860-870.

Velten, S., Leventon, J., Jager, N., Newig, J., 2015. What is sustainable agriculture? A systematic review. ***Sustainability,*** **7** (6): 7833-7865.

Verit, A., Yeni, E., Ünal, D., 2001. Tarihten Günümüz Ürolojisine Kırmızı Acı Biber. ***Türk Üroloji Dergisi,*** **27** (4): 399-402.

Vilela, L. A. F., Barbosa, M. V., 2019. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in promoting cadmium tolerance in plants. ***In Cadmium Tolerance in Plants***. 553-586.

Villani, A., Tommasi, F., Paciolla, C., 2021. The Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus viscosum* Improves the Tolerance to *Verticillium* Wilt in Artichoke by Modulating the Antioxidant Defense Systems. ***Cells,*** **10** (8): 1944.

Vos, C. M., Yang, Y., De Coninck, B., Cammue, B. P. A., 2014. Fungal (-like) biocontrol organisms in tomato disease control. ***Biological Control,* 74**: 65-81.

Wang, B., Yeun, L.H., Xue, J.Y., Liu, Y., Ané, J.M., Qiu, Y.L., 2010. Presence of three mycorrhizal genes in the common ancestor of land plants suggests a key role of mycorrhizas in the colonization of land by plants. ***New Phytologist,* 186** (2): 514-525.

Wang, Y., Zhou, P., Baı, L., Wu, K., Xıng, D., Guo, T., Zhang, C., 2020. Effects of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of continuous cropping pepper and soil nutrient status. ***Chinese Journal of Eco-Agriculture,* 28** (10): 1600-1608.

Wani, K.A., Manzoor, J., Shuab, R., Lone, R., 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi as biocontrol agents for parasitic nematodes in plants. ***In Mycorrhiza-Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration***. 195-210. Springer, Cham.

Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W., Rillig, M. C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil–concepts and mechanisms. ***Plant and Soil,* 300** (1): 9-20.

Weber, K., Quicker, P., 2018. Properties of biochar. ***Fuel,* 217***:* 240-261.

Were, S.A., Narla, R., Mutitu, E.W., Muthomi, J.W., Munyua, L.M., Roobroeck, D., Valauwe, B., 2021. Biochar and vermicompost soil amendments reduce root rot disease of common bean (*Phaseolous Vulgaris* L.) ***African Journal of Biological Sciences,* 3** (1): 176-196.

Willis, A., Rodrigues, B. F., Harris, P. J. 2013. The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. ***Critical Reviews in Plant Sciences***, **32** (1): 1-20.

WinklerPrins, AMGA., 2014. Terra Preta. The mysterious soils of the Amazon. ***The soil underfoot infinite possibilities for a finite resource.*** 235-245.

Wu, Q.S., Zou, Y.N. He, X.H., 2010. Contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to growth, photosynthesis, root morphology and ionic balance of citrus seedlings under salt stress. ***Acta physiologiae plantarum,* 32** (2): 297-304.

Xiang, W., Zhang, X., Chen, J., Zou, W., He, F., Hu, X., Gao, B., 2020. Biochar technology in wastewater treatment: A critical review. ***Chemosphere,* 252**: 126539.

Xu, G., Zhang, Y., Sun, J., Shao, H., 2016. Negative interactive effects between biochar and phosphorus fertilization on phosphorus availability and plant yield in saline sodic soil. ***Science of the Total Environment,* 568**: 910-915.

Yang, W., Gu, S., Xin, Y., Bello, A., Sun, W., Xu, X., 2018. Compost addition enhanced hyphal growth and sporulation of arbuscular mycorrhizal fungi without affecting their community composition in the soil. ***Frontiers in Microbiology***, **9:** 169.

Yang, X., Wan, Y., Zheng, Y., He, F., Yu, Z., Huang, J., Gao, B., 2019. Surface functional groups of carbon-based adsorbents and their roles in the removal of heavy metals from aqueous solutions: a critical review. ***Chemical Engineering Journal*, 366**: 608-621.

Yao, Q., Liu, J., Yu, Z., Li, Y., Jin, J., Liu, X., Wang, G., 2017. Three years of biochar amendment alters soil physiochemical properties and fungal community composition in a black soil of northeast China. ***Soil Biology and Biochemistry,* 110**: 56-67.

Yan, W., Kang, M.S., 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. ***Boca Roton,*** Florida: CRC Press LLC.

Yemiş, O., Mazza, G., 2011. Acid-catalyzed conversion of xylose, xylan and straw into furfural by microwave-assisted reaction. ***Bioresource Technology,* 102** (15): 7371-7378.

Yıldız, A., 2010. A native *Glomus* sp. from fields in Aydın province and effects of native and commercial mycorrhizal fungi ınoculants on the growth of some vegetables. ***Turkish Journal of Biology,* 34** (4): 447-452.

Yilmaz, K., Akinci, I.E., Akinci, S. 2004. Effect of salt stress on growth and Na, K contents of pepper (*Capsicum annuum* L.) in germination and seedling stages. ***Pakistan Journal of Biological Sciences***, **7** (4): 606-610.

Yildiztekin, M., Tuna, A.L., Kaya, C., 2018. Physiological effects of the brown seaweed (*Ascophyllum nodosum*) and humic substances on plant growth, enzyme activities of

certain pepper plants grown under salt stress. ***Acta Biologica Hungarica,*** **69** (3): 325-335.

Yilma, G., 2019. The Role of Mycorrhizal Fungi in Pepper (*Capsicum annuum*) Production. ***International Journal of Advanced Research in Biological Sciences,*** **6** (12): 59-65.

Yu, P., Li, Q., Huang, L., Qin, K., Niu, G., Gu, M., 2020. The Effects of Mixed Hardwood Biochar, Mycorrhizae, and Fertigation on Container Tomato and Pepper Plant Growth. ***Sustainability,*** **12** (17): 7072.

Yu, C., Li, N., Yin, Y., Wang, F., Gao, S., Jiao, C., Yao, M. 2021. Genome-wide identification and function characterization of GATA transcription factors during development and in response to abiotic stresses and hormone treatments in pepper. ***Journal of Applied Genetics,*** **62** (2): 265-280.

Yücel, F.N. 2008. ***Verticillium dahliae'nın ve tuz stresinin domates bitkisinin gelişimi üzerine etkisinin araştırılması*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). HÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Zeise, K., Von Tiedemann, A., 2002. Host specialization among vegetative compatibility groups of *Verticillium dahliae* in relation to *Verticillium longisporum*. ***Journal of Phytopathology,*** **150** (3): 112-119.

Zhang, B., Li, S., Chen, S., Ren, T., Yang, Z., Zhao, H., Han, X., 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi regulate soil respiration and its response to precipitation change in a semiarid steppe. ***Scientific Reports,*** **6** (1): 1-10.

Zhang, X., Gao, B., Creamer, A.E., Cao, C., Li, Y., 2017. Adsorption of VOCs onto engineered carbon materials: A review. ***Journal of Hazardous Materials,*** **338**: 102-123.

Zhang, S., Lehmann, A., Zheng, W., You, Z., Rillig, M. C., 2019 a. Arbuscular Mycorrhizal Fungi İncrease Grain Yields: A Meta-Analysis. ***New Phytologist,*** **222** (1): 543-555.

Zhang, J., Bai, Z., Huang, J., Hussain, S., Zhao, F., Zhu, C., Jin, Q., 2019 b. Biochar alleviated the salt stress of induced saline paddy soil and improved the biochemical characteristics of rice seedlings differing in salt tolerance. ***Soil and Tillage Research,*** **195**: 104372.

Zhang, D. D., Dai, X. F., Klosterman, S. J., Subbarao, K. V., Chen, J. Y., 2022. The secretome of *Verticillium dahliae* in collusion with plant defence responses modulates *Verticillium* wilt symptoms. ***Biological Reviews***.

Zhao, W.T., Feng, S.J., Li, H., Faust, F., Kleine, T., Li, L.N., Yang, Z.M., 2017. Salt stress-İnduced Ferrochelatase 1 improves resistance to salt stress by limiting sodium accumulation in *Arabidopsis thaliana*. ***Scientific Reports,*** **7** (1): 1-16.

Zhao, Z., Chen, L., Xiao, Y., 2021. The combined use of arbuscular mycorrhizal fungi, biochar and nitrogen fertilizer is most beneficial to cultivate *Cichorium intybus* L. in Cd-contaminated soil. ***Ecotoxicology and Environmental Safety,*** **217**: 112154.

Zhu, J. K., 2001. Plant salt tolerance. ***Trends in plant science***, **6** (2): 66-71.

Zhuo, F., Zhang, X.F., Lei, L.L., Yan, T.X., Lu, R.R., Hu, Z.H., Jing, Y.X., 2020. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar on the growth and Cd/Pb accumulation in Zea mays. ***International Journal of Phytoremediation,*** **22** (10): 1009-1018.

ÖZ GEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Adıyaman'da tamamladı. 2011 yılında girdiği Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü'nden 2015 yılında "Ziraat Mühendisi" olarak mezun oldu. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Bölümü Fitopatoloji Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimini 2018 yılında tamamladı. 2018 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Bölümü Fitopatoloji Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. 2018 Eylül ayında 100/2000 Öncelikli alanlar Bursuyla Sürdürülebilir Tarım Alanında doktora çalışmasına başladı. Doktora eğitimini 2022 yılında tamamladı.

VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORİJİNALLİK RAPORU

Tarih: 28/06/2022

Tez Başlığı / Konusu: Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Biber (*Capsicum annuum* L)'de Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) ve Biyoçarın *Verticillium dahliae* Kleb.'ye ve Bitki Gelişimine Etkisi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 171 sayfalık kısmına ilişkin, 20/06/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8 (yüzde sekiz) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:
- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Hasret GÜNEŞ

Adı Soyadı: Hasret GÜNEŞ

Öğrenci No: 18910001032

Anabilim Dalı: Bitki Koruma / Fitopatoloji

Programı: Doktora

Statüsü: □ Yüksek Lisans x Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR