

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

**FASULYEDE KISITLI SULAMA KOŞULLARINDA ABSİSİK ASİT VE
ARBÜSKÜLER MİKORİZAL FUNGUS UYGULAMALARININ, FASULYE
(*Phaseolus vulgaris* L.) KÖMÜR ÇÜRÜKLÜĞÜ HASTALIĞI (*Macrophomina
phaseolina*) (Tassi) Goid. VE BAZI VERİM UNSURLARINA ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: Ali VURAL
I. DANIŞMAN: Prof. Dr. Semra DEMİR
II. DANIŞMAN: Doç. Dr. Çeknas ERDİNÇ

VAN-2022

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

**FASULYEDE KISITLI SULAMA KOŞULLARINDA ABSİSİK ASİT VE
ARBÜSKÜLER MİKORİZAL FUNGUS UYGULAMALARININ, FASULYE
(*Phaseolus vulgaris* L.) KÖMÜR ÇÜRÜKLÜĞÜ HASTALIĞI (*Macrophomina
phaseolina*) (Tassi) Goid. VE BAZI VERİM UNSURLARINA ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: Ali VURAL

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FDK-2018-6589
No'lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Bitki Koruma Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Semra DEMİR danışmanlığında, Ali VURAL tarafından sunulan “**Fasulyede Kısıtlı Sulama Koşullarında Absisik Asit Ve Arbüsküler Mikorizal Fungus Uygulamalarının, Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Kömür Çürüklüğü Hastalığı (*Macrophomina phaseolina*) (Tassi) Goid. ve Bazı Verim Unsurlarına Etkisi**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince/...../..... 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. Suat ŞENSOY

İmza:

Üye: Doç. Dr. Emre DEMİNER DURAK

İmza:

Üye: Doç. Dr. M. Hadi AYDIN

İmza

Üye: Dr. Öğr. Üy. Tuba GENÇ KESİMCİ

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.

Ali VURAL

ÖZET

FASULYEDE KISITLI SULAMA KOŞULLARINDA ABSİSİK ASİT VE ARBÜSKÜLER MİKORİZAL FUNGUS UYGULAMALARININ, FASULYE (*Phaseolus vulgaris* L.) KÖMÜR ÇÜRÜKLÜĞÜ HASTALIĞI ((*Macrophomina phaseolina*) (Tassi) Goid. VE BAZI VERİM UNSURLARINA ETKİSİ

VURAL, Ali

Doktora Tezi, Bitki Koruma Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Semra DEMİR

II. Danışman: Doç. Dr. Çeknas ERDİNÇ

Ekim 2022, 143 sayfa

Bu çalışmada, kısıtlı sulama koşullarında Arbusküler Mikorizal Fungus (AMF) ve absisik asit (ABA) uygulamalarının fasulye bitkisinde, kömür çürüklüğü hastalığına (*Macrophomina phaseolina*) ve bazı verim unsurlarına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada mikorhizal uyumu en iyi olan Gina taze fasulye çeşidi kullanılmıştır. 1, 5, 10 ve 20 μ M ABA dozları arasında in vitro ve in vivo'da hastalık ve AMF gelişimine etkileri açısından en uygun dozun 5 μ M olduğu belirlenmiştir. Çalışmada uygun kısıtlı sulama dozunu belirlemek için de AMF ve 5 μ M ABA uygulanmış fasulye bitkilerine 4 farklı sulama uygulaması (% 25, % 50 ve % 75 kısıtlı su, % 100 (Normal Sulama) yapılmıştır. Deneme sonucunda, bitki gelişimi, hastalık şiddeti, kuraklık, toplam klorofil ve AMF gelişimi açısından % 50 su kısıtının oluşturulacak olan su noksanlığı stresi için en uygun sulama seviyesi olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında, % 50 kısıtlı sulama, AMF ve 5 μ M ABA'nın uygulandığı fasulye bitkileri örtü altında yetiştirilerek, bitki gelişimi, verim/ verim unsurları, kuraklık, toplam antioksidan, fenol ve klorofil içeriği, ABA içeriği, antioksidatif enzimler, besin elementi içeriği, hastalık şiddeti ve baskılanma oranı ve AMF gelişim parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, AMF'nin genel olarak tek veya stres faktörleri (kısıtlı su ve hastalık) ile beraber olduğu uygulamalarda bitki gelişimi, verim ve verim unsurları, besin elementlerinin alımı ve hastalığın baskılanmasında olumlu etki gösterdiği ve ABA içeriğini arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, stres faktörlerinin uygulandığı uygulamalarda toplam fenol, antioksidan, lipid peroksidasyonu (MDA) ve antioksidatif enzim içeriklerinin de kontrol uygulamasına göre arttığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Absisik asit (ABA), Arbusküler mikorizal fungus (AMF), Fasulye, Kısıtlı sulama, *Macrophomina phaseolina*.



ABSTRACT

THE EFFECTS OF ABSCISIC ACID AND ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGUS (AMF) APPLICATIONS ON BEAN COAL ROT DISEASE (*Macrophomina phaseolina*) (Tassi) Goid. AND SOME YIELD COMPONENTS IN LIMITED IRRIGATION CONDITIONS IN BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.)

VURAL, Ali

Ph.D. Thesis, Department of Plant Protection

Supervisor: Prof. Dr. Semra DEMİR

II. Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Çeknas ERDİNÇ

October 2022, 143 pages

In this study, the effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungus (AMF) and abscisic acid (ABA) applications on coal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) and some yield factors in bean plants under limited irrigation conditions were investigated. Gina fresh bean variety with the best mycorrhizal compatibility was used. Among 1, 5, 10 and 20 μ M ABA doses, the most appropriate dose was determined to be 5 μ M in terms of its effects on disease and AMF development in vitro and in vivo. In order to determine the appropriate restricted irrigation dose in the study, 4 different irrigation applications (25%, 50% and 75% limited water, 100%) were applied to bean plants treated with AMF and 5 μ M ABA. Plant growth, disease severity, drought determined that the most appropriate dose in terms of total chlorophyll and AMF development was 50 % limited water application. For the water deficit stress to be subjected, 50 % limited water application was the most appropriate dose in terms of plant growth, disease severity, drought, total chlorophyll and AMF. 50 % limited irrigation, AMF and 5 μ M ABA applied to bean plants were grown in greenhouse, plant growth, yield/yield factors, drought, total antioxidant, phenol and chlorophyll content, ABA content, antioxidative enzymes, nutrient elements, disease suppression and AMF were evaluated. AMF has a positive effect on plant growth, yield and yield elements, intake of nutrients and suppression of disease, and ABA content increases in applications where AMF is generally single or together with stress factors. In addition, it was determined that the total phenol, antioxidant, lipid peroxidation (MDA) and antioxidant enzyme contents increased in the applications where stress factors were applied compared to the control.

Keywords: Absciscic acid (ABA), Arbuscular mycorrhizal fungus (AMF), Bean, Limited water, *Macrophomina phaseolina*.



ÖN SÖZ

Doktora eğitimim süresince, her türlü ilgi ve desteklerin gördüğüm, akademik düşüncemin gelişmesinde büyük katkıları olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Semra DEMİR'e ve ikinci danışmanım Doç. Dr. Çeknas ERDİNÇ'e teşekkürlerimi sunarım. TİK üyeleri Prof. Dr. Suat ŞENSOY ve Doç. Dr. Emre DEMİRER DURAK'a ve istatistiksel analizlerin yapılmasında her türlü desteği sağlayan Prof. Dr. Abdullah YEŞİLOVA'ya katkıları için teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmam boyunca fikirlerinden ve yardımlarından faydalandığım, Bitki Koruma Bölümünden; Doç. Dr. Ahmet AKKÖPRÜ, Arş. Gör. Gökhan BOYNO, doktora öğrencileri Necmettin TENİZ, Hasret GÜNEŞ, Ceylan Pınar UÇAR, Gülistan GENLİ, yüksek lisans öğrencileri Orhan KAPAN, Ruken ÇELİK, Zilan OKTAY, Melek AĞIRTMIŞ'a teşekkür ederim. Yardım ve fikirlerinden istifade ettiğim, Prof. Dr. Füsün GÜLSER, Prof. Dr. M. Ali BOZKURT, Dr. öğretim üyesi Sibel Boysan CANAL, Arş. Gör. Bulut SARGIN, Dr. öğretim üyesi Talip ÇAKMAKÇI, hormon analizlerindeki destekleri için Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU, Fen Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. Emre EREZ'e; Prof. Dr. Fikret YAŞAR, Doç. Dr. Turgay KABAY, Öğr. Gör. Selma KIPÇAK, Arş. Gör. Ethem Ömer BAŞ, doktora öğrencileri Nurettin YILMAZ, Rana Baytin ALACI, Ömer KAYMAZ'a katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen eşim Sabihe VURAL ve çocuklarım, Yunus Berk VURAL ve Nur VURAL'a teşekkür ederim.

Son olarak, doktora çalışmamda maddi olarak destek sağlayan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına teşekkürlerimi sunarım.

2022

Ali VURAL



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	11
2.1. Fasulye Hakkında Genel Bilgi	11
2.2. Bitkilerde Su Noksanlığı ve Etkileri	12
2.2.1. Kuraklıkla ilgili baklagillerde yapılan çalışmalar	15
2.3. Macrophomina phaseolina (Tassi) Goid. Hakkında Genel Bilgi	16
2.3.1. Hastalık -kuraklık ilişkisi	20
2.4. Absisik Asit (ABA) – Biyotik ve Abiyotik Stres İlişkisi	22
2.5. Arbüsküler Mikorizal Funguslar (AMF)	23
2.5.1. AMF - kuraklık ilişkisi	25
2.5.2. AMF-hastalık ilişkisi	28
2.5.3. AMF-ABA ilişkisi	30
2.5.4. AMF-ABA-hastalık ilişkisi	32
3. MATERYAL VE YÖNTEM	35
3.1. Materyal	35
3.1.1. Bitkisel materyal	35
3.1.2. Patojen	35
3.1.3. Biyolojik kontrol ajanı	35
3.1.4. Absisik asit (ABA)	35
3.1.5. Besi ortamı	35
3.1.6. Bitki yetiştirme ortamları	36
3.1.7. Bitki besin solüsyonları	37
3.2. Yöntem	38

3.2.1. Uygun AMF x fasulye çeşidi kombinasyonunun belirlenmesi.....	38
3.2.1.2. AMF'ye ait gelişim kriterlerinin belirlenmesi	39
3.2.1.2.1. AMF kök kolonizasyonunun belirlenmesi	39
3.2.1.2.2. Toprakta AMF spor yoğunluğunun belirlenmesi	40
3.2.1.2.3. Mikorhizal bağımlılığın belirlenmesi	41
3.2.2. İn-vitro koşullarda ABA'nın farklı dozlarının <i>Macrophomina phaseolina</i> 'ya etkisinin belirlenmesi.....	41
3.2.2.1. Absisik asit (ABA) dozlarının hazırlanması	41
3.2.2.2. Petri denemesi	42
3.2.3. İn vivo (iklim odasında) koşullarda ABA'nın farklı dozlarının <i>Macrophomina phaseolina</i> 'ya ve AMF'ye etkisinin belirlenmesi	43
3.2.3.1. Bitki tohumlarına AMF inokulasyonu	43
3.2.3.2. <i>Macrophomina phaseolina</i> 'nın bitkiye inokulasyonu	43
3.2.3.3. Fasulye fidelerine ABA uygulanması	44
3.2.3.4. Hastalık şiddetinin belirlenmesi	45
3.2.3.5. <i>M. phaseolina</i> 'nın reizolasyonu	46
3.2.3.6. Toprakta <i>M. phaseolina</i> 'nın propagül yoğunluğunun belirlenmesi	46
3.2.3.7. AMF'ye ait gelişim kriterlerinin belirlenmesi	47
3.2.3.8. Bitki gelişim kriterlerinin incelenmesi	47
3.2.3.8.1. Yaş ve kuru ağırlıkların belirlenmesi	47
3.2.3.8.2. Gövde boyu ve çapının belirlenmesi	47
3.2.3.8.3. Yaprak sayısı ve yaprak alanının belirlenmesi	47
3.2.4. Kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerinde AMF ve ABA'nın etkisinin belirlenmesi	47
3.2.4.1. Tarla kapasitesinin tayini ve uygun kısıtlı sulama seviyesinin tespiti	48
3.2.4.2. Fasulye bitkilerinde kısıtlı sulama koşullarının etkisinin belirlenmesi	49
3.2.4.3. Hastalık şiddetinin belirlenmesi	49
3.2.4.4. AMF'ye ait gelişim kriterlerinin belirlenmesi	49

	Sayfa
3.2.4.5. Bitki gelişim kriterlerinin belirlenmesi	50
3.2.4.6. Nispi büyüme oranının (g taze ağırlık/gün) belirlenmesi.....	50
3.2.4.7. Yaprak oransal su içeriğinin (YOSİ) belirlenmesi.....	50
3.2.4.8. Yaprak hücrelerinde membran zararlanma indeksinin (MZİ) belirlenmesi	50
3.2.4.9. Fasulye bitkilerinde toplam klorofil miktarının belirlenmesi	51
3.2.5. Örtü altı'nda kısıtlı sulama koşullarında, <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerinde AMF ve ABA'nın hastalık şiddeti ile bazı bitki fizyolojik gelişim ve verim unsurlarına etkisinin belirlenmesi	52
3.2.5.1. Örtü altı'nda kısıtlı sulama uygulamaları.....	52
3.2.5.2. Azot tayini	52
3.2.5.3. Fasulye bitkilerinde makro ve mikro besin elementlerinin tayini.....	54
3.2.5.4. Fizyolojik Analizler.....	56
3.2.5.4.1. Toplam klorofil miktarı	56
3.2.5.4.2. Lipit peroksidasyonu	56
3.2.5.4.3. Toplam fenolik ve antioksidan madde.....	56
3.2.5.5. Antioksidatif enzim analizleri	57
3.2.5.5.1. Katalaz (CAT) analizi.....	58
3.2.5.5.2. Süper oksit dismutaz (SOD) analizi	58
3.2.5.5.3. APX analizi.....	59
3.2.5.6. Absisik asit (ABA) analizi	59
3.2.5.7. Fasulye bitkilerindeki bazı verim unsurlarının belirlenmesi.....	62
3.3. İstatistiksel Analiz	62
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	63
4.1. Uygun AMF x Fasulye Çeşidinin Belirlenmesi.....	63
4.2. İn vitro Koşullarda <i>Macrophomina phaseolina</i> 'ya (Mp) En Etkili Absisik Asit (ABA) Dozunun Belirlenmesi	65
4.3. İn vivo (iklim odasında) Koşullarda ABA'nın Farklı Dozlarının <i>Macrophomina phaseolina</i> 'ya ve AMF'ye Etkisinin Belirlenmesi.....	66

4.4. Kısıtlı Sulama Koşullarında <i>M. phaseolina</i> İnokulasyonu Yapılmış Fasulye Bitkilerinde AMF ve ABA'nın Etkisinin Belirlenmesi.....	73
4.5. Örtüaltı'nda Kısıtlı Sulama Koşullarında, <i>M. phaseolina</i> İnokulasyonu Yapılmış Fasulye Bitkilerinde AMF ve ABA'nın Hastalık Şiddeti ile Bazı Bitki Fizyolojik Gelişim ve Verim Unsurlarına Etkisinin Belirlenmesi	83
4.5.1. Morfolojik özellikler.....	83
4.5.2. Verim ve bazı verim unsurları	91
4.5.3. Fizyolojik özellikler.....	95
4.5.4. Biyokimyasal özellikler	98
4.5.5. Antioksidatif enzimlere etkisi.....	102
4.5.6. Besin elementleri içeriklerine etkisi	105
4.5.6.1. Makro besin elementleri içeriği.....	106
4.5.6.2. Mikro besin elementleri içeriği	109
4.5.7. Hastalık şiddeti ve baskılanma oranları.....	111
4.5.8. AMF kolonizasyonu ve spor yoğunluğu.....	113
5. SONUÇ.....	117
KAYNAKLAR.....	121
ÖZ GEÇMİŞ.....	143

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünyada bazı ülkelerin taze fasulye üretim miktarları	2
Çizelge 1.2. Türkiye’de bazı illerin taze fasulye üretim miktarları (Ton).....	2
Çizelge 3.1. <i>Macrophomina phaseolina</i> izolatu besiyeri olarak kullanılan PDA ortamı için gerekli kimyasallar ve miktarları	36
Çizelge 3.2. Sera denemesine ait sıcaklık ve nem değerleri.....	36
Çizelge 3.3. Yetiştirme ortamı olan torfun özellikleri.....	37
Çizelge 3.4. Yetiştirme ortamı olan perlitin içeriği	37
Çizelge 3.5. A tankı besin solüsyonu içeriği	38
Çizelge 3.6. B tankı besin solüsyonu içeriği	38
Çizelge 4.1. AMF uygulaması yapılmış farklı fasulye çeşitlerinin mikorhizal gelişim parametreleri.....	63
Çizelge 4.2. <i>In vitro</i> da farklı ABA dozları uygulanmış Mp kültürlerinde farklı günlerdeki koloni çapı gelişimleri.....	65
Çizelge 4.3. Farklı ABA dozları ve AMF uygulaması yapılmış ve <i>M. phaseolina</i> inokule edilmiş fasulye bitkisinin bazı morfolojik gelişim parametreleri.....	70
Çizelge 4.4. Farklı ABA dozları ve AMF uygulaması yapılmış ve <i>M. phaseolina</i> inokule edilmiş fasulye bitkisinin yaş ve kuru ağırlıkları	71
Çizelge 4.5. Farklı ABA dozları ve AMF uygulaması yapılmış ve <i>M. phaseolina</i> inokule edilmiş fasulye bitkisinin AMF kök kolonizasyonu ve AMF spor yoğunluğu	72
Çizelge 4.6. Farklı ABA dozları ve AMF uygulaması yapılmış ve <i>M. phaseolina</i> inokule edilmiş fasulye bitkisinin hastalık şiddeti ve toprakta Mp propagül yoğunluğu.....	72
Çizelge 4.7. Farklı kısıtlı sulama seviyelerinde, ABA ve AMF uygulanmış ve <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu yapılmış fasulye bitkisine ait bazı morfolojik gelişim parametreleri.....	78

Çizelge 4.8. Farklı kısıtlı sulama seviyelerinde, ABA ve AMF uygulanmış ve <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu yapılmış fasulye bitkisinin yaş ve kuru ağırlıkları, nispi büyüme oranı ve toplam klorofil içeriği	79
Çizelge 4.9. Farklı kısıtlı sulama seviyelerinde, ABA ve AMF uygulanmış ve <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu yapılmış fasulye bitkisinin kuraklık şiddeti, YOSİ ve MZİ oranları	80
Çizelge 4.10. Farklı kısıtlı sulama seviyelerinde, ABA ve AMF uygulanmış ve <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerinde hastalık şiddeti.....	81
Çizelge 4.11. Farklı kısıtlı sulama seviyelerinde, ABA ve AMF uygulanmış ve <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerinde AMF kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğu.....	82
Çizelge 4.12. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin morfolojik gelişim parametreleri	90
Çizelge 4.13. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin yaş ve kuru ağırlıkları ve nispi büyüme oranı	91
Çizelge 4.14. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin verim ve verim unsurları	94
Çizelge 4.15. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin bazı fizyolojik parametrelerinin içerikleri	98
Çizelge 4.16. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin toplam antioksidan, toplam fenol ve MDA içerikleri.....	102
Çizelge 4.17. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin bazı antioksidatif enzim (CAT, SOD, APX) içerikleri	105
Çizelge 4.18. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu, AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin N, P, Ca, K içerikleri.....	108

Çizelge 4.19. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu, AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin Mg, Na, Na/Ca, Na/K içerikleri.....	109
Çizelge 4.20. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin mikro element içerikleri	110
Çizelge 4.21. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin hastalık şiddeti (%) ve baskılanma oranları (%).	113
Çizelge 4.22. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında <i>M. phaseolina</i> inokulasyonu, AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin AMF kök kolonizasyon oranları (%) ve topraktaki AMF spor yoğunluğu (spor/g toprak)	115



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil Sayfa

Şekil 1.1. Absisik asitin kimyasal yapısı	6
Şekil 1.2. <i>M. phaseolina</i> 'nın fasulye bitkisinde meydana getirdiği kök çürüklüğü	9
Şekil 2.1. <i>M. phaseolina</i> 'nın yaşam döngüsü.....	19
Şekil 3.1. Sera denemesinden görünüm	36
Şekil 3.2. a) Romano (Üstte), Gina (Altta) b) Sarıkız fasulye çeşitleri	39
Şekil 3.3. AMF kök kolonizasyonunun tespiti: a) KOH'ten çıkarılıp HCl içine konan kökler b) Boya çözeltisindeki kökler c) Mikroskop altında kök kolonizasyonunun belirlenmesi.....	40
Şekil 3.4. AMF'nin topraktaki spor yoğunluğunun tespiti: a) Saf su ile manyetik karıştırıcıda ekstrakte edilen toprak örneği b) Üstteki sıvının önce 80 µm, sonra 45 µm'lik elekten geçirilmesi	41
Şekil 3.5. Farklı ABA dozları uygulanmış PDA ortamında <i>M. phaseolina</i> 'nın koloni gelişimi a) PDA+ABA ortamında Mp izolatının gelişimi (6.gün) b) Dijital kumpasla Mp koloni çapı ölçümü	43
Şekil 3.6. Mısır unu-kum kültüründe <i>M. phaseolina</i> sporlarının çoğaltılması a) Otoklavlanmış mısır unu-kum kültürü b) İnokulumun mısır unu-kum kültürüne ekimi c) Dört haftalık inkübasyon sonundaki mısır-unu kum kültürü	44
Şekil 3.7. ABA ve <i>M. phaseolina</i> uygulaması yapılmış fasulye bitkileri.....	45
Şekil 3.8. Reizolasyon sonunda gelişen <i>M. phaseolina</i> kültürleri.....	46
Şekil 3.9. 0-5 Skala Değerleri: a) Skala ₀ : Kontrol bitkileri b) Skala ₁ : Büyümede yavaşlama (Kontrol bitkilerine göre) c) Skala ₂ : Alt yapraklarda solgunluk başlangıcı d) Skala ₃ : Üst yapraklarda kıvrılma (Kapanma) ve solgunluk e) Skala ₄ : Yapraklarda şiddetli solgunluk ve sararma, yaprak kenarlarında kuruma f) Skala ₅ : Bitkilerde solma ve alt yapraklarda kuruma	49
Şekil 3.10. Yaprak örneklerinde membran zararlanma indeksinin (MZİ) belirlenmesi a) Saf suda 5 saat bekletilen yaprak diskleri b) 100° C'de 10 dakika bekletilen yaprak diskleri	51

Şekil
Sayfa

Şekil 3.11. Kjeldahl yöntemiyle azot tayini: a) Yakma işlemi b) Distilasyon işlemi başlangıcı c) Distilasyon sonucu d) Titrasyon sonucu.....	54
Şekil 3.12. Yaş yakma metodu ile besin elementlerinin tayini a) Nitrik asit ve perklorik asit eklenmiş örnekler b) Örneklerin çeker ocakta yakılması c) Yakılan örneklerin filtre kağıdıyla süzülmesi d) Süzülen örneklerin balon jode saf su ile 50 ml'ye tamamlanması e) Analize hazır örnekler	55
Şekil 3.13. Yaprak örneklerinde toplam fenol miktarının tayini a) Örneklerin toplam fenol okuması için hazırlanması b) Spektrofotometrede okunan toplam fenol değerleri.....	57
Şekil 3.14. Absisik asit analizi a) Numunelerin sıvı azot ile öğütülmesi b) Ekstraksiyon c) İlk ekstraksiyon sonucu oluşan tabakalaşma d) İlk ekstraksiyonda alt tabakanın başka tüpe aktarılması ve geri kalan bitki artıkları e) İkinci ekstraksiyon sonucu oluşan tabakalaşma f) Numunelerin kartuştan süzülmesi g) Numunelerin azot ile uçurulma işlemi	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
Ca	Kalsiyum
cm	Santimetre
°C	Santigrad Derece
cm ²	Santimetre Kare
da	Dekar
dk	Dakika
Fe	Demir
g	Gram
HCl	Hidroklorik Asit
K	Potasyum
Kg	Kilogram
KOH	Potasyum Hidroksit
l	Litre
Mg	Magnezyum
ml	Mililitre
mm	Milimetre
µg	Mikrogram
µl	Mikrolitre
µM	Mikromolar
N	Azot
Na	Sodyum
nmol	Nanomolar
P	Fosfor
Pb	Kurşun
pH	Power Hidrojen
ppm	Milyonda bir

Kısaltmalar

Açıklama

ABA	Absisik Asit
AFA	Alkol, Formaldehit, Asetik Asit Karışımı
AMF	Arbusküler Mikorizal Fungus
EC	Electrical conductivity
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
JA	Jasmonik Asit
KS	Kısıtlı Sulama
Mp	<i>Macrophomina phaseolina</i>
MZİ	Membran zararlanma İndeksi
NS	Normal Sulama
PDA	Patates Dekstroz Agar
PEG	Polyethylen glycol
SA	Salisilik Asit
TPTZ	2,4,6 Tri (2-piridil)-s-triazin
YOSİ	Yaprak Oransal Su İçeriği

1. GİRİŞ

Mercimek, nohut, fasulye, bezelye, bakla ve börülceyi kapsayan baklagiller, sevilerek tüketilen temel protein kaynağıdır; yağ oranı düşük, karbonhidrat oranı yüksek ve besleyicidirler. Dünyada insan beslenmesindeki bitkisel proteinlerin % 22'si, karbonhidratların % 7'si; hayvan beslenmesindeki proteinlerin % 38'i ve karbonhidratların %5'i yemeklik baklagillerden karşılanmaktadır (Gülümser, 2016).

Dünyada 230 civarında türü bulunan fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.); Leguminosae veya Fabaceae (baklagiller) familyasının *Phaseolus* cinsine aittir. En yaygın yetiştirilen *P.vulgaris*'in de dahil olduğu 20 türü insan beslenmesinde kullanılmaktadır(Uysal, 2002; Broughton ve ark., 2003; Günay, 2005).

Fasulyenin, insan beslenmesinin yanı sıra, hayvan beslenmesi, kozmetik sanayinde boya yapımında kullanıldığı (Singh ve ark., 2007); ayrıca, çapa bitkisi olarak, ekim nöbetinde yer aldığı, alt tabakalardaki besin elementlerini derin kökleri vasıtasıyla toprak yüzeyine taşıdığı, toprağı gevşettiği, köklerindeki *Rhizobium* bakterileri sayesinde toprağa azot sağladığı bilinmektedir (Akçin, 1988).

Her iki Amerika kıtasında yerliler tarafından çok eskiden beri yetiştirilen ve daha sonra Avrupa'ya getirilen ve çok önemli besin maddeleri arasında yer alan fasulyenin, ülkemizde en az 250 yıldan beri tüketildiği tahmin edilmektedir (Koç, 2005).

Fasulye, dünyada ekim alanı ve üretimi yönünden yemeklik tane baklagiller içerisinde ilk sırada bulunurken; yaygın şekilde kuru tane ve taze sebze olarak tüketilmektedir. Dünyada toplam 23.276.716 ton olan taze fasulye üretiminde, Çin, 17.964.422 ton üretimle ilk sırayı; Endonezya ikinci ve Hindistan ise üçüncü sırayı alırken, Türkiye, 547.349 ton ile dördüncü sırada bulunmaktadır (FAOSTAT, 2020). Dünyada en çok üretim yapan ilk 10 ülkenin üretim miktarları Çizelge 1.1'de verilmiştir.

TÜİK, 2021 yılı verilerine göre; ülkemizde 395.035 da alanda 510.366 ton taze fasulye üretilmiştir; en fazla üretim yapılan illerimizin üretim miktarları Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Ayrıca, dünya kuru fasulye üretimi 28.902.672 ton (FAO, 2021); ülkemiz kuru fasulye üretimi ise 279.518 ton olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2021).

Çizelge 1.1. Dünyada bazı ülkelerin taze fasulye üretim miktarları (ton) (FAOSTAT, 2020)

ÜLKELER	ÜRETİM MİKTARLARI (Ton)
Çin	17.964.422
Endonezya	889.495
Hindistan	643.820
Türkiye	547.349
Fransa	394.410
Tayland	299.907
Mısır	264.959
Fas	232.078
Bangladeş	198.145
Sri Lanka	179.254

Çizelgede 1.1’de görüldüğü, gibi en çok üretim yapan 10 ülkenin üretimi, dünya toplam üretiminin yaklaşık % 93’üne denk gelmekte ve dünya üretiminin % 77’den fazlasını tek başına Çin sağlamaktadır.

Çizelge 1.2. Türkiye’de bazı illerin taze fasulye üretim miktarları (ton) (TÜİK, 2021)

İLLER	ÜRETİM MİKTARI (Ton)
Bursa	65.518
Mersin	44.014
Antalya	43.770
İzmir	41.193
Tokat	39.724
Samsun	21.365
Burdur	17.021
Muğla	13.818
Karaman	11.634
Hatay	11.457
Afyon	10.624
Van	9.134
TOPLAM	329.272

Çizelgede 1.2’de de görüldüğü gibi, en fazla üretim yapılan 12 ilimizin toplam üretimi, Türkiye’deki toplam üretimin % 64.52’sine denk gelmektedir. Van ise; 4.891 da alanda 9.134 ton üretim ile 12. sırada yer almaktadır.

Bitkisel üretim için stres, biyotik ve abiyotik faktörler nedeniyle bitki gelişiminde olumsuzluklara sebep olurken, bunlara bağlı olarak verimde azalmalar ile sonuçlanan ve gerilemeye sebep olma şeklinde tarif edilebilir.

Dünya çapında tarımsal üretimi sınırlandıran en önemli abiyotik stres faktörü kuraklıktır. Dünya tarım alanlarının yaklaşık % 45'i sürekli olarak kuraklık stresine maruz kalmaktadır(Asraf ve Foolad, 2007). Kuraklık, bitkilerde gelişimi engellediği gibi, ürün miktarını da olumsuz etkilemektedir. Stres altında bitki su kaybı ve hücre büyümesini negatif bir şekilde etkilemekte ve hücrelerin boyutları küçülmektedir. Hücrenin gelişiminde ve hücre duvarı sentezinde azalmalar meydana gelmektedir. Azalan iyon, klorofil ve protein sentezini olumsuz etkilerken, tohumların çimlenme yeteneği de düşmektedir. Yeteri kadar suyun olmaması sebebiyle ksilemde oluşan su noksanlığı, fotosentez ürünlerinin azalmasıyla sonuçlanmaktadır (Kacar ve ark., 2006; Özen ve Onay, 2007).

Birçok araştırmacı kuraklığı değişik şekillerde tanımlanmıştır. Çölleşme Sözleşmesi'ndeki yer alan tanımlar ışığında (Anonim, 1995); kuraklık, normal seviyein çok altında olan yağış koşullarında meydana gelen ve bitkisel üretim sistemlerini negatif bir şekilde etkileyerek önemli derecede hidrolojik düzensizliğe sebep olan, doğal olarak meydana gelen bir gelişmedir. Ayrıca meteorolojik bir durum olup, yeryüzünün su seviyesi ile bitki gelişim parametrelerinde azalmaya sebep olacak kadar uzayan yağışsız sezonu ifade etmektedir. Yağış olmayan sezon kuraklık oluşturması, toprağın suyu tutma kapasitesi ve bitkilerin evapotranspirasyon hızına ile oluşmaktadır (Jones, 1992; Kozlowski ve Pallardy, 1997).

Abiyotik ve biyotik stres koşullarında bitkilerin antioksidan seviyelerinde artış söz konusudur (Kabay, 2014). Abiyotik stres faktörü olarak kuraklık, bitkideki oksidatif ve antioksidatif enzimlerin artışına yol açmaktadır. Hem bitki hem de hayvan dokularındaki önemli antioksidanlardan biri olan askorbat, bitkilerde mevcut olan kloroplastlarda ve enzim kofaktöründe veya plazma membranda bulunan elektron transferinde resiver olarak görev almaktadır. Oksidatif stres direnci bu aktivitelerin hepsi ile ilişkilendirilmektedir. Serbest radikaller için bir indirgeyici olarak askorbatın, oksidatif stresin sebep olduğu zararı da düşürdüğü rapor edilmiştir (Güneri Bağcı, 2010).

Askorbat, bitkisel hücrelerin hidrofilik etraflarında bu serbest radikalleri uzaklaştıran merkezi e^- receiveri konumundadır. Kloroplastlardaki askorbat hidrojen peroksit (H_2O_2)'i indirgemesi ve bitkilerde mevcut olması, fotosentetik-organizmalarda ciddi derecede substrat olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca, süperoksit ile etkileşime girerek süperoksiti uzaklaştırmak için süperoksit dismutaza (SOD) enzimine fizyolojik açıdan benzer bir görev icraa etmektedir. Bitkilerde mevcut olan kloroplast ve sitozolda askorbat peroksidaz ile katalizlenerek enzimatik bir olgu olmayan antioksidan olarak görev alır.

H_2O_2 çok az yoğunluklarda bile bitkilerde fotosentezin yüksek hassaslık göstermesi sebebiyle, kloroplastlarda mevcut olan H_2O_2 detoksifikasyonu oldukça önemlidir. Çünkü, kloroplastlar peroksizonlarda mevcut olan ve hidrojen peroksidi uzaklaşmasına neden olan katalaz (CAT)'ı içermezler; kloroplastlarda H_2O_2 'yi azaltmada en ciddi görevi askorbat yapmaktadır (Palca ve ark., 2009; Bağcı, 2010).

Serbest radikaller oksidatif stres ile oluşmakta ve hücre zarında bulunan lipitler peroksidasyona uğrayarak, son ürünü olan malondialdehit (MDA) ortaya çıkmaktadır (Kuşvuran, 2010; Güneri Bağcı, 2010).

Stres faktörleri altındaki bitkiler, gelişmelerini devam ettirmek için çeşitli savunma mekanizmalarından yarar sağlamaktadır. Bitki çeşit ve türüne bağlı olarak farklı biyokimyasal ve fizyolojik tepkiler meydana gelebilmekte ve tolerans düzeylerinde ise farklılıklar meydana gelmektedir. Hücre hasarlanmalarının çok olduğu kuraklığa tolerans sağlamak için bu enzimler oluşturmaktadır.

Kuraklık için alınması gereken önlemler uzun sezonları kapsayacak şekilde ya da tamamen bitirecek özellikte olması şarttır. Bütün dünyada mevcut olduğu gibi Ülkemizde de, küresel ısınma nedeniyle başta su kaynaklarının azalması, çölleşme, kuraklık ve ekolojik bozulmalarla karşı karşıya kalmakta; bu nedenlerle küresel ısınmanın oluşturduğu problemler açısından risk grubu ülkeler arasında yer almaktadır. Bu küresel problemlere ek olarak, çölleşme süreçleri, kuraklığın süresi ile şiddetindeki yükselmeler, erozyon ve tuzlanmada hızlandıracağı bildirilmiştir (Türkeş, 1994).

İklim değişiklikleri son yirmi yıldır, mevcut olan su seviyelerinde düşürmüştür. Türkiye Su Raporunda yer alan veriler ışığında (Anonim, 2009), bir yıl içinde yağışlarla meydana gelen suyun % 8'i yüzey akışları nedeniyle, % 55 (274 milyon m^3)'i ise evapotranspirasyon ile yok olmaktadır. Kullanılabilir kişi başına su seviyelerinde ise yıl

bazında azalırdığı bildirilmiş ve 2007’de kişi başına su miktarı 1.586 m³ olduğu; 2023’te ise bu miktarın 1000 m³’e gerileyebileceği rapor edilmiştir. Dünya genelinde kullanılabilir su miktarındaki azalmalar, ilk olarak tarım sektörünü olumsuz yönde etkilemektedir. Yağışların miktarlarının düşmesi ile azalan su kaynakları beraberinde kuraklığa sebep olmaktadır (Anonim, 2009).

Günümüzde, su kaynaklarının azalması veya sulanabilir alanların artması göz önüne alındığında; mikorizaların, bitkilerin su kullanım randımanına olan önemli katkısının araştırılması ve alternatif uygulama olarak değerlendirilmesi çok önemlidir.

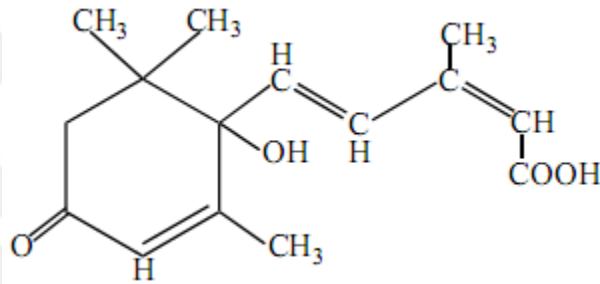
Arbüsküler Mikorizal funguslar (AMF), bitkiye besin alımını artırmanın yanı sıra, bitkinin tuzlu ve kurak koşullara, ağır metal toksisitesine ve sıcaklık stresine karşı dayanıklılığını arttırmakta, bitkinin, büyümeyi teşvik edici maddeler (hormonlar) salgılamasını teşvik etmektedirler (Tisdall, 1994). Tüm ekosistemlerde bolca buluna bu ortak yaşamdan kültür bitkilerinin gelişiminde faydalanma olanağının araştırılması, ülkemiz için de önem arz etmektedir. Bu yönüyle yapılacak olan çalışmaların, özellikle tarıma arazileri üzerinde hangi çeşit veya tür bazında kültür bitkisi yetiştirileceği ve marjinal toprakların nasıl değerlendirileceği hususunda önemli katkılar sağlayacağı aşîkârdır (Demir ve Onoğur, 1999).

Bitki - fungus arasındaki bu simbiotik ilişki, bir davranış faktörü olarak bitki patojen ilişkilerine de yansımaktadır. AMF oluşumunun görüldüğü bitkiler toprak kaynaklı fungal patojenlere ve nematodlara karşı daha dayanıklı olmakta; böylelikle, mücadelesi oldukça güç olan bu etmenlere karşı savaşında çok önemli bir avantaj yakalanmaktadır (Dehne, 1982).

Son yıllarda, özellikle tarımsal potansiyeli yüksek ölkelerde çevre sağlığını gözetmeye dayalı tarımsal sistemler gündeme gelmekte ve bu kapsamda gittikçe artan yoğunlukta pratiğe yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Tarım alanlarında kullanılan kimyasalların (pestisit, suni gübre, hormon v.b.) ekosistemde meydana getirdiği olumsuzluklar ve doğal dengenin yapısındaki bozulmalar, alternatif tarımsal uygulamalara (organik tarım gibi) öncelik verilmesi gerektiğini göstermektedir (Demir, 1998).

Bitki gelişim düzenleyicilerinden (BGD) absisik asitin de (ABA), bitkilerin kuraklıkla başa çıkmasında olumlu rol oynadığı bilindiğinden, kuraklıkla ilgili olarak ABA üzerindeki çalışmalar gittikçe artmaktadır. ABA, bitki büyüme ve gelişmesinin

düzenlenmesinde büyük önemi olan ve doğal olarak sentezlenen bir bitki büyüme inhibitörüdür (Creelman, 1989; Aurisano ve ark., 1993; Neill ve Burnett, 1999); birçok fizyolojik etkisinin yanı sıra; strese adaptasyon mekanizmasında da görev almaktadır (Nooden, 1988; Bozcuk ve ark., 1992; Agarwall ve ark., 2005). Tomurcuk ve tohumlarda absisyon ve dormansiye yol açan inhibitörün kimyasal yapısı 1963 yılında incelenmiş ve kapalı formülü $C_{15}H_{20}O_4$, molekül ağırlığı 264.32 g/mol olan seskuitepen yapısındaki bu madde absisik asit olarak adlandırılmıştır (Şekil 1.1). Absisik asit molekülü asimetrik karbon atomu içerir ve bu nedenle optik ve geometrik izomerizim gösterir (Davies 1995; Seo ve Koshiba, 2002).



Şekil 1.1. Absisik asitin kimyasal yapısı (Davies, 1995).

Absisik asitin fizyolojik etkileri; tohum dormansisi, tomurcuk dormansisi, büyüme, prolinbirikimi, yaşlanma (senesens), kopma (absisyon), embriyo gelişimi, tohum çimlenmesi, meyve oluşumu ve gelişimi, tepe hakimiyeti, ya da tomurcukların korelatif inhibisyonu (apikal dominansi), çiçeklenme, kökte ve diğer dokularda su ve iyon alınması ve taşınması, nükleik asit ve protein sentezi, enzimler, strese adaptasyon mekanizması, kök geotropizması, osmoregülasyon olarak sayılabilir (Nooden, 1988; Bozcuk ve ark., 1992; Agarwall ve ark., 2005).

Vejetatif dokularda kuraklık (Munns ve King, 1988; Zeevaart ve Creelman, 1988), tuzluluk (Rhodes, 1987; Zang ve Davies, 1989; Chapin, 1991; Thomas ve ark., 1992), yüksek ve düşük sıcaklık (Giraudat ve ark., 1994) gibi abiyotik stres koşulları, ABA'nın biyosentezinin artmasına ve birikimine neden olmaktadır. Abiyotik strese bitkinin yanıtının en önemli düzenleyicisi olan ABA, bu nedenle stres hormonu olarak bilinmektedir (Taylor ve ark., 2000; Gonai ve ark., 2004). Abiyotik stres koşulları ABA biyosentezinin artmasına ve birikmesine sebep olurken, biriken ABA, stresin etkisiyle

yıkıma uğramaktadır (Liotenberg, 1999; Rock, 2000). Strese yanıt olarak özellikle köklerde ABA seviyesi yükselir (Shashidhar, 1996). ABA, çevresel strese, özellikle de kuraklığa maruz kalan bitkilerde köklerden transpirasyon ile bekçi hücrelerine taşınır ve buradaki hipotetik ABA reseptörüne bağlanarak stomaların kapanmasını ve stresle ilgili birçok genin uyarılmasını sağlar (Hartung, 1998; Teiz ve Zeiger, 1998; Thompson, 2000). Tohumlarda dormansiye teşvik eden (Kabar, 1998; Garcarrubio ve ark., 2003), RNA ve protein sentezini engelleyen (Ananieva ve Ananiev, 1997) ABA, fide büyümesi üzerinde de engelleyici rol oynamaktadır (Han ve Downing, 1968; Trewavas ve Jones, 1991; Munns ve Cramer 1996; Tsai ve ark., 1997).

Stres koşulu altında bulunmayan bitki hücrelerinde ABA miktarları çok düşüktür. Düşük miktardaki ABA, normal bitki büyümesini teşvik eder (Jiang ve Zhang 2001, Finkelstein ve ark., 2002). ABA, her ne kadar genel anlamda büyüme engelleyici (Khan ve Downing 1968; Tsai ve ark., 1997) olarak kabul edilse de, engelleyici etkinin daha çok yüksek dozlarda ortaya çıktığı ve özellikle düşük dozlarda büyümeyi teşvik edici etkisinin olduğu da ifade edilmiştir (Rajasekaran ve Blake, 1999; Sharp, 2002).

Bitkilerde önemli kayıplara yol açan faktörlerin başında hastalıklar gelir. Bitkilerin ortamdaki besin maddelerini en iyi şekilde değerlendirmesi ve değişik çevre koşullarına uyumu açısından önemli olan kök bölgesi hastalıkları bu yönden önemlidir (Benlioğlu ve ark., 2004, 2005; Kırbağ ve Turan, 2006; Koike, 2008; Yıldız ve ark., 2010).

Bitkilerin kök bölgesinde hastalık oluşturan, önemli verim kayıplarına neden olan toprak kökenli fungal etmenlerden biri de *Macrophomina phaseolina*'dır. *M. phaseolina*, kök çürümesine, sap ve gövde çürüklükleri gibi fide hastalıklarına neden olur. *M. phaseolina* (Tassi) Goidanich, dünyanın tropikal ve ılık bölgelerinde görülen toprak kaynaklı, yabani ve kültür bitkilerinde olmak üzere yaklaşık 500 bitki türünde enfeksiyon yaparak kök ve gövde çürüklüğüne neden olan bir patojendir (Mihail, 1992; Partridge, 2003; Ndiaye, 2007). Önemli ekonomik kayıplara neden olduğu konukçuları; yer fıstığı (*Arachis hypogea*), şeker pancarı (*Beta vulgaris*), lahana (*Brassica oleracea*), biber (*Capsicum annuum*), nohut (*Cicer arietinum*), turuncgil (*Citrus spp.*), jüt (*Corchorus sp.*), hıyar (*Cucumis sativus.*), çilek (*Fragaria sp.*), soya fasulyesi (*Glycine max*), pamuk (*Gossypium sp.*), ayçiçeği (*Helianthus annuus*), tatlı patates (*Ipomoea batates*), yonca (*Medicago sativa*), fasulye (*Phaseolus spp.*), çam (*Pinus spp.*), susam

(*Sesamum indicum*), patates (*Solanum tuberosum*), sorgum (*Sorghum bicolor*), börölce (*Vigna unguiculata*) ve mısıır (*Zea mays*) sayılabilir(Partridge, 2003).

Olgun bitkilerde hastalığa köklerle birlikte kök boğazında ve gövdede rastlanır. Hastalıklı kökler önce kahverengileşir, sonra esmerleşerek çürürler (Şekil 1.2). Köklerin çürümeye başlaması üzerine, sekonder kökler gelişir. Çürüklük, bitkinin kök boğazından gövdeye geçer ve gövde içinde yukarıya doğru gelişir(Karaca, 1974).



Şekil 1.2. *M. phaseolina*'nın fasulye bitkisinde meydana getirdiği kök çürüklüğü (<https://www.entofito.com/fasulyede-komur-sap-curuklugu-hastaligi-macrophomina-phaseolina>).

Macrophomina phaseolina'nın fasulyede sebep olduğı zararlar; çıkış öncesi ve sonrası fide ölümleri veya olgun bitkilerin dayanıklılık ve ürün kaybı şeklindedir. Şiddetli enfekte olmuş bitkilerde; solma, kloroz, erken yaprak dökümü, erken olgunlaşma veya ölüm görülür. Kuraklığa tolerant çeşitlerin, aynı zamanda *M. phaseolina*'ya da dayanıklılık gösterdiği bildirilmiştir (Pastor-Corrales ve Abawi, 1988).

Genel olarak hastalık tablosuna göz attığımızda, mikorizalı bitkiler daha az zarar görmekte, hastalık görünümü azalmakta veya patojenin gelişimi önlenmektedir. Arbusküler mikorhizal bitkilerde hastalıklara karşı bir dayanıklılık artışı söz konusudur. Bu artış, kendini konukçuda daha az zarar, enfeksiyonda azalma ve klamidospore oluşumunun engellenmesi şeklinde ortaya koymaktadır(Schönbeck, 1980; Dehne, 1982; Linderman,1994).

Zambolim ve Schenck (1983), soya fasulyesinde zarar yapan değişik kök patojenleri *Rhizoctonia solani*, *Macrophomina phaseolina* ile *Fusarium solani*'ye karşı

AMF türü olan *Glomus mosseae*'yi uyguladıkları bir araştırmada, sadece patojenlerle bulaşık soya fasulyesinde kök ağırlığı, yeşil aksam ağırlığı ve bitki ağırlığının mikorhizalı bitkilere göre daha düşük olduğunu ve etmenlerle bulaşık bitkilerde tohum ağırlığının %10-%30 civarında azaldığını belirtmişlerdir. *G. mosseae*, soya fasulyesindeki hastalık görünüşü üzerinde etkili değilken, (+)AMF bitkilerde verim, (-) AMF bitkilerine göre % 15-% 50 arasında artmıştır.

Jalali ve ark.(1983), Mung fasulyesinde (*Phaseolus aureus*) *G. mosseae* ve *M. phaseolina* interaksiyonunda, mikorizal inokulasyonun, patojenin konukçu köklerinde yayılışını önemli oranda önlediğini, hastalık şiddetinin % 77.9'dan % 13.3'e kadar düştüğünü belirlemiş, patojen + AMF bitkilerinde total kuru madde, azot, fosfor ve potasyum içeriğinin de sadece patojenle inokule edilmiş bitkilere göre arttığını bildirmişlerdir.

Absisik asit (ABA), bitkinin patojen enfeksiyonuna cevabında negatif veya pozitif etki yapabilir. Bitkilerdeki daha yüksek ABA seviyelerinin, SA, JA veya etilenin aracılık ettiği sinyali baskılayarak savunma gen ekspresyonunu baskılayabildiği bildirilmiştir (Anderson ve ark., 2004).

Ekzojen ABA uygulamasının *Medicago truncatula* A17 bitkilerinde *Macrophomina phaseolina*'nın hastalık simptomlarının gelişimini daha çok hızlandığı gözlenmiş; çalışmanın sonucunda; bitkileri düşük doz ABA ile muamele etmenin hastalığın ilerlemesini hızlandığını ve ABA üretimi ve sinyalizasyonunun *M. phaseolina* ile enfekte olmuş bitkilere zararlı olabileceği ifade edilmiştir.(Hefel, 2015).

Bu çalışmada, fasulye bitkisinde önemli biyotik ve abiyotik stres faktörleri arasında yer alan, Fasulye Kömür Çürüklüğü Hastalığı (*Macrophomina phaseolina*) ile kısıtlı sulama koşullarına karşı, absisik asit (ABA) ve arbusküler mikorizal fungus (AMF) uygulamalarının, fasulyede bazı gelişim ve verim unsurlarına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

2.1. Fasulye Hakkında Genel Bilgiler

Ülkemizin tarım ülkesi olması ve Anadolu’da yemek kültüründeki zenginlik, çok çeşitli bitkisel üretimi de beraberinde getirmiştir. Bu nedenle, ülkemizin her bölgesinde çok sayıda sebze genotipleri yetiştirilmektedir. Bu zengin genotip çeşitlilik araştırmacılara birçok materyal imkanı sunmaktadır. (Adak ve ark., 2010; Gülümser, 2016). Fasulye, taze ve kuru tüketimi ile insan sağlığına sağladığı faydalar yanında, çok çeşitli tüketim şekilleriyle Anadolu’da yemek kültürünün önemli sebzelerinden biridir (Ekincialp, 2012).

Fasulye sadece insan beslenmesi bakımından değil, dolaylı olarak tarım ve hayvancılık alanlarında da kendine özgü bir yere sahiptir. Fasulye, baklagiller familyasına dahil olan bir bitki olduğu için köklerinde nodül ismi verilen şişkinlikler bulunur. Bu nodüller, içerisindeki nodule bakterileri (*Rhizobium phaseoli*) vasıtası ile havanın serbest azotundan yararlanmakta olup, toprağın azotça zenginleşmesine katkıda bulunmaktadır. Nodule bakterileri aracılığı ile fasulye bitkisi bir dekar ekili alanda bir yetiştirme döneminde 3-5 kg saf azot fiksasyonu sağlamaktadır. Bütün bunlara ilaveten, fasulye bitkisi, ekim nöbetine girerek bölgenin mono kültür tarım yapmasından kurtulmasına yardımcı olmaktadır. Ülkemizde bu yetiştiriciliğin tarihinin yaklaşık olarak 250 yıl öncesine dayanması, sayısız miktarda fasulye genotipinin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Şehirli, 1988).

Fasulyenin anavatanı Meksika, Guatemala, Kolombiya ve Orta ve Güney Amerika ülkeleridir. Taze baklaları ve tohumları farklı şekillerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte konserve, dondurma, kurutma gibi işleme teknolojileri kullanılarak da tüketilmektedir (Eşiyok, 2012).

Ülkemizde yetiştirilen fasulyeler *Phaseolus vulgaris* L. türü içinde yer almaktadır. *Phaseolus vulgaris* tek yıllık bir bitkidir. *Phaseolus vulgaris* L. var. *comminus* (sırık fasulye) ve *Phaseolus vulgaris* L. var. *nannus* (yer fasulye) olmak üzere iki formu mevcuttur. Tohumların çimlenmesinden sonra meydana gelen kazık kök 15-20 cm uzadıktan sonra büyüme durmakta ve kazık kök etrafında sekonder kökler ve

onlardan çıkan saçak kökler gelişmeyi sürdürmektedir. Fasulye, toprak isteği bakımından seçici bir bitki olmamakla birlikte, organik madde miktarı yüksek, su tutma kapasitesi iyi olan tınlı topraklarda daha iyi gelişmektedir (Eşiyok, 2012).

2.2. Bitkilerde Su Noksanlığı ve Etkileri

Bitkisel üretimi sınırlandıran abiyotik streslerin başında kuraklık gelmektedir (Reddy ve ark., 2004). Kuraklık, topraktaki mevcut su içeriğinin, bitkilerin su azlığından olumsuz etkilendiği miktara kadar, belirgin yağışın olmadığı bir periyodu tanımlar. Su noksanlığı ve kuruma olarak iki tipe ayrılan kuraklıkta, su noksanlığı orta düzeydeki su kaybını, kuruma ise aşırı miktardaki su kaybını içerir (Smirnoff, 1993).

Kurak koşullarda yapraklarda meydana gelen morfolojik değişimler, transpirasyonla kaybedilen su miktarını azaltırken köklerde oluşan morfolojik değişimler ise, topraktaki suyu daha yüksek bir kuvvetle absorbe etme yönünde ilerler (Çırak ve Esendal, 2006). Değişen yağış rejimlerinin etkisi ile topraklarda oluşan kuraklık ve beraberinde getirdiği tuzluluk, bitkisel üretimi de önemli ölçüde azaltır (Kaya ve Daşgan, 2013). Kuraklık stresi sonucunda bitkilerin kuru ağırlık kaybı %56 ile %60 arasında oluşurken, iyi sulanan bitkilerde bu kayıp %20'ye kadar düşebilir (Karakaş ve ark., 1997).

Su noksanlığına giren bitkilerde dokular arasında su dengesi bozulur. Günlük ya da uzun süreli olan stres durumunda turgor kaybı nedeniyle hücre büyümesi olumsuz etkilendiğinden hücreler küçük kalır ve hücre büyümesindeki azalma çeper sentezini etkiler. Bitkideki fizyolojik olayların ve temel bileşiklerin (protein, klorofil v.s.) olumsuz etkilenmesi durumunda fotosentez ve solunum yavaşlar veya durur (Blum ve ark., 1986; Lawlor ve Cornic, 2002). Bu olumsuz etkilenme tohumların çimlenme yeteneği kaybolmasına neden olabilir. Su noksanlığı azot metabolizmasını olumsuz etkileyerek bitki metabolizmasını bozabilir (Kocaçalışkan, 2003). Yeterli miktarda suyun olmaması, aynı zamanda floem ve ksilemdeki madde iletimini olumsuz etkilediğinden, meyvelerin küçük kalmasına, tahıllarda ise danelerin dolmamasına, bin dane ağırlığının düşmesine ve ürün kalitesinin düşmesine yol açabilir (Özen ve Onay, 2007; Nouri-Ganbalani ve ark., 2009). Kuraklık stresi uygulanan bitkilerde biyomas,

verim, yaprak alanı ve net asimilasyon oranında kontrol bitkilerine göre azalmalar da olabilir (Sankar ve ark., 2008). tespit edilmiştir

Kuraklık stresi, bitkilerde enzim aktivitesi ve enzim miktarını da etkileyebilir. Kuraklık stresinde, absisik asit miktarı yapraklarda artarak stomaların kapanmasını sağlar ve böylelikle su kaybını önlenir. Kuraklığın ilk belirtisi solgunluk olup, bu nokta aşılmadığı sürece, bitkiye su verildiğinde solgunluk geçer ve bitki eski durumuna gelir (Çırak ve Esendal, 2006).

Kuraklığın bitkide meydana getirdiği morfolojik ve fizyolojik değişimler bitkinin adaptasyonu üzerinde de önemli etkilere yol açar. Bunlar:

1. Tüylene: Bitki üzerine gelen ışınları dağıtarak veya topraktan yansıyan ışınları kırmak suretiyle zararlı böceklerin saldırılarından bitkiyi korur ve yaprak yüzeyinin nemlendirilmesine ve serinletilmesine yardımcı olur (Anonim, 2014).

2. Stomaların kapanması: Bu durum transpirasyonun azaltılması üzerine önemli etkiye bulunmaktadır. Kuraklığa dayanıklı bitkilerde stomaların daha az dayanıklı bitkilere göre daha hızlı kapandığı ifade edilmektedir. Stomaların erken kapanması, toprak kurummasına ilişkin bir tepki olup, yapraktaki transpirasyon hızına bağlı olarak optimal su dengesinin kurulmasına yardımcı olabilir. Ayrıca yaprak yüzeyinde mum tabakasının birikmesi ve bunun da kütikulanın kalınlaşmasına neden olması, epidermisten kaynaklı su kaybını azaltabilir (Anonim, 2014).

3. Kuraklık stresine cevap olarak bitki hücrelerinde solut birikimi: Hücre içinde solut miktarının (K, şekerler, amino asitler ve bazı iyonlar) artması, hücrede suyun tutulması bakımından önemlidir (Kacar ve ark., 2006; Özen ve Onay, 2007).

Kuraklık stresi bitkilerde verim ve kalite değerlerini olumsuz etkilerken (Ayaş ve Demirbaş, 2009), bitki boyu ve kuru ağırlıkta da azalışlara neden olabilir (Abdalla ve El-Khoshiban, 2007).

Kuraklık veya yüksek sıcaklık, bitkisel üretimde besin maddesi alınımı olumsuz etkileyebilir. Bilindiği üzere abiyotik stres altında bitkilerin mineral alımlarının azalır. Önemli bir stres faktörü olan kuraklık ile mineral beslenme birbiriyle çok yakından ilişki halindedir (Nam, 2010).

Bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için temel besin maddelerinden biri olan potasyum (K), aynı zamanda bitkide ozmotik dengenin korunmasında ve stomaların hareketinde önemli rol oynar. Bitki hücrelerinde birçok strolizik enzimin

fonksiyonelliği Na-K dengesine göre olmaktadır. Hücre içine dış ortamdan Na miktarının girişinin artmasıyla, K'nın hücreye alınması azalır, bu durumda da Na-K dengesi bozulur. Bunun en önemli sebebi, Na'nın, K'nın bağlanacağı alanlar için yarışa girmesi olarak gösterilmektedir. Ayrıca orta şiddette bir kuraklık karşısında bitki bünyesinde K iyon konsantrasyonunun artarken, stres derecesinde meydana gelen artış ile birlikte K ve Ca iyon alımının da engellenebilmektedir (Brito ve ark., 2003; Çulha ve Çakırlar, 2011).

Bitkilerin kuraklığa (oksidatif stres) göstermiş oldukları tolerans mekanizmaları, H_2O_2 oluşumu, lipid peroksidasyonu ve buna paralel olarak hücre membranlarında oluşan zararlanmalar ve prolin ve askorbik asit birikimi açıklanmaktadır (Güneş ve ark., 2007). Ayrıca oksidatif stres ile birlikte K, Ca, Fe ve Mn konsantrasyonlarında azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Sivritepe ve ark., 2008).

Hücrede aşırı su kaybı sonucunda oluşan iyon birikimi, membran bütünlüğünün ve proteinlerin yapısının bozulmasına ve hücrenin zarar görmesine yol açabilir (Bray, 1997; Özcan ve ark., 2004; Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

Nasri ve ark. (2008) şiddetli kuraklık stresi sonucu bitki bünyesinde K konsantrasyonunda azalma meydana geldiğini, potasyumun, stomaların açılıp kapanması, fotosentetik etki ve su dengesinin korunmasında etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Yuan-yuan ve ark. (2009) da Ca'nın kuraklığa dayanımda önemli bir role sahip olduğunu, ancak, kuraklığın şiddetli olduğu durumda kloroplastlarda bozulma meydana geldiğini ve bu durumun da Ca birikimini azaltabileceğini bildirmişlerdir.

Suyun kısıtlı olduğu periyotlarda, bitkinin vejetatif dokularında oksidatif stresin en yaygın nedeni, kloroplastta meydana gelen ışık-klorofil etkileşimleri olarak ifade edilmektedir (Mckersie ve Lehem, 1994; Farrant, 2000). Su alımı kısıtlı hale gelirken, bitki daha fazla su kaybetmemek için, genellikle stomalarını kapatırken, fotosentezle fiksasyon için gerekli CO_2 'nin alımının kısıtlanmasına yol açar. Bu durum, fotosentetik reaksiyon merkezlerindeki enerjinin aşırılığına neden olur (Stuhfauth, 1990; Tambussi, 2000).

Su stresine maruz kalan bitkiler, antioksidan savunma sistemleri yardımıyla ile oksidatif stresten korunabilirler (Srivalli ve ark., 2003; Jung, 2004; Ramachandra ve ark., 2004; Pinheiro ve ark., 2004). Bununla birlikte, uzun süreli ve akut veya kısa süreli

stres durumunda bile, savunma mekanizmalarının kapasiteleri yetersizliğinden dolayı, gözle görülür zararlanmalar, hatta bitki ölümleri meydana gelebilir (Alexieva, 2003).

Kuraklık ve enzim aktivitesi ile ilgili yapılan çalışmalarda, kuraklık stresinden yaşlı yaprakların daha fazla etkilendiği, bu nedenle stresten korunmak için enzim aktivitelerini çalıştırdıkları (Jung, 2004), APX enzim aktivitesinin artış göstererek askorbat peroksidazın H_2O_2 'nin zararlı etkilerinin engellenmesinde önemli olduğu belirtilmiştir (Sharma ve Dubey, 2004). Ayrıca kuraklık stresi arttıkça organik bileşiklerin de sentezini artırarak ozmotik dengeyi sağlamaya çalıştığı bildirilmiştir (Moussa ve Abdel-Aziz, 2008). Basu ve ark. (2010) ise tuzluluk ve paralelinde kuraklık artışında enzim aktivitelerinin önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Yong ve ark. (2006), geven (*Radix astragali*) bitki türünü 25 gün süre ile kuraklık stresine maruz bıraktıkları çalışmada, SOD, CAT ve POD aktivitelerinde stresin devam ettiği 20 gün süresince artışın olduğunu, 25. günden sonra ise enzim aktivitelerinde azalma olduğunu kaydetmişlerdir. Prolin tüm stres süresince artış gösterirken, bitkilerin su stresine adaptasyonunda özellikle biyokimyasal değişimlerin ve ozmotik düzenlemenin etkili olduğunu bildirmişlerdir

Sanchez-Rodriguez ve ark. (2010), kuraklık stresinin domateste, bitki gelişimi ve yaprak oransal su içeriğini olumsuz etkilediğini ve kuraklık stresine dayanıklı çeşitlerde enzim aktivitelerinin daha yüksek kaydedildiğini bildirmişlerdir. Nitekim Nikoleva ve ark. (2010) da buğday bitkisinde stres koşullarında GR ve APX enzim aktivitelerinin ise artış gösterdiğini bildirmişlerdir..

2.2.1. Kuraklıkla ilgili baklagillerde yapılan çalışmalar

Sanchez ve ark. (2004), PEG 6000 kullanarak oluşturdukları kuraklık stresinde, bezelye epikotillerinin gelişiminde önemli azalmaların meydana geldiğini, ozmotik ve turgor düzenleme ile ve gelişim arasında bir korelasyon olduğunu ifade etmişlerdir.

Serada koşullarında, fasulye ile yapılan ile yapılan bir kuraklık denemesinde farklı kısıtlı sulama koşullarında (%60, %100) fasulye bitkisinin gövde yaş ve kuru ağırlıkları, kök yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak alanı ve gövde boyunda, kuraklık stresi sonucu kontrol bitkilerine oranla azalma gözlemlendiğini, yapraklarda klorofil a ve b ile a/b

oranlarının kontrol bitkilerine göre stres koşullarında önemli bir fark oluşturmadığını ifade etmişlerdir (Ashraf ve Iram, 2005).

Türkan ve ark. (2005), Polyethylene glycol ile iki farklı fasulye (*P.vulgaris*, *P. acutifolius*) türünde oluşturdukları kuraklık stresinde, *P. vulgaris* türünün kök ve gövde kuru ağırlık bakımından *P. acutifolius* türüne oranla daha fazla etkilendiğini YOSİ= Yaprak oransal su içeriği, ve stoma geçirgenliği (Stomatal Conductance) daha yüksek olan *P. acutifolius*'un kuraklık stresine toleransının fazla olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda, ayrıca kuraklık stresine tolerant olan *P.acutifolius*'un antioksidan enzim aktivitelerini çalıştırarak oksidatif zararı telafi edebildiği bildirilmiştir Aynı türlerin kuraklığa toleransında enzimatik değişikliklerin değerlendirildiği başka bir çalışmada ise, glutamate dehydrogenase ve P5C reductase enzim aktivitelerinde artışın olduğu gözlenmiştir (Baron ve Mejia, 1998).

Martinez ve ark. (2007), altı farklı fasulye çeşidinde yaptıkları kuraklık denemesinde (Coscorron, Orfeo, Arroz Tuscola, Barbucho, Tortola ve Pinto), kuraklık stresinin bitki başına bakla sayısı ve toplam verim bakımından olumsuz etkilediğini, bitki su potansiyelinin kuraklık stresi sonucunda oldukça azaldığını ve genotipler arasında ortalama olarak %44 oranında bir düşüşün meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Güler ve ark. (2012) ise fasulyenin herhangi bir gelişim evresinde oluşabilecek su noksanlığının ürün kaybına yol açacağını belirtmişlerdir.

Riekert Van Heerden ve Krüger (2002), iki farklı soya fasulyesi çeşidi kullanarak (Maple Arrow ve Fiskeby V.) yapmış oldukları bir araştırmada, APX ve GR enzim aktivitelerinin stres koşullarında değiştiğini ve soya fasulyesi çeşitleri arasında bu değişimin farklılıklar gösterdiğini ifade etmişlerdir.

2.3. *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Hakkında Genel Bilgiler

Macrophomina phaseolina'nın sebep olduğu kömür çürüklüğü hastalığı, dünyada kurak ve yarı kurak bölgelerde, önemli bir baklagil olan fasulyede kayda değer zararlar oluşturmaktadır. *M. phaseolina*, 75 cinsten 500'den fazla türü içeren geniş bir konukçu dizinine sahip, monotipik bir toprak ve tohum kaynaklı türdür (Rayatpanah ve ark., 2009). Fungus, Botryosphaeriaceae familyasının bir üyesidir (Dhingra ve Sinclair, 1978; Crous ve ark., 2006).

Esas olarak ya mikrosklerot (birincil inokulum kaynağı) ya da piknidium oluşturur (Purkayastha ve ark., 2006). Kömür çürüğü, kültürde 60-200 µm arasında bir çapa sahip çok sayıda siyah mikrosklerotinin varlığı ile tanımlanır (Yeşil ve Baştaş, 2016). Mikroskop altında, yukarıdan aydınlatıldığında, yüzeylerinde nispeten büyük, pürüzsüz, yuvarlak şişliklere sahip, yuvarlaktan ovale kadar siyah noktalar olarak fark edilirler. Bazen pycnidia da görülür. Sporlar siyah, küresel, 100-250 µm arasında değişen büyüklükte ve kesik bir ostiolla son bulur. Hifler bölmeli, sayısız keseye sahiptir. Kültürdeki koloniler beyazdan kahverengiye veya griye kadar değişir ve yaşla birlikte koyulaşırlar. Hif dalları genel olarak ana hiflere dik açılarda meydana gelir, ancak dallanmada yaygın olarak dar açılara da rastlanır. Tamamen veya kısmen bastırılmış büyüme gösteren hava miselyumu, kültürde üretilebilir veya üretilmeyebilir. Bazı izolatlar eş merkezli büyüme halkaları meydana getirebilirler (Dhingra ve Sinclair, 1978; Mihail, 1992).

Geniş bir konukçu aralığına sahip olmasına rağmen, *M.phaseolina*, monotipik bir cinstir. *M. phaseolina*'yı alt türlere bölme çabaları, büyük ölçüde morfoloji ve patojenitede aşırı spesifik varyasyonlar nedeniyle başarılı olamamıştır (Purkayastha ve ark., 2006).

Patojen, fasulye fidelerinin hipokotil ve epikotillerinde siyah ve düzensiz lezyonlar oluşturur ve kotiledonlara kadar uzanan simptomlar, fidelerin ölümüne neden olur. Yetişkin bitkilerde ksilem damarlarının tıkanması neticesinde, solma ile izleyen kömür çürüklüğü simptomları görülür. Mikrosklerotlar biçimlenir, köklerde solma veya kırmızıdan kahverengiye kadar lezyonlar görülür. Ardından gri-siyah misel ve mikrosklerotlar oluşur. Bitki yapraklarından arınmıştır ve klorotik görünür, ciddi enfeksiyonlarda, ciddi ürün kayıpları yaşanır. Kömür çürüklüğünün gelişimi için yüksek sıcaklık ve kuraklık stresleri teşvik edicidir (Abawi ve Pastor-Corrales, 1990).

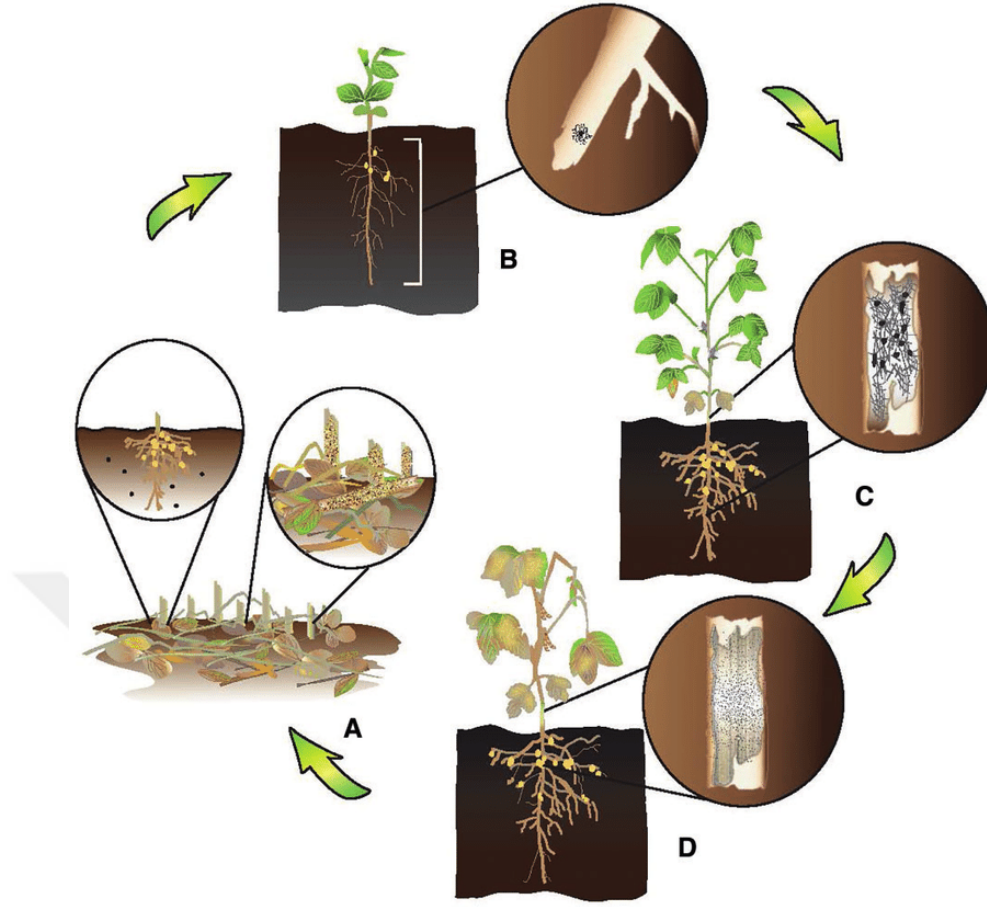
Hastalık, özellikle bitkilerin kuraklık stresinden muzdarip olduğu sıcak ve kurak yıllarda ürün veriminin önemli ölçüde azalmasına neden olabilmektedir. Bitkiler, su kaybını etkin bir şekilde sınırlayan koruyucu hücre kapanması ile kuraklık stresine yanıt gösterebilir. Bu süreç, kuraklığa toleransı indüklemek için kuraklık stresi altındaki bitkilerde üretilen fitohormon absisik asit (ABA) tarafından idare edilir. ABA ile muamele edilmiş bitkiler kuraklık stresine daha toleranslıdır, oysa ABA sentezi veya

ABA sinyallemede kusurlu bitkiler kuraklığa karşı hassasiyet gösterirler (Hefel, 2015).

Macrophomina phaseolina'nın mikrosklerotları toprakta 15 yıl kadar canlı kalabilir. Enfeksiyon, konak bitkinin köklerinde fide aşamasında çoklu çimlenen hifler yoluyla gerçekleşir. Fungus köklere ulaştığında vasküler sistemi etkiler ve bitkilerin üst kısımlarına su ve besin taşınmasına sekte vurur. Tipik semptomlar, yaprak sapları tarafından gövdeye yapışık kalan yaprakların sararması ve yaşlanması, alt gövde ve kökten kortikal dokuların dökülmesi ve mikrosklerotların bolluğundan dolayı bu dokuların gri renk almasıdır ve bu, konukçu bitkinin erken ölümüne neden olabilir (Grupta ve ark., 2012).

M. phaseolina, yer fıstığı, şeker pancarı lahanası, biber, nohut, kavun, çilek, soya fasulyesi, pamuk, ayçiçeği, tatlı patates, yonca fasulye, çam, susam, patates, sorgum, börülce ve mısır gibi farklı familyalara dahil bir çok konukçuda önemli ürün kayıplarına yol açmaktadır (Partridge, 2003).

M. phaseolina'nın hastalık oluşturmada için optimum 28-35 °C sıcaklık olmakla birlikte, yüksek sıcaklık ve nem koşulları patojenisitesinin artmasını teşvik etmektedir (Dhingra ve ark., 1978). Konukçusu olan bitkinin su stresi çekmesi de hastalığın gelişmesinde ana etkidir (Ghaffar ve Erwin, 1969; Blanco-Lopez ve ark., 1983). Olgun bitkilerde hastalık kök, kök boğazı ve gövdede görülür. Hastalıklı kökler önce kahverengileşir daha sonra esmerleşerek çürürler. Köklerin çürümeye başlaması üzerine, sekonder kökler gelişir. Çürüklük bitkinin kök boğazından gövdeye geçer ve gövde içinde yukarıya doğru ilerler. Bu bir kuru çürüklüktür ve sapın öz kısmını işgal eder. Fakat öz ile birlikte kabuk da çürüyünce bitki ölür. Bu şekilde ölmüş bir bitkinin gövdesi incelenirse, kök boğazından yukarı doğru çürüklüğün yayıldığı, epidermisin hatta kabuğun gövdeden ayrıldığı, patates, tütün, domates, patlıcan, biber gibi sebzelerde gövdenin özünün boşaldığı, buralarda kül gibi gri bir tozun biriktiği, bu toza ve çürük yerlere gri rengi veren yüz binlerce siyah sklerotlar olduğu gözlenir (Karaca, 1974) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. *Macrophomina phaseolina*'nın yaşam döngüsü (Romero Luna ve ark., 2017) (A: *M. phaseolina* kışı hastalıklı biki artıklarında geçirir, B: Mikrosklerotlar kök enfeksiyonunu gerçekleştirir, C: Fungus gövde içinde de gelişmeye başlar ve iletim demetlerinde enfeksiyon yapar, D: Kök boğazına yakın kısımda daha fazla mikrosklerot oluşur ve kömür çürüklüğü symptomu meydana gelir).

Etmen, hemen hemen tüm sebzelerde hastalığa neden olur; fungusun enfekte ettiği olgun bitkiler canlılığını yitirir; yapraklar sararır ve solar; çiçeklenmeden sonra kazık kök ve gövdenin alt kısmı açık gri veya gümüşü bir renk alır; bunun üzerinde ekseriya küçük siyah sklerotiler meydana gelir. Hastalık etmeni bazen piknidium yapıları da oluşturabilir; kışı toprakta ve hasta bitki artıklarında mikrosklerot olarak geçirir (Anonim, 2008).

Mücadelesi için; bitkileri strese sokacak uygulamalardan kaçınılmalı; ekim nöbeti uygulanmalı; uygun gübreleme ve sulama koşulları sağlanarak toprak nemi korunmalıdır (Anonim, 2008). *Macrophomina phaseolina* ile mücadelede biyolojik mücadelenin etkinliği birçok araştırmacı tarafından araştırılmış ve kanıtlanmıştır (Khaledi ve ark., 2016; Javaid ve ark., 2017; Boughalleb-Mu ve Hamdi, 2018).

M. phaseolina'ya karşı konukçu düzeyinde genetik dayanıklılık ile ilgili bilgiler sınırlıdır. Enfeksiyonu inhibe eden veya sınırlandıran *M. phaseolina*'ya karşı bilinen bir dikey direnç (R-genine dayalı) olmamakla birlikte, enfeksiyonu sınırlamayan, ancak hasarları azaltan veya telafi eden kısmi bir direnç olduğu ifade edilmektedir (Marquez ve ark., 2021).

2.3.1. Hastalık - kuraklık ilişkisi

Mayek-Perez ve ark. (2002), *M. phaseolina* inokulasyonu ile kuraklık stresi etkisinin arttığını, çalışmada kullanılan 4 fasulye genotipinde de su ve turgor basıncının düştüğünü, *M. phaseolina*'nın kuraklık stresinin su ve turgor basıncı üzerine negatif etkisini arttırdığını tespit etmişlerdir. Bağlı su içeriğinin kuraklık stresi ve az miktarda da *M. phaseolina* etkisiyle azaldığını, kuraklık stresi altındaki iki çeşit en yüksek bağlı su içeriği gösterirken, sulu koşullarda yetiştirilen çeşitlerin bağlı su içeriğinde farklılık yaşanmadığını, hastalık şiddetinin kurak şartlarda arttığını bildirmişlerdir. Kuraklık stresi ve kömür çürüklüğünün yaprak alanı, kök, gövde ve toplam kuru ağırlığı azalttığını, kuraklık stresi-kömür çürüklüğü kombinasyonunda bütün gelişme parametrelerinde en yüksek kaybın gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Stoma iletkenliği ile hastalık şiddeti arasında pozitif ilişki bulunurken, *M. phaseolina*'nın hastalık şiddeti ile transpirasyon oranı, su, ozmotik ve turgor potansiyelleri, bağlı su içeriği arasında negatif ilişki bulduklarını bildirmişlerdir.

Alemu ve ark. (2018), sulu şartlarda kömür çürüklüğünün şiddetinin, kuru şartlara göre çok daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Üç yıllık çalışma periyodunun herhangi birinde, ya da sulanan veya sulanmayan çevrelerde kömür çürüklüğüne orta derecede dayanıklı ve hassas genotiplerin ortalama dane verimleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Bununla birlikte, farklılıklar anlamlı olmasa da, kömür çürüklüğüne orta derecede dayanıklı (MRCR) genotiplerde her üç yılda ve her iki ortamda da (sulanan ve sulanmayan), hassas (SCR) genotiplerden daha yüksek ortalama verim kaydedilmiştir. Üç yıl boyunca, MRCR genotipler sulanan ortamda SCR genotiplerden 357 kg/ha daha fazla, sulanmayan ortamda 180 kg/ha daha fazla verim elde edilmiştir.

Milam (1989), iki yıl boyunca *M. phaseolina*'nın 36 ticari melez verimi üzerindeki etkisini değerlendirmiş ve düşük yağışın, kuraklık stresine ve hastalığın gelişimine ve enfeksiyona neden olduğunu bildirmiştir.

Alemu ve ark. (2011), kömür çürüklüğü nedeniyle verim düşüklüğünün %6-33 arasında seyrettiğini, CFU (Colony Forming Unit)'ya dayalı hastalık şiddeti, hastalığı değerlendirmek için kullanıldığında, AUDPC(Area Under Disease Progress Curve)'den (%36) daha fazla verim kaybı varyasyonu (%42) oluşturduğunu; bunun da kömür çürümesinin sulanan ortamlarda önemli bir hastalık olabileceğini düşündüğünü ifade etmişlerdir.

Gill-Langarica ve ark. (2008), tarafından 73 deneysel hat ve 10 soya fasulyesi çeşidinin yüksek derecede virülant bir *Macrophomina phaseolina* izolatına in vitro (tohum) ve serada (fide) sulu ve kuraklık stresi koşulları altında reaksiyonuna karşı dirençli germplazmı belirlemek için yapılan çalışmada; serada, kuraklık stresinin *M. phaseolina* enfeksiyonlarını arttırdığı ve fide kuru ağırlığını azaltarak soya fasulyesi gelişmesini de azalttığı ve biyokütle birikimine dayanan kuraklık stresinin etkilerini arttırdığı bildirmişlerdir.

Kuraklık stresi altında, bitkiler patojenlere karşı savunmasız hale gelebilir. Düşük toprak nemi koşullarındaki *Parthenocissus quinquefolia* (Amerikan sarmaşığı) bitkilerinde *Xylella fastidiosa* (Bakteriyel yaprak yanıklığı)'nın toplam yaprak alanı, sürgün boyu, yaprak su potansiyeli, stoma dayanıklılığı ve yaprak yanıklığı belirtileri açısından, sadece patojen enfeksiyonuna uğramış normal nem koşuluna sahip toprakta yetişen bitkilere göre daha olumsuz sonuçlar ortaya koyduğu bildirilmiştir (McElrone ve ark., 2001, 2003; McElrone ve Forseth, 2004). Benzer şekilde, Mayek-Perez ve ark. (2002), eş zamanlı olarak kuraklık stresine ve fungal patojen *Macrophomina phaseolina*'ya maruz kalan fasulye bitkilerinin yalnız kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilere göre daha yüksek transpirasyon oranı ve yaprak değerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Herhangi bir patojenle enfekte olan bitkiler, zayıf bazal savunmanın bir sonucu olarak kuraklık stresine karşı artan duyarlılık veya patojene bağlı uyarılmanın bir sonucu olarak artan kuraklık toleransı gösterebilirler (Conrath et al., 2002; Ton ve Mauch-Mani, 2004; Ton ve ark., 2005; van Hulst et al., 2006).

Patojen türevi moleküller, patojen enfeksiyonuna benzer bazı bağışıklık tepkileri indüklemeye potansiyeline sahiptir ve aynı anda eş zamanlı stresleri tedavi etmelerine katkıda bulunabilirler. Birlikte ele alındığında, bu çalışmalar bakteri kaynaklı moleküllerin eş zamanlı kuraklık ve patojenin bitkiler üzerindeki etkisini anlamadaki önemini ortaya koymaktadır (Bonas ve Lahaye, 2002; Montesano ve ark., 2003; Rasmussen et al., 2013).

2.4. Absisik Asit (ABA) – Biyotik ve Abiyotik Stres İlişkisi

Absisik Asit (ABA), bitkide doğal olarak sentezlenen ve bitki büyüme ve gelişmesinin düzenlenmesinde önemli rolü olan bir bitki büyüme inhibitörüdür (Creelman, 1989; Aurisano ve ark., 1993; Neill ve Burnett, 1999). ABA, bitkideki birçok fizyolojik etkisinin yanı sıra, strese adaptasyon ve uyum mekanizmalarını da idare eden (Nooden, 1988; Bozcuk ve ark., 1992; Agarwall ve ark., 2005) ABA bu özelliği ile stres hormonu olarak tanımlanmaktadır (Taylor ve ark., 2000; Gonai ve ark., 2004).

Absisik asit, kuraklık ve düşük sıcaklık stres toleransındaki rolünün yanı sıra (Shinozaki ve ark., 2003), bitki savunma tepkilerine aracılık eder (Melotto ve ark., 2006). Yüksek ABA konsantrasyonunun, ya kuraklığa bağlı birikim veya patojen enfeksiyonu zamanında ekzojen uygulama nedeniyle bitki hastalık direncini etkilediği bildirilmiştir (Mohr ve Cahill, 2003). ABA, bitkinin patojen enfeksiyonuna cevabında negatif veya pozitif etki yapabilir. Bitkilerdeki daha yüksek ABA seviyelerinin, SA, JA veya etilenin aracılık ettiği sinyali baskılayarak savunma gen ekspresyonunu baskılayabildiği bildirilmiştir (Anderson ve ark., 2004). Arabidopsis bitkilerine ekzojen uygulanan ABA'nın, *P. syringae* pv. tomato'nun bu bitkiler üzerindeki virülensliğini arttırdığı belirlenmiştir (de Torres-Zabala ve ark., 2007). ABA'nın hastalık direnci üzerindeki olumsuz etkisi, ABA biyosentezinde ve algısında kusurlu mutantlar kullanılarak da gösterilmiştir (Audenaert ve ark., 2002; Mohr ve Cahill, 2003). ABA'nın, flg22 ve LPS gibi patojenden türetilmiş elisitörlerin uygulanmasıyla gösterildiği gibi, stomaların hızlı kapanması yoluyla penetrasyon direncini artırarak patojenlere karşı pre-invaziv (işgal öncesi) savunmada ağırlıklı olarak olumlu tepkiler verdiği ifade edilmektedir (Melotto ve ark., 2006). ABA'nın ekzojen uygulamasının

Arabidopsis bitkilerindeki *Pythium irregulare* ve *Alternaria brassicicola*'ya (Adie ve ark., 2007) ve arpa bitkisindeki *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*'ye karşı bitkilerin direncine katkıda bulunduğu (Wiese ve ark., 2004) bildirilmiştir. Bu çalışmalarda gözlenen direnç artışının, ABA aracılığıyla elde edilen kallus biyosentezi veya bozunmasının, patojen yayılımının düşüşü ve inhibe edilmesinden kaynaklandığı ifade belirtilmiştir (Rezzonico ve ark., 1998; Jacobs ve ark., 2003).

Stres kombinasyonuna bitkinin cevabı, abiyotik stresin ve patojenin türüne göre değişir. Kuraklık ve patojene eş zamanlı maruz kalan bitkilerde hem hassas, hem de toleran cevaplar gözlenir. Ancak, bazı cevaplar toleranslıkla sonuçlanırken, diğerlerinin hassasiyetle sonuçlanmasının nedeni tam olarak bilinmemektedir (Ramegowda ve Senthil-Kumar, 2014).

Shalaby (2001), tarafından yapılan çalışmada, helichrysum çiçek ekstresi, hint fasulyesi yağı, aminobutirik asit, potasyum salisilat, oksalik asit ve salisilik asit'in susam ve ayçiçeğinde *M. phaseolina*'nın kontrolünde in vitroda etkili olmadığı, serada ise *M. phaseolina* 'nın hastalık oranını azaltarak, susam ve ayçiçeği bitkilerinin bitki boyu, tohum verimi, peroksidaz aktivitesi ve IAA içeriğini arttırdığı bildirilmiştir.

Bir başka çalışmada da, *Medicago truncatula* bitkileri, *M. phaseolina* inokulasyondan önce ABA içeren ortama aktarılmış, ekzojen ABA uygulamasının *Medicago truncatula* A17 bitkilerinde *Macrophomina phaseolina*'nın hastalık belirtilerinin gelişimini daha çok hızlandırdığı gözlenmiştir (Hefel, 2015). Bu çalışmanın sonucunda; bitkileri düşük doz ABA ile muamele etmenin hastalığın ilerlemesini hızlandırdığını ve ABA üretimi ve sinyalizasyonunun *M. phaseolina* ile enfekte olmuş bitkilere zararlı olabileceği ifade edilmiştir.

2.5. Arbüsküler Mikorizal Funguslar (AMF)

Bitki köklerini çevreleyen toprak içerisinde mikrobiyal aktivitenin ve biyolojik döngünün en fazla olduğu mikrokozmoz bölge rizosfer olarak bilinmektedir. Rizosferde bulunan saprofitik mikroorganizmaların büyük bir kısmı bitki köklerinin gelişimine negatif etkide bulunmazlar. Buna karşılık, patojen ve/veya parazitik özellikteki mikroorganizmalar, bitki köklerinde enfeksiyon gerçekleştirerek onlardan beslenirler. Oluşan enfeksiyon sonucunda, konukçu bitkide kök hücrelerinin doğal yapısı bozulur ve

bitkide hastalık simptomları görülür. Bazı durumlarda ise, kökte enfeksiyon yapan mikroorganizma ile konukçu bitki arasında bir denge oluşur. Bu dengede, mikroorganizma, bitkinin köklerine zarar vermeden kendisi için gerekli olan besinleri bitkiden alırken, konukçu bitki de bu ortak yaşamdan besin ve su alımında artış ve stres faktörlerine dayanıklılık özelliklerini kazanır (Hayman, 1981; Newman ve ark., 1992). Toprakta bulunan bazı fungus türleri ile bitki kökleri arasında meydana gelen bu ortak yaşam “*mikorhiza*” olarak adlandırılmaktadır (Demir, 1998).

Doğal ve tarımsal ekosistemlerde orman ağaçları, çayır mera bitkileri, nodül oluşturan baklagiller, narenciye bitkileri, bazı sert çekirdekli meyve ağaçları ve soğanlı bitkiler gibi birçok bitki türü besin elementinin ve suyun az olduğu alanlarda yaşamlarını sürdürebilme yeteneğindedirler (Ortaş, 1997). Yakın zamana kadar toprakta mobilitesi ve alınabilirliği düşük olan bazı besin elementlerinin alımının sadece bitki kökleri tarafından olduğu biliniyordu. Ancak son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarla, bitki besin elementlerinin alımında bitki köklerinin yanı sıra, mikorhiza olarak isimlendirilen ve sadece mikroskopik olarak teşhis edilebilen ve hifsel gelişimi yoğun olan fungus türleri tarafından alındığı ortaya konulmuştur (Ortaş 1996; 1997; 1998).

Mikorizal funguslar, topraktaki mevcut sporları aracılığıyla ekosistemdeki karasal bitkilerin yaklaşık olarak % 95'i ile simbiyotik yaşam oluşturmaktadır. Mikorizal fungusların hifleri bitki kök yüzey alanını arttırarak ve adeta bitkinin kök yapısı gibi davranarak bitki ana kök bölgesinden çok uzak bölgelerdeki besin elementlerini alabilmektedirler. Etkin bir simbiyotik yaşam oluştuğunda mikorizal funguslar, bitki ile ortak bir yaşam kurarak bitkinin su ve bazı mineral besin elementlerini, özellikle de almakta zorluk çektiği fosfor başta olmak üzere, azot, potasyum, çinko, bakır, demir ve molibden gibi besin elementlerinin alımını gerçekleştirmektedir. Bitki ve fungus arasında kuruluan bu simbiyotik yaşam aynı zamanda bitkilerin biyotik ve abiyotik stres koşullarına daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır (Rhodes, 1980; Ortaş, 1998).

Mikorhizal funguslar iki büyük gruba ayrılmaktadırlar. Ekto-mikorizal funguslar, genellikle çok yüksek yapılı ağaçların köklerinde bulunurlar ve bitkilerin korteksinde (harting net) hücreler arasında gelişirler. Bu grup funguslar fakat hiçbir zaman hücre içinde gelişmezler. Kolonizasyon sonucu oluşan kökçükler, çevresini saran toprağa nüfuz ederek derinlerdeki besin elementlerinden faydalanırlar (Ortaş, 1998).

Ektomikorizal funguslar, Fungi alemi içinde Basidiomycota ve Ascomycota şubesi içinde bulunurlar (Gerdemann, 1968; Abott ve Robson, 1978; Bonfante - Fasolo, 1984).

İkinci büyük grubu oluşturan endomikorizal funguslar ve bu grubun en önemli temsilcisi Arbusküler mikorhizal Funguslar (AMF) karasal bitkilerin yaklaşık olarak %80'in de kolonize olabilirler. AMF'ların önemli fungal yapıları arasında bitkide hücreler arası ve hücre içi gelişerek yağ ve besin deposu görevini gören “vesiküller” bulunmaktadır (Jabaji - Hare ve ark., 1984; Bonfante-Fasolo, 1984). Vesiküller, genellikle sarımsı renkte bir yağ damlası içeren, uç kısmı yumurta şekilli, sferik yapılardır ve AMF funguslarının hiflerinde terminal (uç) veya interkalar (ara) kısımlarda oluşurlar. Bazı AMF türlerinde vesiküller ince çeperli olup, genellikle köklerde hücreler arası veya hücre içi alanlarda ve değişik büyüklüklerde (30-50 μ - 80-100 μ) bulunurlar. İnce çeperli vesiküller daha çok besin deposu görevini üstlenirken, toprakta bulunan kalın çeperli vesiküller ise üreme organı (klamidospor) görevini yaparlar (Gerdemann, 1968; Abott ve Robson, 1978; Bonfante - Fasolo, 1984). AM fungusların bir diğer önemli fungal yapısı olan ve AMF kavramının oluşmasında etkili olan kök kolonizasyonun 4-10 günlük erken evresinde kök korteks hücrelerinin içinde oldukça dallanmış bir şekilde oluşan arbusküllerdir. Arbusküller bitki ile fungus arasındaki metabolik değişimler için yüzey alanlarının artmasını sağlayarak, partnerler arasında madde alışverişinde aktif rol oynarlar. AMF son yıllarda yapılan moleküler taksonomik çalışmalar sonucunda ortaya çıkan filogenetik farklılıklardan dolayı Glomeromycota şubesine dahil olmuşlardır (Schübler ve ark., 2001; Finley, 2005; Webster ve Weber, 2007; Smith ve Read, 2008).

AM funguslar bitki besin maddesi ve su alınımlı artırmak suretiyle bitki gelişimi teşvik etmekte, ürün kalite ve kantitesini artırarak verim unsurlarını artırmakta ve bitkinin biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadırlar (Killham, 1994).

2.5.1. AMF - kuraklık ilişkisi

AMF konusunda yapılmış birçok araştırmanın vardığı nokta, AM funguslarının bitkilerin makro ve mikro besin alınımlı artırması olarak kabul edilir. AMF, bitki gelişimini özellikle bitki besin maddelerinin yoğunluklarının ve alınabilirliklerinin

kritik seviyelerde olduğu kurak ve tuzlu marjinal topraklarda veya koşullarda arttırmaktadır. Bu olumlu ilişki, simbiyotik ilişkinin kurulduğu köklerin topraktan daha fazla fosfor, azot ve potasyum alabilmeleri ile açıklanmaktadır (Hayman, 1982; Johannsen ve ark., 1993; Pearson ve Jacobsen, 1993; Jacobsen, 1994). AMF'ler bitki köklerinin hemen çevresinde pH'yı düşürücü bazı enzim ve asidik salgılarla çözünürlüğü çok düşük olan inorganik fosfatları bitki için yararlı duruma getirmektedirler (Gür, 1975; 1976).

AMF hifleri bitki kökü yüzeyinde bir sünger tabakası gibi sürekli absorbe edici bir yüzey oluşturarak, öncesinde toprakta çeşitli aktiviteleri ile elverişli hale dönüştürdüğü fosfor bileşiklerini absorbe edici yüzey yardımıyla kök yüzeyinde toplamakta ve hifleri yardımıyla bitki köküne iletmektedir. Yukarıda anlatılan üç mekanizmanın işlevi sonunda, AMF appressorium oluşturarak bitkiye penetrasyon yapıp ve arbuskülleri aracılığı ile bünyesinde bulunan fosforu kök korteksindeki hücrelere taşır (Hayman ve Mosse, 1972).

AMF oluşumu üzerinde ekolojik faktörlerin etkisi önemlidir. Genel olarak bitki gelişimi için elverişli olan koşullar, besin maddeleri içeriği hariç, AMF oluşumu da olumlu etkilemektedir. AMF besin maddelerince fakir topraklarda daha iyi oluşurken, humus içeriği zengin, bünyesinde yüksek oranda azot, fosfor ve potasyum bulunan ve ağır kil içeriğine sahip topraklar AMF üzerinde olumsuz etkiye sahiptirler. Kompost gübreler AMF gelişimini teşvik ederken, hem yüksek ışık intensitesi, hem de topraktaki yüksek fosfor ve azot noksanlığının, köklerde AM funguslarının enfeksiyonunda ve karbonhidrat miktarında artışa yol açtığı belirlenmiştir (Bjorken'e atfen Gerdeman, 1968; Dehne, 1977).

AMF, yaygın şekilde biyolojik gübre olarak bilinir; bunun yanı sıra, AMF inokulasyonunun; ısı, tuzluluk, kuraklık, ağır metaller ve aşırı sıcaklıklara karşı bitkinin toleransını artırdığı bilinmektedir (Begum, ve ark., 2019).

AMF simbiyozu genellikle daha iyi bitki büyümesi, daha yüksek besin alımı, abiyotik ve biyotik streslere karşı daha fazla tolerans ve konukçu bitkide toprak yapısının iyileşmesi şeklinde sıralanabilir. Bu arada, AM ile aşılınmış narenciye bitkilerinin, kuraklık stresine (DS) daha fazla tolerans gösterdikleri bildirilmiştir. Kuraklık stresinin, hem AMF aşılınmış, hem de AMF aşılınmamış narenciyenin gelişimini önemli oranda kısıtladığı, ancak, AM kolonizasyonunun, DS altında bile bitki

büyümesi ve fotosentez üzerinde olumlu etki yaptığı belirlenmiştir (Palta ve ark.,; Wu ve ark.,2013).

Bitki kökleri ve AM fungusları arasındaki ilişki, bitki tarafından su alınımlı iyileştirerek kuraklığa daha yüksek tolerans sağlama yönündedir. Mikorizal bitkiler, topraktaki suyun hif ekstraksiyonu (Mohammad ve ark., 1998; Ruiz Lozano ve ark., 1995) ve daha iyi kök hidrolik iletkenliği (Auge ve Stodola, 1990) faktörlerinden dolayı suyu daha kolay alırlar. AMF ve kök birlikteliği yarı kurak alanlarda bitki verimliliği üzerindeki kuraklık stresinin olumsuz etkilerini minimize ederek, büyüme, verim ve besin alımını artırır (Belimov ve ark., 2002).

Budak ve ark. (2017), mısırdaki yaptıkları bir çalışmada, AMF uygulamasının hem normal sulama, hem de kurak koşullarda daha yüksek sürgün ağırlığı meydana getirdiğini; kurak şartlardaki AMF uygulanmış bitkilerin, normal sulanmış AMF'siz bitkilere yakın biyokütle geliştirdiğini belirtmişlerdir.

Mathur ve Jajoo (2019), kuraklık stresine (DS) bağlı hasar ve bunun AMF tarafından giderilmesi konusunda yaptıkları çalışmada, saksı deneylerinde buğday (*Triticum aestivum*) bitkilerinin fotosentetik aparatları üzerinde çalışmışlardır. Sulamayı kuraklık stresi (DS) ve AMF + DS bitkileri ile sürdürdükleri çalışmada, kuraklık koşullarını sağlamak için yaprak ve toprak için bağıl su içeriği (RWC) ölçülmüştür. Çalışma sonucunda DS bitkileri'nin hem yaprak hem de toprak için minimum RWC gösterdiği, AMF bitkilerinin ise hem yaprak hem de toprak için artan RWC gösterdiği tespit edilmiştir. Araştırmacılar, bu sonucu AMF hiflerinin toprağın derinliklerine nüfuz ederek bitkilere nem sağlamasıyla açıklamışlardır.

Bitkinin kuraklığa dayanıklılığında yerli AMF'nin etkisini değerlendirmek için Meng ve ark. (2019) tarafından Kuzeydoğu Çin'de ılıman iklim çayırlarında, yerinde yürütülen bir yağış kısıtlama denemesindeki sonuçlara göre, AMF'nin su kısıtının bitki üzerindeki olumsuz etkilerini önemli derecede azalttığı bildirilmiştir. AMF, yağış kısıtlamasının olduğu ılımlı kuraklık koşullarında C₃ bitkisi *Leymus chinensis*'in biyokütlesini ortalama %58 oranında, SOD enzim aktivitesini %45 oranında arttırmasına karşın, MDA miktarını %32 oranında düşürmüştür. Yağışın %70 noksan olduğu ekstrem kuraklık koşullarında ise, AMF toprak üstü biyokütle miktarını ve CAT aktivitesini arttırmıştır. Ilımlı kuraklık koşullarında ise, AMF, C₄ bitkisi *Hemarthria altissima*'nın toprak üstü biyokütlesini % 37, CAT aktivitesini %30 arttırmıştır.

Hashem ve Abd Allah (2020), AMF ile aşılanmış *Ephedra foliata* bitkilerinin kuraklık stresine dayanma yeteneklerinin daha fazla olduğunu, AMF aşılanmamış *E. foliata* bitkilerinin, stres uygulanmamış ve AMF aşılanmış bitkilere göre, kuraklık stresine tepki olarak klorofil pigmentlerinde bir azalma ile birlikte azalmış büyüme gösterdiklerini belirtmişlerdir.

2.5.2. AMF-hastalık ilişkisi

Konukçusu bulunduğu bitkiler ile bitki ile simbiyotik ilişkiye giren AM fungusu bitkiye penetrasyondan sonra önemli fizyolojik değişikliklere neden olarak, bitkilerin hastalık etmenlerine predispozisyonuna etkilemektedir. AM fungusu ile bitki arasındaki interaksiyon kök bölgesinde meydana geldiğinden, bu alanda yapılan araştırmalar genellikle toprak kaynaklı patojenlerin, özellikle fungusların neden olduğu hastalıklar üzerinde yoğunlaşmıştır (Demir ve Onoğur, 1999). AM fungusları kök sisteminde patojenin gelişimini geciktirme veya engelleme kabiliyetindedir. Bu etki, mikorizal ilişkinin kurulduğu bölge ile sınırlı olup, AM funguslarının konukçu bitkinin fizyolojisindeki çeşitli değişimler üzerinde lokalize edilmiş spesifik etkileri bulunmaktadır. Genel olarak bazı AM fungusların, kültür bitkileri ile simbiyotik yaşamı sadece bitki gelişimi açısından değil, toprak kaynaklı patojenlere karşı dayanıklılık sağlaması açısından da önemlidir. Doğal koşullar altında AM fungusları bu özellikleri ile potansiyel bir “*biyolojik kontrol ajanı*” olarak görülmektedir (Dehne, 1982; Linderman, 1994).

Kök hastalıklarına dayanıklılık mekanizmasını açıklayan birçok çalışma yapılmıştır. AMF, kök dokularında morfolojik değişiklikleri teşvik ederek lignifikasyonu artırmakta ve bu durum yapısal bir dayanıklılık unsuru olarak konukçu köklerini enfekte eden fitopatojen funguslara karşı bir bariyer görevi görmektedir. Lignifiye olmuş dokularla karşılaşan *F.oxysporum*, *Pyrenochaeta terrestris* gibi patojenlerin gelişimi büyük oranda önlendiği ifade edilmektedir (Schönbeck, 1980; Dehne, 1982; Linderman, 1994).

Simbiyotik oluşumunda büyük rol oynayan arbusküller, köklerde yüksek bir kitinolitik aktivitenin oluşmasına ve antifungal karakterli bu kitinolitik enzimlerin diğer fungal patojenlere karşı etkili olmasını sağlarlar (Linderman, 1994). Diğer bir özel kimyasal etki ise mikorhizal köklerde biriken arginin olup, tütün bitkilerinde inhibe

edilen *Thielaviopsis basicola*'nın sporulasyonunun ve gelişiminin engellenmesinin bu yolla gerçekleştiği bildirilmektedir (Baltruschat, 1975; Dehne, 1982).

Nematodların bitkilerin kök bölgesinde meydana getirdiği önemli zararlanmalarında da AM funguslarının patojenik fungusların kök enfeksiyonuna benzer benzer etkilerde bulunduğu ortaya konmuştur. Özellikle endoparazitik nematodlar tarafından enfeksiyona uğramış bitkilerde, kök bölgesinde AMF'nin oluşumundan sonra nematodların penetrasyonu azalmakta, kök içindeki gelişimleri yavaşlamakta ve ur oluşumunda sınırlama görülmektedir (Sikora, 1979; Dehne, 1982).

Mikorizalı veya mikorizasız bitkilerin toprak üstü aksamında hastalığa yol açan patojenlerin yol açtığı patolojik tablo, ortaya çıkardığı hastalık tablosu, oldukça ilginç ve sürpriz sonuçlar ortaya koymaktadır. Obligat ve fakültatif patojenlerin her ikisi de mikorizalı bitkilerin yeşil aksamına uygulandıklarında kontrol bitkilerine göre daha fazla hastalık oluşumuna neden olurlar (Demir ve Onoğur, 1999). Genel olarak AM fungusları sistemik olarak, bitkilerin toprak üstü yeşil yeşil aksamlarında hastalık etkisini artırma yeteneğindedirler. Söz konusu bu sistemik etki bitkinin daha iyi beslenmesi, gelişmesi ve mikorizal bitkilerdeki fizyolojik uyarımlarla açıklanmaktadır (Davis, 1979; Demir ve Onoğur, 1999).

Zambolim ve Schenck (1983), soya fasulyesinde zarar yapan değişik kök patojenleri *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* ve *Fusarium solani*'nin etkilerinin *Glomus mosseae* tarafından azaltılıp azaltılmayacağını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, hastalık şiddeti mikorhizal olan ve olmayan bitkilerde aynı oranda gerçekleşmekle beraber, mikorhizal bitkilerin kontrol bitkilerine oranla her üç hastalık etmenine karşı daha toleranslı olduğunu belirtmişlerdir.

Jalali ve ark., (1983), mung fasulyesinde (*Phaseolus aureus*) AMF *G. mosseae*'nin *M. phaseolina*'nın konukçu köklerinde yayılışını önemli oranda önlediğini ve hastalık şiddetinin % 77.9'dan % 13.3'e kadar düştüğünü belirlemişlerdir. Ayrıca aynı çalışmada patojen ve AMF'un beraber uygulandığı bitkilerde total kuru madde, azot, fosfor ve potasyum içeriğinin de sadece patojenle inokule edilmiş bitkilere göre arttığını bildirmişlerdir.

Demir (1998) tarafından yapılan çalışmada AMF- patlıcan- *Verticillium dahliae* ve AMF- kavun - *Macrophomina phaseolina* patosistemlerinde, AMF oluşumunun her iki patojenin meydana getirdiği hastalık şiddetinde sırasıyla %41 ve %58 oranında

azalmaya yol açtığı ve AMF(+) patlıcan ve kavun bitkilerinin, AMF(-) bitkilerine göre daha iyi geliştiği ortaya konmuştur. AMF oluşumu, patojenlerin topraktaki yoğunluğunu da etkilemiş, (+) bitkilerin yetiştirildiği topraklarda her iki patojenin propagül yoğunluğu (-) bitkilere göre daha düşük kaydedilmiştir.

Rizosferin anahtar üyeleri arasında yer alan AMF fungusları ve kök bakterisi *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* (Rlp) izolatlarının tekli ve ikili inokulasyon uygulamalarının *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. x fasulye patosisteminde, AMF ve Rlp'nin tekli inokulasyonlarının hastalık şiddetini % 10.3-24.1 oranlarında baskıladığı, tekli inokulasyonların ikili (AMF+Rlp) inokulasyonlara göre daha etkili olduğu bildirilmiştir (Aysan ve Demir, 2009). Onaran ve Yanar (2009) da fasulyede yaptıkları çalışmada, AMF uygulamasının *Sclerotinia sclerotiorum*'un gelişimini kontrole göre azalttığını tespit etmişlerdir.

Demir ve Aslanpay (2015) ise biberde AMF ve hümik asit (HA) uygulamasının bitki gelişimini artırdığı, *Phytophthora capsici*'yi ise % 37.6-% 55.6 oranlarında baskıladığı belirtilmiştir. Akbulut (2014) tarafından yapılan çalışmada ise, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL) ve *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*(FORL)'e karşı AMF uygulamasının hastalığı % 12.2-% 22.7 oranında baskıladığı ifade edilmiştir.

2.5.3. AMF-ABA ilişkisi

Kuraklıktan etkilenen alanların dünya çapında genişlemesi, verim ve mahsul üretimi üzerinde olumsuz etki yapmaktadır ve su açıkları bitkilerin büyümesini ve gelişmesini sınırlandıran en önemli abiyotik stres faktörü durumundadır. Arbusküler mikorizal fungusların (AMF) kullanımı, bu funguslarla aşılınmış bitkilerde su eksikliği stresine toleranstaki artış göz önüne alındığında, bu stresin etkilerini sürdürülebilir bir şekilde azaltan bir stratejidir. Bununla birlikte, yanıt, su eksikliği stres tipine, AMF'ye ve bitkiye özgü olduğundan, kesin mekanizma bilinmemektedir. Bu mekanizmalar, strigolaktonlar, jasmonik asit (JA) ve absisik asit (ABA) gibi bitki hormonlarının içeriğindeki değişiklikleri içerebilir. JA, ABA konsantrasyonlarının artması yoluyla mikorizal bitkilerdeki stres sinyali dahil görünmekte ve aynı zamanda ABA'nın strigolakton konsantrasyonları üzerinde düzenleyici bir etkisi bulunmaktadır. Ayrıca,

ozmotik uyum ve antioksidan aktivite gibi bir su eksikliği ile başa çıkmak için bitki su durumu, stoma iletkenliği, beslenme durumu ve bitki tepkilerinde iyileşme yaratmaktadır. Bu modifikasyonlar, CO₂ asimilasyonunda ve fotoasimilant üretiminde bir artışa neden olarak kuraklık sırasında bitki büyümesini iyileştirir (Fernández-Lizarazo ve Moreno-Fonseca, 2016).

Chen ve ark. (2020), farklı sulama seviyeleri altında AMF *Rhizophagus intraradices* ile aşılamanın *Catalpa bungei*'nin büyümesi ve fizyolojik performansı üzerindeki etkilerini araştırmak için yaptıkları bir saksı deneyinde, üç su seviyesi ve iki mikorizal aşılama işlemi uygulanmıştır. Sonuçlar, kuraklık stresinin *C. bungei* fidelerinin büyümesini ve fizyolojik performansını belirgin şekilde etkilediğini göstermiştir. Bununla birlikte, *R. intraradices* ile aşılamanın, büyümeyi önemli ölçüde iyileştirdiği ve kuraklık stresinin etkilerini hafiflettiği bildirilmiştir. AMF ile aşılansız fidelerin büyüme parametreleri, su durumundan bağımsız olarak önemli ölçüde artmıştır. AMF, kök kütle oranını (RMR) ve kök/sürgün oranını azaltarak fidelerdeki biyokütle dağılımını değiştirmiştir. AMF ile aşılansız fidelerde, su durumundan bağımsız olarak daha yüksek gaz değişim parametreleri, fotosentetik pigment konsantrasyonları, spesifik yaprak alanı (SLA) belirlenirken, daha düşük spesifik yaprak ağırlığı (SLW) tespit edilmiştir. AMF, yapraklarda aşırı reaktif oksijen türlerinin (ROS), özellikle H₂O₂ ve O₂⁻ oluşumunu azaltarak kuraklığın neden olduğu oksidatif stresi hafifletmiştir. Kuraklık stresi altında AMF ile aşılama ayrıca indol-3-asetik asit (IAA) ve gibberellinlerin (GA₃) seviyelerini ve IAA/absisik asit (ABA) ve GA₃/ABA oranlarını önemli ölçüde arttırmış, ancak yapraklarda ABA ve zeatin (ZT) seviyelerini düşürmüştür.

Wu ve ark. (2021), tarafından yapılan çalışmada AMF fungusunun faydalı etkilerinin fungus ve konukçu bitki türlerine bağlı olarak değiştiği, bitki başına AMF spor yoğunluğu arttıkça bitkideki absisik asit, indol asetik asit ve giberallik asit birikiminin arttığı belirlenmiştir.

Abiyotik stresler için, AMF'nin bu streslere adaptasyon mekanizmaları genellikle artan hidromineral beslenme, iyon seçiciliği, gen regülasyonu, ozmolit üretimi ve fitohormonların ve antioksidanların sentezi ile bağlantılı olduğu bildirilmiştir (Diagne, ve ark., 2020).

2.5.4. AMF-ABA-hastalık ilişkisi

Arbusküler mikorizal funguslar (AMF) ve *Trichoderma harzianum*'un, bitkide fitohormon sentezi veya taşınması ile etkileşim yoluyla bitki büyümesini ve hastalık direncini etkilediği bilinmektedir. Bu mikroorganizmalar ve konukçu bitkiler arasındaki çapraz iletişim (Cross-talk) normalde doğada meydana gelir ve bitki direncini etkileyebilir. Martinez-Medina ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, kavun bitkilerinin sürgünlerinde *T. harzianum* ve iki farklı AMF (*Glomus intraradices* ve *Glomus mosseae*) ile eş zamanlı inokulasyonlara yanıt olarak çeşitli hormon seviyelerinde önemli değişikliklerin olduğu bildirilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgulara göre sürgündeki zeatin (Ze), indol-3-asetik asit (IAA), 1-aminosiklopropan-1-karboksilik asit (ACC), salisilik asit (SA), jasmonik asit (JA) ve absisik asit (ABA) içeriğinin *G. intraradices* ve *G. mosseae*'ye ortak ve/veya farklı tepkileri gösterdiği ve bu etkilerin fusarium solgunluğuna karşı bazal dirençte etkili olduğu ortaya konmuştur.

AMF'nin, üzümlerin fenolik içeriğini (özellikle antosiyaninler) geliştirme yeteneğinin, olgunlaşma sırasında meyve ABA metabolizmasındaki değişikliklere aracılık edip edemeyeceğini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada, ABA metabolizmasının, AMF'nin küresel ısınma senaryoları altında üzümlerin kalitesinde yer alan bazı özellikleri iyileştirme yeteneği olduğu vurgulanmıştır (Torres ve ark., 2018).

Yakın zamanda sentetik bir ABA taklit eden ligand olan AMF4'ün, strese duyarlı genlerin ekspresyonunu indüklemeye uzun süreli etkilere sahip olduğu ve dolayısıyla bitkilerde abiyotik tolerans sağladığı bildirilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, AMF4'ün buğdayda soğuk toleransını indüklemek için kullanılabileceğini ve sentetik ABA'yı taklit eden ligandları kullanarak abiyotik stres toleransını artırmanın potansiyel yollarına dair yeni bilgiler sağladığını göstermektedir (Li ve ark., 2020).

Bitkilerin kuraklık stresine tepkisinde yer alan mekanizmalar arasında fitohormonların üretimi önemli yer alır. Hormon homeostazı, abiyotik streslere karşı bitki toleransını düzenler. Absisik asit (ABA) en temel stres hormonal sinyolidir,

terleme hızını modüle eder, kök hidrolik iletkenlik ve aquaporin ifadesini, stoma iletkenliğini ve diğer ilgili fizyolojik süreçleri yanıtlar. ABA, stoma kapanmasını indükler ve hücre su kaybını azaltır. AMF ile aşılama, absisik asitin düzenlenmesi yoluyla stoma işleyişinin kontrolünü etkiler. Yapılan çalışmalarda mikorizal bitkilerin köklerinde ve yapraklarında kuraklık stresi altındaki mikorizal olmayan bitkilere göre daha düşük bir ABA konsantrasyonu bulunduğu bildirilmiştir. Jasmonik asitin su stresi koşullarına karşı bitki tepkilerini düzenlemek için absisik asit ile etkileşime girdiğinin kanıtlandığı çalışmada, JA'in bitkilerde su stresini azalttığı bu hormonun protein kanallarının varlığı ve düzenlenmesinde ve stomada su alımı ve taşınmasında ve kök hidrolik iletkenliğinde önemli bir rol oynadığı bildirilmiştir (Diagne ve ark., 2020).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Bitkisel materyal

Çalışmada bitkisel materyal olarak bodur Gina, Sarıkız ve Romano ticari fasulye çeşitleri kullanılmıştır.

3.1.2. Patojen

Patojen olarak kömür çürüklüğü hastalığı etmeni *Macrophomina phaseolina*'nın (Mp) önceden yüksek virülensliği bilinen 7₂ izolatu kullanılmıştır.

3.1.3. Biyolojik kontrol ajanı

Çalışmada biyolojik kontrol ajanı olarak Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Mikoloji laboratuvarı stoklarından temin edilen *Glomus intraradices* Schenck and Smith (*Rhizophagus irregularis*) kullanılmıştır.

3.1.4. Absisik asit (ABA)

Absisik asit (ABA)(CAT NO: 190673), MP Biyomedikal firmasından temin edilmiştir.

3.1.5. Besi ortamı

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

Çizelge 3.1. *Macrophomina phaseolina* izolatı besiyeri 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 besiyeri (Dhingra ve Sinclair, 1985).

3.1.6. Bitki yetiştirme ortamları

Çalışmalar; iklim odasında 23.5/18 °C gece/gündüz sıcaklığı; 16 saat aydınlık, 8 saat karanlık; 4000-6000 lux ışık şiddeti koşullarında yürütülmüş (Palta ve ark., 2012); çalışmanın örtüaltı denemesi ise, Van YYÜ Bahçe Bitkileri Bölümüne ait 20 m x 4.5 m x 3.5 m ebatlarında cam serada yürütülmüştür (Şekil 3.1). Serada denemenin yürütüldüğü aylara ait 2020 yılı (Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül) sıcaklık ve nem değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Örtüaltı denemesinden görünüm.

Çizelge 3.2. Sera denemesine ait sıcaklık ve nem değerleri (2020 yılı)

Aylar	Sıcaklık Değerleri(°C)	Nem Değerleri (%)
-------	------------------------	-------------------

	Maksimum Sıcaklık	Minimum Sıcaklık	Maksimum Nem	Minimum Nem
Haziran	33	12	74	15
Temmuz	34	15	79	20
Ağustos	35	12	85	20
Eylül	34	11	85	20

Yetiştirme ortamı olarak, 3 litrelik saksılara 2:1 oranında torf ve perlit karıştırılarak kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan torf ve perlit içeriği Çizelge 3.3. ve Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yetiştirme ortamı olan torfun özellikleri

Torfun içeriği	Miktarı
Beyaz torf oranı	% 70
Siyah torf oranı	% 30
PH	5.5-6.5
Tuz oranı	0.3 g/L
EC	35 mS/m
Elenmiş strüktür	İnce (0-10 mm)
Gübre içeriği	1.0 kg/m ³
Beyaz torf oranı	% 70
Siyah torf oranı	% 30
PH	5.5-6.5
Tuz oranı	0.3 g/L

Çizelge 3.4. Yetiştirme ortamı olan perlitin özellikleri

Perlitin içeriği	Miktarı
TiO ₂	0.03-0.2
MnO ₂	0.03-0.1
SO ₃	0-0.2
H ₂ O	2-7
SiO ₂	72-76
Al ₂ O ₃	11-17
K ₂ O	4-5
Na ₂ O	2.9-4
CaO	0.5-2
MgO	0.1-0.5
Tuz oranı	0.3 g/L

3.1.7. Bitki besin solüsyonları

İklim odasında yetiştirilen bitkiler Hoagland besin solüsyonu içeren (% 0.2) su ile sulanmışlardır.

Çizelge 3.5. A tankı besin solüsyonu içeriği (%)

Azot Toplamı (N)	10.03*
Amonyum (NH ₄)	1.60
Nitrat (NO ₃)	8.70
Potasyum oksit (K ₂ O)	7.50
Kalsiyum (Ca)	8.60
Demir DTPA (Fe)	0.30

*: 1 litre suya 2 ml A besin solüsyonu kullanılmıştır.

Çizelge 3.6. B tankı besin solüsyonu içeriği (%)

Azot Toplamı (N)	2.1*
Nitrat (NO ₃)	2.1
Potasyum oksit (K ₂ O)	11.6
Fosfor Pentaoksit (P ₂ O ₅)	6.4
Magnezyum (Mg)	1.6
Çinko (Zn)	0.01
Bor (B)	0.03
Bakır (Cu)	0.003
Molibden (Mo)	0.004
Mangan (Mn)	0.1

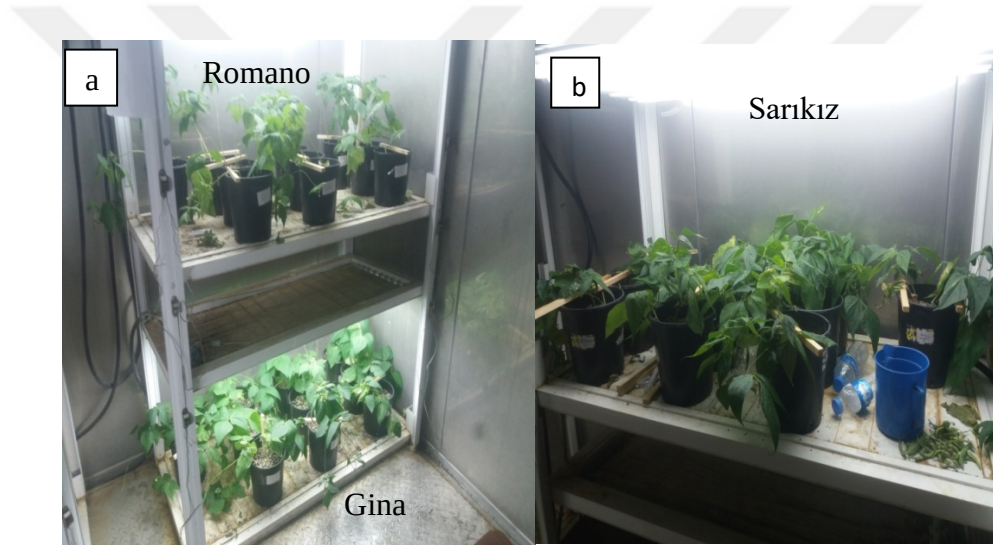
*: 1 litre suya 2 ml B besin solüsyonu kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Uygun AMF x fasulye çeşidi kombinasyonunun belirlenmesi

Üç farklı bodur fasulye çeşidi (Gina, Sakız ve Romano) ile *G. intraradices*'in uyumunun tespit edildiği denemede, en iyi AMF gelişimi gösteren fasulye çeşidi belirlenerek daha sonraki denemelerde kullanılmıştır (Şekil 3.2). Üç litrelik saksılara konulan 2:1 oranında torf:perlite karışımına, tohum başına 2.5 g AMF inokulumu ilave edilerek fasulye tohumları her saksıya 4 tohum olacak şekilde ekilmiştir. Bitkiler gerçek yaprak evresine ulaştıklarında her saksıda bir bitki ile devam edilmiştir (Şekil 3.2a, b).

Tesadüf parselleri deneme planına göre 5 tekerrürlü olarak yürütülen deneme süresince (8 hafta) 3.1.6.'da özellikleri verilen iklim odasında tutulmuş ve haftada 3 kez A ve B besin solüsyonları ile sulanmışlardır. Toplam 8 haftalık yetiştirme süresinden sonra sökülen bitkiler musluk suyu altında daha sonra saf su altında yıkanarak köklere yapışan toprak parçacıklarından arındırılmıştır. Toprak parçacıklarından arındırılan bitkilerin yaş ve kuru ağırlıkları ayrı ayrı ölçülmüştür. Bitki boyu ve çapı alınan bitkilerin yaş ağırlıkları da hassas terazide 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 3.2. a. Romano (Üstte), Gina (Altta) b. Sarıkız fasulye çeşitleri.

3.2.1.2. AMF'ye ait gelişim kriterlerinin belirlenmesi

3.2.1.2.1. AMF kök kolonizasyonunun belirlenmesi

Yaş ve kuru ağırlıkları alınan fasulye 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 (Phillips ve Hayman, 1970).

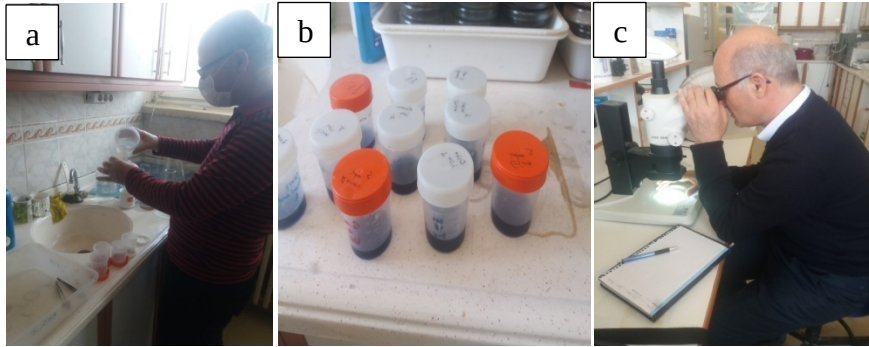
AFA sıvısı içinde muhafaza edilen kökler, AMF'nin varlığını ve kolonizasyonunu belirlemek için Laktofenol mavisi ile boyanmıştır. Boyanan köklerde

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 (Şekil 3.3.a). Daha sonra boya çözeltisinin içine aktarılarak iki saat bu çözeltide bekletilmiştir. Bu işlemden sonra 50 °C'lik sıcak su içinde 5 dakika kadar ısıtılmıştır. Isıtılan kökler saf su içinde yıkanarak laktik asit içerisinde bekletilmiştir (Şekil 3.3 b). Kökler daha sonra laktik asit içinden çıkarılıp mikroskopik incelemeye alınmıştır (Şekil 3. 3c). İncelemeye alınan bu kılcal kökler 1-1.5 cm uzunluğunda parçalara ayrılmış, yaklaşık 0.5 g kadar alınıp ve 1 cm²'lik alanlara ayrılmış petri kabında homojen bir şekilde dağıtılmıştır. Mikroskopik gözlemler sırasında fungusa ait herhangi bir üreme yapısının (hif, klamidospore, vesikül, arbuskül) yer aldığı her bir kök parçası, fungus tarafından kolonize edilmiş olarak değerlendirilmiştir. Köklerdeki kolonizasyon oranı (% AMF), sayımlar sonucu elde edilen değerler Eş. 3.1 yardımıyla yüzde (%) olarak belirlenmiştir (Giovanetti ve Mosse, 1980).

$$\% \text{ AMF} = \text{AMF}_K / K \times 100 \quad (3.1)$$

AMF_K = AMF ile kolonize olmuş kök sayısı;

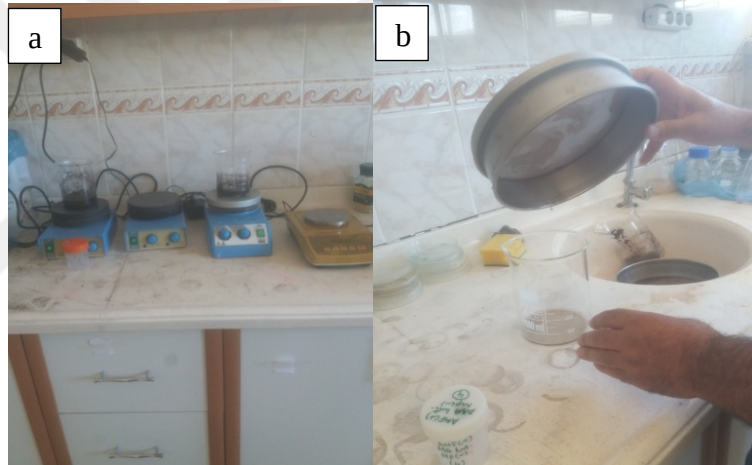
K = Toplam kök sayısı



Şekil 3.3. AMF kök kolonizasyonunun tespiti a. KOH'ten çıkarılıp HCl içine konan kökler b. Boya çözeltisindeki kökler c. Mikroskop altında kök kolonizasyonunun belirlenmesi.

3.2.1.2.2. 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 elekten elenip yaklaşık 10 g tartılarak 100 ml steril saf su bulunduran beher glass içine aktarılmıştır. Karışım, manyetik karıştırıcıda bir baget yardımıyla 5 dakika karıştırılarak (Şekil 3.4 a), kaba toprak partikülleri ve bitki parçacıklarının dibe çökmesi için 10 dakika bekletilmiştir. Cam kap içinde üst kısımda kalan sıvı yavaşça, önce 80 µm'lik elekten, daha sonra da 45 µm'lik elekten geçirilerek (Şekil 3.4 b), elek üzerinde kalan ıslak materyal bir pipet yardımıyla su ile yıkanarak bir beher glassta toplanmıştır. Toplanan bu sıvı bir petri kabına boşaltılarak, stereo mikroskop altında sağlıklı görünen sporlar belirlenerek gram topraktaki spor yoğunluğu belirlenmiştir.



Şekil 3.4. AMF'nin topraktaki spor yoğunluğunun tespiti a. Saf su ile manyetik karıştırıcıda ekstrakte edilen toprak örneği b. Üstteki sıvının önce 80 µm, sonra 45 µm'lik elekten geçirilmesi.

3.2.1.2.3. Mikorhizal bağımlılığın belirlenmesi

Bitkilerin 8 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. 3.2 yardımıyla belirlenmiştir (Declerck ve ark., 1995).

$$MB (\%) = \frac{A-B}{A} \times 100$$

(3.2)

A = Mikorhizal bitkinin toplam kuru ağırlığı

B = Mikorhizal olmayan bitkinin toplam bitki ağırlığı

3.2.2. *İn-vitro* koşullarda ABA'nın farklı dozlarının *Macrophomina phaseolina*'ya etkisinin belirlenmesi

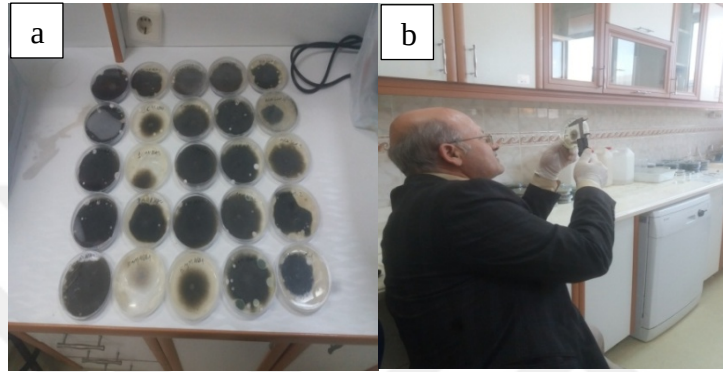
3.2.2.1. Absisik asit (ABA) dozlarının hazırlanması

Önce, hazırlanacak dozda stok çözelti için, 50 mg ABA, 1 ml metanolde çözülür hesabıyla, 100 ml stok çözelti hazırlamak için gerekli ABA miktarı hesaplanarak oransal miktardaki metanolde çözdürülmüş ve saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Şöyleki; 0.1 mili molar (mM) ($= 100 \mu\text{M} = 10^{-4} \text{ M ABA}$) stok ABA için; 1000 ml'de 10^{-4} molekül olacaksa, 100 ml'de 10^{-5} olur hesabıyla; $264.32 \text{ g (1 M ABA)} * 10^{-5} = 0.00264 \text{ g ABA}$ metanolde çözüldükten sonra saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Stok çözeltisinden $1 \mu\text{M}$ dozunda ABA çözeltisi hazırlamak için: $1 * 10^{-4} \text{ M} * V = 1 * 10^{-6} \text{ M} * 75 = 0.75 \text{ ml}$ alınarak 75ml'ye tamamlanmış; $5 \mu\text{M}$ için stok çözeltisinden; $5 * 0.75 = 3.75 \text{ ml}$, $10 \mu\text{M}$ ABA için; $0.75 * 10 = 7.5 \text{ ml}$, $20 \mu\text{M}$ ABA için; $0.75 * 20 = 15 \text{ ml}$ alınarak herbiri ayrı ölçü silindirinde 75 ml'ye tamamlanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. ABA çözeltileri ya günlük taze olarak veya artan miktar en fazla 1 günlük stok halinde 4°C 'de ağzı kapalı bekletilerek kullanılmıştır.

3.2.2.2. Petri denemesi

Bu aşamada, absisik asitin *M. phaseolina*'ya karşı *in vitro*'daki en uygun dozu tespit edilmeye çalışılmıştır. Absisik asit dozları, daha önce yapılmış çalışmalar dikkate alınarak; 1, 5, 10, 20 μM konsantrasyonlarda, içinde PDA bulunan 9 cm'lik her petriye 15 ml olacak şekilde dökülmüştür (Başak, 2011; Hefel, 2011). Önceden PDA ortamında geliştirilmiş 7-10 günlük *M. phaseolina* kültürlerinden cork borer yardımıyla 5 mm'lik parçalar alınarak, absisik asit + PDA içeren petri kaplarına yerleştirilmiştir (Soliman ve

Badeaa, 2002). Petri kapakları parafilm ile sıkıca sarıldıktan sonra 27 °C’de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun 3., 4., 5. ve 6. günlerinde petrilere gelişen (Şekil 3.5a) fungusların koloni çapları dijital kumpas kullanılarak birbirine dik yönlerde ölçülmüştür (Şekil 3.5b). Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre, 5 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.



Şekil 3.5. Farklı ABA dozları uygulanmış PDA ortamında *M. phaseolina*’nın koloni gelişimi a. PDA+ABA ortamında Mp izolatının gelişimi (6.gün) b Dijital kumpasla Mp koloni çapı ölçümü.

3.2.3. *In vivo* (iklim odasında) koşullarda ABA’nın farklı dozlarının *Macrophomina phaseolina*’ya ve AMF’ye etkisinin belirlenmesi

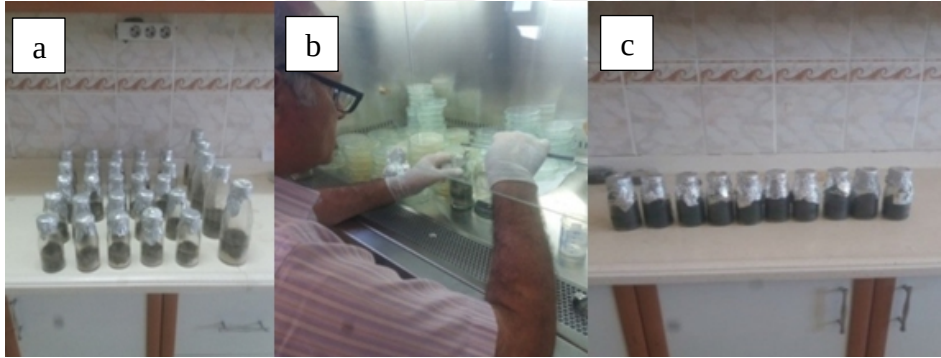
Farklı ABA dozlarının (1, 5, 10, 20 μ M) 3.2.2’de *in vitro* koşullarda *M. phaseolina*’ya karşı etkisi belirlendikten sonra, *in-vivo*’da iklim odası koşullarında aynı ABA dozlarının AMF ile birlikte 3.2.1.’de AMF’ye bağımlılığı en iyi olduğu belirlenen Gina fasulye çeşidinde *M. phaseolina*’ya karşı etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır. Deneme tesadüf parsellerinde çok faktörlü deneme desenine göre 5 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

3.2.3.1. Bitki tohumlarına AMF inokulasyonu

Bölüm 3.2.1’de belirtilen şekilde yapılmıştır.

3.2.3.2. *Macrophomina phaseolina*’nın bitkiye inokulasyonu

Mp'nın çoğaltılmasında, mısır unu kum kültürü kullanılmıştır (Akköprü, 2004). Kum kültürü hazırlamak için, 240 g kum ve 27 g mısır unu, 500 ml'lik cam şişelere konularak iyice karıştırılmıştır. Bunun üzerine, 200 g patates 1 l suda haşlandıktan sonra, süzülüp sıkılması ile elde edilen patates suyundan 35 ml eklenmiş ve ağızları alüminyum folyo ile kapatılarak tekrar iyice karıştırılmıştır (Şekil 3.6a). Otoklavda birer gün ara ile iki defa 121 °C ve 1 atm. basınçta 30 dakika steril edilmiştir. Steril edilen şişelerin içine, PDA'da 7 gün boyunca geliştirilmiş Mp kültürleri, 4 eşit parçaya bölünmüş ve şişelere birer parça konarak çalkalanmıştır (Şekil 3.6b). İnkübatörde 4 hafta süresince 24 ± 2 °C'de gelişmeye bırakılan kültürler sporlanmayı ve gelişmeyi hızlandırmak için aralıklı olarak çalkalanmıştır (Şekil 3.6c). 4. haftanın sonunda Mp'li mısır unu kum kültürü ekim toprağına ağırlık esasına göre (w/w) % 5 oranında bulaştırıldıktan 4 gün sonra, plastik bardaklarda bulunan gerçek yapraklı dönemdeki fasulye bitkileri saksılara şaşırtılmıştır.



Şekil 3.6. Mısır unu-kum kültüründe *M. phaseolina* sporlarının çoğaltılması a) Otoklavlanmış mısır unu-kum kültürü b) İnokulumun mısır unu-kum kültürüne ekimi c) Dört haftalık inkübasyon sonundaki mısır-unu kum kültürü.

3.2.3.3. Fasulye fidelerine ABA uygulanması

Bölüm 3.2.2.1'de belirtildiği şekilde hazırlanan 1, 5, 10, 20 μ M, konsantrasyonlarındaki ABA dozları, bitkiler ilk gerçek yapraklı dönemde iken 20 cm mesafeden yaprakların alt ve üst tarafını ıslatacak şekilde püskürtülerek güneşli olmak üzere toplamda 7 kez uygulanmıştır. Kontrol bitkilerine ise yine aynı miktarda saf su spray şeklinde püskürtülmüştür. Diğer denemelerde ABA uygulaması günlük

yapılmıştır. AMF ve Mp gelişimi göz önünde tutularak deneme 8 hafta sonra sonlandırılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. ABA ve *M.phaseolina* uygulaması yapılmış fasulye bitkileri.

3.2.3.4. Hastalık şiddetinin belirlenmesi

Fasulye bitkilerinde Mp'nın neden olduğu hastalık şiddetini belirlemek amacıyla, hasattan sonra bitki kökleri musluk suyunda yıkanmış; *M. phaseolina*'nın hastalık şiddeti 0-3 skalasına göre belirlenmiştir (Demir, 1998).

0= Sağlıklı

1= Kök boğazında 3 cm'den daha küçük hastalık belirtisi

2= Kök boğazında 3 cm'den daha büyük hastalık belirtisi

3= Bitki tamamen kurumuş ve ölmüş

Tanımsal skalaya göre; belirlenen değerlerle yeşil aksam Hastalık Şiddeti İndeksi (HŞİ) aşağıdaki Eş. 3.3'e göre hesaplanmıştır.

$$H\dot{S}\dot{I} \text{ (\%)} = [\sum(SD \times BS)] \times 100 / ESD \times TB \quad (3.3)$$

SD: Skala değeri

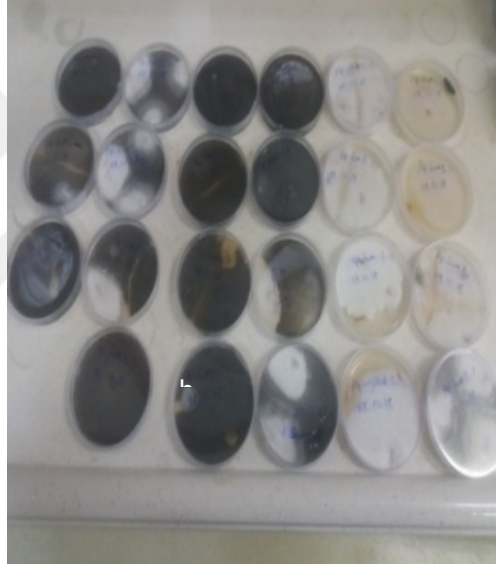
BS: Aynı skala değerindeki bitki sayısı

ESD: En yüksek skala değeri

TB: Toplam bitki sayısı

3.2.4.5. *M. phaseolina*'nın reizolasyonu

Hastalıkla inokule edilen bitkilerden denemelerin sonunda kök boğazından kesilen parçalar % 1'lik sodyum hipoklorit içerisinde 2 dakika bekletildikten sonra saf sudan geçirilmiş ve PDA bulunan petri kaplarına 4 parça konularak kaplar hava almayacak şekilde bantla kapatılmıştır; 24 ± 2 °C'de 7 gün inkübasyondan sonra petrilerdeki kültürler hastalık gelişimi açısından incelenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Reizolasyon sonunda gelişen *M. phaseolina* kültürleri.

3.2.3.6. Toprakta *M. phaseolina*'nın propagül yoğunluğunun belirlenmesi

Kaba unsurlarından ayrılmış ve elenmiş 1 g toprak örneği bir beher glassta 100 ml su içine karıştırılarak yaklaşık 10 dakika bekletilmiş ve bir blender içinde 5 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra, önce 150 µm'lik elekten geçirilmiş, elek altı atılarak eleğin üzerindeki materyal su ile yıkanarak 45 µm'lik elekten geçirilmiştir. Eleğin üzerinde kalan materyal yine su ile yıkanarak bir kapta toplanmış, toplanan bu materyal 100 ml %0.25'lik sodyum hipoklorit (NaClO) içinde 8 dakika kadar bekletildikten sonra, tekrar su ile yıkanarak NaClO uzaklaştırılmıştır. Bir süre bekletildikten sonra bu

süspansiyondan 1 ml alınarak içinde PDA ortamı bulunan petrilere aktarılmış, 24°C $\pm$ 2'de 7 gün inkübe edildikten sonra mikroskop altında incelenerek *M. phaseolina* kolonileri sayılmıştır (Demir, 1998).

3.2.3.7. AMF'ye ait gelişim kriterlerinin belirlenmesi

AMF'ye ait gelişim kriterlerinin belirlenmesi (kök kolonizasyonu, AMF sporlarının topraktan ekstraksiyonu) Bölüm 3.2.1.2'de anlatıldığı şekilde yapılmıştır.

3.2.3.8. Bitki gelişim kriterlerinin incelenmesi

3.2.3.8.1. Yaş ve kuru ağırlıkların belirlenmesi

Deneme sonunda, hasat edilen fasulye bitkileri hassas terazide tartılıp, bitki sayısına bölünerek bitki yaş ağırlıkları belirlenmiş, aynı örnekler bir gün açıkta serilerek 65 °C etüvde 48 saat süreyle kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları hassas terazide tartılmıştır (Kuşvuran, 2010).

3.2.3.8.2. Gövde boyu ve çapının belirlenmesi

Fasulye bitkilerinin, kök boğazından büyüme ucuna kadar olan bölge, ($\pm$ 0.5) cm cinsinden metre ile gövde çapı ise dijital göstergeli kumpas yardımı ile mm ($\pm$ 0.1) cinsinden ölçülmüştür (Kuşvuran, 2010).

3.2.3.8.3. Yaprak sayısı ve yaprak alanının belirlenmesi

Yaprak sayısı, bitki üzerindeki tüm yaprakların sayılması ile adet/bitki olarak, yaprak alanı ise leaf area-meter cihazı ile ölçülmüş; bulunan yaprak alanı, yaprak sayısına bölünerek birim yaprak alanı elde edilmiştir.

3.2.4. Kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerinde AMF ve ABA'nın etkisinin belirlenmesi

Kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerinde AMF ve ABA'nın etkisinin belirlendiği çalışmada, bitki tohumlarına AMF inokulasyonu bölüm 3.2.1'de, Mp inokulasyonu bölüm 3.2.3.2, fasulye fidelerine ABA uygulaması ise bölüm 3.2.3.3'te anlatıldığı şekilde yapılmıştır. Çalışmada tarla kapasitesine göre % 25, % 50, % 75 olmak üzere 3 farklı kısıtlı sulama seviyesi kullanılmıştır.

3.2.4.1. Tarla kapasitesinin tayini ve uygun kısıtlı sulama seviyesinin tespiti

Kısıtlı sulama seviyelerinde saksılara verilecek su miktarının tespiti için öncelikle tarla kapasitesi belirlenmiştir. Bunun için saksılar su ile doyurulmuş, daha sonra serbest drenaj koşullarında suyun saksı altında çıkışı gözlemlenerek, saksı altında su çıkışı bittikten sonra saksı ağırlığı tartılmış ve tartılan ağırlık tarla kapasitesi olarak kabul edilmiştir (Eşitlik 3.4).

$$I=(W_1-W_2) \quad (3.4)$$

I: sulama suyu miktarı (ml)

W_1 : Daha önce belirlenmiş olan tarla kapasitesi değeri (kg)

W_2 : Saksının son tartım ağırlığı (kg)

Kısıtlı sulama seviyeleri, tarla kapasitesinin % 75, % 50 ve %25'i olacak şekilde belirlenmiş ve buna göre çalışmada sulama seviyeleri (I); % 100 (I_1), %75 (I_2), %50 (I_3) ve % 25 (I_4) olarak uygulanmıştır. Saksılardaki bitkilerin sulama ihtiyacı doğduğunda, kontrol bitkilerine ait saksılar tartılarak ortalamaları alındıktan sonra, tarla kapasitesine ulaşmak için gerekli su miktarının, % 100 sulama uygulaması için tamamı, %75 sulama kısıtı uygulaması için % 25'i, % 50 sulama kısıtı uygulaması için % 50'si, %25 sulama kısıtı uygulaması için % 75'i uygulanmıştır.

3.2.4.2. Fasulye bitkilerinde kısıtlı sulama koşullarının etkisinin belirlenmesi

Kısıtlı sulama koşullarının fasulye fidelerindeki etkisini belirlemek amacıyla aşağıda belirtilen semptomlara göre 0'dan 5'e kadar puan verilmiştir (Kabay, 2014):

0: Hiç etkilenme yok (kontrol bitkileri) (Şekil 3.9).

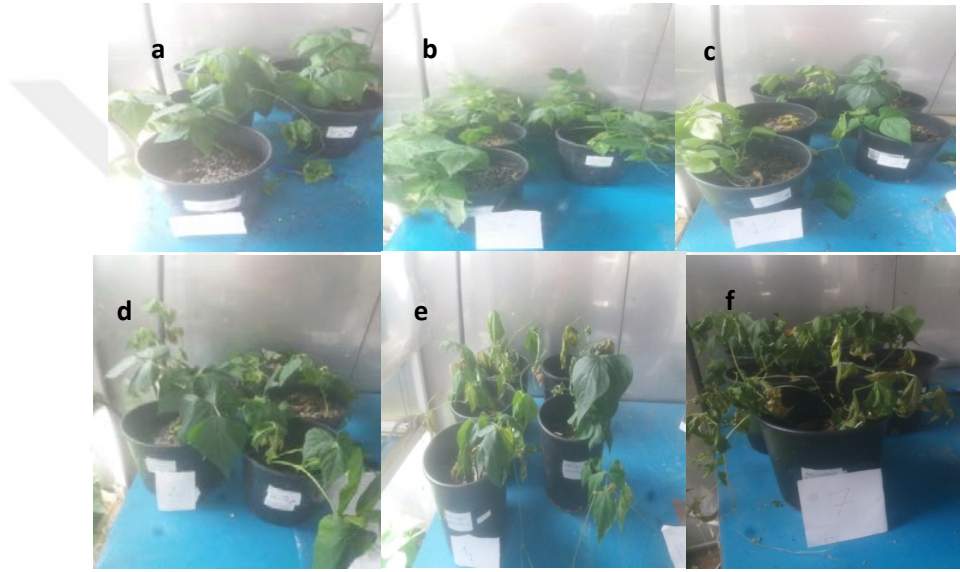
1: Büyümede yavaşlama (kontrol bitkilerine göre)

2: Alt yapraklarda solgunluk başlangıcı

3: Üst yapraklarda kıvrılma (kapanma) ve solgunluk

4: Yapraklarda şiddetli solgunluk ve sararma, yaprak kenarlarında kuruma başlangıcı

5: Bitkilerde solma ve alt yapraklarda kuruma



Şekil 3.9. 0-5 Skala Değerleri: a. Skala₀: Kontrol bitkileri b. Skala₁: Büyümede yavaşlama (Kontrol bitkilerine göre) c. Skala₂: Alt yapraklarda solgunluk başlangıcı d. Skala₃: Üst yapraklarda kıvrılma (Kapanma) ve solgunluk e. Skala₄: Yapraklarda şiddetli solgunluk ve sararma, yaprak kenarlarında kuruma f. Skala₅: Bitkilerde solma ve alt yapraklarda kuruma.

3.2.4.3. Hastalık şiddetinin belirlenmesi

M. phaseolina'nın hastalık şiddeti bölüm 3.2.3.4'teki gibi, 0-3 skalasına göre belirlenmiştir.

3.2.4.4. AMF'ye ait gelişim kriterlerinin belirlenmesi

AMF'ye ait gelişim kriterlerinin belirlenmesi (kök kolonizasyonu, AMF sporlarının topraktan ekstraksiyonu) bölüm 3.2.1.2'de belirtildiği şekilde yapılmıştır.

3.2.4.5. Bitki gelişim kriterlerinin belirlenmesi

Kısıtlı sulama etkilerinin belirlenmesinden sonra bitkiler hasat edilerek, bitki yaş ve kuru ağırlıkları, gövde boyu ve çapı ile yaprak sayısı ve alanının belirlenmesi bölüm 3.2.3.8.'de belirtildiği şekilde yapılmıştır.

3.2.4.6. Nispi büyüme oranının (g taze ağırlık/gün) belirlenmesi

Kontrol grubu ile kuraklık streslerinin uygulama başlangıcından önce ve stres sonunda alınan bitkilerin yaş ağırlıkları tartılarak, iki ölçüm arasındaki fark gün sayısına bölünmüş ve stres süresince büyüme oranları g taze ağırlık/gün olarak tespit edilmiştir (Kabay, 2014).

3.2.4.7. Yaprak oransal su içeriğinin (YOSİ) belirlenmesi

Kontrol grubu ile kuraklık uygulamaları sonunda bitkilerin alttan 3. yapraklarından alınan yaprak örneklerinin oransal su içeriklerinin hesaplanması amacıyla, yaprak taze ağırlıkları hassas terazide tartıldıktan sonra dört saat saf su içinde bekletilerek turgor ağırlıkları saptanmıştır. Daha sonra bu yapraklar 65 °C etüvde 48 saat bekletilip hassas terazide tartılmış ve gram cinsinden eşitlik 3.5'te belirtilen formül kullanılarak yaprak oransal su içerikleri yüzde cinsinden belirlenmiştir (Kuşvuran, 2010; Kabay, 2014):

$$YOSİ = (TA - KA) / (TuA - KA) \times 100 \quad (3.5)$$

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

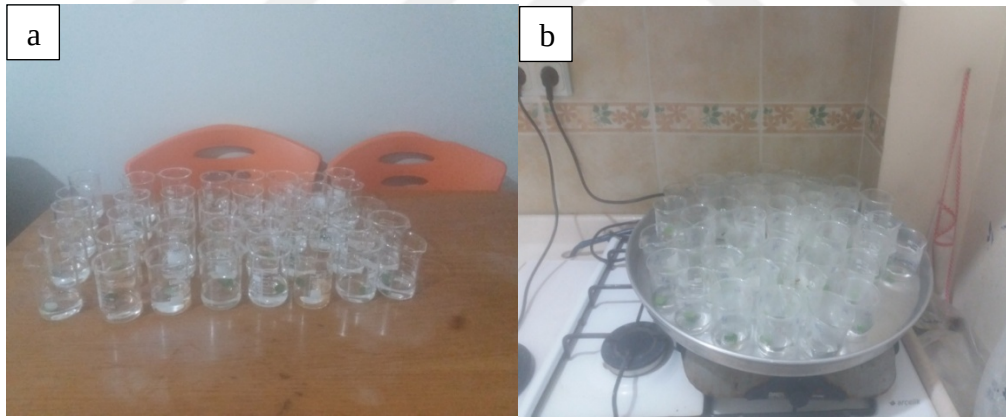
3.2.4.8. Yaprak hücrelerinde membran zararlanma indeksinin (MZİ) belirlenmesi

Membran zararlanma indeksi (MZİ), hücreden dışarıya verilen elektrolitin ölçülmesi ile hesaplanmıştır. Stres ve kontrol bitkilerinin alttan 3. yapraklarından 17 mm çapında alınan diskler saf su içerisinde 5 saat bekletildikten sonra (Şekil 3.10a) EC değerleri ölçülmüş, aynı diskler 100 °C’de 10 dakika bekletildikten sonra (Şekil 3.10b) EC değeri tekrar ölçülerek eşitlik 3.6’daki formüle göre MZİ % olarak hesaplanmıştır (Kabay, 2014).

$$MZ = (Lt - Lc / 1 - Lc) \times 100 \quad (3.6)$$

Lt: Kuraklık stresindeki yaprağın otoklav edilmeden önceki EC değeri / Otoklav edildikten sonraki EC değeri

Lc: Kontrol yaprağının otoklav edilmeden önceki EC değeri/Otoklav edildikten sonraki EC değeri



Şekil 3.10. Yaprak örneklerinde membran zararlanma indeksinin (MZİ) belirlenmesi a. Saf suda 5 saat bekletilen yaprak diskleri b. 100° C’de 10 dakika bekletilen yaprak diskleri.

3.2.4.9. Fasulye bitkilerinde toplam klorofil miktarının belirlenmesi

Fasulye bitkilerindeki toplam klorofil deneme sonunda dijital klorofil ölçüm aleti ile (SPAD meter) bitkilerin alt, orta ve üst yapraklarından 3’er tekerrürlü ölçülmüş, ölçümlerin ortalaması her bir tekerrür için toplam klorofil miktarı olarak alınmıştır.

3.2.5. Örtü altı'nda kısıtlı sulama koşullarında, *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerinde AMF ve ABA'nın hastalık şiddeti ile bazı bitki fizyolojik gelişim ve verim unsurlarına etkisinin belirlenmesi

Örtü altı denemesinde en uygun ABA dozu (5 μ M), kuraklık denemesinde seçilen kuraklık seviyesi (% 50) ve Gina fasulye çeşidi kullanılarak AMF ve ABA'nın kısıtlı sulama koşullarında Mp'ya ve bazı bitki fizyolojik gelişim ve verim unsurlarına etkisi incelenmiştir. Deneme, 20 mx4.5 mx 3.5 m (h) ebatlarında, nem ve sıcaklık değerleri kontrol edilen cam serada 10 lt'lik plastik saksılarda yürütülmüştür.

Fasulye tohumlarına AMF inokulasyonu bölüm 3.2.1'de, fasulye fidelerine ABA uygulaması bölüm 3.2.3.3'de, fasulye fidelerine Mp inokulasyonu bölüm 3.2.3.2.'de belirtildiği şekilde yapılmıştır.

3.2.5.1. Örtü altı'nda kısıtlı sulama uygulamaları

Bölüm 3.2.4.2'de belirtildiği şekilde seçilen en uygun kısıtlı sulama seviyesi, yine 3.2.4.2'de belirtildiği gibi, toprağın tarla kapasitesinin yüzde oranı olarak uygulanmıştır. Her sulamada hoagland besin çözeltisi de verilmiştir. Fasulye bitkilerine ABA uygulaması ise, Bölüm 3.2.2.1'de belirtildiği şekilde hazırlanan 5 μ M ABA ilk gerçek yapraklar görüldükten sonra her gün yapraklara püskürtme şeklinde uygulanmıştır.

Cam serada 10 hafta tutulan bitkiler daha sonra hasat edilerek analiz ve ölçümler yapılmıştır. AMF gelişim kriterleri bölüm 3.2.1.2 bitki gelişim kriterleri bölüm 3.2.3.8, nispi büyüme oranı bölüm 3.2.4.6 Mp'nın hastalık şiddeti ise 3.2.3.4'te belirtildiği şekilde yapılmıştır.

Örtü altında gelişen fasulye bitkilerindeki kısıtlı sulamanın etkileri bölüm 3.2.4.2, YOSİ bölüm 3.2.4.7, MZİ ise bölüm 3.2.4.8'de belirtildiği şekilde yapılmıştır.

3.2.5.2. Azot tayini

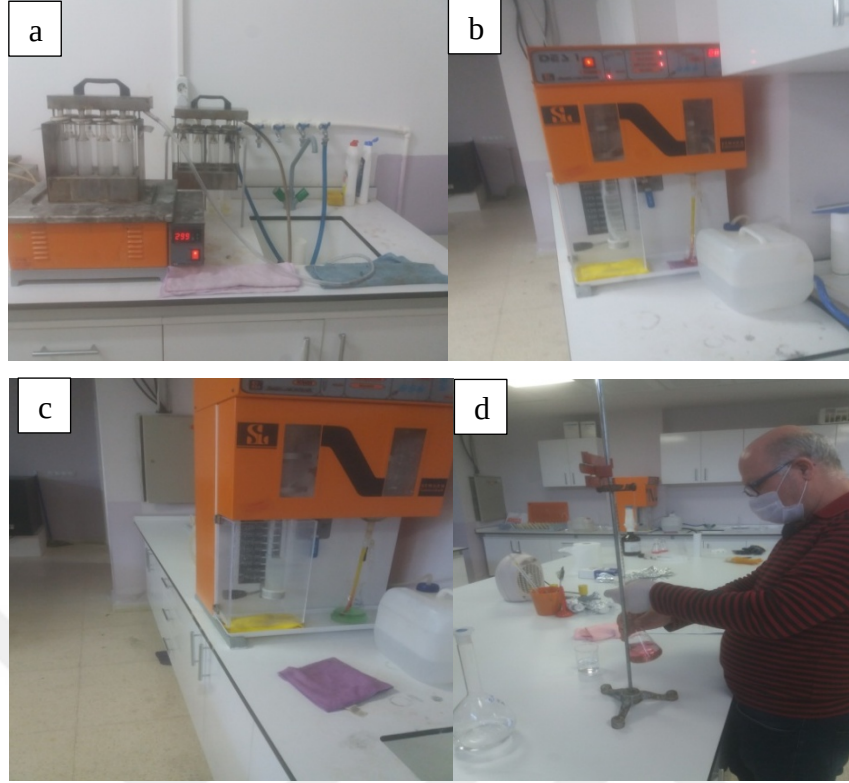
Azot tayini, Kjeldahl yöntemiyle yapılmıştır. Örtü altı denemesi sonlandırıldıktan sonra bitkilerden alınan ve öğütülen yaprak örneklerinden 1.00'er g örnek tüplere konarak üzerlerine 12'şer ml sülfürik asit (Derişik % 95-96) ve birer kjeldahl tableti eklenerek yakma ünitesine bırakılmıştır. Sıcaklık 150 °C ile başlatılarak kademeli olarak 418 °C'ye çıkarılmış, bütün tüplerdeki örnekler açık yeşil renk alıncaya kadar yakma işlemine devam edilmiştir (Şekil 3.11a). Daha sonra soğuyan örnekler distile edilmiştir (Şekil 3.11b). Distilasyon için, örneklerin üzerine 75 ml saf su eklenmiş distilasyon ünitesine yerleştirilerek 150 ml'ye ulaşıncaya kadar da üniteden NaOH (%33) alınmıştır. Karşı tarafa da bir erlen mayere borik asit (% 4) ve indikatörlerden (0.1 g metil red etil alkolle 100 ml'ye ve 0.1 g bromocresol yeşili alkolle 100 ml'ye tamamlandı) oluşan karışımdan 25 ml konmuş, ünite çalıştırılarak tüpte kaynayan örnek + saf su karışımı erlene geçip sıvı rengi yeşile ve miktarı 150 ml'ye ulaşıncaya kadar devam edilmiştir (bazik) (Şekil 3.11c). Distilasyonu tamamlanan örneklerin 0.1 N HCl ile titrasyon işlemi yapılmıştır (Şekil 3.11d). Yeşil renk uçuk pembeye (asidik) dönünceye kadar HCl eklenmiş ve karıştırılmıştır. Renk dönüşümü sağlanıncaya kadar kullanılan asit miktarı kaydedilmiş ve bu miktarlar kullanılarak eşitlik 3.7 yardımıyla azot miktarları hesaplanmıştır (Kacar ve İnal, 2008).

$$\% N (\text{Azot}) = ((A-B) \times (0.014 \times N) / \text{Örnek miktarı (g)}) \times 100 \quad (3.7)$$

A = Titrasyonda kullanılan HCl(ml)

B = Şahit numune için kullanılan HCl (ml)

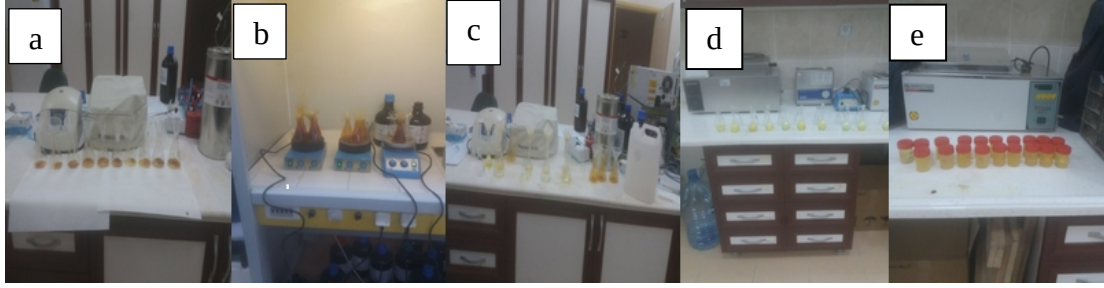
N = HCl'nin normalitesi



Şekil 3.11. Kjeldahl yöntemiyle azot tayini: a. Yakma işlemi b. Distilasyon işlemi başlangıcı c. Distilasyon sonucu d. Titrasyon sonucu.

3.2.5.3. Fasulye bitkilerinde makro ve mikro besin elementlerinin tayini

Bitkilerden alınan yaprak örnekleri önce musluk suyu daha sonra saf suda yıkanarak kurutma kağıtlarına alınmıştır. Kurutma kağıtlarında nemi alındıktan sonra etüvde 70°C’de 48 saat kurutulan bitki örnekleri toz haline getirilmiştir. Makro (Ca, Mg, K, Na) ve mikro (Fe, Mn, Zn, Cu) besin elementlerinin tayini için 1.00’er g yaprak örneklerine “Yaş Yakma Metodu” na göre (Kacar ve İnal, 2008); 1:3 oranında nitrik asit (1 g örnek: 3 ml nitrik asit) ve 1:3 oranında perklorik asit (1 g örnek: 3 ml perklorik asit) eklenerek (Şekil 3.12a) çeker ocakta örneğin dumanı bitinceye ve renk berraklaşınca kadar yakılmış (Şekil 3.12b) ve örnekler süzme kağıdından geçirilerek 50 ml’lik balon jojelere alınmıştır (Şekil 3.12c). Saf su ile 50 ml’ye tamamlanan örnekler 50 ml’lik falcon tüplere konarak üzerlerine 2-3 damla tolüen eklenmiştir (Şekil 3.12e). Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre (ASA)’de okumalar yapılmaya kadar +4 °C’de bekletilmiştir.



Şekil 3.12. Yaş yakma metodu a. Nitrik asit ve perklorik asit eklenmiş örnekler b. Örneklerin çeker ocakta yakılması c. Yakılan örneklerin filtre kağıdıyla süzülmesi d. Süzülen örneklerin balon jode saf su ile 50 ml'ye tamamlanması e. Analize hazır örnekler.

Fosfor tayini için ise önce 1 ppm'den 7 ppm'e kadar 7 adet fosfor standardı hazırlanmıştır. Bunun için; balon jojelere 5'er ml barton konarak standartlar için gerekli fosfor eklendikten sonra, saf su ile 50 ml'ye tamamlanmıştır. Bu şekilde 1 adet de fosfor eklenmemiş kör numune oluşturularak karanlıkta 15 dakika bekletilmiş, daha sonra spektrofotometrede 430 nm dalga boyundaki absorbans değerleri okunmuştur.

Örneklerdeki fosforun belirlenmesi için 1 ml örnek, 4 ml saf su 1 ml barton cam tüplere konarak kapalı ortamda 15 dakika bekletilmiş daha sonra spektrofotometrede 430 nm'de absorbans değerleri okunarak eşitlik 3.8. deki eşitlik yardımıyla fosfor oranları hesaplanmıştır.

$$\text{Fosfor değeri (\%)} = \text{TSF} \times \text{KF} \times \text{Örnek alet okuma değeri} \quad (3.8)$$

TSF: Toplam sulama faktörü

KF: Kurve faktörü

Deneme kapsamında tespiti yapılmak istenen makro ve mikro elementlerin analizi Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Uygulama Merkezinde atomik absorpsiyon spektrofotometre (ASA) cihazında yapılmıştır (Kacar ve İnal, 2008).

3.2.5.4. Fizyolojik Analizler

3.2.5.4.1. Toplam klorofil miktarı

Bölüm 3.2.4.9’da belirtildiği şekilde yapılmıştır.

3.2.5.4.2. Lipit peroksidasyonu

Bitkilerde lipit peroksidasyonu, malondialdehit (MDA) içeriği olarak ifade edilmektedir. Bitki yaprağından alınan 0.5 g yaprak örneği 10 ml % 0.1’lik trikloroasetik asit (TCA) ile homojenize edildikten sonra homojenat 15000 rpm’de 5 dakika santrifüj edilmiş; santrifüj edilen örneğin berrak kısmından 1 ml alınıp, üzerine 4 ml % 20’lik TCA içerisinde çözülmüş % 0.5’lik tiobarbiturik asit (TBA) eklenmiştir. Karışım 95 °C’de 30 dakika bekletildikten sonra hızla buz banyosunda soğutulup 10000 rpm’de 10 dakika santrifüj yapıldıktan sonra berrak kısımda 532 ve 600 nm dalga boyunda absorbansı belirlenerek aşağıdaki eşitlik (3.9) ile malondialdehit (MDA) içeriği belirlenmiştir (Kabay, 2014)

$$\text{MDA (nmol/ml)} = \frac{[(A_{532} - A_{600}) / 155000] \times 106}{(3.9)}$$

3.2.5.4.3. Toplam fenolik ve antioksidan madde

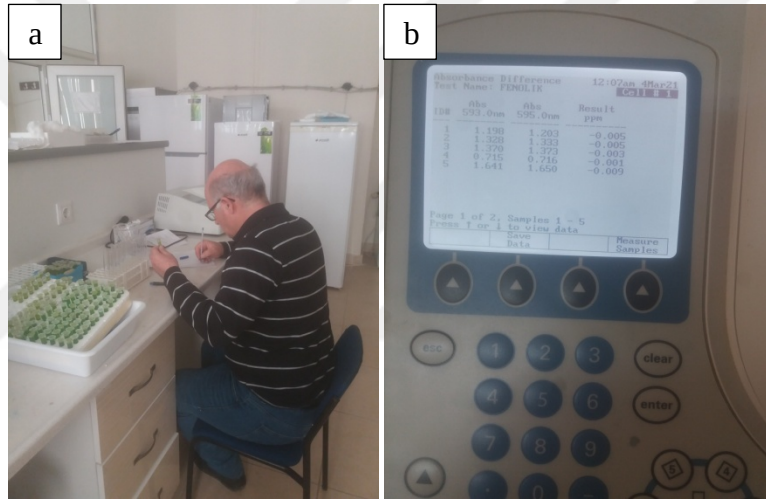
Örtü altında kuraklık stresinin başlangıcında ve hasatta olmak üzere iki dönemde alınan yaprak örneklerinde toplam fenolik tayini yapılmıştır (Duman, 2013). Bunun için taze yapraklardan 0.5-1.0 g alınarak 5 ml metanolle ekstrakte edildikten sonra 10000 devir/dakikada santrifüj yapılmıştır. Ekstraktın üstte toplanan berrak kısmı (süpernatant) 2 ml’lik ependorf tüplere konmuş ve okuma yapılncaya kadar -20°C’de bekletilmiştir (Şekil 3.13a). Okuma için, 20 µl süpernatant, 2530 µl, 150 µl folin reaktifi (1 ml folin, 9 ml saf su) cam tüpte karıştırıldıktan sonra 4-5 saniye vortekste karıştırılmıştır. Karışımın

üzerine 300 µl % 20'lik sodyum karbonat (Na_2CO) eklendikten sonra yarım saat karanlıkta bekletilerek daha sonra spektrofotometrede 725 nm dalga boyunda absorbans değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.13b). Standart gallik asit eşdeğerliğine bağlı olarak aşağıdaki eşitlik (3.10) kullanılarak toplam fenolik madde miktarı belirlenmiştir.

$$\text{TF} = A \times \text{Metanol Miktarı}/10 \times \text{Örnek Miktarı mg GAE/ 100gr} \quad (3.10)$$

A= Standart gallik asit eşdeğerliğine göre oluşan $y = ax+b$ denklemine göre;

$A = (725 \text{ nm' deki okuma değeri} - b)/a$



Şekil 3.13. Yaprak örneklerinde toplam fenol miktarının tayini a. Örneklerin toplam fenol okuması için hazırlanması b. Spektrofotometrede okunan toplam fenol değerleri.

Antioksidan aktivitesinin okuması için ekstraksiyondan, 150 µl asetat 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.

3.2.5.5. Antioksidatif enzim analizleri

Katalaz (CAT) ve süperoksitdismutaz (SOD) aktivitelerinin belirlenmesi için, 1 g dondurulmuş yaprak örneği 5 ml soğuk 0.1 M Na-fosfat, 0.5 mM Na-EDTA karışımı (pH: 7.5) ile homojenize edildikten sonra, homojenat 4 °C'de 30 dakika 18000 rpm'de santrifüj edilecektir. Homojenatın bir kısmında hemen KAT aktivitesi belirlenmiş, SOD belirlemesi için ekstrakt -80 °C'de bekletilmiştir (Jebara ve ark., 2010; Güneri Bağcı, 2010).

3.2.5.5.1. Katalaz (CAT) analizi

Katalaz aktivitesi, 240 nm dalga boyunda H_2O_2 'nin kaybolmasının izlenmesi ile belirlenmiştir. Reaksiyon çözeltisi olarak 0.05 M fosfat tamponu (KH_2PO_4), 1.5mM H_2O_2 karışımı kullanılmıştır (pH: 7.0). Reaksiyon çözeltisinden 2.5 ml, 0.2 ml bitki ekstraktı ile karıştırılarak spektrofotometrede 240 nm dalga boyunda 0. ve 60. saniye okumaları alınmış, reaksiyon 0.1 ml enzim ekstraktının ilavesi ile başlatılmıştır. Değerlendirme 1 dakika içinde absorbanstaki değişime göre yapılmıştır (Jebara ve ark. 2010; Kabay, 2014). Katalaz miktarı eşitlik 3.11'deki formüle göre yapılmıştır.

$$CAT \quad (Mm. \quad g \quad Fw \quad /dakika)= \quad (0. \quad Okuma-60. \quad Okuma)/40 \quad (3.11)$$

(Katalaz EC değeri)/0.02 (5 ml ekstraksiyonda 1 g bitki varsa, 0.1 ml'de 0.02 g bitki vardır).

3.2.5.5.2. Süperoksit dismutaz (SOD) analizi

SOD okuması için; reaktif çözelti olarak, 50 mM sodyum fosfat (8.89 g/l), 0.1 mM sodyum EDTA(Titriplex-0.0372 g/l), 33 mM NBT (0.027 g/l), 13 mM methionin (1.939 g/l) 1 l saf suda çözündürülmüş, pH 7.00'a ayarlanmıştır. Solüsyon olarak, 10 mM riboflavin (0.00376 g/ l) 1 l saf suda çözündürülmüştür. Spektrofotometre 560 nm'ye ayarlanarak, kör olarak, örnek konulmamış reaktif çözelti kullanılmıştır. 10 ml'lik cam tüplere 2 ml reaktif çözelti, 1 ml riboflavin çözeltisi, 0.1 ml supernatant konarak tanık aydınlık (T.A) ve tanık karanlık (T.K) için aynı işlemler yapılmış, ancak supernatant

eklenmemiştir. Örnek konulan cam tüpler ve tanık aydınlık, 10 dakika 40 amperlik ışıktaki bekletilirken, tanık karanlık ise, cam tüp alüminyum folyo ile iyice sarılarak karanlıkta 10 dakika bekletilerek absorbans değerleri belirlenmiştir. Hesaplama için aşağıdaki eşitlik 3.12 formülü kullanılmıştır.

$$((T.A-T.K)/(\text{Örnek}-T.K))/0.02 \text{ ekstraksiyonda } 1 \text{ g taze bitki varsa, } 0.1 \text{ ml'de } 0.02 \text{ g vardır) ünite g}^{-1}\text{Fw} \quad (3.12)$$

3.2.5.5.3. APX analizi

Askorbat peroksidaz aktivitesi; 13.6 g KH_2PO_4 , 0.372 g sodyum EDTA (Titriplex), 0.176 g askorbik asit 1 l saf suda çözündürülmüş ve pH 7.60'a ayarlanmıştır. Reaktif çözelti için; 6.8 g KH_2PO_4 , 0.0372 g sodyum EDTA (Titriplex), 0.088 g askorbik asit, 0.150 ml H_2O_2 (Hidrojen peroksit) 1 l saf suda çözündürülmüş ve pH 7.00'a ayarlanmıştır. Ekstraksiyon için 1 g bitki örneğine 5 ml ekstraksiyon çözeltisi eklenerek, 50 ml'lik falcon tüplerde homojenizasyon yapılmış ve +4 °C'de 10000 devirde santrifüj edilmiştir . Oluşan şeffaf kısım (süpernatant) 2 ml'lik ependorf tüplere aktarılacak buzun arasına alınmıştır. Spektrofotometrede 290 nm dalga boyunda 0. ve 60. saniye okumaları alınmış, reaksiyon 0.1 ml enzim ekstraktının ilavesi ile başlatılmıştır. Hesaplama için eşitlik 3.12'deki formül kullanılmıştır (Jebara ve ark. 2010; Güneri Bağcı 2010).

$$\text{APX değeri (Mm g Fw/dakika (Taze ağırlık/dakika))} = \quad (3.13)$$

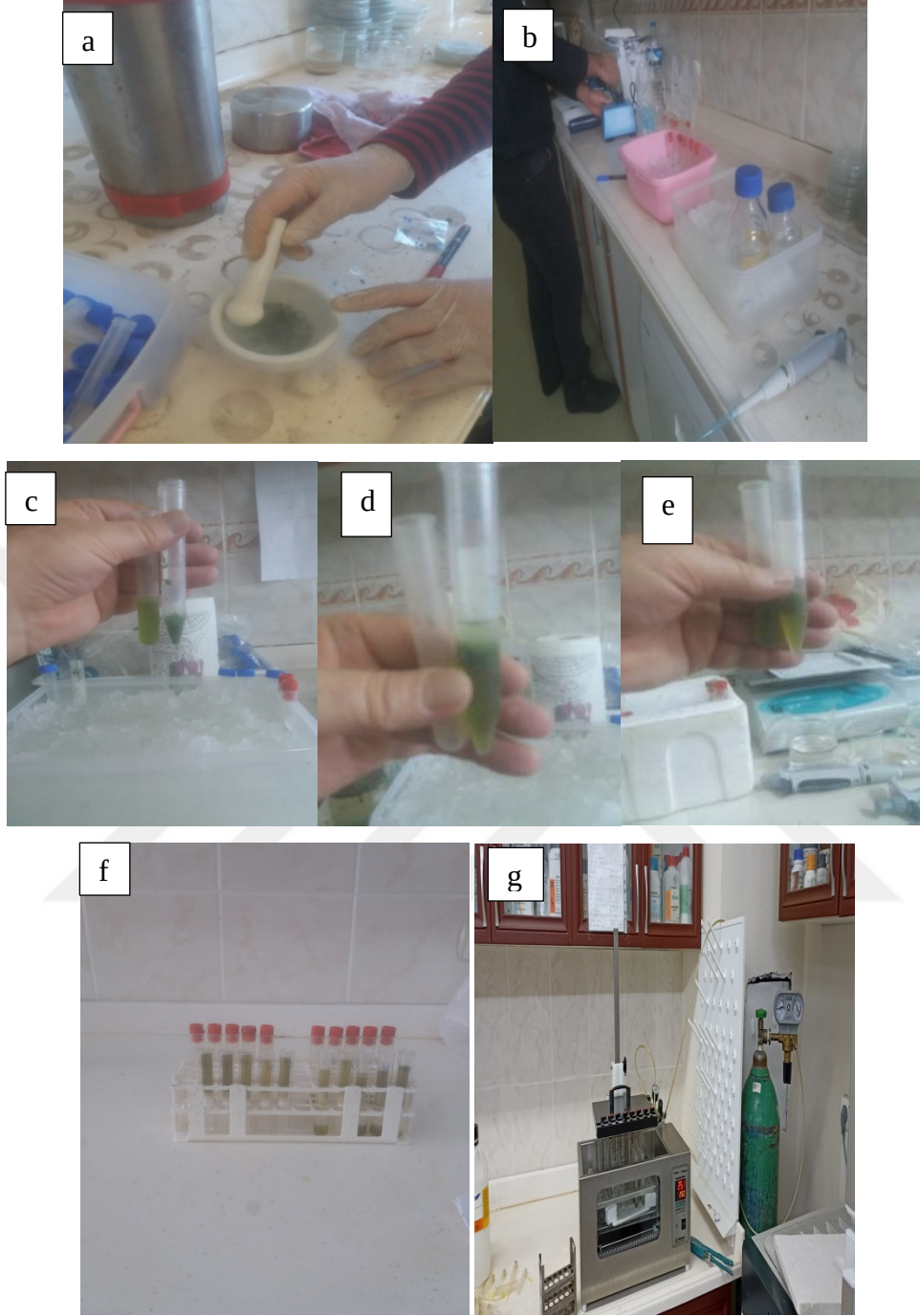
$$(0. \text{ Okuma}-60. \text{ Okuma})/2.8 (\text{APX'in EC değeri})/0.02$$

(5 ml ekstraksiyonda 1 g taze bitki varsa, 0.1 ml'de 0.02 g vardır).

3.2.5.6. Absisik asit (ABA) analizi

Buzdolabında -80 °C'de bekletilen örnekler sıvı nitrojen ile havanda öğütülmüş (Şekil 14a) falcon tüplere aktarılacak tekrar -80 °C'de muhafaza edilmiştir. Ekstraksiyon için, 300 mg numuneye 10 katı (3 ml) ekstraksiyon tamponu (İsopropanol: saf su: HCl =

2:1:0.002 v/v/v) eklenerek 3 kez 10-15 s vortekslenerek karda bekletilmiş, daha sonra aynı örneklere 2 ml diklorometan eklenerek yine 3 kez 10-15 s vortekslenerek karda bekletilmiştir (Şekil 3.14b, c, d, e). Kar içinde bir müddet bekledikten sonra, tüpteki sıvıda oluşan üç tabakadan en altta bulunan tabakayı oluşturan saf kısım temiz bir pipet yardımıyla alınarak 15 ml'lik falcon tüplere aktarılmıştır. Geride kalan, içinde hormon kaldığı düşünülen bitki artıkları ve yağ tabakasından oluşan çözeltiye 1.5 ml ekstraksiyon tamponu eklenerek tekrar 3 kez 10-15 s vortekslenerek karda bekletilmiş, daha sonra örneklere 1 ml diklorometan eklenerek aynı süreyle vortekslenmiş ve karda 5 dk bekletilmiştir. Daha sonra yine oluşan üç tabakadan alttaki şeffaf tabaka pipet ile alınarak daha önceki tüpe ilave edilmiş ve 4 °C'de bekletilmiştir. Örneklere daha sonra kartuştan süzülerek yeni falcon tüplere alınmıştır (Şekil 3.14f). Falcon tüplerdeki örnekler, azot gazıyla uçurma yapan cihaza başlıklar örneklerin içine girmeyecek şekilde yerleştirilmiş, azot gazı, örneklerde kabartı ve dalgalanma yapmayacak şekilde dozu ayarlanarak uçurma işlemi yapılmıştır (Şekil 3.14 g). Uçurma işlemine tüpün dibindeki sıvı bitinceye veya bir damla kadar kalıncaya dek devam edilmiştir. Uçurma işleminden sonra tüplere 200 µl metanol ilave edilerek, MC-LS cihazında okuma yapılmak üzere kapaklı viallere aktarılmıştır (Kelen, 2004; Pan, 2010; Delatorre, 2017).



Şekil 3.14. Absisik asit analizi a. Numunelerin sıvı azot ile öğütülmesi b. Ekstraksiyon c. İlk ekstraksiyon sonucu oluşan tabakalaşma d. İlk ekstraksiyonda alt tabakanın başka tüpe aktarılması ve geri kalan bitki artıkları e. İkinci ekstraksiyon sonucu oluşan tabakalaşma f. Numunelerin kartuştan süzülmesi g. Numunelerin azot ile uçurulma işlemi.

3.2.5.7. Fasulye bitkilerindeki bazı verim unsurlarının belirlenmesi

Fasulye bitkilerinden hasat edilen taze baklarda bakla boyu ve eni cetvel yardımıyla, bakla et kalınlığı ise kumpasla ölçülerek belirlenmiştir. Ayrıca her muamele grubu için bitki başına ortalama bakla sayısı (adet bitki⁻¹) ile bitki başına ortalama bakla ağırlığı da tespit edilmiştir.

3.3. İstatistiksel Analizler

Çalışmalardan elde edilen tüm verilerin istatistiki varyans analizleri SPSS (ver. 21) paket programı yardımıyla yapılmış gerek çoklu seviyedeki faktörler gerekse, grup karşılaştırmaları, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine göre yapılmıştır. İki faktörlü grupların karşılaştırması t testine göre yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, kısıtlı sulama koşullarında ve *M. phaseolina* (Mp) enfeksiyonunda, ABA ve AMF uygulamalarının fasulye bitkisinin morfolojik ve fizyolojik gelişme faktörlerine ve bazı verim parametrelerine etkisi incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında en uygun AMF x fasulye çeşidi belirlenmiş ve *in vitro/in vivo* koşullarda *M. phaseolina*'yı en iyi baskılayan ABA dozu tespit edilmiştir. Daha sonraki aşamada uygun ABA dozu ve uygun fasulye çeşidi ile AMF'nin fasulyedeki kısıtlı sulama koşullarında Mp'yi en iyi baskılayan sulama seviyesi belirlenmiştir. Çalışmanın son kısmında ise örtü altı yetiştirme koşullarında Mp'nin gelişimini baskılayan uygun ABA dozu, sulama seviyesi ve AMF uygulanarak, bu uygulamaların fasulyedeki morfolojik ve fizyolojik gelişim parametreleri ve fasulyedeki bazı verim unsurlarına etkileri belirlenmiştir.

4.1. Uygun AMF x Fasulye Çeşidinin Belirlenmesi

AMF'ye bağımlılığı en yüksek çeşidi belirlemek amacıyla; Romano, Gina ve Sarıkız isimli 3 adet ticari bodur fasulye çeşidiyle kurulan denemede, çeşitlerin mikorhizal uyumunu belirlemek üzere kolonizasyon ve mikorhizal bağımlılıkları tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Elde edilen sonuçlara göre en yüksek kolonizasyon oranı ve mikorhizal bağımlılık oranları sırasıyla; Gina (% 22.60) ve Romano (% 24.22) çeşitlerinde görülürken, Sarıkız çeşidinde mikorhizal bağımlılığın olmadığı belirlenmiştir (-% 9.75). Çalışmada daha sonraki denemelerde gerek mikorhizal parametreler gerekse çimlenme koşulları göz önünde tutularak, en iyi verilere sahip olduğu belirlenen Gina çeşidi kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. AMF uygulaması yapılmış farklı fasulye çeşitlerinin mikorhizal gelişim parametreleri

Fasulye çeşitleri	Mikorhizal kolonizasyon (%)	Mikorhizal bağımlılık (%)
Romano	17.40	24.22
Gina	22.60	8.82
Sarıkız	20.20	-9.75*

*: Eksi (-) değer mikorhizal bağımlılığın olmadığını göstermektedir.

Doğal ekosistem içinde bitkilerdeki mevcut popülasyon yoğunluğu ve dinamiği AMF'a uyum ve bu yaşam formuna bağımlılık faktörlerinden önemli derecede etkilenmekte olup (Van der Heijden ve ark., 1998), ayrıca, agro-ekosistemlerde değişik tür x AMF ya da benzer tür içindeki değişik AMF x genotip etkileşimlerinin incelenmesi ve uygun olan kombinasyonların oluşturulması ise bitki dayanıklılığı ve gelişimi artırma yönünden son derece önemlidir (Sensoy ve ark., 2007; Erdinç ve ark., 2013). Ayrıca AM fungusların bitkideki birçok biyotik ve abiyotik stres kaynaklı faktörlere karşı bitkiyi olumlu etkilemekle beraber, genetik varyasyona göre çeşitler arasında farklılık gösterebileceği bildirilmiştir (Declerck ve ark., 1995; Linderman ve Davis, 2004; Sensoy ve ark., 2007; Erdinç ve ark., 2017). Nitekim, mevcut çalışmada üç farklı fasulye çeşidinin mikorhizal kolonizasyon ve bağımlılık oranları birbirinden farklı olmuş, Sarıkız çeşidinde mikorhizal bağımlılık görülmemiştir (Çizelge 4.1)

Boyno ve ark. (2022), *G. mosseae* uygulaması yaptıkları domates bitkilerinde mikorizal bağımlılığı % 31.05 bulduklarını; Pınar ve Ortaş (2012), sera şartlarında farklı biber genotiplerinde iki dönem yürütülen çalışmada, mikorizal bağımlılığın, birinci dönemde % 39.04-83.96; ikinci dönemde % 20,90-56,83 arasında kaydedildiğini; Erdinç ve ark.(2017), 4 ayrı AMF türünü uyguladıkları (*Glomus intraradices* (Gi), *Glomus mosseae* (Gm), *Gigasporamargarita* (Gim)ve ticari AMF) fasulye genotiplerinde en yüksek mikorizal bağımlılıkları % 69.54 ve % 81.09; en düşük bağımlılık gösteren genotiplerde % 1.26 ve % 31.42 değerlerini bulduklarını bildirmişlerdir. Çalışmamızda, fasulye çeşitlerinin mikorizal bağımlılık değerleri, Boyno ve ark. (2022)'nın bulduğu oran, Pınar ve Ortaş (2012), Erdinç ve ark.(2017)'nin bulduğu oranların alt limitleriyle benzerlik gösterirken, Gina çeşidinin bağımlılık oranı Erdinç ve ark.(2017)'nin bulduğu oranların alt limitleriyle uyum göstermekte, Sarıkız çeşidinin mikorizal bağımlılık oranı ise bu araştırma sonuçlarının altında kalmakta ve çeşidin mikorizal bağımlılığının olmadığı belirlenmiştir. Söz konusu durumun çeşit özelliğinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

4.2. *İn vitro* Koşullarda *Macrophomina phaseolina*'ya (Mp) En Etkili Absisik Asit (ABA) Dozunun Belirlenmesi

ABA'nın invitro koşullarda, Mp'nın koloni gelişimine etkisinin araştırıldığı denemede, koloni çapları ekim yapıldıktan sonra 3.,4.,5. ve 6. günlerde ölçülmüş ve elde edilen değerler Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere elde edilen bulgular ve istatistiki değerlendirmelere göre 5 µM ABA dozunun, diğer dozlar ve kontrole göre Mp'nın gelişimini önleme yönünden en uygun doz olduğu belirlenmiş ve 3. gün ölçümü hariç, bütün ölçüm zamanlarında diğer dozlardan farklı grupta yer alarak kontrole göre % 18.64'e varan oranda Mp'nın gelişimini kısıtladığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. *İn vitro*da farklı ABA dozları uygulanmış Mp kültürlerinde farklı günlerdeki koloni çapı gelişimleri

Uygulamalar	Koloni Çapı Gelişimleri (mm)			
	3.Gün $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	4.Gün $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	5.Gün $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	6.Gün $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
1 µM ABA	49.98±1.83 ^{b*}	58.80±1.57 ^b	69.10±0.11 ^c	77.68±0.05 ^a
5 µM ABA	49.17±0.94 ^b	55.25±0.85 ^c	65.59±0.04 ^d	64.94±0.03^b
10 µM ABA	53.86±1.19 ^{ab}	60.41±0.76 ^{ab}	73.92±0.09 ^b	78.56±0.12 ^a
20 µM ABA	60.68±1.35 ^a	66.40±1.52 ^a	79.95±0.03 ^a	80.91±0.02 ^a
Kontrol	52.00±1.71 ^{ab}	62.04±1.37 ^{ab}	74.51±0.05 ^b	79.82±0.06 ^a

*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05).

Hefel (2015a), bitkilerin düşük dozlarda ABA (10-20 µM) ile muamele edilmesinin hastalık ilerlemesini önemli ölçüde hızlandırdığını, ABA üretiminin ve sinyallemesinin *M. phaseolina* ile enfekte olmuş bitkiler için zararlı olabileceğini ileri sürmüştür. Fernandes (2010), kömür çürüklüğü hastalığını *Arabidopsis thaliana* bitkisinde uyguladığı çalışmada, oksin, ET ve SA sinyal yollarının, *M. phaseolina*'ya karşı patojen direnci kazandırmada olası rollere sahip olduğunu bildirmişlerdir. Tan ve ark. (2019), absisik asitin (ABA), patojenlere karşı bitki hastalık direncini pozitif veya negatif olarak düzenlemede önemli roller oynadığını belirtmişlerdir. Pathak ve Patel (2019), sekiz farklı organik ekstraktı (Neem keki, Hindistan cevizi, FYM, hardallı kek, susamlı kek, solucan gübresi, yerfıstığı keki ve hint keki) in vitro olarak farklı konsantrasyonlarda *M. phaseolina*'ya uyguladıkları çalışmada, tüm ekstraktların *M. phaseolina*'ya karşı inhibitör olduğunu bildirmişlerdir. Iqbal ve ark. (2014)'nın in vitro

ve in vivo koşullarda 20 antagonistik bitki ekstraktının *M. phaseolina*'ya karşı etkinliğini denedikleri çalışmada, bütün bitkilerin, patojenin gelişimini önemli derecede ve değişen seviyelerde (% 50-83.5) engellediğini ve Maş fasulyesinde kömür rklğ hastalığının tedavisinde potansiyel pratik uygulamalarla bu bitkilerin güçlü antifungal aktivitelerini gösterdiğini bildirmişlerdir.

Biyotik stres sırasındaki rolü daha az açık olmasına rağmen hem nekrotrofik hem de biyotrofik patojenlere karşı savunma tepkileri ABA ile ilişkili bulunmuştur. ABA eksikliği olan mutantların biyotrofik patojenlere karşı yüksek direnç gösterdiği ve nekrotrofik patojenlere karşı direncin azaldığı bildirilmiştir (Maksimov, 2009).

Birçok alışma, ABA'nın özellikle bitki-patojen interaksiyonunda birden fazla etki alanına sahip olduğu; ABA-eksik Arabidopsis mutantlarında nekrotrofik patojenlere karşı bitki direncini negatif etkilediği veya bozulmuş ABA sinyali ile nekrotroflara karşı yabancı bitkilerden daha iyi direnç gösterdiği bildirilmiştir (Bari, 2009).

Yukarıda sunulan çalışmalardan anlaşıldığı üzere; ABA'nın biyotik etkenlere karşı bitki savunmasına sağladığı etki negatif veya pozitif yönde olabilmekte ve mekanizmanın iyi anlaşılması yönünde bilimsel çalışmalar süregelmektedir. *n vitro*'da, ABA- patojen ilişkisi ile ilgili çalışmaların yetersiz oluşu, bu çalışmamızın sonucunu daha ziyade in vivo çalışmalarla ilişkilendirme gereği yaratmıştır. Bitki savunma mekanizmasını olumlu etkileyerek abiyotik etkene karşı bitki gelişmesi ve sağlığını koruyan çalışmalarda olduğu gibi (Bari, 2009; Maksimov, 2009; 2009; Leitaov ve ark., 2019); Pathak ve Patel (2019), organik ekstrakt kullanarak *M. phaseolina*'ya karşı in vitroda sağladıkları inhibisyon ve Iqball ve ark.(2014)'nın antagonistik bitki ekstraktlarının *M. phaseolina*'ya karşı etkinliğini denedikleri çalışmada olduğu gibi, bu çalışmada da *M. phaseolina*'ya karşı ABA'nın 5 μ M dozu ile % 18.64 oranında engelleme sağlanmıştır (izelge 4.2).

4.3. *n vivo* (iklim odasında) Koşullarda ABA'nın Farklı Dozlarının *Macrophomina phaseolina*'ya ve AMF'ye Etkisinin Belirlenmesi

n vitro'da *M. phaseolina*'ya etkisi belirlenen ABA dozlarının daha sonra *in vivo* koşullarda ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye

bitkilerindeki etkisi ve en etkili ABA dozu belirlenmiştir. ABA dozlarının incelenen parametrelere etkisi aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir (Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6).

ABA'nın tüm dozlarının fasulye bitkisinin morfolojik gelişim parametreleri üzerindeki etkisi, parametrelere göre farklılık göstermiştir (Çizelge 4.3). ABA dozlarının bitki boyu, gövde çapı, yaprak sayısı, toplam yaprak alanı, yaş ağırlık, kuru ağırlık ve hastalık şiddeti üzerine etkisi önemli bulunmazken; bitki boyunda en yüksek değer 10 μM ABA dozunda (51.85 cm^2), en düşük (47.25 cm^2) 1 μM ABA dozundan elde edilmiştir.

Gövde çapında ve yaprak sayısında sırasıyla en yüksek değer 3.92 cm ve 43.70 adet ile 20 μM ABA, en düşük 3.65 cm ve 38.40 adet ile kontrol (0 μM ABA) uygulamasından; toplam yaprak alanı, yaş ağırlık ve kuru ağırlıkta en yüksek değerler sırasıyla; 416.99 cm^2 , 12.10 g/ bitki, 1.34 g/bitki ile 1 μM ABA uygulamasından, en düşük değerler 305.39 cm^2 , 10.26 g / bitki, 1.11 g/bitki ile 10 μM ABA uygulamasından (Çizelge 4.3, Çizelge 4.4), hastalık şiddetinde en artan değer (%48.34) 1 μM ABA, en düşük değer (% 41.67) 5 ve 10 μM ABA uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 4.6).

ABA uygulamalarının birim yaprak alanı, AMF kök kolonizasyonu, toprakta AMF spor yoğunluğu ve toprakta Mp propagül yoğunluğu üzerine etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.3, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6). AMF kök kolonizasyonunda en yüksek değer (% 11.90) 1 μM ABA, en düşük değer (%7.01) 10 μM ABA uygulamasından, 1, 5 ve 20 μM ABA uygulamalarında ise sırasıyla; % 11.90, % 10.48 ve %7.67 olarak kaydedilmiştir. Toprakta AMF spor yoğunluğunda en yüksek değer (54.63 adet/10 g toprak) 10 μM ABA, en düşük (16.70 adet/10 g toprak) 20 μM ABA uygulamasından; 0.1 ve 5 μM ABA uygulamalarında da sırasıyla; 22.90, 52.20 ve 51.00 adet/10 g toprak kaydedilmiştir. Toprakta Mp propagül yoğunluğunda en yüksek değer (78.10 adet) 1 μM ABA, en düşük değer (45.00 adet) 10 μM ABA uygulamasından elde edilirken, 0, 5 ve 20 μM ABA uygulamalarından da sırasıyla; 56.20, 45.50 ve 62.00 adet /g toprak olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3 incelediğinde, incelenen tüm parametreler açısından 5 ve 10 μM ABA dozlarının diğer dozlara ve kontrol uygulamasına göre genel olarak daha olumlu etkide bulunduğu görülmektedir. Hastalık şiddeti ve topraktaki Mp propagül yoğunluğu

açısından 5 ve 10 μM ABA dozları daha olumlu etki göstermiş, AMF kolonizasyonu açısından ise 5 μM dozunun kolonizasyon üzerinde 10 μM dozuna göre daha iyi etki gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.3). AMF'nin topraktaki spor yoğunluğu açısından ise en yüksek değer 10 μM dozunda olmakla beraber, 5 μM dozundaki AMF spor yoğunluğu ile aralarında istatistiki olarak farkın olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak, gerek *in vitro* ve gerekse *in vivo* deneme sonuçları değerlendirilerek ve bu konuda yapılan benzer çalışmalar da göz önünde tutularak sonraki denemelerde 5 μM ABA dozunun kullanılmasına karar verilmiştir.

Stec ve ark. (2016) ABA konsantrasyonu arttıkça AM oluşumunda gerileme olduğunu ve 5 μM ABA AM kolonizasyonunun ortalama yüzdesini önemli ölçüde artırırken, 50 μM ABA ile muamele edilmiş bitkilerde AM seviyesinin 5 μM ABA uygulamasına kıyasla %45 oranında düştüğünü ve düşük dozlardaki ekzojen ABA uygulamasının AMF kolonizasyonu üzerinde olumlu etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuç, çalışmamızda, 1 μM ve 5 μM ABA uygulamasında, mikorizal kolonizasyon oranının, 10 μM ve 20 μM ABA uygulamalarına göre yüksek çıkması sonucuyla uyum göstermektedir. Zhang ve ark. (2019) da AMF ile aşılınmış *Festuca arundinacea* bitkilerinde giberellik asit ve absisik asit düzeylerinin arttığını ve AMF gelişiminin ABA'nın belli dozlarında teşvik edici etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir.

Çalışmamızda ABA'nın hastalık şiddeti üzerindeki etkisi tüm dozlar açısından kontrole göre istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.3). ABA, kuraklık ve düşük sıcaklık stres toleransındaki rolünün yanı sıra (Shinozaki ve ark., 2003), bitki savunma tepkilerine aracılık eder (Melotto ve ark., 2006). Mevcut çalışmamızda 5 ve 10 μM ABA uygulaması hariç, diğer ABA dozlarında hastalık şiddeti kontrol grubuna göre yüksek kaydedilmiştir. Hefel (2015a; 2015b) ekzojen ABA uygulamasının *Medicago truncatula* A17 bitkilerinde *Macrophomina phaseolina*'nın hastalık belirtilerinin gelişimini daha çok hızlandırıldığını ve bitkilerin düşük (10-20 μM) dozlarda ABA ile muamele edilmesinin hastalık ilerlemesini önemli ölçüde hızlandırıldığını bildirmiştir.

Yüksek ABA konsantrasyonunun, ya kuraklığa bağlı birikim veya patojen enfeksiyonunda ekzojen uygulama nedeniyle bitki hastalık direncini etkilediği bilinmektedir. ABA, bitkinin patojen enfeksiyonuna cevabında negatif veya pozitif rol oynayabilir (Mohr ve Cahill, 2003). ABA'nın, flg₂₂ ve LPS gibi patojenden türetilmiş elisitörlerin uygulanmasıyla gösterildiği gibi, stomaların hızlı kapanması yoluyla

penetrasyon direncini artırarak patojenlere karşı pre-invaziv savunmada ağırlıklı olarak olumlu tepkiler verdiği bildirilmiştir (Melotto ve ark., 2006). ABA'nın ekzojen uygulaması, arabidopsis bitkilerinin fungal patojenler, *Pythium irregulare* ve *Alternaria brassicicola* (Adie ve ark., 2007) ve *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*'ye karşı arpa bitkilerinin direncine katkıda bulunmuştur (Wiese ve ark., 2004). Söz konusu çalışmalarda gözlenen direnç artışının, ABA aracılığıyla elde edilen kallus biyosentezi veya bozunmasının, patojen yayılımını engellenmesinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Rezzonico ve ark., 1998; Jacobs ve ark., 2003).

Bitkilerdeki daha yüksek ABA seviyeleri, SA, JA veya etilenin aracılık ettiği sinyali baskılayarak savunma gen ekspresyonunu baskılayabilir (Audenaert ve ark., 2002; Anderson ve ark., 2004). Arabidopsis bitkilerine ekzojen uygulanan ABA'nın, *P. syringae* pv. tomato'nun bu bitkiler üzerindeki virülensliğini arttırdığı bildirilmiştir (de Torres-Zabala ve ark., 2007). Bitkileri düşük doz ABA ile muamele etmenin hastalığın ilerlemesini hızlandığı ve ABA üretimi ve sinyalizasyonunun *M. phaseolina* ile enfekte olmuş bitkilere zararlı olabileceği (Hefel, 2015a), ekzojen ABA uygulamasının *Medicago truncatula* A17 bitkilerinde *Macrophomina phaseolina*'nın hastalık symptomlarının gelişimini daha çok hızlandığı bildirilmiştir (Hefel, 2015a). Bu çalışmada, 5 ve 10 μ M ABA uygulamasının hastalık şiddeti, toprakta Mp propagül sayısında diğer ABA dozları ve kontrolden daha düşük, kökte mikorizal kolonizasyonda 5 μ M ABA'nın, toprakta AMF spor sayısında 5 ve 10 μ M ABA'nın, 10 ve 20 μ M ABA uygulamalarından daha yüksek değere sahip olması, incelenen morfolojik parametreler açısından da 5 ve 10 μ M ABA dozlarının diğer dozlara ve kontrol uygulamasına göre genel olarak daha olumlu etkide bulunması, yukarıda sunulan, düşük ve yüksek doz ABA uygulamalarının hastalık şiddetini hızlandığı (Audenaert ve ark., 2002; Anderson ve ark., 2004; Torres-Zabala ve ark., 2007; Hefel, 2015a) yönündeki çalışmalarla uyum halindedir.

Çizelge 4.3. Farklı ABA dozları ve AMF uygulaması yapılmış ve *M. phaseolina* inokule edilmiş fasulye bitkisinin bazı morfolojik gelişim parametreleri*

ABA Dozları	Uygulamalar	Bitki Boyu (cm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Gövde çapı (cm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yaprak Sayısı (adet/bitki) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Birim Yaprak Alanı (cm ²) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Toplam Yaprak Alanı (cm ²) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
0 µM	Kontrol	43.40±.33 ^{b**}	3.71±0.10 ^a	52.20±3.32 ^a	10.17±1.12 ^a	531.03± 41.96 ^a
	AMF (+)	48.00± 4.21 ^{ab}	3.54±0.26 ^a	44.40±2.42 ^{ab}	8.30± 1.46 ^{ab}	368.60± 9.66 ^{ab}
	Mp(+)	49.00±1.84 ^{ab}	3.90± 0.11 ^a	29.00± 7.65 ^b	7.05±1.37 ^{ab}	204.45±88.65 ^b
	AMF + Mp	57.70± 4.44 ^a	3.46± 0.14 ^a	28.00±6.68 ^b	8.17± 0.73 ^{ab}	228.83±64.37 ^b
Ort.		49.53±2.01^{A***}	3.65±0.09^A	38.40±3.45^A	8.42±0.70^{BC}	333.23±41.31^A
1µM	Kontrol	45.00±3.35 ^{ab}	3.59±0.21 ^{ab}	35.40±5.42 ^{bc}	10.94±2.48 ^a	387.38±64.47 ^a
	AMF (+)	52.80±1.24 ^a	3.75±0.13 ^{ab}	48.60±4.05 ^a	9.49±2.22 ^a	461.43±65.30 ^a
	Mp(+)	40.00±3.96 ^b	3.43±0.15 ^b	30.20±2.56 ^c	13.38±3.51 ^a	403.99±90.66 ^a
	AMF + Mp	51.20±5.30 ^{ab}	3.98±0.07 ^a	42.80±2.40 ^{ab}	9.70±1.48 ^a	415.17±77.31 ^a
Ort.		47.25±2.08^A	3.69±0.08^A	39.25±2.38^A	10.88±1.23^A	416.99±35.07^A
5µM	Kontrol	48.60±4.47 ^{ab}	4.10±0.17 ^a	43.60±6.19 ^a	10.24±1.34 ^a	446.65± 56.81 ^a
	AMF (+)	40.60±4.15 ^b	3.98± 0.22 ^a	41.60± 5.70 ^a	10.60±1.24 ^a	440.99± 97.58 ^a
	Mp(+)	57.80± 2.58 ^a	3.40±0.20 ^b	36.00± 3.02 ^a	11.04± 1.34 ^a	397.59± 62.69 ^a
	AMF + Mp	42.80± 3.88 ^b	3.36±0.17 ^b	36.80±10.18 ^a	6.25± 1.05 ^b	229.84± 27.65 ^a
Ort.		47.45±2.33^A	3.71±0.12^A	39.50±3.19^A	9.53±0.71^{AB}	378.77±43.96^A
10µM	Kontrol	55.20±3.43 ^{ab}	3.91±0.07 ^a	44.60±1.29 ^a	8.24± 0.96 ^{ab}	367.38±50.02 ^{ab}
	AMF (+)	48.80± 3.35 ^{ab}	3.94± 0.39 ^a	46.40± 6.77 ^a	10.27± 0.80 ^a	476.64± 90.19 ^a
	Mp(+)	47.00±1.41 ^b	3.63± 0.23 ^a	40.20± 3.79 ^a	5.50±1.03 ^{bc}	220.99± 6.69 ^{bc}
	AMF + Mp	56.40± 2.73 ^a	3.60± 0.25 ^a	36.20± 6.72 ^a	4.32±1.91 ^c	156.56± 67.35 ^c
Ort.		51.85±1.60^A	3.77±0.13^A	41.85±2.54^A	7.08±0.74^C	305.39±41.29^A
20µM	Kontrol	49.20±1.07 ^{bc}	4.14±0.17 ^a	45.60±4.68 ^{ab}	8.75±1.04 ^a	399.12± 24.45 ^a
	AMF (+)	52.20±1.93 ^b	3.78±0.14 ^a	35.80±3.43 ^b	11.54± 2.51 ^a	412.97±117.28 ^a
	Mp(+)	45.20± 1.93 ^c	4.12± 0.18 ^a	53.00±5.25 ^a	8.23±0.91 ^a	436.02±84.68 ^a
	AMF + Mp	58.80± 3.12 ^a	3.64± 0.13 ^a	40.40± 5.14 ^{ab}	8.43± 1.40 ^a	340.77±88.98 ^a
Ort.		51.35±1.51^A	3.92±0.09^A	43.70±2.60^A	9.24±0.77^{ABC}	397.22±40.18^A

*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05)

** : Küçük harflerle yapılan sıralamalar her ABA dozunun kendi içindeki uygulama sonuçlarını göstermektedir.

***: Büyük harflerle yapılan sıralamalar ABA dozlarının birbirleriyle karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 4.4. Farklı ABA dozları ve AMF uygulaması yapılmış ve *M. phaseolina* inokule edilmiş fasulye bitkisinin yaş ve kuru ağırlıkları *

ABA Dozları	Uygulamalar	Yaş Ağırlık (g) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Kuru Ağırlık (g) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
0 μ M	Kontrol	16.63 $\pm$ 1.45 ^{a**}	1.85 $\pm$ 0.16 ^a
	AMF (+)	12.16 $\pm$ 0.76 ^b	1.40 $\pm$ 0.13 ^{ab}
	Mp(+)	8.22 $\pm$ 2.17 ^{bc}	0.88 $\pm$ 0.24 ^b
	AMF + Mp	6.61 $\pm$ 1.18 ^c	0.89 $\pm$ 0.28 ^b
Ort.		10.91$\pm$1.12^A	1.26$\pm$0.13^{A***}
1 μ M	Kontrol	10.89 $\pm$ 2.66 ^a	1.29 $\pm$ 0.34 ^a
	AMF (+)	15.45 $\pm$ 1.72 ^a	1.76 $\pm$ 0.22 ^a
	Mp(+)	12.26 $\pm$ 2.33 ^a	1.35 $\pm$ 0.32 ^a
	AMF + Mp	9.78 $\pm$ 1.17 ^a	0.97 $\pm$ 0.17 ^a
Ort.		12.10$\pm$1.06^A	1.34$\pm$0.14^A
5 μ M	Kontrol	15.55 $\pm$ 1.66 ^a	1.68 $\pm$ 0.20 ^a
	AMF (+)	14.13 $\pm$ 2.68 ^a	1.41 $\pm$ 0.32 ^a
	Mp(+)	10.19 $\pm$ 1.46 ^{ab}	1.08 $\pm$ 0.20 ^{ab}
	AMF + Mp	4.56 $\pm$ 1.80 ^b	0.42 $\pm$ 0.21 ^b
Ort.		11.11$\pm$1.33^A	1.15$\pm$0.15^A
10 μ M	Kontrol	13.88 $\pm$ 0.88 ^a	1.50 $\pm$ 0.10 ^a
	AMF (+)	14.74 $\pm$ 2.54 ^a	1.58 $\pm$ 0.34 ^a
	Mp(+)	7.39 $\pm$ 0.71 ^b	0.75 $\pm$ 0.12 ^b
	AMF + Mp	5.03 $\pm$ 1.57 ^b	0.62 $\pm$ 0.26 ^b
Ort.		10.26$\pm$1.20^A	1.11$\pm$0.14^A
20 μ M	Kontrol	13.00 $\pm$ 1.60 ^a	1.41 $\pm$ 0.19 ^a
	AMF (+)	9.48 $\pm$ 1.66 ^a	0.96 $\pm$ 0.25 ^a
	Mp(+)	12.76 $\pm$ 1.37 ^a	1.46 $\pm$ 0.23 ^a
	AMF + Mp	10.31 $\pm$ 1.97 ^a	1.12 $\pm$ 0.27 ^a
Ort.		11.39$\pm$0.84^A	1.24$\pm$0.12^A

*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05)

** : Küçük harflerle yapılan sıralamalar her ABA dozunun kendi içindeki uygulama sonuçlarını göstermektedir.

***: Büyük harflerle yapılan sıralamalar ABA dozlarının birbirleriyle karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 4.5. Farklı ABA dozları ve AMF uygulaması yapılmış ve *M. phaseolina* inokule edilmiş fasulye bitkisinin AMF kök kolonizasyonu ve AMF spor yoğunluğu*

ABA Dozları	Uygulamalar	Kök kolonizasyonu (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Toprakta AMF spor yoğunluğu (adet/g toprak) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
0 μ M	AMF (+) AMF + Mp	5.96 $\pm$ 1.6 ^{b**} 16.85 $\pm$ 4.07 ^a	19.20 $\pm$ 4.22 ^a 26.60 $\pm$ 10.67 ^a
Ort.		11.41$\pm$2.45^{AB***}	22.90$\pm$5.55^B
1 μ M	AMF (+) AMF + Mp	6.97 $\pm$ 0.60 ^b 16.82 $\pm$ 0.86 ^a	37.80 $\pm$ 9.92 ^b 66.60 $\pm$ 13.50 ^a
Ort.		11.90$\pm$1.71^A	52.20$\pm$9.24^A
5 μ M	AMF (+) AMF + Mp	6.99 $\pm$ 1.46 ^a 13.96 $\pm$ 4.03 ^a	80.00 $\pm$ 8.95 ^a 22.00 $\pm$ 5.07 ^b
Ort.		10.48$\pm$2.33^{ABC}	51.00$\pm$10.81^A
10 μ M	AMF (+) AMF + Mp	10.98 $\pm$ 2.23 ^a 3.04 $\pm$ 0.37 ^b	55.00 $\pm$ 8.21 ^a 54.25 $\pm$ 15.34 ^a
Ort.		7.01$\pm$1.70^C	54.63$\pm$7.61^A
20 μ M	AMF (+) AMF + Mp	7.03 $\pm$ 1.75 ^a 8.31 $\pm$ 0.99 ^a	19.00 $\pm$ 3.76 ^a 14.40 $\pm$ 2.87 ^a
Ort.		7.67$\pm$0.97^{BC}	16.70$\pm$2.36^B

*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05)

** : Küçük harflerle yapılan sıralamalar her ABA dozunun kendi içindeki uygulama sonuçlarını göstermektedir.

***: Büyük harflerle yapılan sıralamalar ABA dozlarının birbirleriyle karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 4.6. Farklı ABA dozları ve AMF uygulaması yapılmış ve *M. phaseolina* inokule edilmiş fasulye bitkisinin hastalık şiddeti ve toprakta Mp propagül yoğunluğu*

ABA Dozları	Uygulamalar	Hastalık şiddeti (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Toprakta Mppropagül yoğunluğu (adet/ g toprak) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
0 μ M	Mp (+) AMF + Mp	46.67 $\pm$ 8.17 ^{a**} 44.44 $\pm$ 11.11 ^a	76.40 $\pm$ 14.32 ^a 36.00 $\pm$ 6.96 ^b
Ort.		45.56$\pm$6.10^{A***}	56.20$\pm$10.08^{AB}
1 μ M	Mp (+) AMF + Mp	50.00 $\pm$ 9.62 ^a 46.67 $\pm$ 8.17 ^a	85.00 $\pm$ 12.85 ^a 71.20 $\pm$ 15.45 ^a
Ort.		48.34$\pm$5.86^A	78.10$\pm$9.75^A
5 μ M	Mp (+) AMF + Mp	46.67 $\pm$ 8.17 ^a 36.67 $\pm$ 8.34 ^a	55.00 $\pm$ 10.49 ^a 36.00 $\pm$ 6.00 ^a
Ort.		41.67$\pm$5.56^A	45.50$\pm$6.52^B
10 μ M	Mp (+) AMF + Mp	50.00 $\pm$ 9.62 ^a 33.33 $\pm$ 0.00 ^a	30.00 $\pm$ 7.07 ^b 60.00 $\pm$ 8.04 ^a
Ort.		41.67$\pm$4.90^A	45.00$\pm$7.34^B
20 μ M	Mp (+) AMF + Mp	53.33 $\pm$ 8.17 ^a 40.00 $\pm$ 6.66 ^a	60.00 $\pm$ 16.73 ^a 64.00 $\pm$ 12.63 ^a
Ort.		46.67$\pm$5.44^A	62.00$\pm$9.91^{AB}

*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05)

** : Küçük harflerle yapılan sıralamalar her ABA dozunun kendi içindeki uygulama sonuçlarını göstermektedir.

***: Büyük harflerle yapılan sıralamalar ABA dozlarının birbirleriyle karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir.

4.4. Kısıtlı Sulama Koşullarında *M. phaseolina* İnokulasyonu Yapılmış Fasulye Bitkilerinde AMF ve ABA'nın Etkisinin Belirlenmesi

Çalışmanın bu aşamasında, iklim odası koşullarında AMF, *M. phaseolina*, ABA'nın 4.3'te seçilen uygun dozu (5 μ M), Gina fasulye çeşidi ve 4 farklı sulama seviyesi (% 25, % 50, % 75, % 100) kullanılarak; AMF ve ABA'nın fasulye kömür çürüklüğü hastalığının gelişimine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur (Çizelge 4.7- 4.11).

Kısıtlı sulama uygulamalarının fasulye bitkisinin bitki boyu, gövde çapı ve yaprak sayısına etkisine bakıldığında, kısıtlı sulama uygulamaları arasında fark olduğu ve farkın istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.7). Bitki boyu, gövde çapı ve yaprak sayısı açısından en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla % 25 sulamada (54.43 cm), % 75'te (3.21 cm), % 100'de (28.30 adet) ve en düşük, % 50 sulamada (48.55 cm), % 25'te (2.60 cm ve 18.85 adet) olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.7).

Toplam ve birim yaprak alanı açısından kısıtlı sulama uygulamalarında istatistiki olarak fark bulunduğu görülmüştür (Çizelge 4.7). Toplam yaprak alanı ve birim yaprak alanı için en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla % 75 sulamada (626.62 ve 24.35 cm²), %25'te (316.53 cm²) ve % 50'den (16.06 cm²) elde edilmiştir (Çizelge 4.7).

Fasulye bitkisinin yaş ve kuru ağırlıklarında kısıtlı sulama uygulamaları arasında farklılıklar görülmüş ve istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Yaş ve kuru ağırlık açısından en yüksek değeri ile en düşük değerleri sırasıyla % 100 sulamada (19.26 g ve 2.46 g) ve % 25'te (9.45 g ve 1.40 g) olarak belirlenmiştir.

Kısıtlı sulama uygulamalarının hastalık şiddetine etkisi istatistiki olarak farklılık göstermemiştir (Çizelge 4.10.). En yüksek ve en düşük hastalık şiddeti sırasıyla % 75 kısıtlı sulamada (% 48.33) ve % 25 (% 35.42) kısıtlı sulama uygulamalarında görülmüştür. Kuraklık şiddeti açısından kısıtlı sulama uygulamaları arasında farklılıklar ortaya çıkmış ve istatistiki olarak önemli kaydedilmiştir (Çizelge 4.9). Kuraklık şiddeti açısından en yüksek ve en düşük değer sırasıyla % 75 (2.78) ve % 25 (1.48) kısıtlı sulama uygulamalarında görülmüştür.

Çalışma kapsamında ele alınan bir diğer parametre olan toplam klorofil içeriği açısından kısıtlı sulama uygulamalarına göre istatistiki olarak farklılık ortaya çıkmış, %

75 kısıtlı su uygulaması dışındaki diğer kısıtlı su uygulamalarındaki klorofil içerikleri aynı grupta yer almışlardır (Çizelge 4.8). Buna göre en yüksek ve en düşük klorofil içeriği sırasıyla % 75 (40.46) ve % 50 (34.45) kısıtlı sulama uygulamalarında saptanmıştır. Nispi büyüme oranları açısından kısıtlı su uygulamaları arasında farklılık ortaya çıkmış ve istatistiki olarak önemli çıkmıştır (Çizelge 4.8). Bu parametredeki en fazla değeri ile en düşük değerleri sırasıyla % 100 sulama (0.46 g taze ağırlık/gün) ve % 75 (0.01g taze ağırlık/gün) kısıtlı su uygulamalarında tespit edilmiştir.

Fasulye bitkilerinde kısıtlı su uygulamalarında kuraklık stres faktörünü gösteren ve önemli fizyolojik belirteçlerin başında yer alan yaprak oransal su içeriği (YOSİ) açısından % 75 kısıtlı su uygulaması dışında diğer uygulamaları arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmamıştır (Çizelge 4.9). Kısıtlı su uygulamalarına göre en fazla değeri ile en düşük YOSİ oranları sırasıyla % 100 sulama (% 79.34) ve % 75 (% 57.85) kısıtlı sulama uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.9).

Kuraklık stresindeki diğer önemli belirteç olan membran zararlanma indeksi (MZİ) açısından % 25 ve % 50 kısıtlı su uygulamaları arasında istatistiki olarak fark görülmezken, % 75 kısıtlı su uygulaması diğer iki gruptan istatistiki olarak farklılık göstermiştir (Çizelge 4.9). MZİ açısından en yüksek değer % 75 (% 64.07) kısıtlı su uygulamasında belirlenirken, en düşük MZİ değeri %25 (-% 5.60) kısıtlı su uygulamasında tespit edilmiştir.

AM fungusunun kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğu kısıtlı su uygulamalarından etkilenmekle beraber uygulamalar arasındaki fark toprakta spor yoğunluğu açısından istatistiki olarak önemli bulunmamış; kök kolonizasyonu açısından kısıtlı sulama uygulamaları arasında istatistiksel olarak fark bulunmuştur (Çizelge 4.11). AMF kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğu açısından en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla % 25 (% 11.73) ve % 0 (2.51 adet/10 g toprak); % 50 (% 7.13 ve 1.65 spor/g toprak) kısıtlı su uygulamalarında belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Genel olarak değerlendirildiğinde; kısıtlı sulama dozlarının, denemede incelenen temel parametreler olan mikorizal kolonizasyon ve hastalık şiddeti üzerine etkisine bakıldığında; % 75 su uygulamasının gövde çapı, yaprak sayısı, toplam yaprak alanı, yaş ağırlık, kuru ağırlık, toplam klorofil, YOSİ, kökte mikorizal kolonizasyon ve toprakta mikorizal kolonizasyonda kontrol uygulaması ile aynı grupta yer alması; bitki boyu, birim yaprak alanı, hastalık şiddetinde kontrol uygulamasından daha iyi durumda

olması ve kuraklık şiddeti yönünden diğer su kısıt seviyelerine göre daha az etkilenmesinden dolayı, birçok fizyolojik parametrenin inceleneceği daha sonraki denemede bu sulama seviyesinin kullanılmasının tezin amaç ve kurgusuna uygun olmayacağı düşünülmüştür. Çizelge 4.7-4.11.'de yer alan parametreler ve bu parametrelerin aldığı değerler göz önünde tutulduğunda gerek bitki hayatiyetinin devamı, gerekse, kuraklıkla ilişkili fizyolojik parametrelerin araştırmanın amacına yönelik olarak elde edilmesi açısından en uygun sulama seviyesinin % 50 sulama kısıtı olduğu düşünülmüş ve örtüaltı denemesinde bu sulama dozu kullanılmıştır.

Genel anlamda abiyotik stres faktörü olan kuraklık, üretimi sınırlandıran en önemli unsurlardandır (Reddy ve ark., 2004). Bitkiler su eksikliği stresinde, dokular arasında bulunan suyun dengesi bozulur. Bu stres faktörü, gün bazında olabileceği gibi daha uzun süreli de olabilmekte; turgor azalımından dolayı hücre büyümesi negatif bir şekilde etkilendiğinden, hücreler normal gelişim gösteremez ve bu da çeper sentezine de etki yapar. Protein ve klorofil olumsuz etkilenir, hücre büyümesinde gerileme, yapraklar küçülme ve fotosentez üretiminde azalmasına meydana gelir. Akut kuraklık sonucu genç ve yaşlı yapraklarda asimilasyon yetersizliğinden dolayı solma, sürgün uçlarında kuruma, verimde azalma, büyümede yavaşlama gibi belirtiler ortaya çıkar (Çırak ve Esendal, 2006).

Sankar ve ark. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada beş farklı bamya çeşidinde (Saloni F₁, SPHB 7, Sakthi 101, JK Haritha, Mahyco), %60 kısıtlı sulama koşullarında, verim, yaprak alanı ve net asimilasyon oranında kontrol bitkilerine göre düşüşler tespit edilmiştir. Alexieva ve ark. (2001), buğdayda 7 gün, bezelyede ise 10 gün süresince %10 PEG 6000 ile uyguladıkları kuraklık stresinde, her iki türde de yaş ve kuru ağırlıkta, yaprak su içeriğinde kontrol bitkilerine göre kayıplar yaşandığı gözlenmiştir. Sanchez ve ark. (2004), PEG 6000 kullanarak oluşturdukları kuraklık stresinde, bezelye epikotillerinin gelişiminde önemli kayıplar tespit etmişlerdir, gelişim ve ozmotik düzenleme ile turgor düzenlemesi arasında bir korelasyon olduğunu bulmuşlardır. Mathur ve ark.(2019), kuraklık stresi altındaki buğday bitkilerinin, hem yaprak hem de toprak için minimum bağıl su içeriği gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmamızda da, bazı morfolojik veriler (yaş ağırlık, kuru ağırlık, toplam yaprak alanı, nispi büyüme oranı) ve YOSİ'de en düşük sonuçların %25 sulama uygulamasında kaydedilmesi, bu çalışmaların sonuçlarıyla uyum sağlamaktadır.

Serada yapılan bir kuraklık çalışmasında, 45 gün boyunca % 60 kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen fasulye (*P. vulgaris*) ve *Sesbania aculeata* türlerinde kontrol bitkilerine göre gövde yaş ve kuru ağırlıkları, kök yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak alanı ve gövde boyunda, kuraklık stresi sonucu azalma gözlemlendiği, yapraklarda klorofil a ve b ile a/b oranlarının stres koşullarında kontrol bitkilerine göre önemli bir fark oluşturmadığını belirtmişlerdir (Ashraf ve Iram, 2005). Ve bu sonuçlar, çalışmamızdaki bitki boyu hariç, yaş ve kuru ağırlıklar, toplam yaprak alanı sonuçlarıyla uyum sağlamakta; çalışmamızda en yüksek klorofil oranının % 25 sulama uygulamasında kaydedilmesi de Ashraf ve Iram (2005)'ın sonuçlarıyla açıklanabilir.

Serada yetiştirilen soya fasulyesinde, kuraklık stresinin, *M. phaseolina* enfeksiyonlarını arttırdığı ve fide kuru ağırlığını azalttığı, *M. phaseolina* inokulasyonunun, soya fasulyesi gelişmesini de azalttığı ve biyokütle birikimine dayanan kuraklık stresi etkilerini arttırdığı (Gill-Langarica ve ark., 2008); kuraklık stresi altında, bitkilerin patojenlere karşı savunmasız hale gelebildiği; düşük toprak nemi koşullarındaki *Parthenocissus quinquefolia* (Amerikan sarmaşığı) bitkilerinde *Xylella fastidiosa* (Bakteriyel yaprak yanıklığı etkeni)'nin, toplam yaprak alanı, sürgün boyu, yaprak su potansiyeli, stoma dayanıklılığı ve yaprak yanıklığı simptomları açısından, sadece patojen enfeksiyonuna uğramış normal nem koşuluna sahip toprakta yetişen bitkilere göre daha olumsuz sonuçlar verdiği (McElrone ve ark., 2001, 2003; McElrone and Forseth, 2004), kuraklık stresine maruz kalan mısır cüce mozaik virüsü (MDMV) enfekteli tatlı mısır bitkilerinin (*Zea mays* var. *Saccharata*), enfekte olmayan bitkilere kıyasla kulak ağırlığı, yaprak alanı ve bitki yüksekliğinde daha fazla azalma gösterdiği bildirilmiştir (Olson ve ark., 1990). Bu çalışma sonuçları da, çalışmamızdaki bitki boyu hariç, diğer morfolojik ve bitki gelişim parametreleri sonuçlarıyla uyum halindedir. Zira, çalışmamızda kuraklık şiddeti arttıkça bitki büyüme parametreleri çoğunlukla olumsuz etkilenmiştir. Ayrıca, çalışmamızda, en yüksek kuraklık şiddetinin, MZİ değerinin % 25 sulamada görülmesi ve iki parametre sonuçlarının da büyükten küçüğe; % 25, % 50 ve % 75 sulama şeklinde sıralanması bu çalışmaların sonuçlarıyla uyum göstermektedir.

AMF, bitki gelişimini özellikle bitki besin maddelerinin miktarlarının kritik olduğu marjinal (kuraklık ve tuzluluk) topraklarda veya şartlarda teşvik etmektedir. (Hayman, 1982; Johannsen ve ark., 1993; Pearson ve Jacobsen, 1993; Jacobsen, 1994). Ekolojik faktörler AM oluşumu üzerine oldukça etkilidirler ve genel olarak bitkinin iyi

gelişmesini sağlayan koşullar AMF oluşumunu da arttırmaktadır. Fakat burada, besin maddeleri içeriğini ayırmak lazımdır. Çünkü AMF, besin maddelerinin düşük olduğu topraklarda daha iyi oluşmaktadır. (Bjorken'e atfen Gerdeman, 1968; Dehne, 1977). Çalışmamızda, en yüksek AMF kök kolonizasyonunun %25 sulamada kaydedilmesi, bu çalışmalarda bildirildiği gibi, AMF'nin olumsuz çevre ve toprak koşullarında daha iyi geliştiği ve kolonize olduğu ile açıklanabilir. Bu çalışmada, toprakta en yüksek AMF spor sayısının % 100 ve % 75 sulamada görülmesi de Gerdeman (1968) ve Dehne (1977)'nin bildirdikleri gibi, bitki için iyi olan koşulların AMF gelişimini de olumlu etkilemesinden kaynaklanmış olabilir.



Çizelge 4.7. Farklı kısıtlı sulama seviyelerinde, ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkisine ait bazı morfolojik gelişim parametreleri*

I**	Uygulamalar	Bitki Boyu (cm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Gövde çapı (cm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yaprak Sayısı (adet/bitki) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Birim Yaprak Alanı (cm ²) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Toplam Yaprak Alanı (cm ²) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
I ₁	KONTROL	52.20±3.31 ^{ab***}	3.01±0.25 ^b	30.20±3.22 ^a	20.16±2.39 ^a	597.60±83.99 ^a
	AMF	52.00±7.11 ^{ab}	2.70±0.34 ^b	30.60±3.44 ^a	20.64±1.68 ^a	622.36±79.79 ^a
	Mp	43.20±3.83 ^b	2.87±0.29 ^b	27.00±4.44 ^a	18.45±1.98 ^a	478.16±72.74 ^a
	ABA	53.75±6.84 ^{ab}	2.89±0.41 ^b	28.20±4.49 ^a	19.18±1.49 ^a	521.97±70.52 ^a
	AMF + Mp	58.00±2.39 ^a	2.81±0.23 ^b	28.40±1.63 ^a	19.39±1.76 ^a	555.78±67.76 ^a
	AMF + ABA	60.75±3.50 ^a	3.97±0.16 ^a	30.20±1.56 ^a	23.44±2.53 ^a	717.29±99.06 ^a
	ABA + Mp	46.80±1.24 ^{ab}	3.35±0.24 ^{ab}	26.40±4.27 ^a	22.97±2.15 ^a	596.59±100.21 ^a
	AMF + ABA + Mp	49.60±3.87 ^{ab}	3.48±0.12 ^{ab}	25.40±1.12 ^a	22.76±2.01 ^a	583.88±68.38 ^a
Ort.		52.41^{AB****}	3.14^A	28.30^A	20.87^A	584.22^A
I ₂	-	48.60±7.77 ^a	3.10±0.24 ^{bc}	22.80±1.39 ^{ab}	27.19±4.50 ^a	620.45±141.28 ^{abc}
	AMF	56.20±2.63 ^a	3.61±0.10 ^{ab}	26.00±1.84 ^{ab}	30.04±4.65 ^a	780.96±49.02 ^{ab}
	Mp	53.60±6.98 ^a	2.28±0.33 ^d	19.75±6.18 ^b	26.99±1.23 ^a	533.06±97.96 ^{bc}
	ABA	65.20± 6.36 ^a	3.20±0.25 ^{bc}	32.20±1.16 ^a	18.93±1.69 ^a	609.53±60.08 ^{abc}
	AMF + Mp	45.80±7.18 ^a	2.94±0.13 ^c	18.61±4.14 ^{ab}	19.43±4.51 ^a	361.57±37.30 ^c
	AMF + ABA	49.20±6.73 ^a	3.40±0.23 ^{abc}	34.33±3.91 ^a	26.19±1.59 ^a	899.09±105.56 ^a
	ABA + Mp	59.60±5.66 ^a	3.91±0.13 ^a	30.26±2.29 ^{ab}	24.12±3.78 ^a	729.86±151.59 ^{ab}
	AMF + ABA + Mp	55.20±4.07 ^a	3.20±0.14 ^{bc}	21.85±3.14 ^{ab}	21.90±4.72 ^a	478.41±76.62 ^{bc}
Ort.		54.18^A	3.21^A	25.73^A	24.35^A	626.62^A
I ₃	-	46.20±5.56 ^a	2.48±0.83 ^a	26.54±2.11 ^a	15.65±2.54 ^a	415.29±64.05 ^a
	AMF	50.20±3.43 ^a	2.93±0.28 ^a	28.74±2.02 ^a	14.54±1.64 ^a	417.92±74.24 ^a
	Mp	52.80±4.84 ^a	3.07±0.17 ^a	25.78±2.16 ^a	15.38±1.73 ^a	396.55±70.28 ^a
	ABA	52.20±4.01 ^a	2.99±0.11 ^a	26.96±6.27 ^a	17.78±2.93 ^a	479.33±109.32 ^a
	AMF + Mp	49.80±7.79 ^a	2.90±0.13 ^a	22.60±3.44 ^a	19.12±4.12 ^a	399.60±103.25 ^a
	AMF + ABA	41.00±8.17 ^a	2.70±0.32 ^a	20.90±2.35 ^a	15.69±2.35 ^a	355.44±63.18 ^a
	ABA + Mp	51.80±4.99 ^a	2.71±0.13 ^a	31.00±7.08 ^a	13.81±2.50 ^a	428.05±85.55 ^a
	AMF + ABA + Mp	44.40±6.96 ^a	2.85±0.25 ^a	20.72±4.98 ^a	16.51±3.29 ^a	342.17±110.12 ^a
Ort.		48.55^B	2.83^B	25.41^A	16.06^B	404.29^B
I ₄	-	52.00±5.70 ^{ab}	2.67±0.16 ^{abc}	22.76±2.56 ^a	12.31±2.94 ^a	280.16±48.20 ^a
	AMF	45.40±5.11 ^b	2.43±0.24 ^{bc}	16.65±2.27 ^{ab}	21.35±2.32 ^a	355.55±67.40 ^a
	Mp	44.80±2.25 ^b	2.17±0.13 ^c	18.50±3.15 ^{ab}	17.93±1.15 ^a	331.71±72.15 ^a
	ABA	49.60±6.82 ^{ab}	2.93±0.26 ^{ab}	20.80±2.89 ^{ab}	18.02±1.76 ^a	374.84±79.04 ^a
	AMF + Mp	56.40±1.69 ^{ab}	2.13±0.16 ^c	19.09±2.62 ^{ab}	11.47±3.03 ^a	219.06±57.30 ^a
	AMF + ABA	63.80±3.65 ^a	2.90±0.07 ^{ab}	18.00±2.76 ^{ab}	21.13±3.91 ^a	374.35±68.56 ^a
	ABA + Mp	59.80±7.59 ^{ab}	3.20±0.22 ^a	12.93±3.07 ^b	17.38±5.58 ^a	224.66±77.26 ^a
	AMF + ABA + Mp	63.60±3.31 ^a	2.36±0.22 ^{bc}	21.98±2.33 ^a	16.92±3.64 ^a	371.89±92.01 ^a
Ort.		54.43^A	2.60^C	18.85^B	17.19^B	316.53^C

*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05)

** : Sulama seviyeleri: I₁: % 100 sulama seviyesi, I₂: % 75 sulama sulama seviyesi, I₃: % 50 sulama seviyesi, I₄: %25 sulama seviyesi

***: Küçük harflerle yapılan sıralamalar her sulama seviyesinin kendi içindeki uygulama sonuçlarını göstermektedir.

****: Büyük harflerle yapılan sıralamalar sulama seviyelerinin birbirleriyle karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 4.8. Farklı kısıtlı sulama seviyelerinde, ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkisinin yaş ve kuru ağırlıkları, nispi büyüme oranı ve toplam klorofil içeriği*

I**	Uygulamalar	Yaş Ağırlık (g) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Kuru Ağırlık (g) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Nispi büyüme (g taze ağırlık/gün) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Toplam klorofil $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
I ₁	KONTROL	18.79±1.90 ^{abc***}	2.45±0.31 ^a	0.45±0.04 ^{abc}	39.08±1.45 ^a
	AMF	25.57±1.89 ^a	2.86±0.27 ^a	0.76±0.15 ^a	33.04±2.95 ^a
	Mp	14.94±2.86 ^c	1.82±0.40 ^a	0.33±0.13 ^c	35.04±1.36 ^a
	ABA	15.64±3.68 ^{c-h}	2.18±0.68 ^a	0.28±0.11 ^c	35.04±2.13 ^a
	AMF + Mp	15.40±2.45 ^c	2.09±0.33 ^a	0.38±0.11 ^{bc}	37.38±2.18 ^a
	AMF + ABA	24.09±2.98 ^{ab}	2.89±0.43 ^a	0.71±0.12 ^{ab}	34.04±1.11 ^a
	ABA + Mp	19.02±2.52 ^{abc}	2.60±0.26 ^a	0.39±0.11 ^{bc}	33.84±1.54 ^a
	AMF + ABA + Mp	20.59±2.43 ^{abc}	2.80±0.37 ^a	0.37±0.11 ^{bc}	35.46±1.20 ^a
Ort		19.26^{A****}	2.46^A	0.46^A	35.37^B
I ₂	-	15.72±1.96 ^{ab}	2.09±0.30 ^a	0.36±0.10 ^{ab}	37.02±2.27 ^a
	AMF	20.22±1.17 ^{ab}	2.30±0.27 ^a	0.38±0.06 ^{ab}	35.06±2.10 ^{ab}
	Mp	13.75±2.68 ^b	1.91±0.48 ^a	0.27±0.13 ^{ab}	29.34±2.65 ^b
	ABA	20.10±2.41 ^{ab}	2.68±0.30 ^a	0.39±0.18 ^{ab}	36.02±2.21 ^{ab}
	AMF + Mp	12.18±2.11 ^b	1.73±0.28 ^a	0.12±0.10 ^b	34.28±1.64 ^{ab}
	AMF + ABA	22.23±3.74 ^a	2.54±0.41 ^a	0.68±0.26 ^a	35.32±1.07 ^{ab}
	ABA + Mp	19.09±3.16 ^{ab}	2.53±0.37 ^a	0.46±0.22 ^{ab}	36.30±1.62 ^a
	AMF + ABA + Mp	14.77±1.81 ^{ab}	2.12±0.24 ^a	0.10±0.12 ^b	34.96±2.71 ^{ab}
Ort.		17.26^A	2.24^A	0.35^B	34.79^B
I ₃	-	12.44±1.94 ^a	1.44±0.27 ^{ab}	0.18±0.04 ^{ab}	31.26±2.81 ^a
	AMF	16.70±1.89 ^a	1.96±0.23 ^{ab}	0.29±0.09 ^{ab}	36.10±1.60 ^a
	Mp	15.19±1.32 ^a	1.82±0.24 ^{ab}	0.40±0.13 ^a	34.50±2.47 ^a
	ABA	16.53±1.96 ^a	2.08±0.19 ^a	0.28±0.09 ^{ab}	37.02±4.46 ^a
	AMF + Mp	13.55±2.28 ^a	1.88±0.30 ^{ab}	0.17±0.12 ^{ab}	35.66±2.77 ^a
	AMF + ABA	9.62±4.18 ^a	1.05±0.21 ^b	0.17±0.13 ^{ab}	34.48±2.16 ^a
	ABA + Mp	11.60±2.72 ^a	1.64±0.44 ^{ab}	0.07±0.18 ^{ab}	33.19±3.60 ^a
	AMF + ABA + Mp	10.92±3.77 ^{a-i}	1.47±0.35 ^{ab}	-0.04±0.10 ^b	33.41±3.01 ^a
Ort.		13.32^B	1.66^B	0.19^C	34.45^B
I ₄	-	10.62±1.74 ^{ab}	1.89±0.53 ^a	0.07±0.07 ^a	34.90±3.62 ^c
	AMF	9.84±1.44 ^{ab}	1.17±0.18 ^a	0.02±0.08 ^a	40.00±2.18 ^{bc}
	Mp	10.10±1.99 ^{ab}	1.33±0.23 ^a	0.06±0.10 ^a	41.04±2.49 ^{bc}
	ABA	13.00±2.48 ^a	1.81±0.18 ^a	0.16±0.12 ^a	48.70±2.94 ^a
	AMF + Mp	6.98±1.45 ^{ab}	1.12±0.22 ^a	-0.05±0.04 ^a	35.46±1.77 ^c
	AMF + ABA	10.07±1.77 ^{ab}	1.24±0.15 ^a	-0.02±0.09 ^a	40.64±0.71 ^{bc}
	ABA + Mp	5.88±1.60 ^b	1.08±0.24 ^a	-0.10±0.09 ^a	45.92±2.11 ^{ab}
	AMF + ABA + Mp	9.14±2.14 ^{ab}	1.52±0.22 ^a	-0.05±0.16 ^a	37.04±2.15 ^{bc}
Ort.		9.45^C	1.40^B	0.01^D	40.46^A

*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05)

** : Sulama seviyeleri: I₁: % 100 sulama seviyesi, I₂: % 75 sulama sulama seviyesi, I₃: % 50 sulama seviyesi, I₄: % 25 sulama seviyesi

***: Küçük harflerle yapılan sıralamalar her sulama seviyesinin kendi içindeki uygulama sonuçlarını göstermektedir.

****: Büyük harflerle yapılan sıralamalar sulama seviyelerinin birbirleriyle karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 4.9. Farklı kısıtlı sulama seviyelerinde, ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkisinin kuraklık şiddeti, YOSİ ve MZİ oranları*

I**	Uygulamalar	Kuraklık şiddeti $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	YOSİ (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	MZİ $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
I ₁	KONTROL		82.73±2.78 ^{ab***}	
	AMF		88.45±1.48 ^a	
	Mp		81.96±4.39 ^{ab}	
	ABA		78.29±6.70 ^{ab}	
	AMF + Mp		65.26±11.81 ^b	
	AMF + ABA		77.86±7.18 ^{ab}	
	ABA + Mp		78.32±4.85 ^{ab}	
	AMF + ABA + Mp		81.85±5.13 ^{ab}	
Ort			79.34^{A****}	
I ₂	-	1.50±0.50 ^a	85.48±2.41 ^a	-35.59±20.24 ^{ab}
	AMF	1.67±0.33 ^a	80.08±4.13 ^{ab}	-15.78±43.80 ^{ab}
	Mp	1.50±0.50 ^a	87.92±1.74 ^a	-35.38±19.91 ^{ab}
	ABA	1.60±0.40 ^a	77.76±5.21 ^{ab}	-63.48±29.59 ^b
	AMF + Mp	1.60±0.25 ^a	74.30±8.02 ^{ab}	17.54±21.50 ^{ab}
	AMF + ABA	1.00±0.00 ^a	81.61±6.15 ^{ab}	19.55±20.15 ^{ab}
	ABA + Mp	1.00±0.00 ^a	75.54±5.98 ^{ab}	36.67±11.71 ^a
	AMF + ABA + Mp	2.00±0.32 ^a	65.93±6.71 ^b	31.70±12.80 ^a
Ort.		1.48^C	78.58^A	-5.60^B
I ₃	-	1.00±0.00 ^c	88.93±3.52 ^a	49.93±24.43 ^a
	AMF	1.60±0.40 ^{bc}	79.56±3.86 ^{ab}	39.27±25.61 ^a
	Mp	1.60±0.40 ^{bc}	82.54±6.76 ^{ab}	52.33±27.05 ^a
	ABA	2.40±0.25 ^{ab}	71.80±10.08 ^{abc}	4.28±33.59 ^a
	AMF + Mp	2.60±0.25 ^{ab}	65.36±5.10 ^{bc}	66.14±22.60 ^a
	AMF + ABA	1.60±0.40 ^{bc}	73.74±5.29 ^{abc}	78.76±5.13 ^a
	ABA + Mp	2.60±0.40 ^{ab}	58.95±4.90 ^c	61.19±14.56 ^a
	AMF + ABA + Mp	2.80±0.37 ^a	68.19±7.85 ^{bc}	53.87±9.89 ^a
Ort.		2.03^B	73.64^A	50.72^A
I ₄	-	2.20±0.45 ^{bc}	70.52±5.47 ^{ab}	52.14±9.67 ^a
	AMF	2.20±0.20 ^{bc}	71.47±3.77 ^{ab}	59.42±19.72 ^a
	Mp	3.20±0.37 ^{ab}	56.87±5.81 ^{ab}	70.53±8.78 ^a
	ABA	2.00±0.32 ^c	50.74±2.42 ^b	83.44±6.01 ^a
	AMF + Mp	3.80±0.49 ^a	57.15±11.39 ^{ab}	46.67±13.02 ^a
	AMF + ABA	3.60±0.40 ^a	55.86±7.84 ^{ab}	78.73±8.10 ^a
	ABA + Mp	3.40±0.25 ^a	26.93±1.51 ^c	51.32±18.02 ^a
	AMF + ABA + Mp	3.80±0.58 ^a	73.25±6.67 ^a	70.33±6.78 ^a
Ort.		2.78^A	57.85^B	64.07^A

*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05)

** : Sulama seviyeleri: I₁: % 100 sulama seviyesi, I₂: % 75 sulama sulama seviyesi, I₃: % 50 sulama seviyesi, I₄: % 25 sulama seviyesi

***: Küçük harflerle yapılan sıralamalar her sulama seviyesinin kendi içindeki uygulama sonuçlarını göstermektedir.

****: Büyük harflerle yapılan sıralamalar sulama seviyelerinin birbirleriyle karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 4.10. Farklı kısıtlı sulama seviyelerinde, ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerinde hastalık şiddeti*

I**	Uygulamalar	Hastalık şiddeti (%)
		$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
I ₁	KONTROL	-
	AMF	-
	Mp	33.33±0.00 ^{b***}
	ABA	-
	AMF + Mp	55.56±11.11 ^a
	AMF + ABA	-
	ABA + Mp	40.00±6.67 ^{ab}
	AMF + ABA + Mp	33.33±0.00 ^b
Ort		40.56^{A****}
I ₂	-	-
	AMF	-
	Mp	33.33±0.00 ^a
	ABA	-
	AMF + Mp	41.67±8.34 ^a
	AMF + ABA	-
	ABA + Mp	33.33±0.00 ^a
	AMF + ABA + Mp	33.33±0.00 ^a
Ort.		35.42^A
I ₃	-	-
	AMF	-
	Mp	33.33±0.00 ^a
	ABA	-
	AMF + Mp	33.33±0.00 ^a
	AMF + ABA	-
	ABA + Mp	50.00±9.62 ^a
	AMF + ABA + Mp	50.00±9.62 ^a
Ort.		41.67^A
I ₄	-	-
	AMF	-
	Mp	50.00±9.62 ^a
	ABA	-
	AMF + Mp	50.00±9.62 ^a
	AMF + ABA	-
	ABA + Mp	40.00±6.67 ^a
	AMF + ABA + Mp	53.33±8.17 ^a
Ort.		48.33^A

*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05)

** : Sulama seviyeleri: I₁: % 100 sulama seviyesi, I₂: % 75 sulama sulama seviyesi, I₃: % 50 sulama seviyesi, I₄: % 25 sulama seviyesi

***: Küçük harflerle yapılan sıralamalar her sulama seviyesinin kendi içindeki uygulama sonuçlarını göstermektedir.

****: Büyük harflerle yapılan sıralamalar sulama seviyelerinin birbirleriyle karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 4.11. Farklı kısıtlı sulama seviyelerinde, ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerinde AMF kök kolonizasyonu ve toprak spor yoğunluğu*

I**	Uygulamalar	AMF kök kolonizasyonu (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	AMF spor yoğunluğu (adet/g toprak) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
I ₁	Kontrol	-	-
	AMF	11.75±1.41 ^{a***}	1.80±0.80 ^a
	Mp	-	-
	ABA	-	-
	AMF + Mp	8.37±2.21 ^a	3.60±1.75 ^a
	AMF + ABA	8.47±2.13 ^a	3.40±1.40 ^a
	ABA + Mp	-	-
	AMF + ABA + Mp	7.22±1.34 ^a	1.25±0.95 ^a
Ort		8.95^{AB***}	2.51^A
I ₂	-	-	-
	AMF	9.62±2.88 ^a	2.40±1.12 ^a
	Mp	-	-
	ABA	-	-
	AMF + Mp	6.11±2.42 ^a	1.50±0.65 ^a
	AMF + ABA	16.19±5.47 ^a	2.60±0.93 ^a
	ABA + Mp	-	-
	AMF + ABA + Mp	7.56±2.58 ^a	3.50±2.02 ^a
Ort.		9.87^{AB}	2.50^A
I ₃	-	-	-
	AMF	7.29±2.96 ^a	1.60±0.40 ^a
	Mp	-	-
	ABA	-	-
	AMF + Mp	8.97±0.68 ^a	1.60±0.60 ^a
	AMF + ABA	5.74±1.85	2.00±0.63 ^a
	ABA + Mp	-	-
	AMF + ABA + Mp	6.54±4.06 ^a	1.40±0.75 ^a
Ort.		7.14^B	1.65^A
I ₄	-	-	-
	AMF	10.74±1.58 ^a	2.00±1.68 ^a
	Mp	-	-
	ABA	-	-
	AMF + Mp	10.49±0.90 ^a	2.00±0.71 ^a
	AMF + ABA	11.05±3.16 ^a	3.60±1.86 ^a
	ABA + Mp	-	-
	AMF + ABA + Mp	14.65±4.76 ^a	1.75±1.11 ^a
Ort.		11.73^A	2.34^A

*: Aynı sütundaki verilerden aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05)

** : Sulama seviyeleri: I₁: % 100 sulama seviyesi, I₂: % 75 sulama sulama seviyesi, I₃: % 50 sulama seviyesi, I₄: % 25 sulama seviyesi

***: Küçük harflerle yapılan sıralamalar her sulama seviyesinin kendi içindeki uygulama sonuçlarını göstermektedir.

****: Büyük harflerle yapılan sıralamalar sulama seviyelerinin birbirleriyle karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir.

4.5. Örtüaltında Kısıtlı Sulama Koşullarında, AMF ve ABA'nın, *M. phaseolina*'nın Hastalık Şiddeti ile Bazı Bitki Fizyolojik Gelişim ve Verim Unsurlarına Etkisinin Belirlenmesi

4.5.1. Morfolojik özellikler

Örtüaltında % 50 kısıtlı sulamada ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerine ait bazı morfolojik gelişim parametreleri ve nispi büyüme oranları Çizelge 4. 12. ve Çizelge 4.13.'de verilmiştir.

Çizelge 4.12.'den de görüleceği üzere bitki boyu ve gövde çapında, istatistiki olarak önemli olmamakla beraber, uygulamalar arasında fark olduğu görülmektedir. En yüksek ve en düşük bitki boyu ve gövde çapı değerleri sırasıyla AMF+Mp (61.08 cm), Mp+ABA+KS (51.50 cm) ve Kontrol (4.96 cm), Mp+KS (4.26 cm) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.12). AMF'li uygulamaların ikili, üçlü ve dörtlü uygulamalarda da AMF'siz uygulamalara göre bitki boyunu arttırdığı, Mp+ABA, Mp+KS, ABA+KS uygulamalarının tekli uygulamalara göre bitki boyunu azalttıkları ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.1.2). Gövde çapı açısından da AMF'nin, ikili interaksyonların tümünde, üçlü interaksyonlarda da AMF+ABA+KS dışında AMF'siz uygulamalara göre gövde çapını arttırdığı, Mp+ABA, tekli uygulamaya göre gövde çapını arttırırken, ABA+KS'da ise kontrol uygulamasına göre gövde çapının düştüğü belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Yaprak sayısında, KS uygulaması dışındaki diğer tüm uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli bir fark bulunmazken, KS uygulaması ile diğer uygulamalar arasındaki farkın ise istatistiki olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.12). En yüksek ve en düşük yaprak sayısı sırasıyla KS (18.00 adet) ve Mp+KS (38.75 adet) uygulamalarında elde edilmiştir. Kısıtlı sulamada kontrol sulamasına göre yaprak sayısında azalış olduğu, AMF ve Mp'nin kontrole göre yaprak sayısını azalttığı, ABA'nın arttırdığı, ancak, hiçbir uygulamada farkın istatistiki olarak önemli olmadığı; AMF, Mp ve ABA'nın kısıtlı sulamada kontrole göre yaprak sayısını arttırdıkları ve farkların istatistiki olarak da önemli olduğu görülmektedir. AMF+Mp+ABA'da AMF'siz uygulamaya göre artış, kontrole göre azalma; AMF+Mp+KS'de hem AMF'siz uygulama, hem de kontrole göre azalma, AMF+ABA+KS'de ve dörtlü interaksyonda

AMF'siz uygulamaya göre artış, kontrole göre azalma kaydedilmiş ve farklar önemsiz bulunmuştur.

Birim yaprak alanında, en yüksek değer AMF+KS (26.13 cm^2), en düşük değer ise Mp+KS (9.55 cm^2) uygulamasında elde edilmiştir (Çizelge 4.12). KS'de kontrole göre birim yaprak alanı artış göstermiş, ancak, fark önemsiz bulunmuştur. NS'de, birim yaprak alanında AMF, kontrole göre artış; Mp ve ABA azalma kaydetmiş, ancak, farklar önemsiz bulunmuştur. Kısıtlı sulamada, AMF, birim yaprak alanını arttırmış, fark önemsiz; Mp ve ABA azalma kaydetmiş ve Mp'deki fark önemli bulunmuştur. İstatistiki olarak önemli bulunmamasına rağmen; AMF'nin yer aldığı ikili interaksiyonlarda kontrollerine ve AMF'siz uygulamalara göre birim yaprak alanında artış, üçlü interaksiyonlarda AMF+ABA+KS'de, AMF'siz uygulamaya göre düşüş, diğerlerinde artış, dörtlü interaksiyonda ise, artış sağladığı tespit edilmiştir. Mp+ABA uygulamasında, ABA'nın tekli uygulamasına göre artış, Mp'nin tekli uygulamasına göre düşüş kaydedilmiş; Mp+ABA+K.S uygulaması, KS'ye göre birim yaprak alanını düşürmüştür; ancak, Mp+KS uygulaması, KS'ye göre birim yaprak alanını azaltmış ve fark, önemli bulunmuştur.

Toplam yaprak alanı en düşük Mp+KS (370.00 cm^2), en yüksek ise AMF+KS (762.17 cm^2) uygulamalarında elde edilmiş ve tüm gruplar arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.12.). Normal sulamada AMF'nin kontrole göre daha yüksek değer kaydettiği, Mp ve ABA'da kontrole göre düşük değer kaydedildiği ve farkların istatistiki olarak önemli olmadığı; kısıtlı sulamada, AMF ve ABA'nın kontrole göre artış sağladığı ve AMF'deki farkın önemli olduğu; Mp'nin yaprak alanını azalttığı ve farkın önemli olmadığı görülmektedir. AMF'nin bütün uygulamalarda artış sağladığı ve bu artışın AMF+KS'de önemli olduğu; ABA'nın, KS ve Mp'nin olduğu olumsuz koşullardaki uygulamalarda toplam yaprak alanını azalttığı, Mp'nin ise, bütün uygulamalarda toplam yaprak alanını azalttığı, Mp+KS uygulamasındaki azalmanın, Mp uygulamasına göre önemli olduğu görülmektedir (Çizelge 4.12).

Yaş ağırlıkta, uygulamalar arasında fark olmakla beraber, bu farkın istatistiki olarak önemli olmadığı ortaya konmuştur (Çizelge 4.13). AMF'nin hem normal sulama hem de kısıtlı sulamada kontrollere göre artış sağladığı; Mp ve ABA'nın iki sulama seviyesinde de kontrollere göre yaş ağırlığı azalttığı; kısıtlı sulamanın da kontrole göre yaş ağırlığı azalttığı görülmektedir. En yüksek yaş ağırlık (15.86 g) normal sulamadaki

AMF uygulamasıyla, en düşük yaş ağırlık ise (7.99 g), ABA+KS uygulamasında ortaya çıkmış; uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Gerek NS'de gerekse KS'de AMF'nin yer aldığı ikili uygulamalar, kontrollerine göre artış sağlarken, AMF'nin tekli uygulamasına göre azalmaya neden olmuştur. Üçlü uygulamalarda AMF+Mp+ABA, kontrole ve AMF'siz uygulamaya göre (Mp+ABA) artış sağlarken, AMF'nin tekli uygulamasına göre azalma kaydetmiştir. Dörtlü interaksyonda, kontrolüne ve AMF'siz üçlü interaksiyona göre yaş ağırlıkta artış sağlanmıştır (Çizelge 4.13).

Kuru ağırlıkta, Mp+KS uygulamasının istatistiki olarak diğer uygulamalardan farklılık gösterdiği görülmüştür (Çizelge 4.13). En yüksek kuru ağırlık (3.82 g) kontrol uygulamasında, en düşük kuru ağırlık (1.94 g) Mp+KS uygulamasından elde edilmiştir. AMF+KS uygulamasında kontrole göre kuru ağırlıkta artış sağlanırken, NS'de, AMF'nin yer aldığı ikili uygulamalarda kontrole göre düşüş, AMF+Mp+ABA uygulaması, Mp+ABA'ya göre artış, kontrole göre azalma kaydederken, dörtlü interaksyonda ise, Mp+ABA+KS'ye ve kontrole göre artış sağlamıştır. Mp+ABA uygulaması, tekli uygulamalar ve kontrole göre kuru ağırlığı azaltırken, Mp+KS uygulaması kontrolüne göre kuru ağırlıkta azalış, ABA+KS uygulaması artış sağlamıştır (Çizelge 4.13).

Nispi büyüme oranı (NBO) açısından da uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli fark ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.13). En yüksek değer 0.090 g/gün ile Mp uygulamasında, en düşük ise (-0.069) AMF+Mp+ABA+KS (-0.069 g/gün) uygulamasından elde edilmiştir. Kısıtlı sulamada da kontrole göre NBO'da azalma meydana gelmiş, ancak, fark önemsiz bulunmuştur. NBO'da, normal sulamada, AMF, azaltıcı ve önemsiz, Mp ve ABA arttırıcı ve önemsiz; kısıtlı sulamada, AMF ve Mp arttırıcı, önemsiz; ABA, azaltıcı ve önemsiz etkide bulunmuştur. AMF'nin yer aldığı ikili uygulamalar kontrollerine göre NBO'da artış sağlamış ve bu artış AMF+Mp'de istatistiki olarak önemli bulunmuştur. AMF'li üçlü uygulamalarda NS'de AMF+Mp+ABA' da AMF'siz uygulamaya ve kontrole göre azalma, KS'de ise, hem AMF'siz uygulamalara, hem de kontrole göre artış sağlanmış, farklar önemsiz; dörtlü interaksyonda ise, AMF'siz uygulama ve kontrole göre NBO'da düşüş kaydedilmiş ve fark önemsiz bulunmuştur. Mp+ABA uygulamasında, tekli uygulamalar ve kontrole göre azalma kaydedilmiş, fark önemsiz; Mp+KS'de KS'ye göre artış, Mp ve kontrole

göre azalış olmuş ve önemsiz bulunmuştur. ABA+KS'de, KS'ye ve kontrol uygulamasına göre azalma, Mp+ABA+KS'de KS'ye göre artış, kontrole göre azalma gerçekleşmiş ve farklar önemsiz bulunmuştur.

Yaş ağırlıkta, uygulamalar arasında fark olmakla beraber, bu farkın istatistiki olarak önemli olmadığı ortaya konmuştur (Çizelge 4.13). AMF'nin hem normal sulama, hem de kısıtlı sulamada kontrollere göre artış sağladığı; Mp ve ABA'nın iki sulama seviyesinde de kontrollere göre yaş ağırlığı azalttığı; kısıtlı sulamanın da kontrole göre yaş ağırlığı azalttığı görülmektedir. En yüksek yaş ağırlık (15.86 g) normal sulamadaki AMF uygulamasıyla, en düşük yaş ağırlık ise (7.99 g), ABA+KS uygulamasında ortaya çıkmış; uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Gerek NS'de gerekse KS'de AMF'nin yer aldığı ikili uygulamalar, kontrollerine göre artış sağlarken, AMF'nin tekli uygulamasına göre azalmaya neden olmuştur. Üçlü uygulamalarda AMF+Mp+ABA, kontrole ve AMF'siz uygulamaya göre (Mp+ABA) artış sağlarken, AMF'nin tekli uygulamasına göre azalma kaydetmiştir. Dörtlü interaksyonda, kontrolüne ve AMF'siz üçlü interaksiyona göre yaş ağırlıkta artış sağlanmıştır (Çizelge 4.13).

Kuru ağırlıkta, Mp+KS uygulamasının istatistiki olarak diğer uygulamalardan farklılık gösterdiği görülmüştür (Çizelge 4.13). En yüksek kuru ağırlık (3.82 g) kontrol uygulamasında, en düşük kuru ağırlık (1.94 g) Mp+KS uygulamasından elde edilmiştir. AMF+KS uygulamasında kontrole göre kuru ağırlıkta artış sağlanırken, NS'de, AMF'nin yer aldığı ikili uygulamalarda kontrole göre düşüş, AMF+Mp+ABA uygulaması, Mp+ABA'ya göre artış, kontrole göre azalma kaydederken, dörtlü interaksyonda ise, Mp+ABA+KS'ye ve kontrole göre artış sağlamıştır. Mp+ABA uygulaması, tekli uygulamalar ve kontrole göre kuru ağırlığı azaltırken, Mp+KS uygulaması kontrolüne göre kuru ağırlıkta azalış, ABA+KS uygulaması artış sağlamıştır (Çizelge 4.13).

Nispi büyüme oranı (NBO) açısından da uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli fark ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.13). En yüksek değer 0.090 g/gün ile Mp uygulamasında, en düşük ise (-0.069) AMF+Mp+ABA+KS (-0.069 g/gün) uygulamasından elde edilmiştir. Kısıtlı sulamada da kontrole göre NBO'da azalma meydana gelmiş, ancak, fark önemsiz bulunmuştur. NBO'da, normal sulamada, AMF, azaltıcı ve önemsiz, Mp ve ABA arttırıcı ve önemsiz; kısıtlı sulamada, AMF ve Mp

arttırıcı, önemsiz; ABA, azaltıcı ve önemsiz etkide bulunmuştur. AMF'nin yer aldığı ikili uygulamalar kontrollerine göre NBO'da artış sağlamış ve bu artış AMF+Mp'de istatistiki olarak önemli bulunmuştur. AMF'li üçlü uygulamalarda NS'de AMF+Mp+ABA' da AMF'siz uygulamaya ve kontrole göre azalma, KS'de ise hem AMF'siz uygulamalara, hem de kontrole göre artış sağlanmış, farklar önemsiz; dördü interaksiyonda ise, AMF'siz uygulama ve kontrole göre NBO'da düşüş kaydedilmiş ve fark önemsiz bulunmuştur. Mp+ABA uygulamasında, tekli uygulamalar ve kontrole göre azalma kaydedilmiş, fark önemsiz; Mp+KS'de KS'ye göre artış, Mp ve kontrole göre azalış olmuş ve önemsiz bulunmuştur. ABA+KS'de, KS'ye ve kontrol uygulamasına göre azalma, Mp+ABA+KS'de KS'ye göre artış, kontrole göre azalma gerçekleşmiş ve farklar önemsiz bulunmuştur.

AMF simbiyozu, biyotik ve abiyotik stres koşullarında genellikle daha iyi bitki büyümesi, daha yüksek besin alımı, abiyotik ve biyotik streslere karşı daha fazla tolerans ve konukçu bitkide toprak yapısının iyileşmesini sağlayan önemli ortak yaşamlardan biridir (Smith ve Read, 2008). AMF'nin, önemli stres faktörleri arasında yer alan kuraklık stresine karşı da bitkiye tolerans sağladığı yönünde farklı çalışmalar bulunmaktadır. Wu ve ark., (2013) kuraklık stresi, AMF uygulanmamış narenciye'nin gelişimini azaltırken, AM kolonizasyonunun, kuraklık altında bile bitki büyümesi ve fotosentez üzerinde olumlu etki yaptığını bildirmişlerdir. Begum ve ark.(2019), mısırdada (*Zea mays* L.) hem ılımlı kuraklık (MD), hem de şiddetli kuraklık(SD) şartlarında, boy ve kuru ağırlık açısından büyümenin azaldığını ve AMF aşılamanın, düşüşün önemli ölçüde azalmasını sağladığını bildirmişlerdir. Normal sulama koşullarında da AMF'nin birçok kültür bitkisinde morfolojik gelişim açısından teşvik edici etkilerinin olduğu bildirilmektedir (Hayman ve Mosse, 1971; Kilham, 1994; Özer, 2008; Yılmaz ve Gül, 2009; Demir ve Aslanpay, 2015; Güneş ve ark., 2021). Genel olarak değerlendirildiğinde hem normal hem de kısıtlı sulama koşullarında AM fungusların bitki gelişimi üzerinde olumlu etkilerinin olduğu görülmektedir. AMF, bitki büyümesini ve besin elementi alınımını, özellikle de fosfor alınımını artırmak yoluyla da kuraklık stresine karşı bitkilerde dayanıklılık oluşmasını sağlamaktadır (Al-Karaki and Al-Raddad, 1997). Mevcut çalışmamızda da AMF kısıtlı ve normal sulama koşullarında kontrole göre bitki gelişiminde olumlu etkilerde bulunmuştur.

Genel olarak kuraklık stresi altındaki bitkiler patojenlere karşı daha savunmasız olmaktadır (Xu ve ark., 2008; Prasch ve Sonnewald, 2013). Çalışmamızdaki biyotik stres faktörü olan *M. phaseolina*'nın da bitki gelişimini kısıtlayan önemli faktörlerden biri olduğu ortaya konmuştur (Mayek-Perez ve ark., 2002). Mayek-Perez ve ark. (2002), hastalık şiddetinin kurak şartlarda arttığını, kuraklık stresi ve kömür çürüklüğünün yaprak alanı, kök, gövde ve toplam kuru ağırlığı azalttığını, kuraklık stresi-kömür çürüklüğü kombinasyonunun bütün gelişme parametrelerinde en yüksek kaybı yarattığını bildirmişlerdir. Sera koşullarında soya fasulyesinde yapılan bir çalışmada, kuraklık stresinin *M. phaseolina* enfeksiyonlarını arttırarak, soya fasulyesinin gelişimini ve fide kuru ağırlığını azalttığı, biyokütle birikimine dayanan kuraklık stresi etkilerini arttırdığı bildirilmiştir (Gill-Langarica ve ark., 2008). Alemu ve ark. (2018) ise, sulu şartlarda kömür çürüklüğünün şiddetinin, kuru şartlara göre çok daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Tarafımızdan yapılan çalışmada da bitki boyu, gövde çapı, toplam yaprak alanı, yaş ağırlık ve birim yaprak alanında Mp'nin etkisiyle meydana gelen azalma kısıtlı sulamada, normal sulamadan daha yüksek kaydedilmiş ve bu çalışmaların sonuçlarıyla uyum göstermiştir (Çizelge 4.12, Çizelge 4.13).

Çalışmamızda, normal sulamada birim yaprak alanı ve nispi büyüme oranında; KS'de ise yaprak sayısında ve nispi büyüme oranında Mp'den kaynaklı artışlar kaydedilmiştir. Stres kombinasyonuna bitkinin cevabı, abiyotik stresin ve patojenin türüne göre farklılık gösterir. Kuraklık ve patojene eş zamanlı maruz kalan bitkilerde hem hassas hem de tolerant cevaplar kaydedilebilir. Ancak, bazı cevaplar toleranslıkla sonuçlanırken, diğerlerinin hassasiyetle sonuçlanmasının nedeni tam açıklanamamıştır (Ramegowda ve Senthil-Kumar, 2014).

Arbusküler mikorizal fungusların (AMF) kullanımı, bu funguslarla aşılansmış bitkilerde su eksikliği stresine toleranstaki artış göz önüne alındığında, bu stresin etkilerini sürdürülebilir bir şekilde azaltan bir stratejidir; bununla birlikte, cevap, su eksikliği stres tipine göre değiştiğinden ve AMF'ye ve bitkiye özgü olduğundan kesin mekanizma açıklanamamıştır. Bu mekanizmalar, strigolaktonlar, jasmonik asit (JA) ve absisik asit (ABA) gibi bitki hormonlarının içeriğindeki değişiklikleri kapsayabilir. ABA'nın strigolakton konsantrasyonları üzerinde düzenleyici bir etkisi bulunmaktadır. Ayrıca, ozmotik uyum ve antioksidan aktivite gibi bir su eksikliği ile başa çıkmak için bitki su durumu, stoma iletkenliği, beslenme durumu ve bitki tepkilerinde iyileşme

sağlar ve bu modifikasyonların, CO₂ asimilasyonunda ve fotoasimilant üretiminde bir artışa neden olarak kuraklık sırasında bitki büyümesini iyileştirdiği belirtilmiştir (Fernández-Lizarazo ve ark., 2016).

AMF ile aşılınmış *Festuca arundinacea* Schreb. bitkileri, yüksek seviyelerde giberellik asit (GA) ve absisik asit (ABA) düzeyi göstermiştir. Bu sonuçların, AMF'nin enzimatik antioksidanlar aracılığıyla düşük ışık (LL) stres toleransını geliştirebileceğini ve yüksek H⁺-ATPase aktivitesi ve yüksek GA ve ABA seviyeleri nedeniyle bitki büyümesini iyileştirebileceği belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2019). Abiyotik stresler için, AMF'nin bu streslere adaptasyon mekanizmaları genellikle artan hidromineral beslenme, iyon seçiciliği, gen regülasyonu, ozmolit üretimi, fitohormonların ve antioksidanların sentezi ile ilişkilidir (Diagne ve ark., 2020).

Sentetik bir ABA taklit eden ligand olan AMF4'ün, strese duyarlı genlerin ekspresyonunu indüklemeye uzun süreli etkilere sahip olduğu ve dolayısıyla bitkilerde abiyotik strese tolerans sağladığı belirtilmiştir (Li ve ark., 2020). Ve bu çalışmalarda belirtildiği gibi, gerek AMF uygulaması, gerekse biyotik veya abiyotik stres sonucu bitkide artan içsel ABA seviyesi, ya da dışsal ABA uygulaması neticesinde artış gösteren ABA, genel olarak bitkinin streslerle başa çıkmasında olumlu rol almakta ve bu sayede artan bitki toleransı, stresi daha az zararlar atlatmasına yardımcı olmaktadır. Başak (2011)'ın da bildirdiği gibi, bitkiyi streslerden koruyan ABA seviyeleri genellikle düşük seviyelerdeki uygulamalardır. Çalışmamızda, ABA, KS'de uygulanması kontrole göre kuru ağırlığı % 21.46, yaprak sayısını % 54.44 oranında, toplam yaprak alanını %1.64 arttırarak olumlu etkisini ortaya koymuştur. Gerek NS gerek KS'de diğer büyüme parametrelerindeki azalma da istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Su stresi, bitkilerde büyüme ve verim, bitkinin vejetatif ve generatif organları arasında su rekabeti, hücre içi yapılar, fotosentez ve azot metabolizması üzerine olumsuz etki yaratarak bitki metabolizmasını bozmaktadır (Kocaçalışkan, 2003). Kuraklık sonucu genç ve yaşlı yapraklarda asimilasyon yetersizliği sonucu solma, sürgün uçlarında kuruma, verimde azalma, büyümede yavaşlama gibi belirtiler ortaya çıkar (Karakaş ve ark., 1997; Fernández-Conde ve ark., 1998; Çırak ve Esendal, 2006; Ayaş ve Demirbaş, 2009).

Fasulye yetiştiriciliğinde de kuraklığın verdiği zararlar ciddi sorunlar oluşturmaktadır (Türkan ve ark., 2005; Kacar ve ark., 2006; Martinez ve ark., 2007;

Özen ve Onay, 2007). Söz konusu çalışmalarda fasulye çeşitleri arasında kuraklıktan etkilenmenin farklı olduğu, YOSİ ve stoma geçirgenliği fazla olanların kuraklığa daha tolerant olduğunu ifade etmişlerdir. Mevcut çalışmamızda uygulanan kısıtlı sulama seviyesi, fasulye bitkisinin birim yaprak alanı hariç, incelenen bütün gelişim parametrelerinde azalmaya neden olmuştur ve bu sonuçlar sunulan araştırmaların sonuçlarıyla genel olarak örtüşmektedir.

Çizelge 4.12. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin morfolojik gelişim parametreleri*

Uygulamalar	Bitki boyu (cm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Gövde çapı (cm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yaprak sayısı (adet) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Birim yaprak alanı (cm ²) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Toplam yaprak alanı (cm ²) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Kontrol (NS)	57.71±3.39 ^a	4.96±0.08 ^a	34.50±3.30 ^a	20.39±1.33 ^{ab}	703.33±129.7 ^{abc}
AMF	60.84±1.90 ^a	4.93±0.31 ^a	34.20±4.08 ^a	21.37±2.01 ^{ab}	711.20±67.6 ^{ab}
Mp	57.10±3.52 ^a	4.83±0.14 ^a	32.00±1.90 ^a	19.61±2.38 ^{ab}	627.40±60.5 ^{a-d}
ABA	54.00±2.83 ^a	4.74±0.09 ^a	37.40±2.77 ^a	17.38±0.52 ^{abc}	650.00±25.8 ^{a-d}
KS	53.58±2.93 ^a	4.66±0.09 ^a	18.00±2.35 ^b	25.11±2.36 ^{ab}	452.00±12.44 ^{cde}
AMF+Mp	61.08±4.79 ^a	4.93±0.35 ^a	34.86±4.62 ^a	18.96±3.15 ^{ab}	660.83±56.92 ^{a-d}
AMF+ABA	56.46±1.60 ^a	4.93±0.16 ^a	32.50±1.66 ^a	20.92±1.64 ^{ab}	680.11±33.19 ^{a-d}
AMF+KS	55.92±2.70 ^a	4.75±0.26 ^a	29.17±2.41 ^a	26.13±4.16 ^a	762.17±73.81 ^a
Mp+ABA	53.33±1.17 ^a	4.86±0.15 ^a	31.50±1.26 ^a	17.15±1.40 ^{abc}	540.13±34.33 ^{a-e}
Mp+KS	52.75±1.29 ^a	4.26±0.18 ^a	38.75±7.73 ^a	9.55±2.84 ^c	370.00±21.60 ^e
ABA+KS	52.07±1.14 ^a	4.60±0.27 ^a	27.80±0.73 ^a	16.53±0.26 ^{abc}	459.40±10.41 ^{b-e}
AMF+Mp+ABA	59.91±2.81 ^a	4.92±0.17 ^a	32.56±3.91 ^a	21.09±4.19 ^{ab}	686.57±51.81 ^{a-d}
AMF+Mp+KS	53.93±4.36 ^a	4.51±0.20 ^a	30.50±5.32 ^a	19.02±3.98 ^{ab}	580.17±80.48 ^{a-e}
AMF+ABA+KS	53.94±4.36 ^a	4.51±0.18 ^a	28.11±2.85 ^a	18.97±2.69 ^{ab}	533.25±96.52 ^{a-e}
Mp+ABA+KS	51.50±2.16 ^a	4.83±0.07 ^a	28.67±3.71 ^a	14.95±4.28 ^{abc}	428.50±92.37 ^{de}
AMF+Mp+ABA+KS	52.44±2.09 ^a	4.68±0.25 ^a	32.56±4.02 ^a	16.05±1.83 ^{abc}	522.60±90.84 ^{a-e}

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 µM ABA uygulaması.

Çizelge 4.13. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin yaş ve kuru ağırlıkları ve nispi büyüme oranı*

Uygulamalar	Yaş ağırlık (g/bitki) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Kuru ağırlık (g/bitki) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Nispi büyüme oranı (NBO) (g taze ağırlık/gün) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Kontrol	13.74±2.65 ^{a*}	3.82±0.52 ^a	0.047±0.027 ^{bc}
AMF	15.86±0.55 ^a	3.41±0.19 ^{ab}	-0.011±0.008 ^{bc}
Mp	13.57±2.95 ^a	3.24±0.42 ^{abc}	0.059±0.024 ^{bc}
ABA	13.47±2.35 ^a	3.36±0.19 ^{ab}	0.090±0.009 ^b
KS	9.47±2.66 ^a	2.19±0.52 ^{bc}	-0.026±0.038 ^{bc}
AMF+Mp	14.68±2.70 ^a	3.16±0.52 ^{abc}	0.298±0.092 ^a
AMF+ABA	14.55±1.13 ^a	2.99±0.32 ^{abc}	0.086±0.045 ^b
AMF+KS	12.80±2.01 ^a	2.62±0.39 ^{abc}	-0.009±0.042 ^{bc}
Mp+ABA	10.56±0.48 ^a	2.89±0.14 ^{abc}	0.010±0.0035 ^{bc}
Mp+KS	9.08±1.93 ^a	1.94±0.43 ^c	-0.005±0.012 ^{bc}
ABA+KS	7.99±1.39 ^a	2.66±0.59 ^{abc}	-0.027±0.006 ^{bc}
AMF+Mp+ABA	14.18±4.55 ^a	3.04±0.46 ^{abc}	-0.014±0.027 ^{bc}
AMF+Mp+KS	12.18±1.71 ^a	2.55±0.32 ^{abc}	0.064±0.044 ^{bc}
AMF+ABA+KS	13.13±2.60 ^a	2.79±0.33 ^{abc}	0.042±0.059 ^{bc}
Mp+ABA+KS	9.25±1.51 ^a	2.58±0.42 ^{abc}	-0.008±0.003 ^{bc}
AMF+Mp+ABA+KS	12.62±2.33 ^a	2.80±0.40 ^{abc}	-0.069±0.065 ^c

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 µM ABA uygulaması

NBO: Nispi büyüme oranı.

4.5.2. Verim ve bazı verim unsurları

Örtüaltında % 50 kısıtlı sulamada ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerine ait bazı verim unsurları Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Fasulyede, bitki başına bakla verimi açısından uygulamalar arasında istatistiki olarak farklar ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.14). En yüksek bakla verimi (49.05 g) AMF+Mp uygulamasından, en düşük bakla verimi (20.84 g) Mp+KS uygulamasından elde edilmiştir. Normal sulama uygulamasında verim 35.67 g iken kısıtlı sulamada 21.17 g olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.14).

Bakla boyunda, uygulamalar arasında istatistiki olarak farklar olduğu ortaya konmuştur. En yüksek bakla boyu AMF uygulamasında (90.04 mm), en düşük bakla boyu AMF+ABA+KS (74.69) uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.14). Bakla eninde ise en yüksek değer ABA+KS (13.32 mm), en düşük değer ise AMF+Mp+KS (11.20 mm) uygulamasından elde edilmiştir. AMF, normal sulamada meyve enini düşürürken, kısıtlı sulamada arttırmıştır. Mp'nin ise iki sulama seviyesinde de bakla enini kontrollere göre düşürdüğünü; ABA'nın, normal sulamada bakla enini düşürdüğünü, kısıtlı sulamada arttırdığını; ayrıca, normal sulamanın da kısıtlı sulamaya göre bakla enini arttırdığı görülmektedir (Çizelge 4.14).

Bakla et kalınlığında, uygulamalar arasında fark olmakla beraber bu fark istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.14). En yüksek bakla et kalınlığı AMF+ABA (7.66 mm) uygulamasında, en düşük değer ise AMF+Mp+KS (6.42 mm) uygulamasından elde edilmiştir.

Fasulyedeki önemli verim unsurları arasında yer alan bakla sayısı açısından uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli fark ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.14). Bakla sayısında, AMF, Mp ve ABA'nın kontrole göre artış sağladığı ve farkın önemsiz olduğu; kısıtlı sulamada, AMF ve Mp'nin artış, ABA'nın azalışa neden olduğu ve farkın önemli olmadığı görülmektedir. En yüksek bakla sayısı AMF+Mp (10.57 adet/bitki) uygulamasından, en düşük bakla sayısı ABA+KS (4.00 adet/bitki) uygulamasından elde edilmiş ve fark, istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Kontroldeki bakla sayısı da kısıtlı sulamadaki bakla sayısından fazla elde edilmiş, fark önemsiz bulunmuştur.

Çalışmamızda gerek biyotik ve abiyotik etkenler gerekse ABA ve AMF'nin fasulyedeki verim ve verim unsurlarına etkisi genelleştirildiği zaman, net bir sonucun olmadığı görülmektedir. Bu konuda yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçlar kaydedilmiştir (Alexieva ve ark., 2001; Sanchez ve ark., 2004; Ayrancı, 2012; Güler ve ark., 2012; Zahedi ve ark., 2022). Stres faktörleri ve AMF ve/veya ABA'nın bu parametreler üzerinde tekli veya kombine uygulamalarının azaltıcı veya artırıcı etkisi olduğu görülmüştür (Çizelge 4.14). Nitekim Martinez ve ark. (2007) altı farklı fasulye çeşidinde (Orfeo, Arroz Tuscola, Barbucho, Coscorron, Pinto ve Tortola) kuraklık stresinin bitkilerin dane, bitki başına bakla sayısı ve toplam verim bakımından olumsuz etkileri olduğunu, Güler ve ark. (2012), fasulyenin herhangi bir gelişim safhasında görülecek su eksikliğinin, ürün eksilmesiyle sonuçlanacağını bildirmişlerdir. Erdinç ve

ark. (2017) ise, farklı fasulye genotiplerinde farklı AMF uygulamalarının fide özelliklerini iyileştirdiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada da % 50 kısıtlı sulama'nın bakla verimi ve bakla et kalınlığı hariç, diğer verim unsurlarında azalmaya neden olduğu görülmüştür (Çizelge 4.14).

AMF, genel olarak bitkilerin verim ve verim unsurları üzerinde olumlu etkiye sahiptir (Aysan ve Demir, 2009; Çetinkaya ve Dura, 2010; Şavur, 2015; Bağ, 2019; Taşoluk, 2019; Biçer ve ark., 2020). Ekmen (2019) tarafından yapılan çalışmada, farklı sulama düzeylerinde AMF uygulamasında, patlıcanda % 100 sulama düzeyinde maksimum verim değerleri elde edilirken, %50 kısıtlı sulamada ve AMF uygulamasının yapılmadığı bitkilerde ise verimin düştüğü ifade edilmiştir. Benzer bir çalışmada ise, biberde AMF uygulaması yapılmayan ve %50 su kısıtı uygulanan biberlerde verimin % 100 su + AMF uygulamasına göre önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir (Demirel, 2019). Çalışmamızda da, AMF uygulamasında, NS'de bakla verimi, bakla boyu ve bakla sayısında; KS'de bakla verimi ve bakla sayısında görülen artışlar istatistiki olarak önemli olmamakla birlikte, bu çalışmaların sonuçlarıyla uyum sağlamaktadır. NS'de bakla eninde, bakla et kalınlığında, KS'de bakla boyu, bakla eni, bakla et kalınlığında görülen azalmalar da istatistiki olarak önemli bulunmamasına rağmen, bitki gelişimindeki parametrelerin enine ve boyuna büyümeleri arasındaki negatif bir korelasyondan kaynaklanabilir. Sheteiwy ve ark. (2021) da su stresine maruz kalmış soya bitkilerine göre, stres uygulanmayan bitkilerde yüksek biyokütle, yaprak klorofil içeriği, nodulasyon ve tohum verimi kaydedildiğini, kuraklık etkilerinden bağımsız olarak, AMF ve *B. japonicum* uygulamalarının, işlem görmemiş bitkilere kıyasla hem kuraklık (kısıtlı sulama) hem de yeterince sulanan koşullar altında soya fasulyesinin büyümesini ve verimini iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

ABA'nın verim unsurlarına etkisine yönelik olarak yapılan çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Shalaby (2001) ABA'nın tohum verimini arttırdığını ifade ederken, Souza ve ark. (2013), 100 μ M ABA'nın verime olumlu yansımalarının olduğunu belirtmişlerdir. Sarwari ve ark. (2020) ise, çilekte farklı sulama düzeylerinde yapılan 20 μ M ABA uygulamalarının meyve ağırlığında %6 artış sağladığını, Zhang ve ark., (2020) ise, tatlı patatesten erken kuraklık döneminde uygulanan 150 μ M ABA uygulamasının verimi artırdığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmaların sonuçları, çalışmamızda, ABA'nın NS'de bakla boyu, bakla sayısı hariç, diğer parametreler üzerindeki etkisinin olumsuz olması sonucuyla benzerlik göstermemekle birlikte, KS'deki bakla verimi, bakla eni, bakla et kalınlığı üzerindeki etkisinin olumlu olma durumuyla uyum göstermektedir. ABA'nın, özellikle KS'de, istatistiki olarak önemli olmamakla birlikte, bakla verimini kontrolüne göre %7.84 oranında arttırması, stres hormonu olma özelliğini yansıtmaktadır. Ayrıca, istatistiki olarak önemli olmamakla birlikte; ikili, üçlü ve dördü kombinasyonlarda Mp+ABA uygulaması hariç, diğerlerinde bakla veriminde artış; diğer parametrelerde genellikle azalma kaydedilmiştir. Bakla verimindeki artış, AMF ve ABA'nın olumlu etkisinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.14. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin verim ve verim unsurları*

Uygulamalar	Bakla Verimi (g/bitki) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Bakla Boyu (mm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Bakla Eni (mm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Bakla Et Kalınlığı (mm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Bakla Sayısı (adet/bitki) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Kontrol	35.67±6.34 ^{a-f}	84.29±4.66 ^{ab}	13.29±0.50 ^a	7.52±0.53 ^a	6.29±0.61 ^{bcd}
AMF	44.51±5.53 ^{ab}	90.04±6.97 ^a	12.63±0.68 ^a	7.19±0.33 ^a	7.00±0.58 ^{bc}
Mp	41.23±4.7 ^{a-e}	87.89±3.59 ^{ab}	12.51±0.90 ^a	7.04±0.44 ^a	7.82±0.84 ^b
ABA	35.37±6.85 ^{a-f}	88.59±6.13 ^{ab}	12.91±0.89 ^a	7.05±0.47 ^a	6.50±0.89 ^{bcd}
KS	21.17±3.17 ^{ef}	80.27±3.69 ^{ab}	12.10±0.63 ^a	7.55±0.39 ^a	4.67±0.76 ^{cd}
AMF+Mp	49.05±9.08 ^a	88.15±2.86 ^{ab}	11.48±0.69 ^a	6.63±0.20 ^a	10.57±1.85 ^a
AMF+ABA	42.15±6.93 ^{a-d}	85.64±2.77 ^{ab}	13.01±0.65 ^a	7.66±0.57 ^a	5.55±0.81 ^{bcd}
AMF+KS	22.34±2.15 ^{def}	82.34±4.81 ^{ab}	12.44±0.63 ^a	6.90±0.47 ^a	4.71±0.47 ^{cd}
Mp+ABA	35.61±5.05 ^{a-f}	88.49±3.87 ^{ab}	12.97±0.84 ^a	7.14±0.46 ^a	7.27±1.05 ^{bc}
Mp+KS	20.84±4.36 ^f	75.79±3.51 ^{ab}	11.99±0.61 ^a	7.19±0.23 ^a	6.14±0.74 ^{bcd}
ABA+KS	22.83±4.01 ^{c-f}	79.01±3.65 ^{ab}	13.32±0.86 ^a	7.56±0.37 ^a	4.00±0.57 ^d
AMF+Mp+ABA	42.59±5.96 ^{abc}	82.17±5.07 ^{ab}	12.01±0.58 ^a	6.78±0.43 ^a	6.29±0.68 ^{bcd}
AMF+Mp+KS	22.56±3.59 ^{def}	79.71±3.97 ^{ab}	11.20±0.56 ^a	6.42±0.41 ^a	4.40±0.60 ^{cd}
AMF+ABA+KS	23.88±2.90 ^{c-f}	74.69±4.36 ^b	12.12±0.74 ^a	6.90±0.42 ^a	4.42±0.51 ^{cd}
Mp+ABA+KS	28.84±6.33 ^{b-f}	75.68±4.25 ^{ab}	12.30±0.70 ^a	6.85±0.39 ^a	4.08±0.73 ^d
AMF+Mp+ABA+KS	21.90±4.20 ^{ef}	77.20±3.62 ^{ab}	11.44±0.87 ^a	6.54±0.44 ^a	5.00±0.78 ^{bcd}

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 µM ABA uygulaması.

4.5.3. Fizyolojik özellikler

Örtüaltında % 50 kısıtlı sulamada ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerine ait bazı fizyolojik parametrelere ait sonuçlar Çizelge 4. 15'te verilmiştir.

Örtüaltında yetiştirilen ve % 50 kısıtlı su uygulanan fasulye bitkilerinin YOSİ değerleri önemli bulunmuştur (Çizelge 4.15). En yüksek ve en düşük YOSİ değerleri sırasıyla AMF (% 76.75) ve Mp+KS (% 39.38) uygulamalarında elde edilmiştir. Burada göze çarpan en önemli bulgu, en düşük YOSİ değerinin iki stres faktörünün bir arada olduğu (kısıtlı sulama ve Mp) uygulamada yer alması olmuştur.

Kuraklık şiddeti açısından veriler değerlendirildiğinde önemli farklar olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.15). En yüksek kuraklık şiddeti Mp+KS (2.50) uygulamasında tespit edilirken, en düşük kuraklık şiddeti AMF+Mp+ABA+KS (1.11) uygulamasında belirlenmiştir. Su noksanlığı stresinin subjektif olarak belirlendiği 0-5 skalasında da YOSİ'de olduğu gibi en yüksek değer iki stres faktörünün olduğu uygulamada elde edilmiştir. En düşük değer ise tüm uygulamaların yer aldığı grupta elde edilmiş ve burada AMF ve ABA'nın her iki stres faktörü üzerinde baskı kurduğu düşünülmüştür.

Toplam klorofil miktarında uygulamalar arasında farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.15). En yüksek ve en düşük toplam klorofil miktarları sırasıyla AMF+ABA+KS (41.84) ve AMF+Mp (31.07) uygulamalarında elde edilmiştir. Toplam klorofil miktarı açısından dikkat çeken bulgu, ABA'nın yer aldığı uygulamalarda toplam klorofil miktarınının kontrol uygulamasına göre yüksek çıkması ve genel olarak ABA'nın klorofil içeriği açısından olumlu etkiye sahip olması olmuştur Çizelge 4.15).

Deneme kapsamında önemli uygulamalardan biri olan ve ekzojen olarak uygulanan ABA içeriği açısından uygulamalar arasında farkların önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.15.) ABA içeriği açısından en yüksek ve en düşük değer sırasıyla Mp+ABA (1265.18) ve AMF + KS (297.15) uygulamalarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.15.'te dikkat çeken sonuç, ABA uygulamasındaki ABA içeriğinin kontrole göre düşük çıkması olmuştur.

Çalışmamızda, genel olarak AMF gerek tekli gerekse kombine uygulamalarda hem normal, hem de kısıtlı su uygulamalarında YOSİ'de artışa, kuraklık şiddetinde ise azalışa neden olmuştur (Çizelge 4.15). AMF'nin, kuraklık veya kısıtlı sulama koşullarında bitkiyi tolere ettiği konusunda birçok çalışma yapılmış ve elde edilen sonuçlar çalışmamızda ortaya çıkan sonuçlarla büyük oranda örtüşmektedir (Auge ve Stodola, 1990; Kilham, 1994; Mohammad ve ark., 1995; Ruiz Lozano ve ark., 1995; Wu ve ark., 2013; Begum ve ark., 2019; Li ve ark., 2019; Mathur ve ark., 2019; Al-Arjani ve ark., 2020). Yapılan bu çalışmalarda, AMF'nin kuraklık stresine karşı tolere edici etkisi, AMF'nin bitkinin topraktaki absorpsiyon yeteneğini arttırmasına, daha fazla besin elementi, özellikle fosfor, alınımını teşvik etmesine ve daha iyi kök hidrolik iletkenliği sağlamasına dayandırılmıştır.

Su stresine karşı ABA'nın da kontrol bitkilerine göre bitkiyi daha iyi tolere ettiği görülmüştür (Çizelge 4.15). Nooden (1988), Bozcuk ve ark. (1992), Agarwall ve ark. (2005); absisik asitin fizyolojik etkileri arasında; kökte ve diğer dokularda su ve iyon alınması ve taşınması, strese adaptasyon mekanizması, osmoregülasyonun yer aldığını, Hartung (1998), Teiz ve Zeiger (1998), Thompson (2000); ABA'nın, çevresel strese, özellikle de kuraklığa maruz kalan bitkilerde köklerden transpirasyon ile bekçi hücrelerine taşınıp ve buradaki hipotetik ABA reseptörüne bağlanarak stomaların kapanmasına ve stresle ilgili birçok genin uyarılmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Mevcut çalışmada, toplam klorofil içeriği açısından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, genel olarak stres faktörlerinin tek başına olduğu uygulamalarda çok önemli olmamakla beraber kontrole göre azalışın olduğu, AMF ve özellikle ABA'nın olduğu uygulamalarda ise stres faktörleriyle bir arada uygulansalar bile artışın olduğu görülmüştür.

Zhang ve ark. (2019) düşük ışık stresinde AMF'nin bitkilerde klorofil içeriğini arttırdığını, Al-Arjani ve ark., (2020) ise, AMF uygulanmamış bitkilerin, kuraklık stresine maruz kalmamış ve AMF uygulanmış bitkilere nazaran klorofil pigmentlerinde bir azalmanın olduğunu bildirmişlerdir. Fernández-Lizarazo ve Moreno-Fonseca (2016), AMF'nin bitkinin su stresine toleransındaki mekanizmada, strigolaktonlar, jasmonik asit (JA) ve absisik asit (ABA) gibi bitki hormonlarının içeriğindeki değişikliklerin rol

oynadığını ve bu modifikasyonların, CO₂ asimilasyonunda ve fotoasimilant üretiminde bir artışa neden olarak kuraklık sırasında bitki büyümesini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmalarda, AMF'nin kuraklık stresinde klorofil miktarında meydana getirdiği artış, çalışmamızın sonuçları ile uyum halindedir.

Çalışmamızda dikkat çeken bir bulgu da stres faktörlerinin-Mp ve KS tek başına olduğu uygulamalarda klorofil içeriğinin diğer uygulamalara göre daha düşük olmasıdır (Çizelge 4.15). Bazı çalışmalarda biyotik ve abiyotik stres koşullarında klorofil içeriğinde azalma meydana gelirken (Özkur, 2010; Tatar, 2011; Coşkun ve ark., 2015; Hoşgören, 2019), bazı çalışmalarda ise tersine klorofil miktarında artışın olduğu kaydedilmiştir (Asraf ve Iram, 2005; Altunlu, 2011; Ramirez ve ark., 2014; Kabay ve Şensoy, 2016; Çakar, 2020). Kuraklık stresine karşı bitkinin klorofil içeriğine bağlı olarak meydana gelen bu dalgalanmaların çeşit özelliğine bağlı olduğu düşünülmektedir.

Mayek-Perez ve ark. (2002)'nın, *M. phaseolina* inokulasyonu ile kuraklık stresi etkisinin yükseldiğini, *M. phaseolina*'nın hastalık şiddeti ile transpirasyon oranı, su, ozmotik ve turgor potansiyelleri, bağıl su içeriği arasında negatif ilişki bulduklarını belirtmişlerdir. Gill-Langarica ve ark. (2008), serada, kuraklık stresinin *M. phaseolina* enfeksiyonlarını arttırdığını ve fide kuru ağırlığını azalttığını ifade ederken, Spagnoletti ve ark. (2018) da Mp varlığında soya fasulyesinde biyokütlenin olumsuz etkilendiğini belirtmişlerdir. Biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin eş zamanlı olarak uygulandığı durumlarda, bağıl su içeriğinin etkilendiği ifade edilen çalışmaların sonuçları elde ettiğimiz bulgularla örtüşmektedir.

Çalışmamızda, ekzojen uygulanan 5 µM ABA, genel olarak biyotik ve abiyotik şartlarda gerek kuraklık, gerekse de klorofil ve ABA içeriği açısından olumlu etkilerde bulunmuştur. Fasulye bitkilerindeki ABA içeriği AMF, ABA, AMF+ABA ve AMF + KS, Mp+ABA+KS ve AMF+Mp+ABA+KS uygulamalarında kontrole göre azalmıştır (Çizelge 4.15.).

Tisdall (1994), AMF ile bitkinin besin alınımını yükseltmesinin yanında, bitkinin tuzlu ve kurak şartlara karşı dayanıklılığını artırdığını ve bitkinin büyümesini teşvik eden hormonların salgılanmasını arttırdığını belirtmiştir. Diagne ve ark. (2020), AMF'nin, absisik asitin düzenlenmesi yoluyla stoma işleyişinin kontrolünü etkilediğini, mikorizal bitkilerin köklerinde ve yapraklarında kuraklık stresi altındaki mikorizal

olmayan bitkilere göre daha düşük ABA konsantrasyonuna sahip olduğunu, jasmonik asitin(JA) su stresi koşullarına karşı bitki tepkilerini ortaya koymak için absisik asit ile etkileşime girdiğini ve JA'nın, bitkilerde su stresini azaltabileceğini ifade etmişlerdir. Gerek bu araştırma bulguları, gerekse elde ettiğimiz bulgular, jasmonik asitin su stresi koşullarına karşı ABA ile etkileşime girerek, aynı sinyal yolunu kullandığı ve böylelikle ABA sentezini engellemiş olabileceğini göstermektedir (Fernández-Lizarazo ve Moreno-Fonseca, 2016).

Çizelge 4.15. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin bazı fizyolojik parametrelerinin içerikleri*

Uygulamalar	Yaprak Oransal Su İçeriği(%)	Kuraklık Şiddeti (0-5 skalası)	Toplam Klorofil İçeriği (%)	ABA İçeriği (µg/g)
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Kontrol	75.70±5.20 ^a	--	31.66±2.09 ^c	600.00±28.33 ^{bcd}
AMF	76.75±8.59 ^a	--	31.25±0.48 ^c	490.83±39.94 ^{cde}
Mp	69.99±9.91 ^{ab}	--	31.98±2.77 ^{bc}	671.89±62.51 ^{bcd}
ABA	71.59±4.38 ^{ab}	--	39.07±2.34 ^{abc}	446.39±42.29 ^{de}
KS	47.36±5.28 ^{cd}	2.00±0.63 ^{ab}	31.49±1.32 ^a	662.36±104.53 ^{bcd}
AMF+Mp	72.57±5.93 ^{ab}	--	31.07±3.09 ^a	693.80±98.43 ^{bcd}
AMF+ABA	74.10±4.07 ^a	--	35.32±1.99 ^{abc}	599.40±101.03 ^{bcd}
AMF+KS	72.69±5.31 ^{ab}	1.60±0.25 ^b	37.60±1.04 ^{abc}	297.15±20.58 ^e
Mp+ABA	65.09±2.98 ^{abc}	--	34.51±2.89 ^{abc}	1265.18±122.77 ^a
Mp+KS	39.38±7.81 ^d	2.50±0.29 ^a	34.63±1.53 ^{abc}	608.51±97.75 ^{bcd}
ABA+KS	53.99±2.01 ^{bcd}	1.67±0.33 ^b	39.21±1.02 ^{abc}	627.12±108.94 ^{bcd}
AMF+Mp+ABA	65.22±3.30 ^{abc}	--	36.03±1.64 ^{abc}	790.89±123.01 ^{bc}
AMF+Mp+KS	63.86±6.27 ^{abc}	1.50±0.19 ^b	37.02±3.22 ^{abc}	855.13±209.52 ^b
AMF+ABA+KS	63.25±3.28 ^{abc}	1.30±0.21 ^b	41.84±1.96 ^a	636.14±86.90 ^{bcd}
Mp+ABA+KS	57.99±6.08 ^{abc}	1.50±0.22 ^b	36.31±2.48 ^{abc}	448.49±150.30 ^{de}
AMF+Mp+ABA+KS	68.08±5.39 ^{ab}	1.11±0.20 ^b	40.53±1.29 ^{ab}	495.54±45.41 ^{cde}

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 µM ABA uygulaması.

4.5.4. Biyokimyasal özellikler

Örtüaltında %50 kısıtlı sulamada ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerine ait toplam antioksidan ve toplam fenolik madde ve MDA içeriklerine ait sonuçlar Çizelge 4.16'da verilmiştir.

KBTA açısından uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.16.) En yüksek değer Mp (349.52) uygulamasında, en düşük değer AMF+Mp+ABA (106.08) uygulamasında elde edilmiştir. HTA'da da uygulamalar

arasında istatistiki olarak önemli farklar bulunmuş, en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla Mp+KS (840.07) ve AMF+Mp+KS (303.90) uygulamalarında elde edilmiştir.

Önemli bir biyokimyasal olan fenolik madde içeriği açısından; KBTF ve HTF’de uygulamalar arasında farklılık önemli bulunmuştur (Çizelge 4.16). KBTF ve HTF için en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla, Mp (120.03), AMF (52.97) ve Mp+KS (369.21) ve ABA (76.44) uygulamalarında elde edilmiştir.

Malondialdehit (MDA) miktarında en yüksek değer Mp+KS (151.21) uygulamasında, en düşük değer ise AMF (38.45) uygulamasında elde edilmiş, uygulamalar arasındaki fark önemli bulunmuştur (Çizelge 4.16).

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, kuraklığın başlangıcındaki toplam antioksidan madde içeriği ile hasattaki toplam antioksidan madde içeriği açısından artışların olduğu ve hasattaki toplam antioksidan içeriğinin tüm uygulamalarda kontrol grubuna göre arttığı görülmüştür (Çizelge 4.16). Bu konuda yapılan benzer çalışmalarda; Spagnoletti ve ark. (2016), soya fasulyesinde AM fungusu *Rhizopagus intraradices*’in arsenik stresine ve *M. phaseolina* enfeksiyonuna karşı soya fasulyesinin antioksidan savunma tepkisine aktif olarak katıldığını, Torres ve ark. (2018) ise, AMF’nin, meyve antosiyaninlerinde bir artışa ve ABA metabolizmasına katkıda bulunarak, üzümlerin kalitesinde yer alan bazı özellikleri iyileştirdiğini ifade etmişlerdir. Diagne ve ark. (2020), AMF’nin abiyotik strese adaptasyonunun, hidromineral besin, iyon seçimi, gen regülasyonu, ozmolitlerin üretimi, fitohormon ve antioksidanların sentezine bağlı olduğunu, biyotik streslerle ilgili olarak, AMF’nin, kolonizasyon bölgeleri için rekabet ve bitkinin savunma sisteminin iyileştirilmesi dahil olmak üzere patojen direncine dahil olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, mevcut çalışmamızda AMF’nin gerek tek başına gerekse kombine uygulamalarla, hasatta toplam antioksidan miktarına yapmış olduğu katkı ile örtüşmektedir.

Absisik asitin fizyolojik etkileri; tohum ve tomurcuk dormansisi, büyüme, prolin birikimi, yaşlanma (senesens), kopma (absisyon), embriyo gelişimi, tohum çimlenmesi, meyve oluşumu ve gelişimi, tepe hakimiyeti veya tomurcukların korelatif inhibisyonu (apikal dominansi), çiçeklenme, kökte ve diğer dokularda su ve iyon alınımları ve taşınması, nükleik asit ve protein sentezi, enzimler, strese adaptasyonmekanizması, kök

geotropizması, osmoregülasyon üzerine olmaktadır (Nooden, 1988; Bozcuk ve ark., 1992; Agarwall ve ark., 2005).

Vejetatif dokularda kuraklık (Zeevaart ve Creelman, 1988; Munns ve King 1988), tuzluluk (Rhodes, 1987, Zang ve Davies, 1989, Chapin, 1991, Thomas ve ark., 1992; Özfidan, 2010), yüksek ve düşük sıcaklık gibi abiyotik stres koşullarının, ABA biyosentezinin artmasına ve birikimine neden olduğu (Giraudat ve ark., 1994), su stresine şartları altında yetişen bitkiler, antioksidan savunma sistemlerinin bazılarının ya da tamamının aktivasyonu ile oksidatif stresin üstesinden gelebildikleri bildirilmektedir (Srivalli ve ark.,2003; Jung, 2004; Pinheiro ve ark., 2004; Ramachandra ve ark., 2004). Bununla beraber, ekzojen ABA uygulamasında uzun süreli ve akut; hatta bazen kısa süreli stres durumunda bile, savunma mekanizmalarının kapasitelerinin yetersiz kaldığı ve bu durumun, gözle görülür zararlara ve hatta bitki ölümüne yola açabildiği bildirilmektedir (Alexieva, 2003; Wang ve ark., 2016).

Çalışmamızda, kuraklığın başlangıcındaki toplam antioksidan ve toplam fenol miktarı, kuraklığın ilk günü yapılan ölçümler olduğundan ve kuraklık stresi henüz etkisini üst düzeyde göstermediğinden ve dolayısıyla ABA seviyesi de düşük olduğundan, savunma sisteminin henüz harekete geçmediğinden kaynaklı düşük seviyeleri ifade eder. ABA'nın hasatta antioksidan ve fenol seviyesinde kısmen düşüşe neden olması da bu çalışmalarda belirtildiği gibi, bitkinin streslerle mücadele için savunma sistemlerinin bazılarını harekete geçirmesinden, diğerlerinin ise stabil kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. MDA miktarının iki sulama seviyesinde de azalması, Wang ve ark. (2016)'nın belirttiği gibi, ABA'nın antioksidatif enzimleri aktif hale getirerek stresle mücadelesinin bir sonucudur. Zaten, diğer çalışmalarda da belirtildiği gibi, bir stres hormonu olan ABA, oksidatif stresin etkisini gidermek için antioksidatif sistemi harekete geçirmeye yardım etmektedir.

Li ve ark. (2019), AMF'nin, kuraklığın bitki üzerindeki olumsuz etkilerini önemli derecede azalttığını, AMF'nin, C₃ bitkisi *Leymus chinensis*'in MDA miktarını % 32 oranında azalttığını, Zhang ve ark. (2019), uzun çayırlarda (*Festuca arundinacea* Schreb.) düşük ışık (LL) stresinin neden olduğu oksidatif hasar üzerine yaptıkları çalışmalarında, bitki büyümesinin, membranların lipid peroksidasyonuna yol açan süperoksit anyonları ve hidrojen peroksit dahil olmak üzere reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesi nedeniyle LL tarafından engellendiğini, bununla birlikte, AMF

aşılmasının, uzun çayırların büyümesini önemli ölçüde iyileştirdiğini, Chen ve ark. (2020), AMF'nin, yapraklarda aşırı reaktif oksijen türlerinin (ROS), özellikle H_2O_2 ve O_2^- oluşumunu azaltarak kuraklığın neden olduğu oksidatif stresi hafiflettiğini bildirmişlerdir. Atakan (2020), karanfilde mikorizal fungus uygulamalarının fusarium solgunluğuna karşı duyarlı ve dayanıklı çeşitlerde toplam fenolik bileşik miktarını kontrole göre tüm uygulamalarda arttırdığını, Taşoluk (2019) ise, farklı yetiştirme koşullarında AMF'nin domateste fide gelişimi ve *Pythium deliense* üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, AMF inokule edilmiş fidelerin kalitesini ve toplam fenolik bileşiklerin miktarını arttırarak hastalık şiddetini azalttığını ifade etmişlerdir. Şavur (2105), Boyno ve ark. (2022) ve Güneş (2022) tarafından yapılan çalışmalarda, farklı patosistemlerde AMF uygulamasının toplam fenolik madde içeriğini artırarak hastalık şiddetini azalttığı belirtilmiştir. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, tarafımızdan ortaya konulan AMF'nin, gerek NS, gerekse KS koşullarında hasatta toplam antioksidan miktarını, hasatta toplam fenol miktarını arttırması ve KS'de MDA miktarını azaltması bulgularıyla da uyum göstermektedir.

Çalışmamızda, Mp'nin yer aldığı uygulama gruplarında kuraklığın başlangıcındaki ve hasattaki toplam antioksidan, toplam fenolik madde ve MDA içeriklerinin kontrol grubuna göre genel olarak artış gösterdiği ortaya konmuştur (Çizelge 4.16). Karak (2021), mikorizal fungus ve vermikompost uygulamalarının patatesta *Rhizoctonia solani* ve bitki gelişimi üzerine etkilerini incelediği bir çalışmada, bitki köklerinde toplam fenolik madde miktarının deneme süresi sonunda patojen uygulamasında en düşük değeri aldığını bildirmiştir. Mevcut çalışmamızda Mp'nin toplam fenol ve toplam antioksidan sonuçlarında artış göstermesi, Karak (2021)'ın sonuçlarıyla uyum göstermemekle beraber, Mayek-Perez ve ark. (2002), Gill-Langarica ve ark. (2008) ve Xu ve ark. (2008)'nın çalışmalarındaki sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Bu durum kuraklık ve patojenin eş zamanlı uygulamalarının bitki fizyolojisini olumsuz etkileyerek kuraklık şiddetini daha da arttırmasının bir sonucu olarak gerçekleşmiş olabilir.

Yapılan çalışmalarda, bütün kuraklık uygulamalarında MDA seviyesinde yükselme bildirilmekte, ancak, Srivalli ve ark. (2003), Jung (2004), Ramachandra ve ark. (2004) ve Pinheiro ve ark. (2004)'nın belirttiği gibi, kuraklık stresinde antioksidan sistem tamamen değil, kısmen de harekete geçerek bitki savunma tepkisini ortaya

koyabilmektedir. Sanchez-Rodriguez ve ark. (2010), kuraklık stresi ile birlikte domateste, yaprak dokularında MDA miktarında artış meydana geldiğini, Nikoleva ve ark. (2010), buğdayda yaptıkları bir çalışmada, su stresinin yapraklarda MDA miktarında artışa yol açtığını, Türkan ve ark. (2005) fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ve tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türlerinin kuraklık stresi karşısında biyokimyasal değişimlerini inceledikleri çalışmada, lipid peroksidasyon seviyesinin hassas olan fasulye(*Phaseolus vulgaris*) türünde daha yüksek olduğunu, kuraklık stresine tolerant olan tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türünün ise antioksidan enzim aktivitelerini çalıştırarak oksidatif zarar karşısında korunabildiğini, Sivritepe ve ark. (2008) ise in vitro koşullarda PEG 8000 kullanarak kirazda oluşturdıkları kuraklıkta, stres koşullarında MDA miktarında artış belirlendiğini bildirmişlerdir. Özkur (2010), *Capparis ovata* bitkisinde kuraklık stresi uygulaması sonrasında lipid peroksidasyonunda artış gözlemlendiğini belirtmiştir. Çalışmamızda KS, hasatta toplam antioksidan, hasatta toplam fenol ve MDA miktarında artışa neden olmuş; hasatta toplam antioksidan ve hasatta toplam fenol artışı, Srivalli ve ark. (2003), Jung (2004), Ramachandra ve ark. (2004), Pinheiro ve ark. (2004), Türkan ve ark. (2005) ve Yong ve ark. (2006)'nın bulgularıyla; MDA artışı ise, Sivritepe ve ark. (2008) ve Sanchez Rodriguez ve ark. (2010)'nın bulgularıyla uyum sağlamaktadır.

Çizelge 4.16. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin toplam antioksidan, toplam fenol ve MDA içerikleri*

Uygulamalar	KBTA ($\mu\text{mol TE/g}$) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	HTA ($\mu\text{mol TE/g}$) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	KBTF(mg) GAE/100g) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	HTF(mg) GAE/100g) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	MDA (nmol/ml) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Kontrol	238.18 $\pm$ 24.63 ^{abc}	315.89 $\pm$ 87.11 ^{cd}	60.78 $\pm$ 6.18 ^{ef}	92.67 $\pm$ 33.48 ^{cde}	55.93 $\pm$ 4.16 ^{bcd}
AMF	179.54 $\pm$ 28.05 ^{b-e}	456.21 $\pm$ 30.67 ^{bcd}	52.97 $\pm$ 5.07 ^f	80.83 $\pm$ 12.67 ^{de}	38.45 $\pm$ 2.93 ^d
Mp	349.52 $\pm$ 65.58 ^a	394.72 $\pm$ 28.75 ^{bcd}	120.03 $\pm$ 4.45 ^a	151.44 $\pm$ 25.76 ^{b-e}	71.23 $\pm$ 3.82 ^b
ABA	216.06 $\pm$ 19.11 ^{bcd}	350.48 $\pm$ 33.70 ^{bcd}	82.73 $\pm$ 4.51 ^{b-f}	76.44 $\pm$ 8.94 ^e	42.50 $\pm$ 7.99 ^{cd}
K.S	268.83 $\pm$ 47.02 ^{ab}	365.12 $\pm$ 7.67 ^{bcd}	76.82 $\pm$ 15.22 ^{c-f}	201.75 $\pm$ 25.44 ^{bc}	75.11 $\pm$ 4.81 ^b
AMF+Mp	148.81 $\pm$ 25.89 ^{cde}	538.50 $\pm$ 104.80 ^{bc}	93.90 $\pm$ 7.58 ^{a-e}	153.89 $\pm$ 48.54 ^{b-e}	62.09 $\pm$ 11.48 ^{bcd}
AMF+ABA	131.25 $\pm$ 28.27 ^{ab}	359.33 $\pm$ 47.64 ^{bcd}	82.43 $\pm$ 14.24 ^{b-f}	105.33 $\pm$ 20.65 ^{b-e}	49.92 $\pm$ 2.37 ^{bcd}
AMF+K.S	178.01 $\pm$ 23.74 ^{de}	436.56 $\pm$ 15.68 ^{bcd}	75.01 $\pm$ 13.60 ^{c-f}	215.20 $\pm$ 10.43 ^{ab}	57.61 $\pm$ 3.08 ^{bcd}
Mp+ABA	167.59 $\pm$ 27.63 ^{b-e}	473.63 $\pm$ 145.25 ^{bcd}	110.48 $\pm$ 13.27 ^{abc}	167.79 $\pm$ 32.95 ^{b-e}	51.20 $\pm$ 5.26 ^{bcd}
Mp+KS	245.60 $\pm$ 39.05 ^{b-e}	840.07 $\pm$ 26.38 ^a	117.73 $\pm$ 15.74 ^{ab}	369.21 $\pm$ 100.67 ^a	151.21 $\pm$ 20.18 ^a
ABA+K.S	242.83 $\pm$ 23.68 ^{abc}	537.96 $\pm$ 19.70 ^b	80.77 $\pm$ 5.35 ^{c-f}	185.48 $\pm$ 14.70 ^{b-e}	52.62 $\pm$ 2.67 ^{bcd}
AMF+Mp+ABA	106.08 $\pm$ 10.72 ^e	340.83 $\pm$ 70.43 ^{bcd}	100.54 $\pm$ 5.76 ^{a-e}	155.07 $\pm$ 47.28 ^{b-e}	56.75 $\pm$ 3.16 ^{bcd}
AMF+Mp+K.S	131.80 $\pm$ 25.65 ^{de}	303.90 $\pm$ 56.68 ^d	90.19 $\pm$ 12.19 ^{a-e}	173.25 $\pm$ 32.50 ^{b-e}	66.45 $\pm$ 7.67 ^b
AMF+ABA+K.S	185.68 $\pm$ 35.57 ^{b-e}	359.74 $\pm$ 51.71 ^{bcd}	67.85 $\pm$ 9.70 ^{def}	215.37 $\pm$ 60.37 ^{bc}	63.52 $\pm$ 9.23 ^{bc}
Mp+ABA+K.S	210.56 $\pm$ 25.09 ^{bcd}	431.27 $\pm$ 20.85 ^{bcd}	95.92 $\pm$ 10.17 ^{a-e}	203.17 $\pm$ 36.02 ^{bc}	54.62 $\pm$ 1.12 ^{bcd}
AMF+Mp+ABA+K.S	113.09 $\pm$ 5.96 ^e	341.20 $\pm$ 38.97 ^{bcd}	72.30 $\pm$ 10.02 ^{def}	194.74 $\pm$ 28.38 ^{bcd}	64.22 $\pm$ 7.57 ^{bc}

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir ($P>0.05$).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 µMABA uygulaması, KBTA: Kuraklığın başlangıcında toplam antioksidan madde içeriği, HTA: Hasatta toplam antioksidan madde içeriği, KBTF: Kuraklığın başlangıcında toplam fenolik madde içeriği, HTF: Hasatta toplam fenolik madde içeriği, MDA: Malondialdehit içeriği, TE: Trolox eşdeğeri, GAE: Gallik asit eşdeğeri.

4.5.5. Antioksidatif enzimlere etkisi

Örtüaltında % 50 kısıtlı sulamada ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerinin antioksidatif enzim (CAT, SOD ve APX) içeriklerine ait sonuçlar Çizelge 4.17.'de verilmiştir.

Fasulye bitkisindeki antioksidatif enzim içerikleri genel olarak değerlendirildiğinde, tüm enzimlerde uygulama grupları arasında fark bulunduğu ve bu farkın istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.17.). CAT, SOD ve APX için en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla; ABA+KS (0.1224), Mp (0.0194); AMF+Mp+ABA+KS (214.42), Mp ve ABA (53.56); Mp+ABA+KS (0.000202) ve AMF (0.000107) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17'den de görüleceği üzere, biyotik (Mp) ve abiyotik stres (KS) koşullarının yer aldığı uygulamalarda antioksidatif enzimlerin kontrol uygulamasına göre arttığı belirlenmiştir (Çizelge 4.17). Kabay (2014), antioksidan maddelerin biyotik (hastalık ve zararlılar) ve abiyotik (bitki besin maddeleri eksiklik veya fazlalığı, yüksek ve düşük sıcaklık, kuraklık stresi, tuzluluk vb.) olumsuz çevre şartlarında salgılanmasının arttığını bildirmiştir. Polle ve ark. (1992), Frogoli ve ark. (1996), Azavedo ve ark. (1998) ve Azpilicueta ve ark.(2007), katalaz (CAT)'ın, stres koşulları altında oluşan zararlı H₂O₂'in H₂O ve O₂'ya direkt olarak dönüşümünü sağlayarak hücreleri strese karşı korumada görevli en önemli enzimatik antioksidanlardan olduğunu ve bu enzimin farklı stres şartları ve farklı bitkilerde değişik düzeylerde koruma sağladığını bildirmişlerdir. Harinasut ve ark. (2003)

Attia ve ark. (2009) da süperoksit dismutaz (SOD)'ların ifadesindeki artışların biyotik ve abiyotik strese bağlı oluşan oksidatif stresle başa çıkmada ve bitkilerin stres koşulları altında canlılığını sürdürmesinde önemli rolleri olduğunu ifade etmişlerdir. Diğer bir antioksidatif enzim olan APX'in stres koşullarında bitki savunmasında aktif rol alan enzimatik antioksidanlardan olduğu, birçok bitkide APX enzim aktivitesinde ve gen ekspresyonunda artışlar gözlemlendiğini ve bu artışların stres savunmasıyla ilişkili

olduğu bildirilmiştir (Beauchamp ve ark.,1971; Polidoros ve ark.,1999; Zlatev ve ark., 2006; Hsu ve ark., 2007; Khan ve ark., 2007; Mobin ve ark., 2007; Singh ve ark., 2008). Antioksidatif enzimler ile ilgili yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular tarafımızdan elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir.

Kuraklık stresi ve antioksidatif enzim içeriklerinin ilişkisine yönelik olarak yapılan çalışmalarda, kuraklık stresine tolerant bitkilerin antioksidatif enzim mekanizmalarını daha iyi çalıştırdıkları ve yükselen enzim seviyeleri sayesinde stresten korunabildikleri; ayrıca, oksidatif stres karşısında, bitkinin bu sistemi bazen kısmi olarak çalıştırdığı ve sadece bazı enzimleri aktif hale getirerek stresin üstesinden gelebildiği bildirilmiştir (Basu, 2010; Nikoleva, 2020; Özkur, 2010; Sanchez-Rodriguez ve ark., 2010; Alexieva, 2003; Srivalli ve ark., 2003; Jung, 2004; Ramachandra ve ark., 2004; Pinherio ve ark., 2004; Sharma ve Dubey, 2004; Yong ve ark., 2006; Moussa ve Abdel-Aziz, 2008; Zahedi ve ark., 2022). Riekert Van Heerden ve Krüger (2002), iki farklı soya fasulyesi çeşidinde yaptıkları çalışmada, kuraklık stresi altında yetiştirdikleri bitkilerde, APX ve GR enzim aktivitelerinin stres koşullarında değiştiğini, ancak, çeşitler arasında bu değişimin farklılıklar gösterdiğini belirtirken, Türkan ve ark. (2005), fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ve tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türlerine uygulanan kuraklık stresinde, tolerant çeşit olan tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) çeşidinde SOD, CAT, APX ve POX enzim aktivitelerinin daha yüksek kaydedildiğini ve antioksidan enzim aktivitelerini çalıştırarak oksidatif zarar karşısında korunabildiğini belirtmişlerdir. Tarafımızdan yapılan çalışmada da, kısıtlı su uygulamasında, fasulye bitkisinde antioksidatif enzimlerin miktarının kontrol uygulamasına göre arttığı belirlenmiştir (Çizelge 4.17).

ABA içeriğinin antioksidatif enzimlerle ilişkisine yönelik olarak yapılan çalışmalarda, Kocaman (2010), farklı kuraklık streslerine maruz bırakılmış buğday bitkilerinin, donma stresine karşı enzim düzeyinde oluşturduğu savunma mekanizması bakımından 0.25 mM ABA uygulamasının CAT ve SOD enzim aktivitesinde etkin rol aldığını bildirirken, Güzel (2006), kuraklık stresinde domatestede 0.1 mM ABA veya Ca^{2+} uygulamasının SOD ve APX değerlerini arttırdığını belirtmiştir. Zhang ve ark. (2020) ise tatlı patatestede erken dönemde oluşturdukları kuraklık stresinde uyguladıkları 150 μ M ABA'nın, CAT, SOD ve APX enzim seviyelerinde artış sağladığını ifade etmişlerdir. Mevcut çalışmamızda da ABA'nın özellikle stres faktörleri ile birlikte olduğu

uygulamalarda antioksidatif enzim içeriğini arttırdığı belirlenmiştir (Çizelge 4.17). Hartung (1998), Teiz ve Zeiger (1998), Thompson (2000) ve Souza ve ark (2014), ABA'nın, çevresel strese, özellikle de kuraklığa maruz kalan bitkilerde köklerden transpirasyon ile bekçi hücrelerine taşındığı ve buradaki hipotetik ABA reseptörüne bağlanarak stomaların kapanmasına ve stresle ilgili birçok genin uyarılmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

AMF, antioksidatif enzimlerle ilişkisi açısından değerlendirildiğinde, genel olarak hem tek başına hem de stres faktörleri ile birlikte olduğu uygulamalarda antioksidatif enzim içeriklerini kontrol uygulamasına göre arttırdığı ortaya konmuştur. Spagnoletti ve ark. (2016), *Rhizopagus intraradices*'in, arsenik stresine ve *M. phaseolina* enfeksiyonuna karşı soya fasulyesinin antioksidan savunma tepkisine aktif olarak katıldığını ifade ederken, Live ark. (2019), ılıman iklim çayırlarında %30 ve %50 su kısıtı şartlarında AMF uygulamasının, Zhang ve ark. (2019) ise, uzun çayırlarda düşük ışık stresinde AMF uygulamasının antioksidatif enzim içeriklerini arttırdığını bildirmişlerdir. Diagne ve ark.(2020), AMF'nin abiyotik streslere adaptasyon mekanizmalarının genellikle artan hidromineral beslenme, iyon seçiciliği, gen regülasyonu, ozmolit üretimi ile fitohormonların ve antioksidanların sentezi ile bağlantılı olduğunu ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.17. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin bazı antioksidatif enzim (CAT, SOD, APX içerikleri)*

Uygulamalar	CAT (Mm.gFW/dk) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	SOD (Unitg ⁻¹ FW) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	APX (Mm.gFW/dk) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Kontrol	0.0214±0.0031 ^{de*}	71.78±4.21 ^{de}	0.000112±0.0000079 ^c
AMF	0.0221±0.0035 ^{de}	103.85±6.87 ^{b-e}	0.000107±0.0000126 ^c
Mp	0.0194±0.0015 ^e	53.56±11.93 ^e	0.000121±0.0000106 ^{bc}
ABA	0.0221±0.0068 ^e	53.56±8.94 ^e	0.000110±0.0000073 ^c
KS	0.0374±0.0097 ^{cde}	113.40±14.63 ^{a-e}	0.000150±0.0000047 ^{abc}
AMF+Mp	0.0472±0.0125 ^{cde}	104.91±30.66 ^{b-e}	0.000131±0.0000096 ^{bc}
AMF+ABA	0.0487±0.0116 ^{cde}	93.23±23.56 ^{cde}	0.000126±0.0000312 ^{bc}
AMF+KS	0.0432±0.0075 ^{cde}	180.24±14.38 ^{ab}	0.000179±0.0000099 ^{ab}
Mp+ABA	0.0380±0.0065 ^{cde}	83.30±14.04 ^{cde}	0.000132±0.0000101 ^{bc}
Mp+KS	0.0937±0.0076 ^{ab}	141.56±21.05 ^{a-d}	0.000169±0.0000212 ^{abc}
ABA+KS	0.1224±0.0222 ^a	130.62±20.62 ^{a-d}	0.000169±0.0000095 ^{abc}
AMF+Mp+ABA	0.0453±0.0025 ^{cde}	150.54±12.33 ^{a-d}	0.000145±0.0000192 ^{abc}
AMF+Mp+KS	0.0725±0.0101 ^{bc}	150.80±12.62 ^{a-d}	0.000171±0.0000446 ^{abc}
AMF+ABA+KS	0.0611±0.0193 ^{bcd}	179.32±42.88 ^{abc}	0.000178±0.0000177 ^{ab}
Mp+ABA+KS	0.0550±0.0119 ^{bcd}	146.41±9.26 ^{a-d}	0.000202±0.0000114 ^a
AMF+Mp+ABA+KS	0.0581±0.0114 ^{bc}	214.42±61.22 ^a	0.000165±0.0000158 ^{abc}

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir ($P>0.05$).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 μ M ABA uygulaması, FW: Taze ağırlık, dk: dakika.

4.5.6. Besin elementleri içeriklerine etkisi

Örtüaltında ABA ve AMF uygulamasının *M. phaseolina* ve kısıtlı sulama stres faktörleri ile birlikte fasulye yeşil aksamında makro (N, P, K, Ca, Mg, Na) ve mikro besin elementi (Fe, Mn, Cu, Zn) içeriklerine olan etkileri Çizelge 4.18, Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de verilmiştir.

4.5.6.1. Makro besin elementleri içeriği

Örtüaltında % 50 kısıtlı sulamada ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerine ait makro besin elementlerinin sonuçları Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.18’den de görüleceği üzere Ca hariç, N, P, ve K içerikleri açısından bazı uygulamalarda istatistiki açıdan önemli farklılıklar ortaya konmuştur. N, P ve K için en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla Kontrol (% 3.32), AMF+Mp (% 2.36); AMF (% 0.62), ABA (% 0.180) ve AMF (% 6.65), ABA (% 2.82) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.18). Ca açısından uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli fark görülmemekle beraber en yüksek ve en düşük değerler AMF (% 7.29) ve ABA (% 4.07) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.18).

Deneme kapsamında içeriği belirlenen diğer makro elementler olan Mg ve Na ile Na/Ca ve Na/K oranları Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Magnezyum (Mg) ve Na içerikleri açısından deneme kapsamındaki uygulamalar arasında farklılıklar görülmüş olup, bu farklılıklar istatistiki olarak Mg için önemsizken, Na’da önemli bulunmuştur (Çizelge 4.19). Mg ve Na için en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla AMF (% 2.82), Mp (% 1.11) ve AMF+Mp+KS (% 3.32), ABA (% 0.92) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.19.). Na/Ca ve Na/K oranları açısından da uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli farkların olduğu ortaya çıkmıştır. Na/Ca ve Na/K oranları açısından en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla AMF+Mp+K.S ve kontrol uygulamasında (0.51), ABA (0.23) ve AMF+Mp+K.S.

(0.65), Mp+KS ve AMF+ABA+KS (0.22) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19'dan da görüleceği üzere genel olarak AMF uygulamasındaki makro besin elementleri içeriğinin kontrol uygulamasına göre yüksek olduğu ve AMF'nin besin alımını arttırdığı görülmüştür. Ayrıca, AMF, tek başına olduğu uygulamada P içeriğini kontrol uygulamasına göre önemli oranda arttırmıştır.

AMF simbiyozu, daha çok fosfor alımına olan katkılarından dolayı farklı branşlardaki birçok araştırmacı tarafından geniş ilgi görmüştür. Yakın geçmişte yapılan çalışmalar doğadaki bitki topluluklarının % 90'ından fazlasında simbiyotik olarak yaşayan AMF'nin, toprakta fosfor (P)'un bitkilerce alınmasında belirleyici rol oynadığı bildirilmektedir (Smith ve ark., 1992). AM fungusunun işlevinin bitkinin fosfor ile beslenmesine bağlı olmasıyla birlikte, bazı bitki türleri yaşamlarının tamamını AMF fungusun varlığına bağlamışlardır. AMF sadece fosfor'un değil aynı zamanda çinko, bakır, mangan, demir, kalsiyum, potasyum ve azotun alımında da etkilidir (Hayman, 1982).

AM fungusları bitki gelişimini özellikle marjinal (kuraklık ve tuzluluk) topraklarda veya koşullarda teşvik ederken, bu olumlu ilişkinin, simbiozis'e sahip köklerin topraktan kantitatif olarak daha iyi fosfor, azot ve potasyum alabilmeleri ile izah edilmektedir. AM fungusların bitkiye yarayışsız fosforun yarayışlı forma dönüşmesi üzerinde olumlu etki yaparak, rizosferde pH'yı düşürücü bazı enzim ve asitli sıvılar üreterek çözünürlüğü çok az olan inorganik fosfatları yarayışlı duruma getirdikleri bildirilmiştir (Hayman, 1982; Johannsen ve ark., 1993; Pearson ve Jacobsen, 1993; Jacobsen, 1994; Mohammad ve ark., 1995; Palta ve ar., 2010; Upreti ve ark., 2015; Begum, 2019).

Çalışmada dikkat çeken bir diğer bulgu ise, genel olarak kısıtlı sulamanın yer aldığı uygulamalarda makro besin elementi içeriğinin, Ca hariç, kontrol uygulamasına göre düşük olmasıdır (Çizelge 4.18, Çizelge 4.19). Özen ve Onay (2007), bitkinin su stresinin, vejetatif ve generatif organları arasında su rekabeti, hücre içi yapılar, bitkilerde büyüme ve verim, fotosentez ve azot metabolizması üzerine negatif etki yaparak bitki metabolizmasını bozduğunu, yeterli miktarda suyun bulunmamasının; ksilem ve floemdeki madde iletimini olumsuz etkilediğini, Nam (2010) ise, fazla sıcaklık ve kuraklığın bitkisel üretimde besin alımını negatif yönde etkilediğini

bidirmişlerdir. Ayrıca yapılan araştırmalarda, birçok bitkide kuraklık stresine cevap olarak hücrelerinde solut birikiminin gerçekleştiği, (K, şeker ve aminoasitler) kuraklık stresindeki artış neticesinde K, Ca, Fe ve Mn iyon alınımının engellendiği, Na'un, hücre zarındaki Kalsiyum ile değişim oluşturarak apoplast kısmında Na/Ca iyon oranlarının arttığını, bu durumun, zarın fonksiyonel ve fizyolojik yapısını ve hücrenin Ca dengesini bozduğunu ve K'nın stomaların açılıp kapanması, fotosentetik etki ve su dengesinin korunmasında etkili olduğu bildirilmiştir (Brito ve ar., 2003; Kacar, 2006; Özen ve Önay, 2007; Nasri ve ark., 2008; Sivritepe ve ark., 2008; Kaya ve Tuna, 2010). Çalışmada, KS uygulamasında Ca içeriğinin kontrole göre arttığı belirlenmiştir (Çizelge 4.18) Yuan-Yuan ve ark. (2009), PEG uygulanan yapraklarda Ca seviyesinin kloroplast ve nükleusta arttığını, stres uygulamasının devam etmesi ile kloroplast ve nükleusta Ca artışının devam ettiğini, araştırmacılar Ca'un kuraklığa dayanımda önemli bir role sahip olduğunu, ancak, şiddetli kuraklık streslerinde kloroplastlarda meydana gelen bozulmaların Ca birikimini azaltabileceğini belirtmişlerdir.

ABA'nın makro besin elementi alınımına etkisinin genel olarak olumsuz olduğu ve kontrol uygulamasına göre düşürdüğü belirlenmiştir (Çizelge 4.18, Çizelge 4.19). Nitekim, Nooden (1988), Bozcuk ve ark. (1992), Agarwall ve ark. (2005) ve Sarwari (2020), absisik asitin kökte ve diğer dokularda su ve iyon alınması ve taşınması, nükleik asit ve protein sentezi, enzimler, strese adaptasyon mekanizması, kök geotropizması, osmoregülasyon ve meyve ağırlığı ve SÇKM üzerine etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Ananieva ve Ananiev (1997), ABA'nın, RNA ve protein sentezini engellediğini ifade ederken, Kaya ve Tuna (2010) da abiyotik stresin, K gibi, Ca alımını da olumsuz etkilediğini, Na'un, hücre zarındaki Ca ile yer değiştirerek apoplast kısmında Na/Ca iyon oranlarının artmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.18. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu, AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin N, P, Ca, K içerikleri*

Uygulamalar	N (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	P (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Ca (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	K (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Kontrol	3.32±0.47 ^{a*}	0.46±0.15 ^{ab}	5.99±1.28 ^a	4.95±1.20 ^{ab}
AMF	2.69±0.20 ^{ab}	0.62±0.21 ^a	7.29±1.40 ^a	6.65±1.56 ^a
Mp	3.07±0.18 ^{ab}	0.32±0.05 ^{ab}	4.33±0.85 ^a	3.71±0.74 ^{ab}
ABA	2.64±0.10 ^{ab}	0.18±0.02 ^b	4.07±0.61 ^a	2.82±0.12 ^b
KS	2.83±0.41 ^{ab}	0.40±0.09 ^{ab}	7.19±1.31 ^a	4.89±0.61 ^{ab}
AMF+Mp	2.36±0.15 ^b	0.37±0.06 ^{ab}	5.66±0.44 ^a	4.05±0.24 ^{ab}
AMF+ABA	2.67±0.20 ^{ab}	0.56±0.22 ^a	5.75±0.33 ^a	4.83±0.34 ^{ab}
AMF+KS	2.84±0.25 ^{ab}	0.38±0.05 ^{ab}	6.61±1.09 ^a	5.38±0.96 ^{ab}

Mp+ABA	3.15±0.29 ^a	0.32±0.02 ^{ab}	6.22±1.52 ^a	5.53±1.52 ^{ab}
Mp+KS	3.24±0.17 ^a	0.26±0.04 ^{ab}	5.13±0.52 ^a	4.93±0.79 ^{ab}
ABA+KS	3.07±0.27 ^{ab}	0.20±0.02 ^b	4.67±0.39 ^a	3.56±0.37 ^{ab}
AMF+Mp+ABA	2.70±0.17 ^{ab}	0.29±0.06 ^{ab}	5.19±0.95 ^a	4.13±0.85 ^{ab}
AMF+Mp+KS	2.76±0.15 ^{ab}	0.39±0.07 ^{ab}	6.45±2.58 ^a	5.15±1.67 ^{ab}
AMF+ABA+KS	2.88±0.21 ^{ab}	0.38±0.07 ^{ab}	5.63±0.85 ^a	5.30±1.13 ^{ab}
Mp+ABA+KS	3.21±0.28 ^a	0.42±0.07 ^{ab}	4.83±0.36 ^a	4.36±0.11 ^{ab}
AMF+Mp+ABA+KS	2.71±0.14 ^{ab}	0.37±0.08 ^{ab}	5.89±0.62 ^a	4.66±0.50 ^{ab}

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 µM ABA uygulaması.

Çizelge 4.19. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu, AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin Mg, Na, Na/Ca, Na/K içerikleri

Uygulamalar	Mg (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Na (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Na/Ca (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Na/K (%) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Kontrol	2.27±0.75 ^{a*}	3.06±1.59 ^{ab}	0.51±0.14 ^{ab}	0.62±0.15 ^{ab}
AMF	2.82±1.08 ^a	2.25±0.54 ^{abc}	0.31±0.08 ^{abc}	0.34±0.13 ^{abc}
Mp	1.11±0.21 ^a	1.35±0.14 ^{bc}	0.31±0.03 ^{abc}	0.36±0.04 ^{abc}
ABA	1.49±0.18 ^a	0.92±0.10 ^c	0.23±0.02 ^{bc}	0.33±0.04 ^{abc}
K.S	1.75±0.26 ^a	1.56±0.074 ^{abc}	0.22±0.05 ^{bc}	0.32±0.06 ^{abc}
AMF+Mp	1.63±0.22 ^a	1.72±0.20 ^{abc}	0.30±0.03 ^{abc}	0.42±0.01 ^{abc}
AMF+ABA	1.50±0.061 ^a	1.53±0.22 ^{ab}	0.27±0.04 ^{abc}	0.32±0.05 ^{abc}
AMF+K.S	1.98±0.32 ^a	1.93±0.20 ^{abc}	0.29±0.06 ^{abc}	0.36±0.07 ^{abc}
Mp+ABA	1.95±1.12 ^a	2.24±0.78 ^{abc}	0.36±0.09 ^{abc}	0.41±0.12 ^{abc}
Mp+K.S	1.62±0.38 ^a	1.06±0.24 ^c	0.21±0.06 ^c	0.22±0.04 ^c
ABA+K.S	1.54±0.38 ^a	1.27±0.084 ^{bc}	0.27±0.01 ^{abc}	0.36±0.01 ^{abc}
AMF+Mp+ABA	1.48±0.28 ^a	1.34±0.11 ^{bc}	0.26±0.07 ^{abc}	0.32±0.11 ^{abc}
AMF+Mp+K.S	2.19±1.21 ^a	3.32±1.37 ^a	0.51±0.07 ^a	0.65±0.09 ^a
AMF+ABA+K.S	1.57±0.26 ^a	1.17±0.23 ^c	0.21±0.04 ^c	0.22±0.06 ^c
Mp+ABA+K.S	1.24±0.16 ^a	1.42±0.26 ^{abc}	0.29±0.04 ^{abc}	0.33±0.05 ^{abc}
AMF+Mp+ABA+K.S	1.49±0.12 ^a	1.51±0.39 ^{abc}	0.26±0.05 ^{bc}	0.32±0.07 ^{abc}

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 µM ABA uygulaması.

4.5.6.2. Mikro besin elementleri içeriği

Örtüaltında % 50 kısıtlı sulamada ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerine ait mikro besin elementleri (Fe, Mn, Cu, Zn) içeriği Çizelge 4.20.'de verilmiştir.

Çalışmamızda mikro besin elementlerinin içerikleri açısından, Mn hariç, Cu, Fe ve Zn'da uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli farkların olduğu ortaya çıkmıştır. Cu, Fe ve Zn için en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla AMF (11.14 ppm),

ABA (4.46 ppm); AMF (2323.39 ppm), ABA (823.62 ppm) ve AMF (137.96 ppm), ABA (29.39 ppm) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.20.). Mn için en yüksek ve en düşük değerler ise sırasıyla Mp + ABA (435.30 ppm) ve ABA (206.19 ppm) uygulamalarında belirlenmiştir (Çizelge 4.20).

Genel olarak uygulamalardaki mikro besin elementi içerikleri makro besin elementi içerikleri ile benzerlik göstermiştir. Burada da AMF'nin genel olarak mikro besin elementi içeriğini kontrole göre arttırdığı, ABA'nın ise azalttığı belirlenmiştir. Biyotik (Mp) ve abiyotik stres (KS) uygulamalarında ise, Mp uygulamasında, Zn hariç, mikro element içerikleri kontrol uygulamasına göre azalırken, KS'de ise tüm mikro element içeriklerinin azaldığı belirlenmiştir (Çizelge 4.20).

AMF bazı mikro elementlerin alınımını ciddi derecede arttırmaktadır (Hayman,1982). Özellikle Zn ve Cu, P'dan sonra alınımı en fazla olan besin elementleridir. Yapılan birçok çalışmaların dışsal hifin Zn ve Cu'nun taşınımı ve alınımında önemli olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca bitkilerdeki Cu ve Zn miktarları üzerinde aşırı P gübrelemesinin baskılayıcı etkilerinden dolayı bu mikro elementlerin alınımındaki zorluğun belli koşullar altında, AMF tarafından bertaraf edildiği ve topraktan bu besin maddelerinin kazanımında AMF'nin önemli olduğu bildirilmiştir (Demir, 1998).

Kısıtlı sulama uygulamasının mikroelement içeriğine etkisi elementlere göre farklılık göstermiştir. Cu ve Zn içeriği kontrol uygulamasına göre artarken, Fe ve Mn içeriğinin azaldığı belirlenmiştir (Çizelge 4.20). Mayek-Perez ve ark. (2002) ve Gill-Langarica ve ark. (2008), kurak koşullarda su noksanlığı nedeniyle besin alınımının azaldığını belirtirken, Yong ve ark. (2006) bitkilerin strese adaptasyonunda biyokimyasal değişimlerin ve ozmotik düzenlemenin etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.20. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin mikro element içerikleri*

Uygulamalar	Cu (ppm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Fe (ppm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Mn (ppm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Zn (ppm) $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Kontrol	7.10±1.74 ^{ab}	1504.74±473.23 ^{ab}	390.58±131.51 ^a	41.23±10.68 ^b
AMF	11.14±1.81 ^a	2323.39±390.42 ^a	360.94±127.90 ^a	137.96±61.29 ^a
Mp	5.47±1.32 ^{ab}	941.00±302.50 ^b	344.10±64.87 ^a	44.03±2.85 ^b
ABA	4.46± 0.91 ^b	823.62±144.22 ^b	206.19±7.02 ^a	29.39±2.18 ^b
KS	10.74±3.84 ^{ab}	1322.81±607.27 ^{ab}	233.28±40.97 ^a	51.23±12.86 ^b
AMF+Mp	7.55±0.96 ^{ab}	1595.09±126.11 ^{ab}	348.03±113.24 ^a	40.37± 4.16 ^b

AMF+ABA	7.63±0.91 ^{ab}	1573.24±215.66 ^{ab}	335.94±79.12 ^a	41.97±6.13 ^b
AMF+KS	10.81±2.11 ^{ab}	1819.50±434.88 ^{ab}	326.59±137.66 ^a	51.45±11.12 ^b
Mp+ABA	8.56±3.18 ^{ab}	1123.16±218.36 ^b	435.30±144.47 ^a	32.72±8.17 ^b
Mp+KS	7.92±0.65 ^{ab}	1201.55±233.44 ^b	392.57±105.38 ^a	43.63±2.21 ^b
ABA+KS	6.64±1.28 ^{ab}	1472.93±304.09 ^{ab}	238.55±49.51 ^a	39.13±1.55 ^b
AMF+Mp+ABA	5.84±1.55 ^{ab}	1124.91±285.21 ^b	269.84±93.61 ^a	33.21±5.27 ^b
AMF+Mp+KS	6.95±1.59 ^{ab}	1392.07±324.34 ^{ab}	311.80±79.15 ^a	50.07±13.97 ^b
AMF+ABA+KS	8.25±2.53 ^{ab}	1586.96±236.96 ^{ab}	267.00±68.27 ^a	48.34±13.75 ^b
Mp+ABA+KS	6.16±1.03 ^{ab}	1057.03±210.73 ^b	313.34±92.66 ^a	40.82±12.78 ^b
AMF+Mp+ABA+KS	6.83±1.44 ^{ab}	1748.13±523.20 ^{ab}	320.31±11.42 ^a	37.48±5.73 ^b

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 µ ABA uygulaması.

4.5.7. Hastalık şiddeti ve baskılanma oranları

Örtüaltında % 50 kısıtlı sulamada ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerine ait hastalık şiddeti ve baskılanma oranları Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Kısıtlı sulamanın uygulandığı fasulye bitkilerinde hastalık şiddetinde AMF ve ABA’nın etkisi istatistiki olarak önemli olmamakla beraber uygulamalar arasında fark olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.21). Hastalık şiddeti % 37.50 - % 44.44 arasında değişmiş olup, en yüksek ve en düşük hastalık şiddeti sırasıyla Mp+KS ve Mp+ABA+KS (% 44.44) ile AMF+Mp (% 37.50) uygulamalarında elde edilmiştir. Hastalığın baskılanma oranları ise % 10.00 – (-) % 6.65 arasında değişmiştir. AMF+Mp ve AMF+Mp+ABA uygulamaları hastalığı, hastalık kontrol grubuna göre baskımlarken, Mp+ABA, Mp+KS, Mp+ABA+KS ve AMF+Mp+ABA+KS uygulamalarında hastalığın arttığı, AMF+Mp+KS uygulamasında ise herhangi bir değişikliğin olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.21).

AMFxbitki etkileşiminde bitki köklerinde cereyan ettiği için mikorrhiza ve hastalıklar konusunda yapılan araştırmalar başta funguslar olan toprak kaynaklı patojenlerin yol açtığı hastalıklar üzerinde yoğunlaşmıştır (Schönbeck, 1980; Dehne, 1982; Linderman, 1994; Aysan ve Demir, 2009; Onaran ve Yanar, 2009; Akbulut, 2014; Atakan, 2020). Dehne (1982), AMF ve bitki arasındaki interaksyonların dayanıklılık mekanizması ile ilgili olarak şu genel tanımlama yapılmaktadır;

“Mikorhizal funguslar, yerleştikleri kök sisteminde patojenin gelişimini geciktirme yeteneğindedirler. Bu etki, mikorhizal ilişkinin kurulduğu bölge ile sınırlandırılmıştır. Konukçu bitkinin fizyolojisi üzerinde AM funguslarının lokalize edilmiş spesifik etkileri bulunmaktadır”. Schönbeck (1980), Dehne (1982) ve Linderman (1994) , AMF’nin, kök dokularında morfolojik değişiklikleri teşvik ettiğini, mikorizal köklerin, mikorizasız köklere oranla daha fazla lignifiye olduğunu ve bunun bir dayanıklılık unsuru olduğunu ve böyle dokularla karşılaşan kök patojenlerinin gelişiminin büyük oranda engellendiğini bildirmişlerdir. Spagnoletti (2016), soya fasulyesinde, mikorizasyonun, Mp varlığında oksidatif zararlanmayı azalttığını ve AMF *Rhizopagus intraradices*’in, *M. phaseolina* enfeksiyonuna karşı soya fasulyesinin antioksidan savunma tepkisine aktif olarak katıldığını ve hastalık şiddetini düşürdüğünü ifade etmiştir. Mevcut çalışmada da en yüksek baskılanma oranının AMF’nin yer aldığı uygulama grubunda olduğu saptanmış olup, diğer çalışmalarla uyum göstermektedir.

M. phaseolina genelde sıcak ve kurak bölgelerde ve su stresine maruz kalan bitkilerde hastalık yapan, mücadelesi zor önemli bir patojendir. Patojen, kök boğazından dokuya direkt penetrasyon yapmakta ve enfeksiyon başlangıcında bitkinin bu kısımlarında önce suda haşlanmış bir görünüm, hastalığın ilerlemesi ile kurumalar ve nekrotik lekeler meydana gelmektedir. Bu tabloda bazı toksinler rol oynamakta, enfeksiyonun son aşamasında çürümeler ve doku kayıpları oluşmaktadır (Reuveni ve ark., 1982). Nitekim, diğer çalışmalarda da düşük yağış ve kuraklığın *M. phaseolina*’nın gelişimini (Milam, 1989) ve enfeksiyonlarını arttırdığı (Gill-Langarica ve ark., 2008), bağıl su içeriğinin kuraklık stresi ve az miktarda da *M. phaseolina* etkisiyle azaldığı, hastalık şiddetinin kurak şartlarda arttığı (Mayek-Perez ve ark., 2002) ve kuraklık ve patojene eş zamanlı maruz kalan bitkilerde hem hassas hem de tolerant cevaplar gözlemlendiği (Ramegowda ve Senthil-Kumar, 2014) bildirilmiştir. Bazı durumlarda ise, patojenle enfekte olan bitkilerin, zayıf bazal savunmanın bir sonucu olarak kuraklık stresine karşı artan duyarlılık veya patojene bağlı uyarılmanın bir sonucu olarak artan kuraklık toleransı gösterebildikleri (Conrath ve ark., 2002; Ton ve ark., 2005; Ton ve Mauch-Mani, 2004; van Hulst ve ark., 2006) ifade edilmektedir. Tarafımızdan yapılan çalışmada da kısıtlı sulamanın *M. phaseolina*’nın hastalık şiddetini arttırdığı belirlenmiştir (Çizelge 4.21).

Zambolim ve Schenck (1983), Jalali ve ark.(1991) ve Demir (1998) tarafından yapılan çalışmalarda, AMF'nin *M. phaseolina*'nın bitki köklerinde yayılımını önemli oranda baskılayarak engellediği ve patojenin topraktaki propagül sayısını azalttığı belirtilmiştir. Mevcut çalışmada da AMF'nin, hastalığın gelişimini % 10 oranında baskıladığı görülmüştür. Gerek bu çalışma gerekse bu konuda yapılan diğer çalışmaların bulguları değerlendirildiğinde; P alımının bitkilerde iyi bir kök gelişimi sağlayarak hastalık gelişimini baskılayabildiği söylenebilir. Ayrıca, iyi bir kök sistemine sahip olan bitkilerde su alımını ve iletimi daha iyi olmaktadır. Bu durum *M. phaseolina* gibi stres koşullarında zarar yapan patojenlere karşı, bitkilerin daha dayanıklı duruma gelmesini sağlamaktadır (Ghaffar ve Erwin, 1969; Gamal El-Din ve ark., 1980; Sirry ve ark., 1980).

ABA'nın *M. phaseolina* üzerinde olumlu etkisinin olmadığı ve hastalığı arttırdığı görülmüştür (Çizelge 4.21.). ABA'nın, kuraklık ve düşük sıcaklık stres toleransındaki rolünün yanı sıra (Shinozaki ve ark., 2003), bitki savunma tepkilerine aracılık ettiği (Melotto ve ark., 2006) ve yüksek ABA konsantrasyonunun, ya kuraklığa bağlı birikim veya patojen enfeksiyonu zamanında ekzojen uygulama nedeniyle bitki hastalık direncini etkilediği bildirilmiştir. ABA aynı zamanda bitkinin patojen enfeksiyonuna cevabında olumlu veya olumsuz rol oynayabilmektedir (Rezzonico ve ark., 1998; Audenaert ve ark., 2002; Mohr ve Cahill, 2003; Jacobs ve ark., 2003; Wiese ve ark., 2004; Melotto ve ark., 2006; Adie ve ark., 2007). Hefel (2015) ise eksojen ABA uygulamasının *Medicago truncatula* A17 bitkilerinde *M. phaseolina*'nın hastalık belirtilerinin gelişimini daha çok hızlandırdığını belirtmiştir.

Çizelge 4.21. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu ve AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin hastalık şiddeti (%) ve baskılanma oranları (%)*

Uygulamalar	Hastalık Şiddeti (%)	Baskılama Oranı (%)
Mp (Kontrol)	41.67±8.34 ^a	-
AMF+Mp	37.50±4.17 ^a	10.00
Mp+ABA	42.86±6.15 ^a	-2.86
Mp+KS	44.44±7.03 ^a	-6.65
AMF+Mp+ABA	40.74±4.90 ^a	2.23
AMF+Mp+KS	41.67±5.46 ^a	0
Mp+ABA+KS	44.44±5.56 ^a	-6.65
AMF+Mp+ABA+KS	43.33±5.09 ^a	-3.98

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 µM ABA uygulaması.

4.5.8. AMF kolonizasyonu ve spor yoğunluğu

Örtüaltında % 50 kısıtlı sulamada ABA ve AMF uygulanmış ve *M. phaseolina* inokulasyonu yapılmış fasulye bitkilerine ait AMF kök kolonizasyon ve spor yoğunluğu oranları Çizelge 4.22.'de verilmiştir.

AMF'nin kolonizasyon ve spor yoğunluğunda uygulamalar istatistiki olarak farklılık göstermiştir (Çizelge 2.22). En yüksek ve en düşük kolonizasyon ve spor yoğunluğu sırasıyla, AMF+ABA+KS (% 17.71), AMF (% 10.93) ve AMF (44.33 spor/10 g toprak), AMF+KS (20.25 spor/10 g toprak) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.22.). AMF'nin fasulye bitkisindeki kolonizasyon oranları % 10.93 - % 17.71 arasında değişkenlik göstermiştir. Nitekim, Demir (2001) tarafından yapılan çalışmada da AMF *Glomus intraradices*'in kolonizasyon oranı % 19 olarak tespit edilmiştir.

Mevcut çalışmada dikkat çeken bulgu, AMF'nin tekli uygulamadaki kolonizasyon oranının gerek ABA gerekse kısıtlı sulama ve Mp ile beraber olduğu uygulamalara göre düşük olmasıdır (Çizelge 4.22) Spor yoğunluğu açısından ise tersi bir durum ortaya çıkmış ve AMF'nin tek başına olduğu uygulamadaki spor yoğunluğu diğer uygulamalara göre yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.22).

AMF'lerin kök kolonizasyonlarının toprak kökenli patojenler tarafından nasıl etkilendiği literatürde de netlik kazanmamıştır. Bazı çalışmalarda, AMF fungusların çeşitli konukçularda ve farklı patojenler tarafından etkilendiği ve kök kolonizasyonlarının azaldığı bildirilirken (Zambolim ve Schenck, 1983; Hassan Dar ve ark.,1997; Akköprü ve Demir, 2005; Aysan, 2009; Atakan, 2020; Çakar, 2020; Boyno ve ark., 2022), Caron ve ark. (1985a; 1985b), Özgönen ve ark. (1999) ve Şavur (2015) yapmış oldukları çalışmalarla AMF kök kolonizasyonunun istatistiki açıdan önemli düzeyde etkilenmediğini belirlemişlerdir. Çalışmamız sonuçlarında AMF kök kolonizasyonunun Mp'den etkilendiği ve kolonizasyon oranının azaldığı belirlenmiştir. Bilindiği üzere AMF, bitki gelişimini özellikle bitki besin maddelerinin yoğunluklarının kritik seviyelerde olduğu marjinal (kuraklık ve tuzluluk) topraklarda veya koşullarda teşvik etmektedir (Hayman, 1982; Johannsen ve ark., 1993; Pearson ve Jacobsen, 1993; Jacobsen, 1994). Bunun yanı sıra, stres koşullarında hem konukçu bitki tolerans mekanizmasını yükselttiğini, hem de temel metabolik yolların aşağı regülasyonunu

önlediği (Budak, 2017; Begum ve ark., 2019) ve AMF'nin kolonizasyon alanı için yarışma ve bitki savunma sistemini geliştirmek suretiyle patojenle mücadele ettiği ve kolonizasyonunu arttırdığı ifade edilmektedir (Diagne ve ark., 2020). Gerek tarafımızdan yapılan çalışma gerekse bu konuda yapılan diğer çalışmalar ışığında değerlendirme yapıldığında, AMF'nin stres koşullarındaki kolonizasyon artışının, kuraklık ve benzeri olumsuz şartlarda AMF'nin kolonizasyonunu arttırarak bitki gelişimini ve olumsuz koşullara direncini arttırma özelliğinden kaynaklandığı düşünülebilir.

Bu çalışmada ABA, AMF kolonizasyonunu tekli AMF uygulamasına göre arttırırken, spor yoğunluğunu ise düşürdüğü belirlenmiştir (Çizelge 4.22.). Benzer bir çalışmada, ABA konsantrasyonunun arttıkça AMF gelişiminin gerilediği, 5 μ M ABA dozunda kolonizasyon artarken, 50 μ M ABA ile muamele edilmiş bitkilerde AMF seviyesinin 5 μ M ABA uygulamasına kıyasla %45 oranında düştüğü ifade edilmiştir (Stec ve ark., 2016).

Çizelge 4.22. Örtü altında kısıtlı sulama koşullarında *M. phaseolina* inokulasyonu, AMF ve ABA uygulaması yapılmış fasulye bitkilerinin AMF kök kolonizasyon oranları (%) ve topraktaki AMF spor yoğunluğu *

Uygulamalar	AMF Kolonizasyonu (%)	AMF spor yoğunluğu (spor/10 g toprak)
AMF	10.93±0.59 ^c	44.33±6.12 ^a
AMF+Mp	14.21±1.94 ^{abc}	32.29±7.29 ^{ab}
AMF+ABA	12.77±0.55 ^{bc}	29.50±4.33 ^{ab}
AMF+KS	11.36±1.18 ^c	20.25±8.36 ^b
AMF+Mp+ABA	14.76±3.29 ^{abc}	23.67±6.71 ^b
AMF+Mp+KS	13.57±1.39 ^{bc}	23.25±9.31 ^b
AMF+ABA+KS	17.71±0.84 ^a	20.80±8.59 ^b
AMF+Mp+ABA+KS	16.26±1.60 ^{ab}	32.43±5.38 ^{ab}

*: Aynı sütunda, aynı harf ile gösterilmiş veriler arasındaki fark önemli değildir (P>0.05).

NS: Normal sulama, KS: % 50 kısıtlı sulama, Mp: *M. phaseolina*, ABA: 5 μ M ABA uygulaması.

5. SONUÇ

Küresel iklim değişikliğinin etkisiyle kurak ve yarı kurak alanların, tarımdaki yanlış kültürel uygulamalar ve yanlış ilaçlamalar nedeniyle de hastalıkların gittikçe artması, sürdürülebilir tarımda kuraklık ve hastalıklarla entegre mücadelenin önemini daha da arttırmaktadır. Yemelik baklagillerden, insan beslenmesinde çok büyük öneme sahip olan fasulyede, arbüsküler mikorizal fungus (AMF) ve absisik asit (ABA) uygulamalarının, abiyotik (kısıtlı sulama) ve biyotik (fasulye kömür çürüklüğü hastalığı (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.)) stres varlığında bitki gelişimi, bitki beslenmesi, verim ve bazı verim unsurlarına etkisinin detaylı olarak incelendiği bu tez çalışmasında, aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- 1) Romano, Gina ve Sarıkız otarak fasulye çeşitleri kullanılarak yürütülen çalışmada, çeşit etkisinin yaş ve kuru ağırlıkta önemli; mikorizal bağımlılık ve mikorizal kolonizasyonda önemsiz olduğu görülmüştür. Yaş ve kuru ağırlıkta, mikorizal bağımlılıkta Romano çeşidi en yüksek değere sahipken, mikorizal kolonizasyonda, Gina çeşidi en yüksek değere sahip olmuş; ancak, fark, istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Çalışmada çimlenme, bitki gelişimi ve

AMF'ye uyum kriterleri göz önünde tutularak daha sonraki denemelerde Gina çeşidi kullanılmıştır.

- 2) Çalışmanın bu aşamasında 1 μ M, 5 μ M, 10 μ M ve 20 μ M ABA dozları arasından en uygun dozu belirlemek için *in vitro* ve *in vivo* koşullarda denemeler yürütülmüştür. *In vitro*'da *M. phaseolina*'nın petrideki en yavaş gelişimi 5 μ M ABA dozunda gerçekleşmiştir. *In vivo*'da ise AMF ve *M. phaseolina* uygulaması yapılmış fasulye bitkilerine tekrar 1 μ M, 5 μ M, 10 μ M ve 20 μ M ABA dozları uygulanmıştır. Gerek *in vitro*'daki patojen gelişimi ve gerekse *in vivo*'daki bitki gelişim parametreleri, AMF gelişimi ve hastalık şiddeti göz önünde tutularak en uygun dozun 5 μ M olduğu belirlenmiş ve daha sonraki denemelerde bu dozun kullanılmasına karar verilmiştir.
- 3) Çalışmadaki bir diğer önemli parametre olan uygun kısıtlı sulama dozunu belirlemek için AMF ve ABA uygulanmış fasulye bitkilerine 4 farklı sulama uygulaması (% 25, % 50 ve % 75 kısıtlı su, % 100 (Tam Sulama) yapılmıştır. Deneme sonucunda fasulye bitkilerinin gelişim parametreleri, hastalık şiddeti, kuraklık ile ilgili parametreler (kuraklık şiddeti, YOSİ, MZİ), toplam klorofil ve AMF gelişimi göz önünde tutularak % 50 kısıtlı suyun en etkili kısıtlı sulama uygulaması olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, AMF'nin %50 kısıtlı su uygulamasında, kuraklık stresindeki en önemli iki parametre olan kuraklık şiddeti ve MZİ açısından bitkiyi tolere edebildiği, % 25 kısıtlı sulamada membran zararlanmasının oluşmadığı ve bitki gelişim parametrelerinin çoğunlukla normal sulama ile aynı grupta yer aldığı belirlenmiştir. % 75 kısıtlı sulamada kökteki AMF kolonizasyonu en yüksek olmasına rağmen, bu sulama seviyesinde bitkiyi kuraklıktan korumaya yetmediği gözlenmiştir.
- 4) Çalışmanın bu aşamasında % 50 kısıtlı suyun kullanıldığı, AMF ve 5 μ M ABA'nın uygulandığı fasulye bitkileri örtü altında yetiştirilmiş ve deneme sonucunda bitki gelişim parametreleri, verim ve verim unsurları, bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikler ile besin maddesi içeriği, hastalık şiddeti ve baskılanma oranı ve AMF gelişimi yönünden değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, AMF'nin genel olarak gerek tek gerekse stres faktörleri (kısıtlı su ve hastalık) ile beraber olduğu uygulamalarda bitki gelişimi, verim ve verim unsurları, makro ve mikro besin elementlerinin alımı ve hastalık

şiddetinin azalmasında olumlu etki gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca stres faktörlerinin uygulandığı uygulamalarda toplam fenol, antioksidan, MDA ve antioksidatif enzim içeriklerinin de kontrol uygulamasına göre arttığı belirlenmiştir. ABA'nın deneme kapsamındaki parametreler üzerindeki etkisi farklılık göstermekle beraber gerek kısıtlı su, gerekse patojenin yer aldığı uygulamalarda ABA içeriğinin kontrol bitkilerine göre artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu bulgular “stres hormonu” olarak adlandırılan ABA için anlamlı bulunmuştur.

Yukarıda belirtilen sonuçlar baz alınarak değerlendirme yapıldığında; bu çalışmada, bitkilerdeki su noksanlığı ve hastalık gibi önemli biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı özellikle AMF ve ABA uygulamasının başarılı sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

Tarım sektörü ürün verimliliği, ürün deseni, azalan su kaynakları, artan sıcaklık ve gıda güvenliği bakımından iklim değişikliğinden en çok etkilenen ve bu değişikliğe neden olan sektörlerden biridir. Bu nedenle, günümüzde tarım sektöründe, değişen iklim şartlarına uyumun sağlanmasına ve tarımsal faaliyetlerin neden olduğu karbon salınımının azaltılmasına yönelik yeni tarımsal yaklaşımlar kullanılmaktadır. İklim değişikliğinin tüm dünyada kendini daha çok hissettirdiği günümüzde, bu olgudan en çok etkilenen tarım sektöründe iklim değişikliğine uyum bağlamında elde edilen sonuçların anlamlı ve önemli olduğu düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Abawi, G.S., Pastor Corrales, M.A., 1990. **Root Rots of Beans in Latin America and Africa; Diagnosis, Research Methodologies and Management Strategies**. CIAT, Colombia. 114 p.
- Abdalla, M.M., El-Khoshiban, N.H., 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. **Journal of Applied Sciences Research**, 3(12): 2062-2074.
- Abott, L.K., Robson, A.D., 1978. Growth of subterranean clover in relation to the formation of endomycorrhizas by introduced and indigenous fungi in a field soil. **New Phytol.**, 81: 575-579.
- Adak, M.S., Güler, M., Kayan, N., 2010. **Yemeklik Baklagillerin Üretimini Arttırma Olanakları**, VII.Teknik Kongre, ZMO Yayınları, Ankara.
- Adie, B.A., Pérez-Pérez, J., Pérez-Pérez, M.M, Godoy, M., Sánchez-Serrano, J.J., Schmelz, E.A., 2007. ABA is an essential signal for plant resistance to pathogens affecting JA biosynthesis and the activation of defenses in Arabidopsis. **Plant Cell**, 19: 1665–81.
- Agarwall, S., Sairam, R.K., Srivastava, G.C., Tyagi, A., Meena, R.C., 2005. Role of ABA, salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzymes induction in wheat seedlings. **Plant Science**, 169: 559–570.
- Akbulut, İ., 2014. **Domates Fusarium Solgunluk ve Kök-Kökboğazı Çürüklüğü Hastalıklarına Karşı Biyolojik Mücadele Yöntemlerinin Araştırılması** (Yüksek Lisans Tezi). SDÜ, Fen Bilimleri Enst., Isparta.
- Akçın, A., 1988. Yemeklik Tane Baklagiller. **S.Ü.Ziraat Fakültesi**: 8-43.
- Akköprü, A., 2004. **Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) Glomus intraradices ve Bazı Kök Bakterilerinin (KB) Domateste Fusarium Solgunluğuna (Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici (Sacc.) Synd. Et Hans.) ve Bitki Gelişme Parametrelerine Etkisi** (Yüksek lisans tezi). YYÜ Fen Bilimleri Enst., Van.
- 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: 544–550.
- Al-Arjani, A-B.F., Hashem, A., Abd_Allah, E.F., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi modulates dynamics tolerance expression to mitigate drought stress in *Ephedra foliata* Boiss. **Saudi Journal of Biological Sciences**, 27: 380–439.
- Alemu, M., Jeffery, D.R., James, R.S., Prakash, R.A., Nacer, B., Pengyin, C., Grover, S., Debbie, B., 2018. Effect of charcoal rot on selected putative drought tolerant soybean genotypes and yield. **Crop Protection**, 105: 90-101.
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., Karanov, E., 2001. The effect of drought ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell And Environment**, 24(12): 1337-1344.
- Alexieva, V., Ivanov, S., Sergiev, I., Karanov, E., 2003. Interaction between stresses. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, 29(3-4): 1-17.

- Al-Karaki, G.N., Al-Raddad, A., 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza*, **7**: 83-88.
- Altunlu, H., (2011). *Aşılamanın Domateste Kuraklık Stresine Etkileri* (Doktora Tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ananieva, K., Ananiev, E.D., 1997. Comparative study of the effects of methyljasmonate and abscisic acid on RNA and protein synthesis in excised cotyledons of *Cucurbita pepo* L. (Zucchini), Bulg. *Journal of Plant Physiology*, **23** (3-4): 80-90.
- Anderson, J.P., Badruzsaufari, E., Schenk, P.M., Manners, J.M., Desmond, O.J., Ehlert, C., 2004. Antagonistic interaction between abscisic acid and jasmonate-ethylene signaling pathways modulates defense gene expression and disease resistance in Arabidopsis. *Plant Cell*, **6**: 3460–3479.
- Anonim, 1995. UNCCD (United Nations Conference on Desertification). <http://www.unccd.int>. Erişim Tarihi: 28.06.2020.
- Anonim, 2014. <http://www.agri.ankara.edu.tr/fcrops/1289>. Erişim tarihi: 08.02.2014.
- Anonim. 2009. DSİ Yayınları. <https://www.entofito.com/fasulyede-komur-sap-curukluqu-hastaligi-macrophomina-phaseolina>. Erişim tarihi: 29.09.2022.
- Asraf, M., Iram, A., 2005. Drought stress induced changes in some organic substances in nodules and other plant parts of two potential legumes differing in salt tolerance. *Flora*, **200**: 535–546.
- Asraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, **59**: 206-216.
- Atakan, A., 2020. *Karanfilde Mikorizal Fungus Uygulamalarının Fusarium Solgunluğu ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri* (Doktora Tezi). Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Isparta.
- Attia, H., Karray, N., Lachaa, M., 2009. Light interacts with salt stress in regulating superoxide dismutase gene expression in Arabidopsis. *Plant Science*, **177**: 161–167.
- Audenaert, K., De Meyer, G.B., Höfte, M.M., 2002. Abscisic acid determines basal susceptibility of tomato to *Botrytis cinerea* and suppresses salicylic acid-dependent signaling mechanisms. *Plant Physiology*, **128**: 491–501.
- Auge, M.R., Stodola, A.J.W., 1990. An apparent increase in symplastic water contributes to greater turgor in mycorrhizal roots of droughted rose plants. *New Phytologist*, **115**(2): 285-295. doi: 10.1111/j.1469-8137.1990.tb00454.x
- Aurisano, N., Bertani, A., Mattana, M., Reggiana, M., 1993. Abscisic acid induced stress-like polyamine pattern in wheat seedlings, and its reversal by potassium ions, *Physiology of Plant*, **89**: 687-692.
- Ayaş, S., Demirtaş, Ç., 2009. Deficit irrigation effects on cucumber (*Cucumis sativus* L. Maraton) yield in unheated greenhouse condition. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, **7**(3,4): 645-649.
- Ayrancı, R., 2012. *Farklı Kuraklık Tiplerinde Ekmeklik Buğday Genotiplerinin Fizyolojik, Morfolojik, Verim ve Kalite Özellikleri Yönüyle İslahı*

- Kullanılabilecek Uygun Parametrelerin Belirlenmesi.** Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Konya.
- Azpilicueta, C.E., Benavides, M.P., Tomaro, M.L., Gallego, S.M., 2007. Mechanism of CATA3 induction by cadmium in sunflower leaves. *Plant Physiol Biochemistry*, **45**: 589-95.
- Bağ, E., 2019. *Tuz Stresi Koşullarında Yetiştirilen Çilek (Fragaria ananassa duch.) Bitkilerine Uygulanan Mikorizanın Verim ve Bazı Vejetatif Büyüme Kriterleri Üzerine Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya.
- Baltruschat, H., 1975. *Untersuchungen über den einfluss der endotrophen mycorrhiza auf den befall von pflanze durch pathogene pilze, ins besondere von Nicotianatabacum durch Thielaviopsis basicola* (Doktora Tezi), Bonn Üniversitesi. 137 p.
- Bari, R., and Jones, J. D., 2009. Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Molecular Biology* **69**(4): 473-488.
- Baron, M., Mejia, G., 1998. Comparative study of enzymes related to proline metabolism in tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) and common bean (*Phaseolus vulgaris*) under drought and irrigated conditions and various urea concentrations. *Plant Foods For Human Nutrition*, **52**: 119-132.
- Basu, S., Roychoudhury, A., Paromita Saha, P., Sengupta, D.N., 2010. Differential antioxidative responses of Indica rice cultivars to drought stress. *Plant Growth Regulation*, **60**(1): 51-59.
- Başak, H., 2011. *Absisik Asit (ABA) Uygulamalarının Domates (Lycopersicon esculentum mill.) Fidelerinde Bazı Fizyolojik ve Morfolojik Özellikler İle Kök Gelişim Değerlerine Etkisi* (Doktora tezi). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Baştaş, K.K., 2016. Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitki Ekstraktlarının in vitro ve in vivo Koşullarda *Erwinia amylovora* ya Etkileri. *Uluslararası Katılımlı Türkiye VI. Bitki Koruma Kongresi*. 5-8 Eylül 2016, Konya. 801-801.
- Beauchamp, C., Fridovich, I., 1971. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, **44**: 276-87.
- Belimov, A.A., Safronova, VI., Mimura, T., 2002. Response of spring rape to inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria containing 1-aminocyclopropane-1- carboxylate deaminase depends on nutrient status of the plant. *Canadian Journal of Microbiology*, **48**: 189-199.
- Benlioğlu, S., Yıldız, A., Döken, T., 2004. Studies to determine the casual agents of soil-borne fungal diseases of strawberries in Aydın and the control them by soil disinfestation. *Journal of Phytopathology*, **152**: 509-513.
- Benlioğlu, S., Boz, Ö., Yıldız, A., Kaşkavalcı, G., Benlioğlu, K., 2005. Alternative soil solarization treatments for the control of soil-borne diseases and weeds of strawberry in the Western Anatolia of Turkey. *Journal of Phytopathology*, **153**: 423-430.
- Biçer, Ş., Erdiñç, Ç., Çömlekçioğlu, N., 2020. Hıyarda kök bakterisi (PGPR) ve arbusküler mikorizal fungus (AMF) aşılamaalarının farklı sulama seviyelerinde bitki gelişimi ve verim özelliklerine etkileri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi* (UTYHBD), **6**(1): 8-20.

- Blanco-Lopez, M.A., Jimenez-Diaz, R.M., 1983. Effect of irrigation on susceptibility of sunflower to *Macrophomina phaseolina*. **Plant Disease**, **67**: 1214-1217.
- Blum, K., Lohmann, B., ve Taute, E., 1986. Angular distribution and polarisation of auger electrons. **Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics**, **19**(22): 3815.
- Bonas, U., Lahaye, T., 2002. Plant disease resistance triggered by pathogen-derived molecules: refined models of specific recognition. **Current Opinion Microbiology**, **5**:44–50.
- Bonfante - Fasolo, P., 1984. **Anatomy and morphology of VA mycorrhizae**. CRC Press., 1 st edition: 5-33.
- Boughalleb-Mu, H.N., Ben Salem, İ., Hamdi, M.M., 2018. Evaluation of the efficiency of Trichoderma, Penicillium, and Aspergillus species as biological control agents against four soil-borne fungi of melon and watermelon. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, **28**: 25.Doi:10.1186/s41938-017-0010-3.
- 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.
- Bozcuk, A.N., Bozcuk, S., Topçuoğlu, F. ve Yeşilada, E., 1992. **Bitki Büyüme Regülatörlerinden Kinetin ve Absisik Asit (ABA)’in Drosophila melanogaster (Meyve Sineği)’de Gelişme ve Yumurta Verimi Üzerine Etkisi**. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Projesi, TAEK 89/2, Malatya.100 s.
- Bray, E.A., 1997. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, **2**: 48-54.
- Brito, G., Costa, A., Fonseca, H., Santos, C., 2003. Responses of *Olea europea* ssp. Madernsis in vitro shoots exposed to osmotic stress. **Scientia Horticulturae**, **97**: 411-417.
- Broughton, W.J., Hernández, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., Vanderleyden, J., 2003. beans (*Phaseolus spp.*) - Model food legumes. **Plant Soil**, **252**: 55-128.
- Brundrett, M. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**, **21**: 171-313.
- Budak, B., Khalvati, M.A., Özkan, Ş.S., 2017. Arbusküler mikorizal mantarların kurak bölgelerde ve düşük girdili bitkisel üretim sistemlerinde kullanımı. **Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Dergisi**, **14**(2): 69-73.
- Chapin, F.S., 1991. Integrated responses of plants to stress. **Bioscience**, **41**:29-36.
- Charles, S.A., Halliwell, B., 1980. Effect of hydrogen peroxide on spinach (*Spinacia oleraceae*) chloroplast, fructose biphosphatase. **Biochemistry**, **189**:373-376.
- Chen, W., Meng, P., Feng, H., Wang, C., 2020. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiological performance of *Catalpa bungei* C.A. Mey. under drought stress. **Forests**, **11**(10):1117. <https://doi.org/10.3390/f11101117>.
- Conrath, U., Pieterse, C.M.J., Mauch-Mani, B., 2002. Priming in plant–pathogen interactions. **Trends in Plant Science**, **7**(5):210-6. doi: 10.1016/s1360-1385(02)02244-6.
- Cornic, G., 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture—not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science**, **5**:187-188.

- Coşkun, A., Demir, S., Sipahioğlu, H.M., 2015. Bazı Yazlık Kabak Çeşitlerinde (Cucurbita pepo L.) Arbusküler MikorizalFungus (AMF) Uygulamasının Kabak Sarı Mozaik Virüsü (Zucchini Yellow Mosaic Potyvirus-ZYMV)'ne Etkileri. *The Journal of Turkish Phytopathology*, **44**(1):11-21.
- Creelman, R.A. 1989. Absciscic acid physiology and biosynthesis in higher plants. *Physiology Plant.*, **75**:131-136.
- Crous, P. W., Slippers, B., Wingfield, M. J., Rheeder, J., Marasas, W. F. O., Philips, A. J. L., et al., 2006. Phylogenetic lineages in the Botryosphaeriaceae. *Studies of Mycology* **55**:235–253. doi: 10.3114/sim.55.1.235.
- Çakar, 2020. *Endofit Bakteriler ve Arbusküler Mikorizal Fungusun Biberde Bakteriyel Leke Hastalığı ve Bazı Bitki Gelişim Parametrelerine Etkisi* (Yüksek lisans tezi). YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim dalı, Van.
- Çetinkaya, N., Dura, S., 2010. Mısır vejetatif gelişimi ve verimi üzerinde bir endomikorizal preparatın etkileri.*Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **47**(1):53-59.
- Çırak, C., Esendal, E., 2006. Soyada kuraklık stresi, *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, **21**(2):231-237.
- Çulha, S., Çakırlar, H., 2011. Tuzluluğun bitkiler üzerine etkileri ve tuz tolerans mekanizmaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **11**-34.
- Daşgan, H.Y., Koç, S., Ekici, B., 2006. Bazı fasulye ve börülce tiplerinin tuz stresine tepkileri. *Alatarım Dergisi* **5**(1):23-31.
- Davies, J.P., 1995. "Plant hormones", *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht / Boston / London, 298-317.
- Davis, R.M., Menge, J.A., Erwin, D., 1979. Influence of *Glomus fasciculatus* and soil phosphorus on Verticillium wilt of cotton. *Phytopathology*, **69**:453-456.
- de Torres-Zabala, M., Truman, W., Bennett, M.H., Lafforgue, G., Mansfield, J.W., Rodriguez Egea, P., 2007. *Pseudomonas syringae* pv. tomato hijacks the Arabidopsis abscisic acid signalling pathway to cause disease. *Embo Journal*, **26**:1434–43.
- Declerck, S., Plenchette, C., Strullu, D.G., 1995. Mycorrhizal dependency of banana (Musa acuminata, AAA group) cultivar. *Plant Soil*. **176**:183-187.
- Dehne, H. W., 1977. *Untersuchungen über den einfluss der endotrophen mycorrhiza auf die Fusarium - welke an tomate und gurke* (Doktora Tezi). Bonn Üniversitesi, 150p.
- Dehne, H.W., 1982. Interaction between vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology*, **72**:1115-1119.
- Delattore, C., Rodriguez, A., Rodriguez, L., Majada, J.P., Ordae, R.J., Feito, I., et al.2017. Hormonal profiling development of simple method to extract and quantify phytohormones in complex matrices by Uhpic –Ms/Ms. *J. Chromatogr., B* **1040**:239-249.
- Demir, S., 1998. *Bazı Kültür Bitkilerinde Vesiküler-ArbuskülerMikoriza (VAM) Oluşumu ve Bunun Bitki Gelişimi ve Dayanıklılıktaki Rolü Üzerinde Araştırmalar (Doktora Tezi)*. Ege Üni., FBE, Bitki Koruma ABD, İzmir, 114 s.
- Demir, S., Aslanpay, B., 2015. Arbusküler mikorizal fungus (AMF) ve hüyük asitin biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinin gelişimi ve *Phytophthora capsici*

- Leonian'ın neden olduğu kök boğazı çürüklüğü hastalığına etkileri. *YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(1):48–57. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.236390>.
- Demir, S., Onoğur, E., 1999. Bitkilerde vesiküler arbusküler mikoriza oluşumunun bitki besleme ve bitki korumadaki önemi. *Anadolu Journal of Agriculture*, 9(2):12–31.
- Demir, S., 2001. Mikorhizal fungus *Glomus intraradices* (Schenck & Smith)'in Bazı Sebze Bitkilerinin Köklerinde Kolonizasyonu. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, 12(1):53–57.
- Demirel, M., 2019. *Farklı Sulama Seviyeleri ve Mikoriza Mantarı Uygulamalarının Biberde (Capsicum annuum L.) Verim ve Kaliteye Etkileri* (Yüksek lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Dhingra, O.D., Sinclair, J.B., 1978. *Biology and Pathology of Macrophomina phaseolina*. O.D. Dhingra and J.B. Sinclair eds. Universidade Federal De Vicos, Minas Gerais. 166p.
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P.I., Fall, D., Hoher, 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.
- Duman, S. 2013. *Solanum muricatum Ait. Bitkisinin Kuraklık Stresine Karşı Bazı Fizyolojik Değişimlerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.
- Ekinci, 2012. Hakkari yöresi kuşburnu genotiplerinin (*Rosa spp.*) bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(1): 7–11.
- Ekmen, P.A., 2019. *Farklı Sulama Seviyeleri ve Mikorizal Fungus Uygulamalarının Patlıcanda (Solanum melongena L.) Verim ve Kalite Üzerine Etkileri* (Yüksek lisans tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Erb, M., Köllner, T.G., Degenhardt, J., Zwahlen, C., Hibbard, B.E., Turlings, T. C. J., 2011. The role of abscisic acid and water stress in root herbivore-induced leaf resistance. *New Phytologist*, 189(1):308–20.
- Erdoğan, Ç., Türkmen, Ö., Şensoy, S. 2013. Türkiye'nin bazı fasulye genotiplerinin çeşitli bitkisel özelliklerinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(2):112–125.
- Faostat, 2020. FAOSTAT–Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Erişim Tarihi: 15.03.2019
- Farrant, J.M., 2000. A Comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species. *Plant Ecology*, 151:29–39.
- Fernández-Lizarazo, J.C., Liz Patricia Moreno-Fonseca, L.P., 2016. Mechanisms for tolerance to water-deficit stress in plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agronomía Colombiana*, 34(2):179–189.
- Fernandez, P., 2010. *Study of Charcoal Rot Disease Using The Model Plant Arabidopsis thaliana* (Master of Science). Wichita State University, Bachelor of Science, Mount Carmel College, USA.
- Finkelstein, R.R., Gampalasingvas, S.L. and Rock, C.D., 2002. Abscisic acid signaling in seeds and seedlings, *The Plant Cell*, 14:15–45.
- Finley, R.D., 2005. Mycorrhizal symbiosis: myths, misconceptions, new perspectives and future research priorities. *Mycologist*, 19(3): 90–95

- Frugoli, J.A., Zhong, H.H., Nuccio, M.L., McCourt, P., McPeck, M.A., 1996. Catalase is encoded by a multigene family in *Arabidopsis thaliana* (L.). **Plant Physiology**, **112**:327-36.
- Garciarrubio, A., Legaria, J.P. and Covarrubias, A.A., 2003. Absciscic acid inhibits germination of mature arabidopsis seeds by limiting the availability of energy and nutrients. **Planta**, **2**:182-187.
- Gerdemann, J. W., & Nicholson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from the soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, **46**:234-244.
- Gerdemann, J.W., 1968. Vesicular - Arbuscular mycorrhiza and plant growth. **Annual Review of Phytopathology** **6**:397-418.
- Georgieva, K., Szigeti, Z., Sarvari, E., Gaspar, L., Maslenkova, L., Peeva, V., Tuba, Z., 2007. Photosynthetic activity of homoiochlorophyllous desiccation tolerant plant *Haberlea rhodopensis* during dehydration and rehydration. **Planta**, **225**(4):955-964.
- Ghaffar, A., Erwin, D.C., 1969. Effect of soil water stress on root rot of cotton caused by *Macrophomina phaseoli*. **Phytopathology**, **59**:795-797.
- Gill-Langarica, H.R., Maldonado-Moreno, N., Pecina Quintero, V.Y., Mayek-Pérez, N., 2008. Reacción de Germoplasma mejorado de soya [*Glycine max* (L.) Merr.] a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich y déficit hídrico. **Revista Mexicana de Fitopatología** **26**:105-113.
- Giovannetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, **84**:489-500.
- Giraudat, J., Parcy, F., Bertauche, N., Gosti, F., Leug, J., Morris, P.C., Bouvier-Durand, M. and Vartanian, N., 1994. Current advances in abscisic acid action and signaling. **Plant Molecular Biology**, **26**:1557-1577.
- Gonai, T., Kawahara, S., Tougou, M., Satoh, S., Hashiba, T., Hirai, N., Kawaide, H., Kamiya, Y. and Yoshioka, T., 2004. Absciscic acid in the thermo inhibition of lettuce seed germination and enhancement of its catabolism by gibberellin, **Journal of Experimental Botany**, **55**:111-118.
- Güler, N.S., Saglam, A., Demiralay, M., Kadioğlu, A., 2012. Apoplastic and symplastic solute concentrations contribute to osmotic adjustment in bean genotypes during drought stress. **Turkish Journal of Biology**, **36**:151-160.
- Gülümser, A., 2016. Dünyada ve Türkiye’de yemeklik dane baklagillerin durumu. **Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi**, **25** (Özel sayı-1):292-298.
- Günay A, 2005. Sebze Yetiştiriciliği. İzmir, **2**:345s.
- Güneri Bağcı, E., 2010. **Nohut Çesitlerinde kuraklığa bağlı oksidatif stresin fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerle belirlenmesi** (Doktora tezi, basılmamış). Ankara üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, s. 403, Ankara.
- Güneş, A., İnal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bağcı, E.G., Çiçek, N., 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. **Journal of Plant Physiology**, **164**(6):728-736.
- Güneş, H., Boyno, G., Demire Durak, E., 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**:235-247.
- Gür, K., 1975. Vesiküler-arbusküler (VA) mikoriza'nın aktivite ve dağılışı üzerinde çalışmalar. TBTA Bilim Kongresi, *TOAG*, TBTA Yayın No: 361, Seri No: 68, s:239-252.
- Gür, K., 1976. Vesiküler-arbusküler (VA) mikoriza'nın Erzurum Kan siltli tını ve Palandöken çakıllı tınında yetiştirilen soğan bitkisinin gelişmesi ve fosfor alımı üzerine etkisi. *Atatürk Üniv. Zir. Fak. Dergisi*, **7**(3):13-23.
- Güzel, A., 2006. *Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Domates Bitkilerinde Bazı Fizyolojik ve Büyüme Parametreleri Üzerine Absisik Asit (ABA) ve Kalsiyum'un (Ca^{2+}) Etkisinin İncelenmesi* (Yüksek lisans Tezi). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., 1999. Free radicals in biology and medicine. *Oxford University Press*, 3rd Edition, 1-25.
- Harinasut, P., Poonsopa, D., Roengmongkol, K., Charoensataporn, R., 2003. Salinity effects on antioxidant enzymes in mulberry cultivar. *Sci Asia*, **29**:109-13.
- Hartung, W., Wilkinson, S. and Davies, W., 1998. Factors that regulate abscisic acid concentrations at the primary site of action at guard cell. *J. Exp. Bot.* **49**:361-367.
- Hashem, A., Fathi Abd_Allah, E., A. Alqarawi, A., Radhakrishnan, R., Kumar, A., 2017. Plant defense approach of *Bacillus subtilis* (BERA71) against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidin mung bean. *Journal of Plant Interactions*, **12**(1):390-401.
- Hassan Dar, G., Zargar, M. Y., Beigh, G. M., 1997. Biocontrol of Fusarium Root Rot in the Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by Using Symbiotic Glomus mosseae and Rhizobium leguminosarum. *Microbial Ecology*, **34**:4-80.
- Hayman, D., Mosse, B., 1972. Plant growth to vesicular - arbuscular mycorrhiza. III. Increased uptake of labile P from soil. *New Phytologist*, **71**:41-47.
- Hayman, D.S., 1981. Mycorrhiza and its significance in horticulture. *The Plantsman*, **2**(4): 214-224.
- Hayman, D., 1982. Influence of soils and fertility on activity and survival vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Phytopathology*, **72**:1119-1126.
- Hefel, A.J., 2015a. *Exploring the Role of ABA in Plant Defense Against the Necrotrophic Pathogen Macrophomina phaseolina*. In Proceedings: 11th Annual Symposium on Graduate Research and Scholarly Projects, Wichita State University, Wichita, KS.
- Hefel, A.J., 2015b. *The link between susceptibility to Macrophomina phaseolina and three phytohormones in Medicago truncatula*. Shuai, Bin Publisher Information Wichita State University Publication Year, Bachelor of Science, University of Kansas.
- Hei, L., Li, C., Liu, R., 2017. Indirect interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and Spodoptera exigua alter photosynthesis and plant endogenous hormones. *Mycorrhiza*, **27**(6):525-535. doi: 10.1007/s00572-017-0771-2.
- Hoşgören, Ç., 2019. *Çoklu Stres Koşullarının Kinoada (Chenopium quinoa Willd.) Su Kullanım ve Verim Parametrelerine Etkisi (Yüksek Lisans Tezi)*. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Hsu, Y.T, Kao, C.H., 2007. Heat shock-mediated H₂O₂ accumulation and protection against Cd toxicity in rice seedlings. ***Plant Soil*, 300:137-47.**
- Iqbal,U.,Tariq Mukhtar,T.,Iqbal, S.M., 2014. In vitro and in vivo evaluation of antifungal activities of some antagonistic plants against charcoal rot causing fungus *Macrophomina phaseolina*. ***Pakistan Journal of Agricultural Science*, 51(3):691-696.**
- Jabaji-Hare, S., Deschere, A., Kendrick, B., 1984. Lipid content and composition of vesicles of vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi. ***Mycologia*, 76:1024-1031.**
- Jacobs, A.K., Lipka, V., Burton, R.A., Panstruga, R., Strizhov, N., Schulze-Lefert, P., 2003. An Arabidopsis callose synthase, GSL5, is required for wound and papillary callose formation. ***Plant Cell*, 15:2503-13.**
- Jacobsen, I., 1994. Research approaches to study the functioning of vesicular arbuscular mycorrhizas in the field. ***Plant and Soil*, 159:141-142.**
- Jalali, BL., Chhabra, ML., Singh, RP., 1983. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal endophyte and *Macrophomina phaseolina* in mungbean. ***Indian Phytopathology*, 43(4):527-530.**
- Javaid, A., Afzal, L., Shoaib, A., 2017. Biological control of charcoal rot of mungbean by *Trichoderma harzianum* and shoot dry biomass of *Sisymbrium irio*. ***Planta Daninha*, v. 35(Article No. e017165756):1-12.** Doi: 10.1590/S0100-83582017350100075.
- Jebara, S., Jebara, M., Limam, F., Aouani, M. E., 2005. Changes in ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase activities in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress. ***Journal of Plant Physiology*, 162(8):929-936.**
- Jiang, M. and Zhang, J., 2001. Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. ***Plant and Cell Physiology*, 42(11):265-1273.**
- Johansen, A., Jacobsen, I., Jensen, E.S., 1993. External hyphae of vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L 3. hyphal transport of ³²P and 15 N. ***New Phytologist*, 124:61-68.**
- Jones, H.G., 1992. Plants and Microclimate, Cambridge University Press, Cambridge.
- Jung, S., 2004. Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *Arabidopsis thaliana* subjected to drought. ***Plant Science*, 166:459-466.**
- Kabar, K., 1998. Comparative effects of kinetin, benzyladenine, and gibberellic acid on abscisic acid inhibited seed germination and seedling growth of red pine and arbor vitae, ***Turkish Journal of Botany*, 22:1-6.**
- Kabay, T., 2014. ***Van Gölü Havzasında Kuraklık ve Yüksek Sıcaklığa Tolerant ve Duyarlı Fasulye Genotiplerinin Belirlenmesi*** (Doktora Tezi).Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Kabay, T., Şensoy, S., 2016. Enzyme, chlorophyll and ion changes in some common bean genotypes by drought stress. ***YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3):380-395.**
- Kabay, T., Alp, Y., 2017. The effect of drought stress on plant development in some landraces and commercial tomato genotypes. ***YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(3):387-395.**

- Kacar, B., Katkat, B., Öztürk, S., 2006. **Bitki Fizyolojisi**. Nobel Yayın Dağıtım. 2:493-533.
- Kacar, B., İnal, A., 2008. **Bitki Analizleri**. Fen Bilimleri, 63 (I. Basım). Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Yayınları, Yayın No: 1241, Ankara.
- Kaiser, W.M., 1979. Reversible inhibition of the calvin cycle and activation of the oxidative pentose phosphate cycle in isolated intact chloroplasts by hydrogen peroxide. **Planta**, **145**:377-382.
- Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y., 2005. The effect of drought on plants and tolerance mechanisms. **G. U. Journal Of Science**, **18**(4):723-740.
- Karaca, İ., 1974. **Sistemik Bitki Hastalıkları, Deuteromycetes**. Cilt: IV. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No:217, Bornova.
- Karak, 2021. **Mikorizal Fungus ve Vermikompost Uygulamalarının Patateste Rhizoctonia solani kühn. ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri**. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Karakaş, B., Ozias- Akıns, P., Stushnoff, C., Suefferheld, M., Rieger, M., 1997. Salinity and drought tolerance of mannitol accumulating transgenic tobacco. **Plant, Cell and Environment**, **20**:609-616.
- Kaya, C., Tuna, A.L., 2010. Potasyumun tuz stresinde yetişen bitkilerde rolü ve önemi. <http://www.ipipotash.org>.
- Kaya, E., Daşgan, H.Y., 2013. Erken Bitki gelişme aşamasında kuraklık ve tuzluluk streslerine tolerans bakımından fasulye genotiplerinin taranması. **Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **29**(2):39.
- Kelen, M., Demiralay, E.Ç., Şen, S., Alsancak, G.Ö., 2004. Separation of abscisic acid, indole-3-acetic acid, gibberelic acid in 99 R (*Vitis berlandiarix* *Vitis rupestris*) and rose oil (*Rosa damascena* Mill) by Reversed Phase Liquid Chromatography. **Turkish Journal of Chemistry**, **28**(5):8.
- Keskin, L., 2009. **Bazı Patlıcan Genotiplerinde Fide Gelişimi ve Besin Elementi İçeriklerine Arbuscular Mikorizal Fungus Uygulamalarının Etkileri** (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Khaledi, N., Taheri, P., 2016. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma harzianum* against soybean charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina*. **Journal of plant protection research**, **56**:1. DOI: 10.1515/jppr-2016-0004.
- Khan, A.A., Downing, R.D., 1968. Cytokinin reversal of abscisic acid inhibition of growth and α -amylase synthesis in barley seed. **Physiol. Plant**, **21**:1301-1307.
- Khan, N.A., Samiullah, T., Singh, S., Nazar, R., 2007. Activities of antioxidative enzymes, sulphur assimilation, photosynthetic activity and growth of wheat (*triticum aestivum*) cultivars differing in yield potential under cadmium stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, **193**:435-44.
- Kırbağ, S., Turan, N., 2006. Malatya' da yetiştirilen bazı sebzelerde kök ve kökboğazı çürüklüğüne neden olan fungal etmenler. **Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim Dergisi**, **18**(2):159-164.
- Killham, K. 1995. **Soil Ecology**. Cambridge University Press. Uk.
- Kocaman, A., 2010. **Farklı Su Streslerinde Yetiştirilen Buğday Bitkisinin (Triticum aestivum L.) Soğuğa Dayanımını Arttırmak Amacıyla Uygulanan Humik Asit**,

- Salisik Asit ve Absisik Asit Uygulamalarının Antioksidan Enzimler ve Verim Unsurları Üzerine Etkisi.*** Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kocaçalışkan, İ., 2003. Bitki Fizyolojisi. DPÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Yayını, 420.
- Koç, S., 2005. ***Fasulyelerde Tuzluluğa Tolerans Bakımından Genotipsel Farklılıkların Erken Bitki Gelişimi Aşamasında Belirlenmesi*** (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Koike, S.T., 2008. Crown rot of strawberry caused by *Macrophomina phaseolina* in California. ***Plant Disease***, **92**:1253.
- Kozłowski, T.T., Pallardy, S.G., 1997. Physiology of Woody Plants, ***Academic Press***, San Diego.
- Kulshreshta S, Mishra DP, Gupta RK. 1987. Changes in content of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplast and chloroplast membrane fractions at different leaf water potentials in drought resistant and sensitive genotypes of wheat. ***Photosynthetica***, **21**(1):65-70.
- Kuşvuran, S., 2010. ***Kavunlarda Kuraklık ve Tuzluluğa Toleranslı Fizyolojik Mekanizmaları Arasındaki Bağlantılar*** (Doktora tezi, basılmamış). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 356, Adana.
- Lawlor, D.W., Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. ***Plant, Cell and Environment***, **25**(2):275-294.
- Li, H., Li, S., Wang, Z., Liu, S., Zhou, R., Li, X., 2020. Absciscic acid-mimicking ligand AMF4 induced cold tolerance in wheat by altering the activities of key carbohydrate metabolism enzymes. ***Plant Physiology and Biochemistry***, **157**:284-290. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.10.019.
- Li, J., Meng, B., Chai, H., Yang, X., Song, W., Li, S., Lu, A., Tao Zhang, T., Wei Sun, W., 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate drought stress in C₃ (*Leymus chinensis*) and C₄ (*Hemarthria altissima*) grasses via altering antioxidant enzyme activities and photosynthesis. ***Frontier Plant Science***, **10**:499. doi: 10.3389/fpls.2019.00499.
- Linderman, R.G. 1994. Role of VAM Fungi in Biocontrol. Pages 1-17 in: Mycorrhizae and Plant Health. Edited by F.L. Pfleger and R.G. Linderman, 344 p., ***APS Press***, St Paul, Minnesota, USA.
- Linderman, R.G., Davis, A.E., 2004. Varied response of marigold (*Tagetes* spp.) genotypes to inoculation with different arbuscular mycorrhizal fungi. ***Sci. Hort.*** **99**:67-78.
- Liotenberg, S., North, H. and Marion-Poll, A., 1999. Molecular biology and regulation of absciscic acid biosynthesis in plants. ***Plant Physiology Biochemistry***, **37**:341–350.
- Majumdar S, Ghosh S, Glick BR, Dumbroff EB. 1991. Activities of chlorophyllase, phosphoenolpyruvate carboxylase and ribulose-1, 5- bisphosphate carboxylase in primary leaves of soybean during senescence and drought. ***Physiologia Plantarum***, **81**:473-480.
- Maksimov, I.V., 2009. Absciscic acid in the plants–pathogen interaction. ***Russian Journal of Plant Physiology***, **56**(6): 824-835.

- Martínez-Medina , A., Roldán , A., Albacete, A., Pascual, J.A., 2011. The interaction with arbuscular mycorrhizal fungi or *Trichoderma harzianum* alters the shoot hormonal profile in melon plants. ***Phytochemistry***, **72**:223-229.
- Martinez, J.P., Silva, H., Ledent, J.F., Pinto, M., 2007. Effects of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall Elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) ***European Journal of Agronomy***, **26**:30-38.
- Mathur, S., Tomar, R.S., Jajoo, A., 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress. ***Photosynthesis Research*** **139** (1-3):227-238.
- Mayek-PÉrez, N., García-Espinosa, R., LÓpez-CastaÑeda, C., Acosta-Gallegos, J. A., & Simpson, J., 2002. Water relations, histopathology and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during pathogenesis of *Macrophomina phaseolina* under drought stress. ***Physiological and Molecular Plant Pathology***, **60**(4):185-195.
- McElrone, A.J., Forseth, I.N., 2004. Photosynthetic responses of a temperate liana to *Xylella fastidiosa* infection and water stress. ***Journal of Phytopathology***, **152**:9–20.
- McElrone, A.J., Sberald, J.L., Forseth, I.N., 2001. Effects of water stress on symptomatology and growth of *Parthenocissus quinquefolia* infected by *Xylella fastidiosa*. ***Plant Disease***, **85**:1160–4.
- McElrone, A.J., Sberald, J.L., Forseth, I.N., 2003. Interactive effects of water stress and xylem-limited bacterial infection on the water relations of a host vine. ***Journal of Experimental Botany***, **54**:419–30.
- Mckersie, B.D., Leshem, Y., 1994. ***Stress and Stress Coping in Cultivated Plants***. Kluwer Academic Publishers, The Journal of Agricultural Science, **125**:1, Netherlands. pp.169. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600074694>.
- Melotto, M., Underwood, W., Koczan, J., Nomura, K., He, S.Y., 2006. Plant stomata function innate immunity against bacterial invasion. ***Cell***, **126**:969–80.
- Mengistu, A., Smith, J.R., Ray, C.D., Bellaloui, N., 2011. Seasonal progress of charcoal rot and its impact on soybean productivity. ***Plant Disease***, **95**(9):1159-1166. DOI:10.1094/PDIS-02-11-0100.
- Mengistu, A., Ray, C.D., Smith, J.R., Arelli, P.R., Bellaloui, N., Chen, P., Shannon, G., Boykin, D., 2018. Kömür çürüklüğü hastalığının kuraklığa tolerat olduğu varsayılan soya fasulyesi genotipleri ve verim üzerine etkisi. ***Crop Protection***, **105**: 90-101. Crop Protection journal homepage: www.elsevier.com/locate/cropro.
- Mihail, J.D., 1992. *Macrophomina*. In: Methods for research on soilborne phytopathogenic fungi. **Ed. Larry L. Singleton**, Jeanne D. Mihail, Charles M. Rush. Pp.134-136. APS Press. ***The American Phytopathological Society***. Second edition, 1993. St., Paul, Minnesota.
- Milam, M. R.; Kang, M. S.; Snow, J. P.; Berggren, G. T., 1989. Influence of charcoal rot on hybrid grain sorghums grown on the Macon Ridge. ***Louisiana Agriculture***, **33**(2):10-11.
- Mobin, M., Khan, N.A., 2007. Photosynthetic activity, pigment composition and anti-oxidative response of two mustard (*Brassica juncea*) cultivars differing in

- photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. *Journal of Plant Physiology*, **164**:601-10.
- Mohammad, M., Pan, W.L., Kennedy, A.C., 1995. Wheat responses to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungal inoculation of soils from eroded toposequences. *Soil Science Society*, **59**:1086–1090.
- Montesano, M., Brader, G., Palva, E.T., 2003. Pathogen derived elicitors: searching for receptors in plants. *Molecular Plant Pathology*, **4**(1):73–9.
- Mohr Peter, G., Cahill, D., 2003, Absciscic acid influences the susceptibility of *Arabidopsis thaliana* to *Pseudomonas syringae* pv. tomato and *Peronospora parasitica*, *Functional Plant Biology*, **30**(4):461-469. doi: 10.1071/FP02231.
- Mosse, B., 1973. Advanced in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Annual Review Phytopathology* **11**:429-454.
- Moussa, H.R., Abdel-aziz, S.M., 2008. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. *Australian Journal of Crop Science*, **1**(1):31-36.
- Munns, R., Cramer, R., 1996. “Is coordination of leaf and root growth mediated by absciscic acid? Opinion”, *Plant and Soil*, **185**:33-49.
- Munns, R. and King, R.W., 1988. Absciscic acid is not the only stomatal inhibitor in the transpiration stream of wheat plants. *Plant Physiology*, **88**:703-708.
- Nam, M., 2010. *Patates Çesitlerinin Yüksek Sıcaklık Stresine Toleranslarının Büyüme ve Verim Parametreleri İle Hücre Zarı Stabilitesi Yöntemine Göre Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış). Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Nasri, M., Zahedi, H., Moghadam, H.R.T., Ghooshci, F., Paknejad, F., 2008. Investigation of water stress on macro elements in rapeseed genotypes leaf (*Brassica napus*). *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, **3**(4): 669-672.
- Nathalie, M., Giachero, M.L., Declerck, S., Ducasse, D.A., 2021. *Macrophomina phaseolina*: General characteristics of pathogenicity and methods of control. *Frontiers in Plant Science*. doi: 10.3389/fpls.2021.634397
- Neill, S.J., Burnett, E.C., 1999. “Regulation of gene expression during water deficit stress” *Plant Growth Regulation*, **29**:23-33.
- Newman, E. I., Eason, W. R., Eissenstat, D. M., Renes, M. I. R. F., 1992. Interactions between plants: the role of mycorrhizas. *Mycorrhiza*, **1**:47-53.
- Nikolaeva, M.K., Maevska, S.N., Shugaev, A.G., Bukhov, N.G., 2010. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, **57**(1):87-95.
- Nooden, L.D., 1988. Absciscic acid, auxin and other regulators of senescence. Senescence and aging in plants. *Academic Press*, p:329–68, San Diego.
- Nouri-Ganbalani, A., Nouri-Ganbalani, G., Hassanpanah, D., 2009. Effects of drought stress condition on the yield and yield components of advanced wheat genotypes in Ardabil, Iran. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, **7**(3-4):228-234.
- Olson, A.J., Pataky, J.K., D’Arcy, C.J., Ford, R.E., 1990. Effects of drought stress and infection by Maize dwarf mosaic virus on sweet corn. *Plant Disease*, **74**:147–51.

- Onaran, A., Yanar, Y., 2009. Türkiye’de *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) De Bary üzerinde yapılan çalışmalar. **Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi**, 2(2):75-80.
- Ortaş, İ., 1996. The influence of use of different rates of inoculum on rootinfection plant growth and phosphorus uptake. **Communication Soil Science and Plant Analyses**, 27(18-20):2935-2946.
- Ortaş, İ., 1997. Mikoriza nedir? **Tübitak Dergisi**, Sayı:351.
- Ortaş, İ., 1998. **Toprak ve Bitkide Mikoriza**. Ç.Ü. Ziraat Fak. Toprak Bölümü, Adana, 61s.
- Özcan, S., Babaoğlu, M., Gürel, E., 2004. Bitki Biyoteknolojisi Genetik Mühendisliği ve Uygulamaları, S.Ü. Vakfı Yayınları, Konya.
- Özen, H.Ç., Onay, A., 2007. **Bitki Fizyolojisi**. Nobel Yayım Dağıtım, 275-2871.
- Özer, A., 2008. **Bazı Kavun Genotiplerinde Arbusküler Mikorizal Fungus Uygulamalarının Fide Gelişimi ve Fusarium oxysporum f.sp. melonis’e Dayanıklılık Düzeylerine Etkileri** (Yüksek lisans tezi).Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özfıdan, C., 2010. **Ekzojen ABA Uygulamasının Kuraklık Stresi (peg-6000) Altındaki Yabani ve ABA-eksik Arabidopsis Mutantları Üzerindeki Biyokimyasal ve Fizyolojik Etkilerinin Araştırılması** (Doktora Tezi). Ege Üniv., Fen BilimleriEnstitüsü, İzmir.
- Özkur Ö 2010. **Capparis ovata Bitkisinde Kuraklık Stresi Koşullarında Antioksidant Savunma Sisteminin İncelenmesi**. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 75s.
- Palma, F., Lluch, C., Iribarne, C., García-Garrido, J. M. ve García, N. A. T., 2009. Combined effect of salicylic acid and salinity on some antioxidant activities, oxidative stress and metabolite accumulation in *Phaseolus vulgaris*. **Plant Growth Regulation**, 58(3):307-316.
- Palta, Ş., Demir, S., Şengönül, K., Kara, Ö., Şensoy, H., 2010. Arbusküler mikorizal funguslar (AMF), bitki ve toprakla ilişkileri, mera ıslahındaki önemleri. **Bartın Orman Fakültesi Dergisi**, 12(8):87-98.
- Pan, X., Welti, R., Wang, X., 2010. Quantitative analysis of majör plant hormones in crude plant extracts by high-performance liquid chromatography-mess spectrometry. **Nat. Protoc.**, 5:986-992. Doi:10.1038/nprot. 2010.37.
- Pastor-Corrales, M.A., Abawi, G.S., 1988. Reactions of selected bean accessions to infection by *M. phaseolina*. **Plant Diseases**, 72:39-41.
- Pathak, D. M., Patel, R. R., 2019.  *In vitro* evaluation of fungicides and organic extracts against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. isolated from pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]. Department of Plant Pathology, College of Agriculture, Navsari Agricultural University, **International Journal of Plant Protection**, 12(2):147-151.
- Pearson, J.N., and Jacobsen I., 1993. The relative contribution of hyphae and roots to phosphorus uptake by arbuscular mycorrhizal plants, measured by dual labelling with ³²P. and ³³P. **New Phytologist.**, 124:489-494.
- Phillips, J.M. and Hayman, D.A. (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*, 55:158-161. [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3).
- Pınar, H., Ortas, İ., 2012. Farklı biber genotiplerinin mikorizaya bağımlılıklarının belirlenmesi. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt:27(3).
- Pinheiro, H.A., Damatta, F.M., Chaves, A.R.M., Fontes, E.P.B., Loureiro, M.E., 2004. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of coffee canephora subjected to long-term drought. *Plant Science*, 167:1307-1314.
- Polidoros, N.A, Scandalios, J.G., 1999. Role of hydrogen peroxide and different classes of antioxidants in the regulation of catalase and glutathione S-transferase gene expression in maize (*Zea mays* L.). *Physiologia Plantarum*, 106:112-20.
- Polle, A., Chakrabarti, K., Chakrabarti, S., Seifert, F., Schramel, P., Rennenberg, H., 1992. Antioxidants and manganese deficiency in needles of Norway spruce (*Picea abies* L.) Trees. *Plant Physiology*, 99(3):1084-9. doi: 10.1104/pp.99.3.1084.
- Prasch, C.M., Sonnewald, U., 2013. Simultaneous application of heat, drought, and virus to Arabidopsis plants reveals significant shifts in signaling networks. *Plant Physiology*, 162:1849–66.
- Priya, F., 2013. *Study of Charcoal Rot Disease Using The Model Plant Arabidopsis thaliana*(Master Thesis). Wichita State University, Wichita, USA.
- Purkayastha, S., Kaur, B., Dilbaghi, N., Chaudhury, A., 2006. Characterization of *Macrophomina phaseolina*, the charcoal rot pathogen of cluster bean, using conventional techniques and PCR-based molecular markers. *Plant Pathology*, 55:106-116.
- Rajasekaran, R., and Blake, T.J., 1999. ‘‘New plant growth regulators protect photosynthesis and enhance growth under drought of jack pine seedlings’’, *Journal of Plant Growth Regulation*, 18:175-181.
- Ramachandra Reddy, A., Chaitanya, K.V., Jutur, P.P., Sumithra, K., 2004. Differential antioxidative responses to water stress among five mulberry (*Morus alba* L.) cultivars. *Environmental of Experimental Botany*, 52:33-42.
- Ramirez, DA., Yactayo, W., Gutiérrez, R., Mares, V., De Mendiburu, F., Posadas, A., Quiroz, R., 2014. Chlorophyll concentration in leaves is an indicator of potato tuber yield in water-shortage conditions. *Scientia Horticulturae*, 168:202-209.
- Ramegowda, V., Senthil-Kumar, M., 2015. The interactive effects of simultaneous biotic and abiotic stresses on plants: Mechanistic understanding from drought and pathogen combination. *Journal of Plant Physiology*, 176:47-54.
- Ranjita, S.; Vadivelmurugan, I.; Mohan-Raju, B.; Angappan, S.; Senthil-Kumar, M., 2019. Impact of drought stress on simultaneously occurring pathogen infection in field-grown chickpea. *Scientific Reports*, 9 (1) : 5577.
- Rasmussen, S., Barah, P., Suarez-Rodriguez, MC., Bressendorff, S., Friis, P., Costantino, P., 2013. Transcriptome responses to combinations of stresses in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 161:1783–94.
- Rayatpanah, S., Nanagulyan, SG., Alav, SV., Yasari, E., 2009. Phenotypic variations of isolates of *Macrophomina phaseolina* from different hosts in northern Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 3(3):2908-2913.

- Reddy, AR., Chaitanyaa,V., Vivekanandan, M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, **161**(11):1189-1202.
- Reuveni, R., Krikun, J., Nachmias,A., Shlevin, E., 1982. The role of *Macrophomina phaseolina* in a collapse of melon plants in Israel. *Phytoparasitica*, **10**(1):51-56.
- Rezzonico, E., Flury, N., Meins, F., Beffa, R., 1998. Transcriptional down-regulation by abscisic acid of pathogenesis-related beta-1,3-glucanase genes in tobacco cell cultures. *Plant Physiology*, **117**:585–92.
- Rhodes, L.H., 1980. The use of mycorrhizae in crop production systems. *Outlook on Agriculture*, **10**(6):275-281.
- Rhodes, D., 1987. Metabolic responses to stress. In P Srumpf, E Conn, eds, Biochemistry of Plants, Vol 12. *Academic Press*, New York, pp:201-241
- Riekert Van Heerden, P.D., Kruger, G.H.J., 2002. Separately and simultaneously induced dark chilling and drought stress effects on photosynthesis, proline accumulation and antioxidant metabolism in soybean. *Journal of Plant Physiology*, **159**:1077-1086.
- Rock, C.D., 2000. Pathways to abscisic acid-regulated gene expression. *New Phytologist*, **148**:357–396.
- Romanello, G.A., Chuchra-Zbytniuk, K.L., Vandermer, J.L., Touchette B.W., 2008. Morphological adjustments promote drought avoidance in the wetland plant *Acorus americanus*. *Aquatic Botany*, **89**:390–396.
- Ruiz-Lozano, JM., Azon, R., Gomez, M., 1995. Effects of arbuscular mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Applied Environmental Microbiology*, **61**:456–460.
- Sairam, R.K., Deshmukh, P.S., Shulcla, D.S., 1997. Tolerance of drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme activity in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, **178**:171-178.
- Sairam, R., Sexena, D., 2000. Oxidative Stres and Antioxidants in Wheat Genotypes: Possible Mechanism of Water Stres Tolerance. *Journal of Agronomy And Crop Science*, **184**:55.
- Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M.M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J., Rosales, M.A., Romero, L., Ruiz, J.M., 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, **178**:30–40.
- Sanchez, F.J., Andres, E.F., Tenorio, J.L., Ayerbe, L., 2004. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisumsativum* L.) Subjectedto Water Stress. *Field Crops Research*, **86**:81-90.
- Sankar, B., Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Panneerselvan, R., 2008. Relative efficacy of water use in five varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. under water limited conditions. *Biointerfaces*, **62**:125-129.
- Sarwari, A.Q., 2020. *Çilekte Farklı Sulama Düzeyleri ve Absisik Asit Uygulamalarının Verim ve Morfo-fizyoloji Üzerine Etkileri* (Yüksek Lisans Tezi).Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Schübler, A., Schwarzott, D., Walker, C., 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, **105** (12):1413-1421.
- Schönbeck, F., 1980. Endomycorrhiza in relation to plant diseases. In: Schippers, B., and W. Gams (Eds). Soil-borne plant pathogens. *Academic Press*, **23**:271-280.
- Sendek, A., Karakoç, C., Wagg, C., Domínguez-Begines, J., Martucci do Couto, G., Marcel G. A., Van der Heijden, M.G.A., Naz, A.A., Lochner, A., Chatzinotas, A., Klotz, S., Gómez-Aparicio, L., Eisenhauer, N., 2019. Drought modulates interactions between arbuscular mycorrhizal fungal diversity and barley genotype diversity. *Scientific Reports*, **9**:9650.
- Seo, M. and Koshiba, T., 2002. Complex regulation of ABA biosynthesis in plants. *Trends in Plant Science*, **7**:41-48.
- Sgherry, C.L.M., Pinzino, C., Navari-Izzo, F., 1996. Sunflower seedlings subjected to increasing water stress by water deficit: Changes in O₂ - production related to the composition of thylakoid membranes. *Physiologica Plantarum*, **96**:446-452.
- Shalaby, I.M.S., El-Ganainy, R.M.A., Botros, S.A., El-Gebally, M.M., 2001. Efficacy of some natural and synthetic compounds against charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina* of sesame and sunflower plants. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, **32**(5):47-56.
- Sharma, S., Dubey, R.S., 2004. Ascorbate peroxidase from rice seedlings: Properties of enzyme isoforms, effects of stresses and protective roles of osmolytes. *Plant Science*, **167**:541-550.
- Sharp, R.E., 2002. "Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root growth responses to water stress", *Plant, Cell and Environment*, **25**:211-222.
- Shashidhar, V.R., Prasad, T.G. and Sudharshan, L. 1996. Hormone signals from roots to shoots of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Moderate soil drying increases delivery of abscisic acid and depresses delivery of cytokinins in xylem sap. *Annals of Botany*, **78**:151-155.
- Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., Seki, M., 2003. Regulatory network of gene expression in the drought and cold stress responses. *Current of Opinion Plant Biology*, **6**:410-7.
- Sikora, R. A., 1979. Predisposition to meloidogyne infection by the endotrophic mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. Root-Knot nematodes (Meloidogyne Species) systematics, biology and control. *Academic Press Inc*, 399-404.
- Singh, R. J., Chung, G. H., Nelson, R. L., 2007. Landmark research in Legumes. *Genome*, **50**:525-537.
- Singh, S., Khan, N.A., Nazar, R., Anjum, N.A., 2008. Photosynthetic traits and activities of antioxidant enzymes in blackgram (*Vigna mungo* L. Hepper) under cadmium stress, *American Journal of Plant Physiology*, **3**:25-32.
- Sirry, A.R., Amer, I.S., Elewa, S.M., Abdallah, M., Abd El G., 1980. Effect of P and K fertilizers on the growth and nutrients content of sesame plant and their relation to root rot incidence. *Agricultural Research Review*, **57**(2):29-38. RPP.
- Sivritepe, N., Ertürk, U., Yerlikaya, C., Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F., 2008. Response of the cherry rootstock to water stress induced *in vitro*. *Biologia*

Plantarum, 52(3):573-576.

- Smirnoff, N., 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. **New Phytologist**, 125:27-58.
- Smith, S.E., Robson, A.D., and Abott, L.K., 1992. The involvement of mycorrhizas in assesment of genetically dependt efficiency of nutrient uptake and use. **Plant and Soil**, 146:169-172.
- Smith, S. E., Read, D. J., 2008. **Mycorrhizal Symbiosis**. Academic Pres is an imprint of Elsevier, Third Edition (Hardcover), New York. 800 p.
- Spagnoletti, F.N., Leiva, M., Chiochio, V., Lavado, R.S., 2018. Phosphorus fertilization reduces the severity of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) and the arbuscular mycorrhizal protection in soybean. **Journal and Nutrition Soil Science**, 181(6):855-860.
- Srivalli, B., Sharma, G., Khanna-Chopra, R., 2003. Antioxidative defence system in upland rice cultivar subjected to increasing intensity of water stress followed by recovery. **Physiologica Plantarum.**, 119:503-512.
- Spagnoletti,F.N., Leiva, M., Chiochio, V., Lavado, R.S., 2008.Phosphorus fertilization reduces the severity of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) and the arbuscular mycorrhizal protection in soybean. **Journal and Plant Nutrition and Soil Science**,181(6):855-860.
- Spagnoletti, F.N., Balestrasse, K., Lavado, R.S., Giacometti, R., 2016. Arbuscular mycorrhiza detoxifying response against arsenic and pathogenic fungus in soybean. **Ecotoxicology and Environmental Safety**,133:47-56.
- Stuhlfauth, T., Scheuermann, R., Fock, H.P., 1990. Light energy dissipation under water stress conditions. **Plant Physiology**, 92:1053-1061.
- Stec, N., Banasiak, J., Jasinski, M., 2016. Absciscic acid an overlooked player in plant-microbe symbioses formation? **Acta Biochimica Polonica**, 63:53-58.
- Şavur, O.B., 2015. **Domates Kök ve Kök Boğazı Çürüklüğü Hastalığına (Fusarium oxysporum f.sp. Radicis- Lycopersici Jarvis & Shoemaker) Karşı Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) ve Salisilik Asit Uygulamalarının Domates (Solanum lycopersicum L.) Bitkisinin Bazı Gelişim ve Verim Parametreleri İle Hastalık Şiddetine Etkisi** (Basılmamış, doktora tezi). YYÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Şehirali, S., 1988. **Yemeklik Dane Baklagiller**. A.Ü. Ziraat Fak. Yayınları, ANKARA.
- Şensoy, S., Demir, S., Turkmen, Ö., Erdinc, Ç., Savur, O.B., 2007. Responses of some different pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi. **Scientia Horticulturae**. 113:92-95.
- Tambussi, E.A., Bartoli, C.G., Beltrano, J., Guiamet, J.J., Araus, J.L., 2000. Oxidative damage to thylakoid proteins in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum*). **Physiologica Plantarum**, 108:398-404.
- Tan, L., Liu, Q., Song, Y., Zhou, G.,Weng, Q., He, C., 2019. Differential function of endogenous and exogenous abscisic acid during bacterial pattern-induced production of reactive oxygen species in arabidopsis. **School of Life Science**.
- Taşoluk, F., 2019. **Farklı Yetiştirme Ortamlarında Glomus spp.’nin Domateste Fide Performansı ve Pythium deliense Üzerine Etkileri** (Yüksek lisans Tezi).Isparta

- Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Isparta.
- Tatar, M.Ö., 2011. *Bazı ekmeklik buğday çeşitlerinde kuraklık stresine dayanıklılığın fizyolojik denetimi ve verim unsurları ile ilişkileri*. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Taylor, I.B., Burbidge, A., ve Thompson, A.J., 2000. Control of abscisic acid. *Journal of Experimental Botany*, **51**:1563-1574.
- Teiz, L. and Zeiger, S.C.E., 1998. *Plant Physiology*, University of California, Los Angeles Sinauer Associates, Inc., Publisher, 726-735.
- Thomas, J.C., McElwain, E.F. and Bohnert, H.J., 1992. Convergent induction of osmotic stress-responses. *Plant Physiology*, **100**:416-423.
- Thompson, A.J., Jackson, A.C., Parker, R.A., Morpeth, D.R., Burbidge, A. and Taylor, I.B., 2000. ‘‘Abscisic acid biosynthesis in tomato: regulation of zeaxanthine oxidase and 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase mRNAs by light/dark cycles, water stress and abscisic acid’’, *Plant Molecular Biology*. **42**:833-845.
- Tisdall, J., 1994 Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant and Soil*, **159**:115-121. <https://doi.org/10.1007/BF000000100>.
- Ton, J., Jakab, G., Toquin, V., Flors, V., Iavicoli, A., Maeder, M.N., 2005. Dissecting the beta-aminobutyric acid-induced priming phenomenon in Arabidopsis. *Plant Cell*, **17**(3):987-99. doi: 10.1105/tpc.104.029728.
- Ton, J., Mauch-Mani, B., 2004. Beta-amino-butyric acid-induced resistance against necrotrophic pathogens is based on ABA-dependent priming for callose. *Plant Journal*, **38**:119-30.
- Torres, N., Goicoechea, N., Zamarreño, A.M., Antolín, M.C., 2018. Mycorrhizal symbiosis affects ABA metabolism during berry ripening in *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo grown under climate change scenarios. *Plant Science*, **274**:383-393.
- Tosi, L., Giovannetti, M., Zazzerini, A., and Sbrana, C., 1993. Interactions between *Plasmopora helianthi* and arbuscular mycorrhizal fungi in sunflower seedlings susceptible and resistant to downy mildew. *Phytopathologia Mediterranea*, **32**:106-114.
- Trewavas, A.J., and Jones, H.G., 1991. ‘‘An assessment of the role of ABA in plant development’’, *Physiology and Biochemistry*, 169-188.
- Tsai, F.Y., Lin, C.C., Kao, C.H., 1997. A comparative study of the effects of abscisic acid and methyl jasmonate on seedling growth of rice. *Plant Growth Regulation*, **21**:37-42.
- Tsuji, W., Ali, M.E.K., Inanaga, S., Sugimoto, Y., 2003. Growth and gas exchange of three sorghum cultivars under drought stress. *Biomedical and Life Sciences*, **46**(4):583-587.
- Turhan, P., 2010. *Çilekte Siyah Kök Çürüklüğü (Rhizoctonia solani kühn.) Hastalığına Karşı Bazı Biyolojik Kontrol Ajanlarının Etkileri* (Yüksek lisans Tezi). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Tüik, 2021. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri Veri Tabanı. <http://www.tuik.gov.tr/PreTabloArama.do?metod=search&araType=vt>. Erişim Tarihi: 21.04.2019

- Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F., Koca, H., 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P.acutifolius* gray and drought sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. **Plant Science**, **168**:223-231.
- Türkeş, M., 1994. Artan sera etkisinin Türkiye üzerindeki etkileri. **Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi**, **321**:71.
- Uğur, M., 2018. **Mikoriza Aşılması ve Mantar Kompostu Uygulamalarının Fasulyenin Bitki Gelişimi ve Verimine Etkisi** (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üni., FBE, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Upreti, K.K., Bhatt, R.M., Panneerselvam, P., Varalakshmi, L.K., 2015. Morpho-Physiological responses of grape rootstock 'Dogridge' to arbuscular mycorrhizal fungi inoculation under salinity stress. **International Journal of Fruit Science**, **16**(2):1-19. Doi10.1080/15538362.2015.1111185.
- Uysal, F., 2002. **Kalite Fonksiyonunun Türkiye'de Baklagil Dış Satımına Etkileri** (Yüksek Lisans Tezi) Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Üstü, G., 2019. **Farklı Sulama Seviyelerinde Bitki Gelişimini Arttıran Kök Bakterileri Uygulamalarının Biberde (Capsicum annuum L.) Verim ve Kaliteye Etkileri** (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Van der Heijden, M.G.A., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R., 1998. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. **Ecology**, **79**(6):2082-2091.
- Van Hulten, M., Pels, M., Van Loon, L.C., Pieterse, C.M.J., Ton, J., 2006. Costs and benefits of priming for defense in Arabidopsis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, **103**(14):5602-7.
- Wang, M., Lee, J., Choi, B., Park, Y., Sim, H.-J., Kim, H., and Hwang, I., 2018. Physiological and molecular processes associated with long duration of ABA treatment. **Frontiers of Plant Science**, <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00176>.
- Webster, J., Weber, R.W.S., 2007. **Introduction to Fungi**. Cambridge University Press. 875pp.
- Wiese, J., Kranz, T., Schubert, S., 2004. Induction of pathogen resistance in barley by abiotic stress. **Plant Biology (Stuttg)**, **6**:529-36.
- Wu, M., Yan, Y., Wang, Y., Mao, Q., Fu, Y., Peng, X., Yang, Z., Ren, J., Liu, A., Chen, S., Ahammed, G.J., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi for vegetable (VT) enhance resistance to *Rhizoctonia solani* in watermelon by alleviating oxidative stress. **Biological Control**, Volume 152.
- Wu, Q.-S., Srivastava, A.K., Zou, Y.-N., 2013. AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: A review. **Scientia Horticulturae**, **164**:77-87.
- Xu, P., Chen, F., Mannas, J.P., Feldman, T., Sumner, L.W., Roossinck, M.J., 2008. Virus infection improves drought tolerance. **New Phytologist**, **180**:911-21.
- Yaban, İ., Kabay, T., 2019. Kuraklık stresinin Urfa biberinde iyon klorofil ve enzim içerikleri üzerine etkisi. **Toprak Su Dergisi**, **8**(1):11-17.
- Yaşar, F., Özpay, T., Uzal, Ö., ve Ellialtıoğlu, S., 2008. Kuraklık stresi uygulanmış fasulye (*Phaseolus vulgaris*) genotiplerinin lipid peroksidasyonu ve klorofil miktarı üzerine bir araştırma. **VII. Sebze Tarımı Sempozyumu**. Yalova. 66.

- Yeşil, S., Baştaş, K.K., 2016. Genetik variability of *Macrophomina phaseolina* isolates from beans in Turkey. **Turkish Journal of Agriculture, Food Science and Technology**, **4**(4):305-312.
- Yeşilova, Ö., 2005. *Kavunlarda VAM Uygulamasının Bitki Gelişimi ve Fusarium Solgunluğu Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi* (Yüksek lisans Tezi). Süleyman Demirel Üni., FBE, Bitki Koruma ABD, Isparta.
- Yıldız, A., 2009. Mikoriza ve arbusküler mikoriza bitki sağlığı ilişkileri. **Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi**, **6**(1):91-101.
- Yıldız, A., 2010. A native *Glomus* sp. from fields in Aydın province and effects of native and commercial mycorrhizal fungi inoculants on the growth of some vegetables. **Turkish Journal of Biology**, **34**:447-452.
- Yıldız, A., Benlioğlu, S., Benlioğlu, K., Boz, Ö., 2010. Use of different plastics for soil solarization in strawberry growth and time- temperature relationships for the control of *Macrophomina phaseolina* and weeds. **Phytoparasitica**, **38**:463-47.
- Yılmaz, E., Gül, A., 2009. Topraksız ortama arbusküler mikoriza aşılamanın patlıcan (*Solanum melongena* L.) yetiştiriciliği üzerine etkileri. **Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, **26**(2):55-61.
- Yong, T., Zongsuo, L., Hongbo, S., Feng, D., 2006. Effects of water deficits on the activity of anti- Oxidative enzymes and osmoregulation among three different genotypes of *Radix astragali* at seeding stage. **Biointerfaces**, **49**:60-65.
- Yuan-Yuan , M., Wei-Yi, S., Zi-Hui, L., Hong-Mei, Z., Xiu-Lin , G., Hong-Bo, S., Fu-Tai, N., 2009. The dynamic changing of Ca²⁺ cellular localization in maize leaflets under drought stres. **Comptes Rendus Biologies**, **332**:351-362.
- Zahedi, S.M., Hosseini, M.S., Hakimi Meybodi, N.D., Abadia, J., Germ, M., Gholami, R., Abdelrahman, M., 2022. Evaluation of drought tolerance in three commercial pomegranate cultivars using photosynthetic pigments, yield parameters and biochemical traits as biomarkers. **Agricultural Water Management**, Volume 261.
- Zang, J. and Davies, W.J., 1989. Absciscic acid produced in dehydrated roots may enable the plant to measure the water status of the soil. **Plant Cell Environmental**, **12**:881-890.
- Zeevaart, J.A.D., and Creelman, R.A., 1988. Metabolism and physiology of abscisic acid. **Annual Review of Plant Physiol.**, **39**:439-473.
- Zhang , X.H., Y.H. Liu, Y.H., Liu, B.W., Liu, Q., Wen, S.Y., Ao, B., Lin, Z.Q., Zheng, Y.L., Yang, W.Z., Chu, X.T., Xu, Y.F., 2019. Arbuscular mycorrhiza fungus improved growth, antioxidant defense. **South African Journal of Botany**, **127**:43-50.
- Zhang, H., Duan, W., Xie, B., Wang, B., Hou, F., Li, A., Dong, S., Qin, Z., Wang, Q., Zhang, L., 2020. Root yield, antioxidant capacities, and hormone contents in different drought-tolerant sweet potato cultivars treated with ABA under early drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, **42**:132.
- Zlatev, Z.S., Lidon, F.C., Ramalho, J.C., Yordanov, I.T., 2006. Comparison of resistance to drought of three bean cultivars. **Biologica Plantarum**, **50**:389-94.



ÖZ GEÇMİŞ

İlköğrenimin ilk 2 yılını Van ili Muradiye ilçesi Dürükkaş Mahallesi İlkokulu'nda, son 3 yılını Denizli iline bağlı bir kasaba ilkokulunda tamamladı. 1977 yılında başladığı Van Muradiye Alpaslan Öğretmen Lisesi'ndeki öğrenimini 1983 yılında tamamladı ve aynı yıl Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesine yerleşti. 1987 yılında bu fakültenin Bitki Koruma Bölümünden mezun oldu. 1988 yılında Van DSİ 17. Bölge Müdürlüğünde çalışmaya başladı, halen aynı kurumda mühendis olarak çalışmaktadır. 1994 yılında YYÜ Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde, Serin İklim Tahılları Dalında yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2014 yılında Van YYÜ Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümünde doktora eğitimine başlayan Ali VURAL 2022 yılında doktora eğitimini tamamlamıştır.

**VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: 24/10/2022

Tez Başlığı / Konusu: Fasulyede Kısıtlı Sulama Koşullarında, Absisik Asit ve Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF) Uygulamalarının Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Kömür Çürüklüğü (*Macrophomina phaseolina*) (Tassi) Goid. Hastalığına ve Bazı Verim Unsurlarına Etkisi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 143 sayfalık kısmına ilişkin, 24/10/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı **% 11 (Onbir)** 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.

Ali VURAL
24.10.2022

Adı Soyadı: Ali VURAL

Öğrenci No: 149101016

Anabilim Dalı: Bitki Koruma / Fitopatoloji

Programı: Doktora

Statüsü: ☐ Yüksek Lisans

☒ Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. Semra DEMİR

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR