



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



**ARBUSCULAR MİKORİZAL MANTARIN  
KURAKLIK STRES DURUMU ALTINDA KEKİK  
BİTKİSİNİN (*Origanum onites* L.) BÜYÜME,  
BESLENME VE KALİTE PARAMETRELERİ  
ÜZERİNE ETKİSİ**

**Doktora Tezi**

Mina NAJAFI

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

İzmir

2023



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**ARBUSCULAR MİKORİZAL MANTARIN  
KURAKLIK STRES DURUMU ALTINDA KEKİK  
BİTKİSİNİN (*Origanum onites* L.) BÜYÜME,  
BESLENME VE KALİTE PARAMETRELERİ  
ÜZERİNE ETKİSİ**

Mina NAJAFI

Danışman: Prof. Dr. Burçin ÇOKUYSAL  
İkinci danışman: Prof. Dr. Younes REZAAE DANESH

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı  
Bitki Besleme Doktora Programı

İzmir  
2023



# EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “**Arbuscular Mikorizal Mantarın Kuraklık Stres Durumu Altında Kekik Bitkisinin (*Origanum Onites L.*) Büyüme, Beslenme ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

02 / 02 / 2023

Mina NAJAFI



**ÖZET****ARBUSCULAR MİKORİZAL MANTARIN KURAKLIK STRES DURUMU ALTINDA KEKİK BİTKİSİNİN (*Origanum Onites L.*) BÜYÜME, BESLENME VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

NAJAFI, Mina

Doktora Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Burçin ÇOKUYSAL

İkinci Danışman: Prof. Dr. Younes REZAAE DANESH

Şubat 2023, 87 sayfa

Kekik (*Origanum onites L.*) yüzyıllardır tıbbi, kozmetik ve mutfak amaçlı olarak yetiştirilen çok yıllık ve otsu bir bitki türüdür. Antioksidan ve antimikrobiyal etkileri bulunmaktadır. Solunum yolu hastalıkları, hipertansiyon ve yüksek kolesterolün tedavisinde ham ilaç olarak, ağrı kesici, yatıştırıcı ve genel ağız antiseptiği olarak kullanılmaktadır. Kuraklık bitkiler ve tarım için en önemli tehditlerden biridir. Kültüre alınan kekik, kalitesini ve verim potansiyelini sınırlayan birçok çevresel strese maruz kalmaktadır. Çoğu bitkinin kökleriyle birleşen Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF)'lar, sadece bitkilerin büyümesini teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda tuzluluk, kuraklık ve sıcaklık stresi gibi abiyotik strese karşı bitki toleransının artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Çalışmada kuraklık stresi altında olan kekik bitkisinin, verim ve büyüme parametreleri, değişik besin alımı ve uçucu yağ verimi üzerine AMF etkisi değerlendirilmiştir. Faktöriyel olarak planlanan deneme, tesadüf parselleri deseninde kurulmuştur. Kuraklık stresi (4 seviye) ve mikoriza fungus (mikorizalı ve mikorizasız olmak üzere iki seviye) iki faktörlü faktöriyel denemeye dayalı çalışma, tesadüf parselleri deneme deseninde, kontrollü sera koşulları 3 tekerrürlü ve toplam 24 parselden oluşmuştur. Sonuç olarak bitkilerde AMF etkisinin değerlendirilmesinde morfolojik özellikler olarak bitki yaş ve kuru ağırlık parametre miktarlarının, AMF aşılamanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu

etkilerini doğrulayan, aşılanmamış bitkilerden ziyade aşılanmış bitkilerde daha yüksek olduğunu göstermiştir. Besin elementleri ise, bitkilerde AMF etkisinin değerlendirilmesinde K, N, Na ve Fe de mikoriza besin alımını anlamlı derecede yükseltmiştir, ancak, Ca, P ve Mg alımında önemli derecede bir fark gözlemlenmemiştir. AMF ile aşılanan bitkilerin uçucu yağ analizinde, aşılanan bitkilerde uçucu yağ oranında önemli derecede artış gözlemlenmiştir. Fungus spor sayısı ve fungus kolonizasyon yüzdesi değerlendirmesinde, su stresi arttıkça, spor sayısında ve fungus kolonizasyon yüzdesi önemli derecede düşüş gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kekik, *Origanum onites* L, Sulama seviyeleri, Kuraklık stresi, Arbuskular Mikoriza Fungus, Büyüme ve kalite parametreleri.



**ABSTRACT****EFFECTS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ON  
GROWTH, NUTRITION AND QUALITY PARAMETERS OF  
THYME (*Origanum onites* L.) UNDER DROUGHT STRESS  
CONDITION**

NAJAFI, Mina

PhD in Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Burçin ÇOKUYSAL

Co-advisor: Prof. Dr. Younes REZAEI DANESH

February 2023, 87 pages

Thyme (*Origanum onites* L.) is a perennial and herbaceous herb, which has been grown for centuries for medicinal, cosmetic and culinary purposes. It has antioxidant and antimicrobial effects. It is used as a raw medicine, pain reliever, sedative and general oral antiseptic in the treatment of respiratory diseases, hypertension and high cholesterol. Drought is one of the most important stresses for agricultural crops. Cultivated thyme affected by several environmental stresses that limit its quality and yield efficiency. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) have the symbiotic relationship with the roots of most plants not only promote plant growth, but also increases plant tolerance against different abiotic stresses including salinity, drought and high temperature. In this study, the effect of AM fungus on yield and growth parameters, different nutrient content as well as the essential oil ratio of thyme under drought stress conditions were evaluated. The factorial experiment including 24 treatments with two factors, irrigation levels (100%, 75%, 50%, and 25%) and mycorrhizal fungus (with mycorrhiza, without mycorrhiza) was set up in a complete randomized design with 3 replicates. The results showed that plant fresh and dry weight parameters were increased in AMF-inoculated plants rather than non-inoculated ones, which confirms the positive effects of AMF inoculation. In addition, there are significant increase in K, N, Na and Fe contents in AMF-inoculated plants. However, no significant difference was observed in Ca, P and Mg contents. The essential oil ratio was also increased significantly in AMF-

inoculated plants. The fungal spore numbers as well as fungal colonization percentage were also significantly decreased with increasing water stress conditions.

**Key words:** Thyme, *Origanum onites*, irrigation levels, drought stress, Arbuscular Mycorrhizal Fungus, Growth and quality parameters.

## ÖNSÖZ

Bu çalışma verim potansiyelini sınırlayan birçok çevresel strese maruz kalan İzmir kekiğinde, kuraklık stres koşullarında, Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF)' un etkisi incelenmiştir. Bitkinin kökleriyle birleşen Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF)' lar, sadece bitkilerin büyümesini teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda tuzluluk, kuraklık ve sıcaklık stresi gibi abiyotik strese karşı bitki toleransının artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Araştırma, çevre ve ayrıca canlı organizmalar üzerinde tehlikeli bir etkisi olmayan AM fungus mantarın kuraklık stres koşullarında izmir kekiği olarak tanımlanan *Origanum onites* L. kekiğinin iyileştirilmesi üzerindeki etkilerine odaklanan ilk çalışma sayılmakta ve sonuçların uluslararası kongrelerde ve hatta bir kitap bölümü olarak yayınlanabilmesi göz önüne alınmaktadır. Türkiye'deki kuraklık stres durumunda, konukçu bitkiler üzerindeki bu abiyotik stresin etkisinin hafifletilmesini hedeflemiştir.

İZMİR

02 / 02 / 2023

Mina NAJAFI



**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK .....	ii
KABUL ONAY SAYFASI .....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xvii
TABLolar DİZİNİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	5
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	18
3.1 Deneme Deseni.....	18
3.2 Yetiştirme Ortamı Olarak Kum .....	21
3.3 Çalışmada Kullanılan Bitki Materyali .....	23

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
3.4 AMF Spor Populasyonu ve Kök Kolonizasyonu Belirlenmesi .....	29
3.5 Bitki Verim ve Büyüme Parametrelerinin Belirlenmesi .....	31
3.6 Bitki Uçucu Yağ Oranı Belirlenmesi .....	31
3.7 İstatistik Yöntemler .....	32
4. BULGULAR .....	33
4.1. Morfolojik özellikler .....	33
4.1.1 Yaş ağırlık .....	33
4.1.2 Kuru ağırlık .....	35
4.2 Besin Elementleri .....	36
4.2.1 Potasyum içeriği .....	36
4.2.2 Kalsiyum içeriği .....	38
4.2.3. Fosfor içeriği .....	39
4.2.4 Azot içeriği .....	41
4.2.5 Sodyum içeriği .....	43
4.2.6 Magnezyum içeriği .....	45
4.2.7 Demir içeriği .....	46

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
4.3 Uçucu Yağlar .....	48
4.4 Fungus Spor Sayısı ve Fungus Kolonizasyon Yüzdesi .....	49
5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	52
5.1 Sulama Seviyelerinin ve AM Fungus Aşılmasının Bitki Yaş Ağırlığı Üzerindeki Etkisi .....	54
5.2 Sulama Seviyelerinin ve AM Fungus Aşılmasının Bitki Kuru Ağırlığı Üzerindeki Etkisi .....	56
5.3 Potasyum İçeriği .....	57
5.4 Kalsiyum İçeriği .....	58
5.5 Fosfor İçeriği .....	58
5.6 Azot İçeriği .....	59
5.7 Sodyum İçeriği.....	60
5.8 Magnezyum İçeriği .....	61
5.9 Demir İçeriği.....	61
5.10 Uçucu Yağ Oranı .....	62
5.11 Fungus Spor Sayısı ve Fungus kolonizasyon Yüzdesi .....	63
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	65

**İÇİNDEKİLER (devam)**

Sayfa

TEŞEKKÜR.....85

ÖZGEÇMİŞ .....86



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Mikoriza fungus sporlarının spor sayımı için ayırma adımları.....	19
3.2. Sera deneyleri için kum hazırlama ve sterilize etme adımları. ....	20
3.3. Sera koşullarında AMF türlerinin çoğalması için konukcu bitki yetiştirme aşamaları. ....	21
3.4. Etüvde toprakların sterilizasyonu. ....	22
3.5. Saksıların hazırlanması. ....	22
3.6. Ortamların saksılara doldurulması. ....	23
3.7. Tohum ekimi.....	24
3.8. Tohumun çimlenmesi. ....	24
3.9. Ortamların birleşmesi. ....	24
3.10. Bitki gelişimi.....	25
3.11. Hasat dan önce bitkilerin görünümü. ....	26
3.12. Bitkilerin saksılardan alınması.....	27
3.13. Örneklerin analizler için hazırlanması. ....	28
3.14. Bitki örneklerin tartılması. ....	29
3.15. AMF sporlarının topraktan izolasyon aşamaları. ....	29
3.16. Spor sayımı. ....	30
3.17. Kök Kolonizasyonu belirlenmesi.....	30
4.1. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki yaş ağırlığına etkisi.....	34

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.2. AM fungus aşılmasının bitki yaş ağırlık parametresi üzerine etkisi. ....	34
4.3. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki kuru ağırlığına etkisi. ....	36
4.4. AM fungus aşılmasının bitki kuru ağırlık parametresine etkisi. ....	36
4.5. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki potasyum içeriğine etkisi. ....	37
4.6. AM fungus aşılmasının bitki potasyum içeriği parametresi üzerindeki etkisi. ....	38
4.7. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki kalsiyum içeriğine etkisi. ....	39
4.8. AM fungus aşılmasının bitki kalsiyum içeriği parametresi üzerindeki etkisi. ....	39
4.9. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki fosfor içeriğine etkisi. ....	40
4.10. AM fungus aşılmasının bitki fosfor içeriği parametresi üzerindeki etkisi. ....	41
4.11. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki azot içeriğine etkisi. ....	42
4.12. AM fungus aşılmasının bitki azot içeriği parametresi üzerindeki etkisi. ....	42
4.13. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki sodyum içeriğine etkisi. ....	44
4.14. AM fungus aşılmasının bitki sodyum içeriği parametresi üzerindeki etkisi. ....	44
4.15. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki magnezyum içeriğine etkisi. ....	46

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.16. AM fungus aşılmasının bitki magnezyum içeriği parametresi üzerindeki etkisi. ....	46
4.17. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki demir içeriğine etkisi. ....	47
4.18. AM fungus aşılmasının bitki demir içeriği parametresi üzerindeki etkisi. ....	48
4.19. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki uçucu yağ oranına etkisi. ....	49
4.20. AM fungus aşılmasının bitki uçucu yağ oranı parametresine etkisi. ....	49
4.21. Sulama seviyelerinin AMF spor sayısı ve fungus kolonizasyon oranı üzerindeki etkileri. ....	50
4.22. Konukçu bitkilerdeki AMF yapıları. V: vesikel, M: fungus miselyumu, S: spor; SP: sporokarp. ....	51

**TABLolar DİZİNİ**

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının bitki yaş ağırlığı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.....	33
4.2. Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının bitki kuru ağırlığı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.....	35
4.3. Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının potasyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.....	37
4.4. Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının kalsiyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.....	38
4.5. Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının fosfor içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.....	40
4.6. Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının azot içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.....	41
4.7. Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının sodyum üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.....	43
4.8. Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının magnezyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.....	45
4.9. Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının demir içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.....	46
4.10. Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının uçucu yağ oranı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.....	48
4.11. Sulama seviyelerinin AMF spor sayısı ve fungus kolonizasyon parametreleri üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi. ....	50

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
M <sup>+</sup>	Mikorizalı
M <sup>-</sup>	Mikorizasız
 <u>Kısaltmalar</u>	
AMF	Arbüsküler Mikorizal Fungus
Bpps	Bornyl Diphosphate Synthase
FC	Field Capacity
Gpps	Geranyl Diphosphate Synthase
M	Mikorizalı Bitkiler
NM	Mikorizasız Bitkiler
PGPR	Plant Growth Promoting Rhizobacteria
PM	Birincil Metabolitler
SH	Semi Hydroponic
SM	İkincil Metabolitler
TAB	Tıbbi ve Aromatik Bitkiler
TK	Tarla Kapasitesi



## 1. GİRİŞ

Türkiye, Asya, Avrupa ve Afrika'dan oluşan "Dünya adası"nın merkezinde yer alarak kendine has biyolojik ve ekolojik çeşitliliği ile ılıman iklim kuşağının diğer ülkelerini geride bırakmaktadır. Aynı zamanda Türkiye birçok farklı topoğrafya ve iklim türünün bir yansıması olarak Akdeniz, Avrupa-Sibirya ve İran-Turan olmak üzere üç bitki coğrafyası bölgesinde bulunmaktadır. Akdeniz bölgesinden başlayarak Ege ve Marmara bölgeleri ve Batı Trakya'yı kapsayan Akdeniz Bitki Coğrafyası ise bunların içerisinde en önemlisidir. Bu bölgenin özellikle yüksek kesimlerinde endemik bitki çeşitliliği oldukça yüksektir. Özellikle de Toros dağları diğer yerlere göre daha çok endemik bitki çeşitliliğine sahiptir. Türkiye'de en fazla endemik bitki türü bulunan bölgeler Toroslar (özellikle orta Toroslar), Amanos, Kaz dağları, Anti Toroslar, Kuzey Geçit Bölgesi, Doğu Anadolu'nun Kuzey ve Güneyi ile Tuz Gölü civarıdır (Tan, 2010).

Bu bölgedeki en çok çeşitlilik gösteren ve Türkiye için önemli bir bitki olan kekik; *Lamiaceae* familyası olarak tüm dünyada, çoğunlukla Kuzey-Batı Asya ve Akdeniz bölgesinde yayılmıştır. *Lamiaceae* üyeleri nerdeyse tüm habitat tiplerinde ve tüm irtifalarda yetişebilmektedir (Watson and Dallwitz, 1988). Yaklaşık 236 cins ve 7000'den fazla türü olan bu familya, Türkiye'de 45 cins, 565 tür ve 735 takson ile temsil edilmektedir (Berry, 2013). *Lamiaceae*, Türkiye'de en fazla endemik türün bulunduğu familya olup ve endemizm oranı %45'tir (Güner *vd.*, 2000). Türkiye, geleneksel tıpta çok uzun zamandır kullanılan *Lamiaceae* üyeleri için önemli bir gen merkezidir (Özkan ve Soy, 2007).

*Lamiaceae* bitkileri ve baharatları, ihracat kalemlerinin önemli oranını kapsamakta ve dünya pazarlarına önemli bir ticaret geliri getirmektedir. *Lamiaceae* familyasına ait *Origanum* türlerinden *Origanum onites* L. dünyada 'Türk kekiği' olarak bilinmektedir. Türkiye, dünyada kekik ihraç eden en önemli ülkelerden birisi olup, Dünya kekik ticaretinin %50'sini elinde tutmaktadır. Bu kekiklerin büyük çoğunluğu Akdeniz bitki coğrafyasından sağlanmaktadır.

*O. onites* L. özellikle Sicilya, Yunanistan ve Türkiye'de yayılış göstermekte, Doğu Akdeniz bölgesinde bulunan 43 tür ve 18 hibriti içermektedir (Davis *et al.*,

1982). *O. onites* L. Türkiye’de Balıkesir, Manisa, Uşak, İzmir, Muğla, Aydın, Denizli, Antalya ve Isparta’da yetiştirilmektedir (Baytop, 2021). Kekik yüzyıllardır tıbbi, kozmetik ve mutfak amaçlı olarak yetiştirilen çok yıllık ve otsu bir bitki türüdür (Aykaç *vd.*, 2022). Taze veya kuru formda baharat ve bitki çayı olarak tüketilmektedir (Eruygur *vd.*, 2017). Antioksidan ve antimikrobiyal etkileri bulunmaktadır (Demirci *vd.*, 2022). Solunum yolu hastalıkları, hipertansiyon ve yüksek kolesterolün tedavisinde ham ilaç olarak, ağrı kesici, yatıştırıcı ve genel ağız antiseptiği olarak kullanılır (Tepe *vd.*, 2016). *O. onites* L. uçucu yağı ve karvakrol, kanser tedavisinde farmasötik ürünler için aday olabilir (Becer *vd.*, 2022).

Kekik geleneksel tıpta tonik, antiseptik, antitusif ve karminatif olarak kullanılabildiği gibi, soğuk algınlığı tedavisinde, farmasötik kozmetik ve parfüm endüstrisinde çeşitli gıda ürünlerinin korunması için veya çeşni olarak da değerlendirilmektedir (Iauk *et al.*, 2015).

Kekik bitkisinin sürgün ve yapraklarından elde edilen uçucu yağlar esas olarak monoterpenleri ve seskiterpenleri içermektedir. Timol, carvacrol, p-cymene ve c-terpinen kekiklerden elde edilen uçucu yağların ana bileşenleri olarak gösterilmektedir (Pirbalouti *et al.*, 2014).

Kuraklık bitkiler ve tarım için en önemli tehditlerden biridir. Kültüre alınan kekik, kalitesini ve verim potansiyelini sınırlayan birçok çevresel strese maruz kalmaktadır. Başlıca çevresel stresler doğada biyotik (patojenlerin neden olduğu enfeksiyon ve bitkiler için zarar veren böcek, mikroorganizmalar dahil herbivorların zararı) veya abiyotik (sıcaklık, kuraklık, yüksek toprak tuzluluğu, soğutma, ısı, UV ışığı, vb.) şeklinde bulunmaktadır (Stevens *et al.*, 2006). Kekik bitkisi için, kuraklık metabolitlerinin veriminde ve bileşiminde önemli değişikliklere neden olabilir (Bettaieb *et al.*, 2009). Kuraklık belirtileri, bitkilerin solması, net fotosentez oranındaki düşüşler, stoma iletkenliği, su kullanım etkinliği, nispi su içeriği ve toplam klorofil içeriğinde kademeli olarak azalma ile belgindir. İklim değişikliği, dünya'nın ekolojik olarak hassas bölgelerinde kuraklığı artırarak yıllar boyunca yağış miktarını önemli ölçüde değiştirmiştir. Bitkilerin su stresine tepkisi hem genetik hem de çevresel faktörler tarafından düzenlenir (Ashrafi *et al.*, 2022). Kuraklık sırasında, nisbi su içeriği bitkilerin su durumunu en iyi tanımlayan



parametredir (Amin *et al.*, 2022; Puangbut *et al.*, 2022; Alves *et al.*, 2021). Su stresi sadece bitkinin ozmotik potansiyelini değil, aynı zamanda fotosentetik verimi etkileyen stoma açıklığını da değiştirebilir ve su stresine maruz kalan bitkilerde fotosentetik verimdeki azalma, klorofil içeriğinin azalmasından kaynaklanmaktadır. (Yousefi *et al.*, 2020). Kuraklığın sürekliliğinde, su kaybını önlemek için stomalar kapanır. Bu olay, fotosentez için gerekli olan CO<sub>2</sub>'nin girişini engeller ve bunun sonucunda klorofil kaybı olur. Klorofilin yeşil pigmentlerine kıyasla karotenoidlerin baskınlığı nedeniyle yapraklar sararır (Biareh *et al.*, 2022). Tıbbi ve aromatik bitkiler için, Mentha, Achillea, Calendula ve Melissa cinsinde gözlemlendiği gibi, çiçeklenme aşamasından (vejetatif dönem) önce meydana gelen büyük su stresi, daha küçük yaprak alanlarına sahip daha kısa boylu bitkilerle etki eder (Elansary *et al.*, 2019; Gharibi *et al.*, 2016; Ghadyeh *et al.*, 2019; Ahmadi *et al.*, 2019). Yaprak alanının azalması, daha düşük fotosentetik verim nedeniyle organik madde üretiminin azalmasına yol açar (Tripathi *et al.*, 2018). Bununla birlikte, kekik gibi bazı bitkiler kuraklığa karşı direnç ve iklimlendirme mekanizmaları geliştirmiştir (Kapoor *et al.*, 2020). Ancak, bitkiler her gün abiyotik streslerle karşı karşıya kalır ve morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve metabolik düzeylerde etkilenir (Mansinhos *et al.*, 2022). İklim değişikliği modellerine göre dünya genelinde bu durumdan özellikle kuraklık olaylarından en fazla etkilenecek bölgelerden biri de Akdeniz havzasıdır (Tramblay *et al.*, 2020). Kuraklık, bitki gelişimini sınırlayan, ciddi veya ölümcül sonuçlara neden olan en büyük faktörlerden biridir. Su, bitkilerin biyokütlesinin %80-90'ını oluşturmada ve büyüme ve fotosentez gibi birçok kritik fizyolojik fonksiyonda önemli bir role sahiptir (Pradhan *et al.*, 2020).

Genellikle tuzluluk ve kuraklığın özellikle Türkiye'nin de içinde bulunduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde en önemli iki sorun olduğu bilinmektedir. Tıbbi ve aromatik bitkiler için kuraklık, metabolit verimlerinde ve bileşimlerinde önemli değişikliklere neden olabilir. Suyun kısıtlı olduğu bölgelerde ekosistem üzerinde baskı olmadan gıda üretiminin artırılması için tarımda su kullanım etkinliğinin artırılması önemlidir. Bu durum, su kaynaklarını etkili bir şekilde yönetmek için planlı eyleme yönelik acil ihtiyacı gündeme getirmiştir. Kuraklık koşullarıyla başa çıkmak için bitkiler kaçınma veya tolerans stratejileri geliştirmiştir.

Bitkiler strese karşı koruyucu sistemlerine sahip olmakla birlikte, stres semptomlarını hafifletebilecek bazı toprak mikroorganizmaları ile birlikte büyür. Çoğu bitkinin kökleriyle birleşen Arbusküler Mikorizal Funguslar (AMF), sadece bitkilerin büyümesini teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda tuzluluk (Abbaspour, 2010), kuraklık (Navarro *et al.*, 2011) ve sıcaklık stresi (Xiancan *et al.*, 2010) gibi abiyotik strese karşı bitki toleransının artırılmasına katkıda bulunur. AMF, konukçu bitkilerin biyotik ve abiyotik stres koşullarında (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004) bile, konakçı ve fungus arasındaki bir seri karmaşık iletişim yoluyla daha verimli bir şekilde büyümesini sağlar (Harrier, 2001). Kuraklık, ısı, tuz, metaller ve hatta hastalıklar da dahil olmak üzere çeşitli streslere konukçu bitki toleransı sağlayan AMF üzerinde çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Waller *et al.*, 2005; Rodriguez *et al.*, 2008). Bitkilerin AMF ile simbiyotik etkileşimleri tarımsal ve ekolojik açıdan önemlidir (Indrasumunar, 2007). Bu etki bitki-AMF etkileşimi ve biyoaktif bileşiğe bağlıdır (Tarraf *et al.*, 2015). Su sınırlayıcı koşullar altında verim değerlendirmeleri ve AMF ile zararın azaltılması, bunun kurak iklimlerde mahsul üretimi için sürdürülebilir bir çözüm olduğunu göstermektedir (Gholamhoseini *et al.*, 2013). *Thymus granatensis* (Navarro-Fernandez *et al.*, 2011), *Thymus polytrichus* (Whitfield *et al.*, 2004), *Lavandula multifida* (Bakkali Yakhlef *et al.*, 2011), *Lavandula stoechas*, *Lavandula dentat*, *Lavandula multifida* (Ouahmane *et al.*, 2006) ve *Rosmarinus officinalis* dahil olmak üzere *Lamiaceae*'nin AMF-bitki ilişkileri hakkında raporlar vardır (Camprubi *et al.*, 2013).

Bu çalışmanın amacı kuraklık stresi altında konukçu bitkinin (*Origanum onites* L. ) verim ve büyüme parametreleri, uçucu yağ verimi, besin alımı üzerine AMF etkisinin değerlendirilmesidir.

## 2. GENEL BİLGİLER

Letchamo *et al.* (1995), kuraklık stresinin kekik yapraklarının fotosentez, gaz değişimi, klorofil içeriği ve su potansiyelinde değişikliklere neden olduğunu bildirilmiştir.

Serada simüle edilmiş aşılansız toprak koşulları altında yetişen *Gliricidia sepium* ve *Leucaena leucocephala* bitkilerinin büyümesi üzerine kuraklık stresi ve AMF'nin etkilerinin araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Deneme iki seviyeli sulama rejimi (yeterli sulama ve kuraklık), *Glomus deserticola* (aşılama ve aşılansız) ve iki toprak tipini (0-30 cm üst toprak ve 30-60 cm alt toprak) içeren faktöriyel düzende 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. On kuraklık döngüsünden sonra, toprak altı *Gliricidia sepium*'un büyümesi, her iki sulama rejimi altında AMF ile artırılırken, iki sulama rejimi altında her iki toprak tipinde de AMF *L. leucocephala*'nın büyümesine önemli bir katkı sağlamamıştır. Kuraklık stresi, AMF aşılması olan veya olmayan her iki toprakta da iki bitki türü için çoğu büyüme parametresini önemli ölçüde azaltmıştır. *Gliricidia sepium*'un N-sabitlenme aktivitesi, *Glomus deserticola* aşılansızdan fayda sağlarken, üst toprakta *L. leucocephala*'da önemli ölçüde etkilenme oluşturmamıştır. Mikorhizal kolonizasyon her iki bitki türü için de üst toprağa kıyasla alt toprakta azalırken, her iki tür için de alt toprakta aşılama yapılmamış alt toprak muadili ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde artmıştır. Toprak altında, *Gliricidia sepium*'un mikorhizal fungusla aşılması, yeterli sulama ve kuraklık altında kök kolonizasyonunu sırasıyla %89 ve %73 oranında artırırken, karşılaştırmalı koşullar altında *L. leucocephala*'nın kök kolonizasyonunu toprak altında yalnızca %38 ve %42 oranında artırmıştır. Çalışma sonucunda, AMF'nin üst toprağın eksik olduğu kötü bir şekilde aşılansız bir alanda *Gliricidia sepium*'un büyümesi için faydalı olabileceği belirtilmiştir (Fagbola *et al.*, 2001).

Wu and Zou (2010), sıcaklık stresi altındaki turuncgil fidelerinin büyüme, fotosentez, kök morfolojisi ve besin emilimi üzerine *Glomus mosseae* AMF' nin etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Üç aylık fideler, orta (25 °C) ve düşük (15 °C) sıcaklıklarda 55 gün boyunca *G. mosseae* ile aşılı ve aşısız olarak büyütülmüştür. Düşük sıcaklık, orta sıcaklığa göre mikorhizal, giriş noktası, vezikül

ve arbusköl kolonizasyonu dahil olmak üzere simbiyotik büyümeyi güçlü bir şekilde inhibe etmiştir. 25 °C’de yetiştirilen mikorhizal fideler, gövde çapı, bitki boyu, yaprak alanı, kök ve toplam kuru ağırlık, fotosentetik hız, terleme hızı ve stoma iletkenliği, daha büyük kök hacmi ve daha fazla fosfor, kalsiyum ve magnezyum emilimi göstermiştir. Mikorizal aşılama, 15 °C’de büyütülen fidelerin yalnızca kök uzunluğunu ve kalsiyum içeriğini önemli ölçüde artırmıştır.

Dolomit içeren topraklarda doğal kekik türlerinin büyümesine AMF ve su rejiminin etkisi üzerine yapılmış bir çalışma sonucunda AMF’nin kekiklerde biyokütleyi artırdığı belirlenmiştir. AMF’nin dolomit içeren topraklarda özellikle kuraklık koşullarında *T. granatensis*’in büyümesi için gerekli olabileceği bildirilmiştir. AMF, dolomit içeren topraklarda büyüyen kekik türlerinde sürgündeki Mg ve Ca konsantrasyonlarını azaltmıştır. Buna dayanarak araştırmacılar AMF’nin, Akdeniz dolomit içeren habitatının restorasyonu ve korunmasına yönelik bir biyoteknolojik araç olarak kullanılabileceğini bildirmiştir (Navarro-Fernández *et al.*, 2011).

Li *et al.* (2012), epigeik solucanlar (*Eisenia fetida*) ve AMF (*Glomus intraradices*)’nin sterilize edilmiş toprak ve kum karışımındaki enzimatik aktivitesi ve mısır tarafından besin alımı üzerindeki etkileri üzerine bir araştırma yürütmüşlerdir. Çalışmada mısır bitkileri, AMF ile aşılansın veya aşılansınmamış, solucanlarla işlenmiş veya işlenmemiş saksılarda yetiştirilmiştir. Solucanlar için besin kaynağı olarak buğday samanı kullanılmıştır. Mısır mikorizal kolonizasyonu, AMF ile aşılansın saksılarda önemli ölçüde artarken solucanların eklenmesiyle daha da ivme kazanmıştır. AMF ve epigeik (toprak üstünde gelişen) solucanlar, sırasıyla mısırın sürgün ve kök biyokütlesini artırmıştır. Toprak asidi fosfataz aktivitesi hem solucanlar hem de mikoriza tarafından artarken, üreaz ve selülaz aktiviteleri sadece solucanlar tarafından etkilenmiştir. AMF ile aşılama, toprak asit fosfataz aktivitesini önemli ölçüde ( $p<0.001$ ) artırmış, ancak hasat zamanında mevcut toprak fosfor (P) ve potasyum (K) konsantrasyonlarını azaltmıştır. Solucanlar tek başına, topraktaki amonyum-N içeriğini önemli ölçüde ( $p<0.05$ ) artırırken, ancak kullanılabilir fosfor ve potasyum içeriğini azaltmıştır. AMF mısır sürgün ağırlığını ve kök P içeriğini arttırırken, solucanlar sürgün N, P ve K içeriğini iyileştirmiştir.

Çalışma sonucunda AMF ve solucan uygulamalarının mısır filiz ve kök biyokütlesini artırdığı saptanmıştır.

Bahadori *et al.* (2013), *Thymus daenensis* Celak'taki uçucu yağın mikorhizal ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerle aşılama yoluyla büyümesini, verimini ve kalitesini iyileştirmeye yönelik bir araştırma yapmıştır. *G. moseae* ve *B. subtilis* ile eş zamanlı aşılamanın aşılınmamış kontrol veya tek aşılınmış bitkilere kıyasla, sürgün/kök kuru ağırlığında %75, bitki performansında yaklaşık %117 ve uçucu yağ veriminde ise %93 oranında artışa neden olmuştur. Tüm mikrobiyal aşılama işlemleri, *T. daenensis*'te timol konsantrasyonunu kontrol bitkilerine oranla önemli ölçüde artırmıştır. *P. fluorescens* ve *G. moseae*'nin kombinasyonu, *T. daenensis*'te bitki büyümesi ve uçucu yağ üzerinde zıt bir etkiye neden olmuştur. Fidan aşamasında *G. moseae* ve *B. subtilis* ile aşılanan bitkilerin, aşı tutma kapasitelerinin daha yüksek olması yanında kontrol bitkilerine göre hayatta kalma şansı da daha yüksek olmuştur.

Saia *et al.* (2014), su stresi altında Bressam üçgülünde biyokütle üretimi ve azot fiksasyonuna AMF etkisi üzerine bir araştırma yürütmüşlerdir. AM mantarları ile simbiyozun kuraklık stresinin yem verimi üzerindeki zararlı etkilerini azaltıp azaltamayacağını belirlemek için İtalya'nın iç kesimlerindeki Sicilya'nın tepelik bir bölgesinde bir saha deneyi yapıldı. Mikorizal uygulamalar, Bressam üçgül tohumlarının arbüsküler mikorhizal sporlarla aşılmasını veya fungus uygulamaları kullanılarak arbüsküler mikorhizal simbiyozun baskılanmasını içerir. Azotun biyolojik fiksasyonu, 15N-izotop seyreltme yöntemi kullanılarak değerlendirildi. Arbüsküler mikorhizal simbiyoz, tipik bir yarı kurak Akdeniz ortamında yetişen Bressam üçgülü üzerindeki su stresinin olumsuz etkisini azaltmayı başardı. Aslında, su stresi koşulları altında, arbüsküler mikorhizal simbiyoz, toplam biyokütle, nitrojen içeriği ve nitrojen fiksasyonunda bir artışa yol açarken, iyi sulanan arıtmada mikorizasyonunun hiçbir etkisi gözlenmedi.

Prananath ve ark. (2015), Kleopatra mandalinasının (*Citrus reshni* Hort. Ex Tan), arbüsküler mikoriza fungusları ve mikorizal yardımcı bakterilerin neden olduğu kuraklık stresini tolere etmek için fizyolojik mekanizmaları modüle ettiği hipoteziyle bir çalışma yürütmüştür. Araştırma sonunda elde edilen sonuçlar

mikorhizal aşılamanın özellikle mikorhizal yardımcı bakterilerin eşlik ettiği durumlarda su rejiminden bağımsız olarak bitki büyümesini ve besin alımını artırdığını göstermektedir. Bitkilerin kuraklık stresine maruz kalması, yaprak dokularında süperoksit ve hidrojen peroksit radikallerinin üretimine yol açmış, ancak bunların konsantrasyonu, *G. intraradices* ve fosfat çözen bakterilerle aşılansmış fidelerde, kontrol dahil diğer uygulamalara oranla daha düşük olmuştur. Bu özel uygulama ayrıca toplam glutasyon içeriğini ve bitkideki antioksidan enzim aktivitesini ve topraktaki mikrobiyal aktiviteyi artırmıştır. Mikorhizal kolonizasyon, antioksidan metabolitler, bitki antioksidan enzimleri, rizosfer mikrobiyal aktivitesi ve mikrobiyal biyokütle karbonu ile pozitif, kuraklık stresi altındaki reaktif oksijen türleri ile negatif korelasyon göstermiştir. Araştırmacılar bu durumu aşılamanın bitki savunma sistemini güçlendirebileceği ve oksidatif hasarı azaltabileceği şeklinde yorumlamışlardır.

Bir bitki (*Plantago lanceolata* L.), bir çimen (*Lolium multiflorum* Lam.) ve bir baklagil (*Trifolium pratense* L.) ve dört AMF (*Funneliformis mosseae*, *Rhizoglyphus irregularis*, *Claroideoglyphus claroideum* ve *Diversispora celata*) karışımı ile gerçekleştirilen bir çalışmada AMF varlığı, bitki türleri arasındaki performans farklılıklarını azaltmış ve fungusların daha fazla çeşitliliği genel olarak fungus monokültürlerinin ortalamasına göre bitki üretkenliğini iyileştirmiştir. AMF bolluğu, bitki çeşitliliğinden etkilenmemiştir, ancak çim monokültüründe diğer bitki topluluklarına oranla büyük ölçüde azalmıştır. Bitki toplulukları arasındaki fungus tamamlayıcılığındaki varyasyon, genel olarak düşük olmuş ve bitki çeşitliliğinden çok az etkilenmiştir. Araştırmacılar çalışma sonucunda model bir bitki-mikorhizal sistem kullanarak, bir türler birliği içindeki türlerin çeşitliliğinden ziyade bileşiminin, türlerin ilişkili bir türler birliği içinde nasıl işlediğini belirlemede daha etkili olabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca araştırmacılar bir tür kompozisyonlarındaki değişikliklerin, diğerindeki tür çeşitliliğinin işleyişini etkileyebileceğini vurgulamışlardır (Wagg *et al.*, 2015).

Emami Bistgani *et al.* (2017) tarafından kuraklık stresi altındaki *Thymus daenensis*'in bitki boyu, taç çapı, yan dal sayısı ve çiçek sayısı, yaprak alanı, yaprak genişlik ve yaprak uzunluğunun önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir. Fenolojik dönemler başta olmak üzere ilk yılda (kuruluş) tüm büyüme parametrelerinde

kuraklık stresinin artmasıyla birlikte önemli ölçüde azalma olmuştur. Orta derecede stres uygulamak bile yaprak alanını birinci ve ikinci yılda sırasıyla %59 ve %44 oranında azaltmıştır. Şiddetli kuraklık stresi altında yetiştirilen bitkilerin biyokütle verimi önemli ölçüde düşerken, biyolojik aktivite derecesi en yüksek olan kekik yağında esansiyel yağ içeriği ve timol katkısı iyileşmiştir. Hafif kuraklık stresi altındaki bitkilerden maksimum yağ verimi (1.50 g/bitki), bitkilerin iyi geliştiği ikinci yılda 400 l L<sup>-1</sup> kitosan ile muamele edildiğinde alınmıştır.

Bir araştırmada, su kıtlığı koşulları altında iki tür mikorhizal fungusla aşılansın *Pelargonium graveolens* L.'nin esansiyel yağ bileşimi, antioksidan kapasitesi ve fizyolojik özelliklerindeki çeşitliliğin etkileri ölçülmüştür. Su stresi koşullarında geraniol ve geranil format gibi bazı bileşikler artmış ve linalool, menthone ve rose oksit gibi bileşiklerin içeriği ise azalmıştır. Toplamda, en yüksek miktarda sitronellol (%37.3) ve geraniol (%14.8) sırasıyla *F. mosseae* ve *R. intraradice* ile aşılansın bitkilerde elde edilmiştir. AMF aşılması nedeniyle antioksidan aktivite, toplam flavonoidler ve fenoller artarken, su stresi koşullarında fenolik ve flavonoid içerikleri için farklı bir eğilim gözlenmiştir. Ek olarak, su eksikliği, prolin içeriğinin yanı sıra çözünebilir karbonhidrat miktarını da arttırırken, prolin içeriği aşılansın bitkilerde aşılansınmamış bitkilerden daha düşük olmuştur. AMF ile aşılansın bitkilerdeki tüm büyüme parametreleri, farklı sulamalar altında aşılansınmamış örneklerle karşılaştırıldığında iyileşmiştir. Kuru koşullar fotosentezi azaltmıştır. AMF bitkilerde kuraklık koşullarının olumsuz etkilerini iyileştirmiştir (Amiri *et al.*, 2017).

Kuraklık stresi altında AMF (*Rhizophagus intraradices*) ve endofitin (*Piriformospora indica*) parmak darı (*Eleusine coracana*) ile karşılaştırmalı etkileri başlıklı bir çalışmada, aşılansın bitkilerde klorofil ve bağıl su içeriği önemli ölçüde artmıştır. Ri, kontrol ve Pi uygulamalarına oranla elektrolit sızıntısını, malondialdehit (MDA) ve hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) içeriğini azaltmada daha etkili olmuştur. Yapraklardaki prolin içeriği, Ri ve Pi ile önemli ölçüde artmış, ancak Ri ile muamele edilmiş bitkiler, aşılansın fidelere kıyasla daha fazla toplam çözünebilir şeker biriktirmiştir. Sekonder metabolitlerle ilgili olarak, fenoliklerin birikimi su stresi altında hem Ri hem de Pi'den etkilenirken, Ri fidelerinde daha fazla flavonoid saptanmıştır. Ayrıca Pi, hafif ve şiddetli stres altında askorbat-

glutasyon redoks durumunun iyileştirilmesi nedeniyle daha iyi performans göstermiştir. Her iki simbiyont da antioksidan enzimlerin aktivitesini diferansiyel olarak artırmış ve kuraklığın neden olduğu lipid peroksidasyonunda %25'lik bir azalmaya yol açmıştır. Elde edilen sonuçlar, her iki fungus ile aşılamanın, parmak darı fidelerinin daha güçlü antioksidan savunma sistemi, daha yüksek klorofil içeriği ve zenginleştirilmiş ozmotik düzenleyici ağ aracılığıyla kuraklığa dayanıklılıkta yardımcı olduğunu göstermiştir (Tyagi *et al.*, 2017).

Symanczik *et al.* (2018), iki zıt arbusküler mikorhizal fungus izolatının, kuraklık koşullarında iki renkli sorgum tarafından besin emilimine etkisi üzerine yapılan bir araştırmada, iki renkli sorgum bitkileri, ılıman iklimlerde yaygın olan arbusküler mikorhizal (AM) suşu veya *Rhizophagus arabicus* olan *Rhizophagus irregüleri*s ile aşılansmıştır. aşırı kuru ekosistemler aşılansmıştır. Bitkiler, iyi sulanan veya kuru koşullar altında küçük kalıplarda büyütüldü. AM simbiyozunda sorgum bitkileri üzerindeki kuraklık stresinin etkisini değerlendirmek için terleme oranı, bitki büyümesi ve besin alımı (izleyici olarak 15N kullanılarak) belirlendi. AM uygulaması konukçu bitkilerin kütleli biyokütlesini etkilemese de, *R. arabicus* onların terleme etkinliğini ve kuraklık toleransını *R. irregüleri*s'ten daha fazla iyileştirmiştir. Ek olarak, *R. arabicus* her iki su rejimi altında topraktan daha fazla 15N çıkarabildi ve topraktan AM eksenini artırdı. Sorgumun azot ve fosfor içeriği, özellikle su sınırlı olduğunda aşılansmış *R. arabicus* için daha yüksekti. Bitkiler *R. irregüleri*s ile aşılansmış bitkilerle karşılaştırıldı. Çalışmamız, hiphal AM fosfor ve azot arasındaki yakın bağlantıları göstermektedir. Her iki AM fungus türü için AM bitkileri tarafından translokasyon ve alım. Ayrıca kuraklık stres durumumuzda uygulamaya göre, *R. arabicus* sorguma *R. irregüleri*s önemli ölçüde daha fazla azot aktardı.

Bista *et al.* (2018), kuraklığa duyarlı ve kuraklığa dayanıklı çimlerin köklerindeki besin maddelerinin emilimi ve proteinlerin seviyeleri üzerinde kuraklığın etkileri üzerine bir çalışma gerçekleştirdi. Ayrıca kuraklığın, verimliliği düşürmenin yanı sıra bitkilerdeki azot (N) ve fosforun (P) konsantrasyonunu (yüzdesini) azalttığını da söylediler. Kuraklık sırasında azalan besin durumunun, köklerde ölçülmemiş olan besin alım proteinlerinin düşük seviyeleri ile ilişkili olup olmadığını araştırdılar. Kuraklığa duyarlı otlar (*Hordeum vulgare*, *Zea mays*) ve



dayanıklı otlar (*Andropogon gerardii*), orta ve geç kuraklık dönemlerinde, biyokütle, bitki %N ve P, kök N- ve P-alım oranları ve temel konsantrasyonlar ölçülmüştür. Köklerdeki besin alım proteinleri (NO<sub>3</sub> için NRT1, NH<sub>4</sub> için AMT1 ve P için PHT1). Kuraklık, %N ve P’de bir azalmaya neden oldu, bu da besin alımını büyümeden daha fazla azalttığını gösteriyor. Kuraklıkla birlikte azalan P alımı, P alım proteinlerinin azalan konsantrasyonu ve aktivitesi ile ilişkilendirildi, ancak azalan N alımı, N alım proteinlerinin seviyeleri ile zayıf bir şekilde ilişkiliydi. Toplam proteinin gramı başına bir artışa rağmen, kök gramı başına besin emilim proteinleri azaldı. Gram başına toplam proteindeki daha fazla azalma nedeniyle. Bu nedenle, besin konsantrasyonlarındaki, özellikle %P’deki kuraklığa bağlı düşüşler, muhtemelen en azından kısmen, hem kuraklığa dayanıklı hem de kuraklığa duyarlı türlerde kök besin alım proteinlerinin azalan konsantrasyonlarından kaynaklanmaktadır.

Pirzad and Mohammadzadeh (2018), üç mikorhizal Lamiaceae türünün (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* ve *Thymus vulgaris*) su tüketim etkinliğini araştırmışlardır. Bu araştırmada, konukçu bitkilerin farklı sulama rejimleri altında (ekin kapasitesinin %75 ve %50’sinde sulama ve yağmurla besleme) iki tür fungusla aşılama fizyolojik tepkisi değerlendirilmiştir. Bu kök simbiyotları ile aşılama, aşılınmamış bitkilere oranla bitki kolonizasyonunu artırmıştır. Funguslarla aşılama ve su stresi altındaki fideler daha başarılı kolonizasyona sahip olmuştur. Stres, aşılınmış ve aşılınmamış bitkilerin biyolojik performansını azaltmıştır. Kuraklığa bağlı biyokütle azalması, mikorhizal funguslar tarafından önemli ölçüde telafi edilmiştir. Yağışlı koşullarda en yüksek uçucu yağ yüzdesi sağlanmıştır. Su kullanım verimliliği, ekonomik performanstan ve farklı yıllarda kullanılan su hacminden etkilendiğinden, sonuçlar değişkenlik göstermiştir. Çalışma sonunda araştırmacılar artan sulama aralıklarının, bitkilerin su stresine uyum sağlamasına yardımcı olabileceğini ve su kullanım verimliliğinde önemli bir düşüşü önleyebileceğini, ancak genel olarak, bu funguslarla aşılamanın su stresinin olumsuz etkilerini azaltmada etkili olduğunu bildirmiştir.

Hassan *et al.* (2019), yapraktan ethephon spreyinin ve su stresinin uçucu yağ bileşimi üzerindeki etkisi ve *Thymus vulgaris* hava parçalarının sitotoksik aktivitesi üzerindeki etkisi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Hava parçalarının su

damıtmasından elde edilen uçucu yağlar GC-MS kullanılarak analiz edilmiştir. Kuraklığa maruz bırakılan test edilen bitki uçucu yağ veriminde %66 artış gösterirken, kuraklık stresi ve yapraktan ilaçlama altındaki bitkilerde %57.1 ve yapraktan ilaçlama ile düzenli sulama grubu kontrol grubuna göre %23.8 artış göstermiştir. *T. vulgaris* esansiyel yağının akciğer (A-549), kolon (HCT-116), kolon (CACO<sub>2</sub>) ve meme (MCF-7) kanserine karşı sitotoksik aktivitesi, hücre canlılığı kullanılarak değerlendirilmiştir. En düşük IC<sub>50</sub> değerleri sırasıyla HCT-116 ve CACO<sub>2</sub> hücrelerine karşı 0.44 ve 0.33 µg ml<sup>-1</sup> olarak gözlenmiştir. IC<sub>50</sub> değerleri, referans ilaç olarak kullanılan doksorubisinden daha düşük çıkmıştır.

Amanifar and Toghranegar (2020), AMF'nin *Valerina officinalis* L.'nin toleransını geliştirmedeki etkinliği ve tuz stresi altında valerik asit birikimini artırma konusunda çalışmışlardır. Çalışmada orta ve yüksek tuzluluk stresi altında AMF birlikteliğinin *V. officinalis*'in büyümesi ve fizyo-biyokimyasal özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve iki AMF türünün olan *Rhizophagus intraradices* ve *Funneliformis mosseae*'nin biyoremediasyon etkinliği de karşılaştırılmıştır. Mikorhizal aşılama genel olarak bitki tuzu toleransını arttırmış ve hava kısımlarına oranla hava kısımlarında bitki büyümesi, P, K<sup>+</sup>, Mg<sup>+2</sup> konsantrasyonları ve toplam klorofil: karotenoidler, K<sup>+</sup>: Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>: Na<sup>+</sup> ve Mg<sup>+2</sup>: Na<sup>+</sup> oranları üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmuştur. Tuzlu koşullar altında mikorizal olmayan bitkiler ek olarak, simbiyotik AMF'nin varlığı, sürgün Na<sup>+</sup> konsantrasyonundaki tuzluluğun neden olduğu artışı, sürgün prolinini ve zarlardaki oksidatif hasarı azaltmıştır. AMF, mikorhizal olmayan *V. officinalis* ile karşılaştırıldığında sürgünlerde ve köklerde kök prolinini ve toplam çözünür şekerleri ve toplam fenolikleri önemli ölçüde desteklemiştir. Orta derecede tuzluluk stresi, *F. mosseae* ile aşılanmış bitkilerde daha belirgin olan valerik asit üretimini artırmıştır. Simbiyozun sonucu, kullanılan AMF türleri ile ilişkilendirilmiş ve *F. mosseae*, tuzluluk stresini azaltmada *R. intraradices*'ten daha etkili bulunmuştur. Bu çalışma, tuzdan etkilenmiş topraklarda *V. officinalis*'in biyoaktif bileşiklerinin büyümesini ve üretimini artırmak için pratik bir biyoteknolojik yaklaşım olarak mikorhizal teknolojinin potansiyel kullanımını önermektedir.

Arpanahi *et al.* (2020), çalışmalarında, AMF aşılmasının normal şartlar ve kuraklık stresi altında *Thymus daenensis* Celak ve *Thymus vulgaris* L. kekiklerin uçucu yağ ve fizyolojik parametreleri ile besin değeri üzerine etkisi araştırmışlardır. Normal şartlar ve kuraklık stresi altında AMF aşılmasının kekiğin uçucu yağ ve fizyolojik parametrelerini ve besin değerini iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. Sonuçlar, kuraklık stresinin, popülasyon ve toprak mikrobiyal aktivitelerinin yanı sıra spor jelinin azalmasına atfedilen AMF kolonizasyonunu azalttığını göstermiştir.

Bidabadi *et al.* (2020), su stresinin (%80, 60 ve %40 Tarla kapasitesi (TK)) iki adaçayı türü (*S. nemorosa* L. ve *S. reuterana*) üzerindeki etkisini araştırmışlardır. En yüksek uçucu yağ içeriği ve verimi %60 TK'nde strete gözlenmiştir. Eksojen melatoninin, kuraklık stresi altındaki iki *Salvia* türünde glutasyon içeriğini, redoks durumunu iyileştirdiğini ve uçucu yağ üretimini artırdığını gözlemlemişlerdir. Kuraklık stresi, tarla kapasitesinin (TK) %80, %60 ve %40'ında yeniden sulamaya dayalı azaltılmış bir sulama stratejisi kullanılarak uygulanmıştır. Artan sulama stresi, MDA, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, elektrolit sızıntısı, oksitlenmiş glutasyon (GSSG) ve toplam glutasyon (GT), indirgenmiş glutasyon (GSH), katalaz (CAT), peroksidaz (POD), süperoksit dismutaz (SOD) ve floresansta (Fv/Fm) belirgin bir azalmaya yol açan glutasyon redüktaz (GR) aktivitelerini önemli ölçüde artırmıştır. Yapraktan melatonin uygulaması, GT, CAT, POD, SOD ve GR aktivitelerini artırarak ve GSSG'yi azaltarak oksidatif stresi hafifletmiştir. Özellikle melatonin, ilaçlanmayan su stresi altındaki bitkilerle karşılaştırıldığında GSH içeriğini ve GSH/GSSG oranını yükseltmiştir. Melatonin ile muamele edilmiş bitkiler, kuraklık stresi altındaki kontrol bitkilerine göre önemli ölçüde daha düşük SOD ve POD aktivitelerine sahipken, CAT aktivitesi yaprak uygulaması ile arttırılmıştır. Her iki *Salvia* türünün uçucu yağ verimi, sulamanın %80'den %60 TK'ya düşürülmesiyle artmış, ancak daha şiddetli su eksikliği (%40 TK) ile azalmıştır. Bitkiler su açığına maruz kaldığında, melatonin uygulaması uçucu yağın konsantrasyonunu ve bileşimini arttırmıştır. Özellikle melatonin uygulamaları, melatonin uygulanmayan bitkilerle karşılaştırıldığında her iki türdeki birincil yağ bileşenlerini iyileştirmiştir. Sonuç olarak, azaltılmış sulama rejimlerinin yanı sıra melatonin uygulamaları her iki *Salvia* türünde de uçucu yağ üretimi ve bileşiminde önemli bir iyileşme ile sonuçlanmıştır.

Boutasknit *et al.* (2020), AMF'nin stoma ilişkilerini, suyu ve inorganik bileşikleri düzenlemedeki farklı etkilerini açıklayarak iki zıt keçiboynuzu ekotipinde (*Ceratonia siliqua* L.) kuraklık toleransına ve iyileşmeye aracılık edip etmediğini araştırmışlardır. Çalışmada mineral solüsyon alımı ve su içeriği, organik ayarlar (şeker ve protein içeriği), yaprak gazı değişimi (stomatal iletkenlik ve fotosistem I ve II'nin etkinliği) ve keçiboynuzu fidelerinin iki zıt ekotipinin oksidatif hasarı üzerine AMF: kıyı (güney ekotipi (SE)) ve kontrol (C), kuraklık (sulama 15 gün boyunca durdurulmuş (15D)) ve toparlanma (R) koşulları altında iç kesimler (kuzey ekotipi (KD)) şeklinde kurgulanmıştır. Çalışma sonucunda, AMF'nin C, 15D ve R koşulları sırasında her iki ekotipin bitkilerinde büyümeyi, besin içeriğini ve fizyolojik ve biyokimyasal parametreleri desteklediği bildirilmiştir. Dört günlük uygulamadan sonra AMF, mikorizal olmayan kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında stoma iletkenliği, maksimum fotokimyasal etkinliği (Fv/Fm), su içeriği ve mineral besinlerin (P, K, Na ve Ca) bitki alımı mikorhizal sürgünlerde önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, AMF, geri kazanımdan sonra NE ve SE'deki mikorizal olmayan bitkilerine kıyasla AMF'de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> birikimini ve MDA oksidatif hasarını azaltmıştır. Genel olarak, AMF'nin mineral tuzları (P, K, Na ve Ca), su emilimini, organik tuzları (çözünür şekerler ve protein içeriği) artırarak keçiboynuzu bitkilerinin erken dönemlerde kuraklığa karşı direncinde rol oynayabileceği ifade edilmiştir.

Cartabia *et al.* (2021) tarafından *A. officinalis*'i AMF *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 ile ilişkilendiren iki bağımsız deney, yarı hidroponik (S-H) yetiştirme sisteminde gerçekleştirilmiştir. Deneylerin amacı, 9 (Deney 1) veya 30 (Deney) yetiştirilen mikoriza ve mikoriza olmayan bitkilerin sürgünlerinin, köklerinin ve eksüdalarının birincil ve ikincil metabolit (sırasıyla PM'ler ve SM'ler) içeriğini araştırmaktır. PM'ler ve SM'lerdeki farklılıklar, çok değişkenli veri analizi ile birleştirilmiş, hedeflenmemiş bir ultra yüksek performanslı sıvı kromatografisi yüksek çözünürlüklü kütle spektrometresi metabolomik yaklaşımı ile değerlendirildi. Metabolit üretimindeki farklılıklar Exp. 1. Volcano-plots analizi, 10 PM ve 23 SM'de güçlü bir yukarı düzenleme ortaya çıkardı. Tersine, M ve mikorizal olmayan bitkileri arasındaki sürgünlerde veya köklerde PM'ler ve SM'ler açısından önemli bir fark bulunmazken, kumarin skoparon ve furanokumarin byakangelisin, M bitkilerinin eksüdalarında birikmiştir. Kafeik asidin on beş di-

tri- ve tetra-merik C6-C3 türevi, esas olarak M bitkilerinin köklerinde indüklenirken, M bitkilerinin sürgünlerinde dört oleanan tipi saponin birikmiştir. M bitkilerinin köklerinde, tümü ortak bir süstitüsyon paterni (C-9" ve C-9"da metilasyon ve C-8'de hidroksilasyon) sunan iki yeni salvianolik asit B türevi ve bir yeni rosmarinik asit türevi tespit edildi. Kolonize bitkilerde gözlemlenen çeşitli bileşiklerin birikmesi, AMF'nin spesifik bitki biyosentetik yollarını etkileme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Ramezani *et al.* (2020), *Salvia* ekotiplerinde su eksikliğinin monoterpen sentazların ekspresyonu ve uçucu yağ bileşimi üzerindeki etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Araştırma sonucunda, adaçayındaki 1,8-sineol,  $\alpha$ - ve  $\beta$ -hujone, kafur ve borneol gibi uçucu yağların ana bileşen miktarının su stresi altında arttığı bildirmiştir. Bu bileşiklerdeki artış, biyosentezlerinde yer alan genlerin (Cs, Ss 72 ve Bpps) ekspresyonu ile ilişkilendirilmiştir.

Amani Machiani *et al.* (2021), tarafından soya fasulyesi ile karışık kültürde su stresi altında *Funneliformis mosseae* fungusunun kekiğın verimine ve fitokimyasal özelliklerine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, su stresi altında *Funneliformis mosseae* fungusına aşılamanın verimi ve fitokimyasal özellikleri iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. Kekiğın özelliğı soya fasulyesi ile karıştırılmasıdır. Bu çalışmada, soya fasulyesi ile karışık ekimde kuraklık stresinin ve AMF (biyogübre olarak) kullanımının kekik esansiyel yağının besin konsantrasyonu, kuru madde verimi, miktarı ve kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla iki yıllık bir saha denemesi yapılmıştır. Ana faktör olarak (1) %20 drenaj sonrası sulama (I20) stressiz, %50 (I50) orta düzeyde su eksikliğı ve %80 (I80) mevcut su ve şiddetli su eksikliğı olmak üzere üç sulama düzeyi ana faktör olarak kullanılmıştır. İkincil faktör, kekik yetiştiriciliğı, 50:50 ve 66:34 (soya fasulyesi:kekik) alternatif karışık yetiştirme oranı ve AMF'nin kullanılmaması (kontrol) ve kullanımı dahil olmak üzere farklı yetiştirme modelleri ile gösterilmiştir. Çalışma sonuçlara göre orta ve şiddetli kuraklık stresi altında kekiğın kuru verimi birinci yıl %35 ve %44, ikinci yıl ise stressiz bitkilere göre %27 ve %40 oranında azalmıştır (I20). Ayrıca kekik yapraklarının makro besin ve mikro besin elementleri, AMF uygulamasından sonra karma ürün desenlerinde önemli ölçüde artmıştır. En yüksek kekik uçucu yağı yüzdesi 50:50 oranında AMF ile

muamele edilmiş karışık kültürde elde edilmiştir. Orta ve şiddetli su eksikliği koşullarında, kekik esansiyel yağının timol, p-simen ve  $\gamma$ -terpinen gibi ana bileşikleri, AMF ile muamele edilmiş karışık kültür modellerinde artmıştır. Araştırmacılar, su stresi koşullarında kekikte istenen kalite ve miktarda esansiyel yağ elde etmek için 50:50 karma ürün oranında AMF kullanımının çiftçilere çevre dostu bir yaklaşım olarak önerilebileceği sonucuna varmışlardır.

Ostadi *et al.* (2022), adaçayı bitkisi üzerinde  $TiO_2$  nanoparçacıkları ve AMF'nin eşzamanlı kullanım etkisini incelemişler ve kuraklık stresi koşullarında adaçayı esansiyel yağının (*Salvia officinalis* L.) miktarının ve kalitesinin iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, biyogübre ve nanoparçacıkların ( $TiO_2 + AMF$ ) entegre uygulamasının, kuraklık stresi koşullarında adaçayı bitkilerinin verimini artırmak ve üretkenliği ile çiçek açma kalitesini iyileştirmek için sürdürülebilir bir strateji olarak önerilebileceğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar özellikle kurak koşullarda, çevresel ayak izini azaltmak ve adaçayı üretiminin sürdürülebilirliğini artırmak için üreticilerin sentetik gübreleri, nano ve biyogübrelerle değiştirmeye teşvik edilmelerini önermişlerdir.

Zhao *et al.* (2022), AMF'nin tıbbi bitkilerde ikincil metabolitlerin üretimi üzerindeki etkileriyle ilgili kaynakların bir incelemesini yapmışlardır. Başlıca bulguları şunlardır: AMF, bitki biyokütlesini artırarak doğrudan veya ikincil metabolit biyosentetik yollarını uyararak dolaylı olarak ikincil metabolitlerin üretimini etkiler. Etkinin büyüklüğü bitki genotipine, AMF suşuna ve çevresel koşullara (örn. ışık, hasat zamanı) bağlı olarak değişim gösterir. AMF ile de uyumlu tıbbi bitkiler (sera, aeroponik, hidroponik, in vitro ve tüylü kök kültürleri gibi) tarafından ikincil metabolitler üretmek için farklı yetiştirme yöntemleri kullanılır. Sonuç olarak, tıbbi bitkilerin AMF ile aşılması, tıbbi ve kozmetik açıdan önemli olan ikincil metabolitlerin miktarını ve kalitesini artırmanın gerçek bir yoludur.

Adaçayında (*Salvia officinalis*) besin maddelerinin emilimi, uçucu yağ ve monoterpenlerle ilgili genlerin ekspresyonu üzerine kuraklık stresi ve aşılama uygulamalarının etkisi Aslani *et al.* (2023) tarafından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kuraklık stresinin şiddeti arttıkça, *P. indica* tarafından kök kolonizasyon yüzdesinin, büyüme parametrelerinin, bağıl su içeriğinin, klorofil indeksinin, uçucu

yağ veriminin ve besin konsantrasyonunun azaldığını göstermiştir. En yüksek ve en düşük kuru bitki verimi (saksı başına 33.94 ve 11.62 gram), (yüzde 80.20 ve 51.60), klorofil konsantrasyonu (38.46 ve 30.47), uçucu yağ verimi (0.22) ve saksı başına 0.20 ml) ve P (0.40) iyi sulama koşullarında *P. indica* ile aşılana bitkilerde ve şiddetli kuraklık stresi altında aşılama bitkilerde (%40 TK) sırasıyla %0.26 ve %0.26 gözlenmiştir. Sabinen sentaz (ss) geni ekspresyon oranı, kuraklık stresi altında önemli ölçüde artmış ve en yüksek ekspresyon seviyesi %40 TK'de *P. fluorescens* ile aşılama bitkilerde elde edilmiştir. Buna karşılık, geranil difosfat sentaz (gpps) ve bornil difosfat sentaz (bpps) ekspresyonu kuraklık stresi altında azalmıştır.  $\alpha$ -thujone, 1,8-cineole (%36.48 ve %13.26) ve kafur (%18.94) dahil olmak üzere en yüksek baskın uçucu yağ bileşikleri, %40 TK ve aşılama bitkilerin kuru seviyesinde bakteri aşılama uygulamasında gözlenmiştir.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bitki ve Fungus Materyalinin Hazırlanması: *Origanum onites* L. tohumları Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. *Funnelliformis mosseae* isimli AMF türü, Urmia Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Younes REZAEE DANESH'ten sağlanmıştır.

#### 3.1 Deneme Deseni

Araştırma, 2020-2022 yıllarında, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm laboratuvarlarında yapılmıştır.

Faktöriyel olarak planlanan deneme, tesadüf parselleri deseninde kurulmuştur. Kuraklık stresi (dört seviye) ve mikoriza fungusu (mikorizalı ve mikorizasız olmak üzere iki seviyeye) iki faktörlü faktöriyel denemeye dayalı çalışma, tesadüf parselleri deneme deseninde, kontrollü sera koşulları üç tekerrürlü ve toplam 24 parselden oluşmuştur:

- 1- Bitki + sulama seviyesi % 25 + mikoriza uygulanmadan
- 2- Bitki + sulama seviyesi % 25 + mikoriza
- 3- Bitki + sulama seviyesi % 50 + mikoriza uygulanmadan
- 4- Bitki + sulama seviyesi % 50 + mikoriza
- 5- Bitki + sulama seviyesi % 75 + mikoriza uygulanmadan
- 6- Bitki + sulama seviyesi % 75 + mikoriza
- 7- Bitki + sulama seviyesi % 100 + mikoriza uygulanmadan
- 8- Bitki + sulama seviyesi % 100 + mikoriza

İlk olarak, saf bir *Funelliformis mosseae* numunesinde yeterli sayıda fungus sporunun varlığını sağlamak için fungus sporları izole edilmiş ve sayılmıştır. Bunun için, fungus türlerinin saflaştırılmış sporlarını içeren 1 g toprak numunesi tartılmıştır. Fungus sporlarının izolasyonu, elek ve santrifüjle %50 sükröz çözeltisinde yıkanarak bazı işlemlerle gerçekleştirilmiştir. İşlemler fungus sporlarına bağlı ince toprak parçacıklarını ayırmak için ultrasonik bir cihazın kullanımını ve ayrıca iki santrifüj yerine %50 sükröz çözeltisi içeren tek bir santrifüjü içermektedir. Böylece sporlar kolaylıkla ayrılıp 1 gram toprakta



sayılabilirler. Sporları ayırdıktan sonra, sayıları 1 gr toprakta stereomikroskop altında sayılmıştır. Çalışmanın bu kısmı Ankara'daki Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Mikrobiyoloji Laboratuvarı'nda yapılmıştır (Şekil 3.1). Spor sayımı sonuçlarına göre, *Funelliformis mosseae* AMF türlerini içeren 1 g toprak numunesinde 168 spor olduğu saptanmıştır.



**Şekil 3.1.** Mikoriza fungus sporlarının spor sayımı için ayırma adımları.

AMF türlerine ait uygun sayıda sporun varlığını öğrendikten sonra, sera deneyleri için gerekli inakulum miktarı hesaplanmıştır. Daha önce yapılmış deneyimlere göre önerilen kullanılabilir fungus inakulum miktarı, uygulanan toplam toprak hacminin %20'si kadar bulunmuştur. Bu nedenle kullanılan saksı hacmine göre (400 g) her saksı için gerekli olan fungus inakulum miktarı 80 g, mikorizal fungusun aşılması için 12 adet saksı sayısına göre gerekli toplam inakulum miktarı  $960 = 80 \times 12$  g olmuştur. Çalışmada AMF türlerinin taze ve aktif inakulum çoğaltılmış ve hazırlanmıştır. Çalışmanın bu kısmı, Ankara'daki Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Araştırma Merkezinin araştırma serasında yapılmıştır. Bu amaçla mısır bitkisi kullanılmıştır. Bunun için 250 gr'lık küçük saksılar kullanılmıştır. İlk olarak yeterli kum hazırlandı ve otoklavda iki kez ve her seferinde 1 saat  $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ve 1.5 atmosferik basınçta sterilize edilmiştir (Şekil 3.2).



**Şekil 3.2.** Sera deneyleri için kum hazırlama ve sterilize etme adımları.

Daha sonra 200 gr sterilize kum, AMF türleri içeren 50 gr toprakla iyice karıştırılmış ve 250 gr'lık saksılara doldurulmuştur. Daha sonra bu saksılara 4 ila 5 adet mısır tohumları ekilmiştir. Saksılar iyi sera şartlarında muhafaza edilip ve gerektiğinde sulama yapılmıştır. Bitkiler istenilen seviyeye geldikten sonra (ekimden 1-2 hafta sonra) besin eksikliğini gidermek amacıyla saksılar fosfor bileşimi içermeyen Hoagland besin çözeltileriyle sulanmıştır. Yaklaşık bir ay sonra deney saksılarının küçük olması ve bitkilerin optimal büyümesini sağlaması nedeniyle, bu saksıların toprak ve bitki içerikleri dikkatlice daha büyük saksılara (2 kg) aktarılmış ve saksılar sterilize kum ile yeniden doldurulmuştur. Yeni saksılar optimum sera koşullarında 3-4 ay bekletilip ve gerektiğinde besin çözeltilisiyle sulanmıştır (Şekil 3.3). Daha sonra bitkilerin toprak üstü kısımları kesilerek sulama durdurulup ve saksılar 3 hafta ile 1 ay arasında aynı durumda tutulmuştur. Böylece fotosentez durdurulup ve bitki strese girmiştir. Mikorizal funguslar da bitki köklerinde simbiyozdan dolayı strese girmiş ve vejetatif gelişimden generatif aşamasına geçerek çok sayıda taze ve aktif spor üretmeye başlamıştır. Böylece deneme için AMF türlerinden aktif sporları içeren yeterli toprak elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Sera koşullarında AMF türlerinin çoğalması için konukcu bitki yetiştirme aşamaları.

### 3.2 Yetiştirme Ortamı Olarak Kum

İlk olarak yeterli kum hazırlanıp, etüvde iki kez, 3 saatlik 180 °C’de sterilize edilmiştir (Şekil 3.4). Daha sonra hazırlanan *Funelliformis mosseae* AMF türünü içeren topraklarda, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümüne getirilmiştir.

Deneme 48 adet 300 gr’lık küçük plastik saksı ile kurulup, her ortam 6 tekerrürlü düzenlenmiştir. Saksılarda, ortamlar M<sup>+</sup> (mikoriza ile aşıllanmış toprak) ve M<sup>-</sup> (mikoriza ile aşılammamış toprak) yazılarak ayrılmıştır. 24 adet saksıya mikoriza ile aşılammış toprak, diğer 24 adet ise mikoriza ile aşılammamış toprak konulmuştur (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Etüvde toprakların sterilizasyonu.



Şekil 3.5. Saksıların hazırlanması.



Saksılar iki gruba ayrılmış, 24 saksıya sadece sterilize edilmiş 300 gr kum, diğer 24 saksıya ise 200 gr kum + 100 gr AMFtörü içeren toprak şeffaf poşetlerde karıştırıldıktan sonra doldurulmuştur (Şekil 3.6).



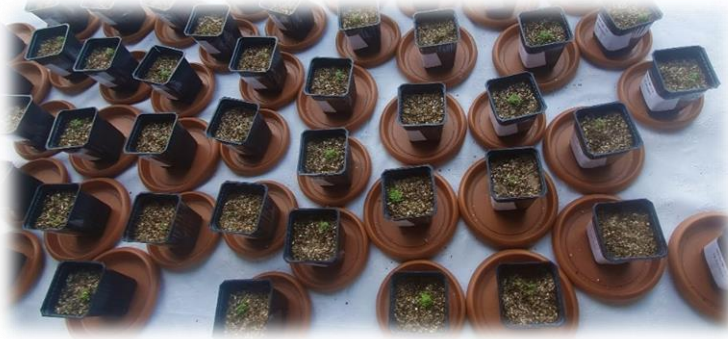
Şekil 3.6. Ortamların saksılara doldurulması.

### 3.3 Çalışmada Kullanılan Bitki Materyali

Kekik tohumları Ege Tarımsal Araştırma Merkezi'nden temin edilip, tartıldıktan sonra saksılara ekilmiştir. Ortamlara çabuk su kaybetmemeleri için, vermikülit eklenmiştir (Şekil 3.7). Sera koşullarında ortamların nemleri bir ay boyunca günlük kontrol edilip sonra aynı tekerrürde olan 2 adet 300 gr lik saksı 1 kg lik saksılara aktarılmış ve diğer kalan hacminide (400 gr) sterilize edilmiş kum ile doldurarak toplamda 24 adet 1 kg lik saksıya aktarılmıştır. Böylece altı tekerrür üç tekerrüre indirilmiştir (Şekil 3.8 ve 3.9).



Şekil 3.7. Tohum ekimi.



Şekil 3.8. Tohumun çimlenmesi.



Şekil 3.9. Ortamların birleşmesi.

Mikorizal fungus popülasyon ve kolonizasyonun gelişmesi için bitkilere yaklaşık 45 gün daha sadece su verilmiş, bitkiler belirli aşamaya geldikten sonra haftada iki kez HOGLAND çözeltisi uygulanmıştır (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10.** Bitki gelişimi.

Her gün bitkiler orantılı olarak ve kuraklık stresine uygun olarak gözetlenip su verilmiştir (Şekil 3.11).



**Şekil 3.11.** Hasatdan önce bitkilerin görünümü.

Bitki büyüme ve verim parametrelerinin analizleri yapılması için 90'ıncı günde bitkilerin hasatı yapılmıştır ve mikorizal fungus popülasyon ve kolonizasyon indeksi üzerinde yapılan deneyler için farklı uygulamalarda bitki kök örnekleri alınmış ve toprak analizler için hazırlanmıştır (Şekil 3.12).





**Şekil 3.12.** Bitkilerin saksılardan alınması.

Mikorizal fungus popülasyon sayımı için köklere yakın toprak 100 ml lik plastik kaplara doldurulup ve 4 °C’li ortamda, kökler ise alüminiyüm kağıtlara sarılıp pöşetlere koyulmuş ve -20 °C’li ortamda saklanmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Örneklerin analizler için hazırlanması.

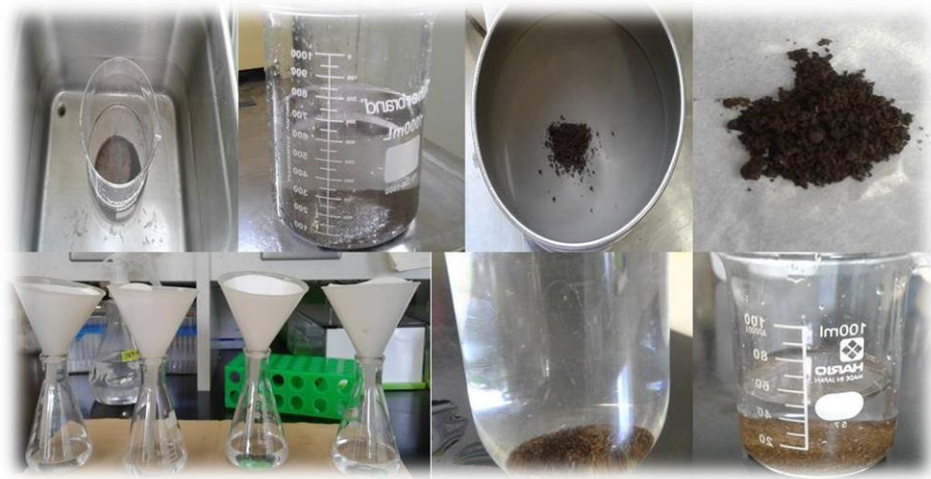
Bitki besin elementleri ve uçucu yağ analizleri için örneklerin hem yaş ağırlıkları hem kuru ağırlıkları alınmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Bitki örneklerin tartılması.

### 3.4 AMF Spor Populasyonu ve Kök Kolonizasyonu Belirlenmesi

AMF sporları sera çalışmalarından üç tekerrürlü olarak elde edilen toprak örneklerinden (her biri 10 g) ıslak eleme kullanarak, %50 sukroz içinde santrifüjleme ile çıkarılmıştır (Şekil 3.15). Her tekerrürde sporlar, steryo mikroskop kullanılarak sayısı yapıp, statistik analizleri yapılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.15. AMF sporlarının topraktan izolasyon aşamaları.





Şekil 3.16. Spor sayımı.

Her saksıdan alınan kök örnekleri (yaklaşık 0.5 gr) seçilip üzerinde bulunan toprak tanecikleri su ile yıkanmıştır. Kökler tripan mavisi (%0.05) ile boyanmıştır. Daha sonra köklerin boyası, laktik asit ile çıkarılarak 1-2 cm'lik parçalara bölünmüştür. AMF kök kolonizasyon indeksleri (%F ve %M) *Trouvelot et al.* metodu ile (1986) hesaplanıp ve istatistik analizi yapılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Kök Kolonizasyonu belirlenmesi.

### 3.5 Bitki Verim ve Büyüme Parametrelerinin Belirlenmesi

Bitki verim ve büyüme parametreleri olarak, bitki yaş ve kuru ağırlığı ve uçucu yağ oranı ve verimi ölçülmüştür. Ardından bitki örnekleri saf su ile yıkanıp 65 °C'de kurutulup ardından laboratuvar tipi değirmen ile öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Örnekler 1:4 hidroklorik asit ve perklorik asit karışımı ile yağ yakılarak analizler için ekstrakte edilmiştir. Bu şekilde ekstrakte edilen örneklerde bitki örneklerin N, P, K, Ca, Mg ve Fe analizleri yapılmıştır.

### 3.6 Bitki Uçucu Yağ Oranı Belirlenmesi

Kuru bitki örneklerinde uçucu yağ oranları Clevenger apareyi ile volümetrik olarak belirlenmiştir. 30 g drog 1000 ml'lik şilifli balona koyulmuş ve 300 ml saf su ilave edilmiştir. Üzerine soğutucu taşıyan toplama büreti yerleştirilmiştir. Toplama büretine su koyulmuştur. Sistem elektrikli ısıtıcıda 4 saat ısıtılarak distilasyona devam edilmiştir. Sürenin sonuna doğru soğutma suyu kapatılarak su buharının iyice yoğunlaşması beklenmiş ve derhal soğuk su akışı yeniden başlatılmıştır. 10 dk sonra distilasyona son verilmiştir. Sistem kapatılıp, numune içindeki uçucu yağ miktarı hacim/ağırlık cinsinden hesaplanmıştır (Anonymous, 2010).

**Uçucu yağın bileşimi (%):** Uçucu yağlarda bulunan kimyasal bileşenlerin adları ve oranları GC ve GC/MS ile belirlenmiştir. Öncelikle uçucu yağ örnekleri analiz edilmek üzere 1:50 oranında hekzan ile seyreltme işlemine tabi tutulmuştur. Gaz kromatografisi (GC) analiz koşulları Sistem: Agilent 6890N GC GC analiz koşulları; eş zamanlı olarak GC/MS sistemindeki madde çıkış zamanları ile aynı olacak şekilde ayarlanmıştır (FID 300°C). Bu amaçla kapiler kolon (HP Innowax Capillary; 60.0 m x 0.25 mm x 0.25 µm) kullanılmıştır.

**Gaz kromatografisi / Kütle spektrometrisi (GC/MS) analiz koşulları**  
**Sistem:** Agilent 5975 GC-MSD sistemi Kolon: HP-Innowax Silika kapiler (60 m x 0.25 mm Ø, 0.25 m film kalınlığı) Sıcaklık Programı: 60 °C de 10 dak // 4 °C/dak artışla 220 °C ye // 220 °C de 10 dak // 1 °C/dak artışla 240 °C ye Enjektör: 250 °C Taşıyıcı Gaz: Helyum (0,8 ml/dak) Split oranı: Splitless Elektron enerjisi: 70 eV.

**Kütle aralığı:** m/z 35-450 olacak şekilde cihaz şartlandırılmıştır. Örneklerin uçucu yağın bileşenlerinin teşhisinde Başer Uçucu Yağ Bileşenleri Kütüphanesi, Wiley ve Adams-LIBR (TP) Kütüphane Tarama Yazılımları kullanılmıştır. Elde edilen bileşenlerin yüzdeleri FID dedektör kullanılarak, tanımlaması ise MS dedektör kullanılarak yapılmıştır. Uçucu yağ bileşenlerinin alıkonma indisleri (RI), her bir bileşenin alıkonma zamanı ve C8-C22 karbon serili n-alkan serisinin aynı analiz koşulları için belirlenen alıkonma zamanları dikkate alınarak hesaplanmıştır.

### 3.7 İstatistik Yöntemler

Her parametre için veriler, STAT GRAPHICS sürüm 17 yazılımı ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. İncelenen faktörler ve etkileşimleri %1 düzeyinde tek ve iki yönlü varyans analizi yapılmıştır. Ortalama veriler, Duncan %1 çoklu aralık testi ile karşılaştırılmıştır. İlgili grafikler de Excel yazılımı ile çizilmiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Morfolojik özellikler

#### 4.1.1 Yaş ağırlık

Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının bitki yaş ağırlığı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.1 de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının bitki yaş ağırlığı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

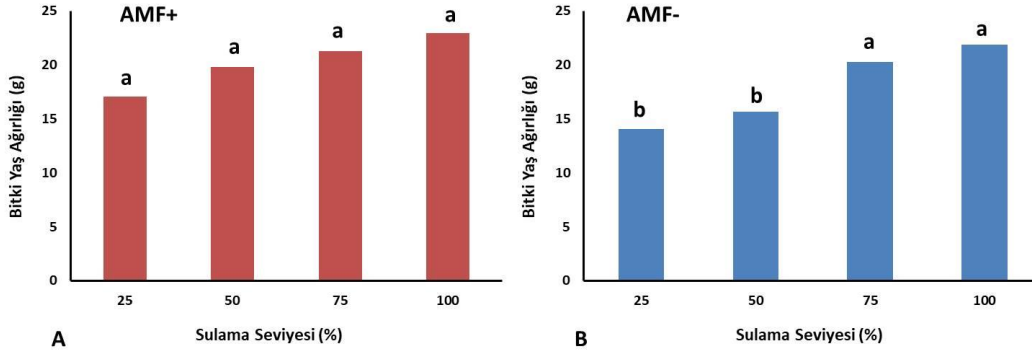
Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması
Sulama Seviyesi (A)	3	56.74**
AM fungus aşılama (B)	1	32.18**
A × B	3	3.56 <sup>öd</sup>
Hata	16	3.68
Total	23	

\*\* : Önemli P<0.01

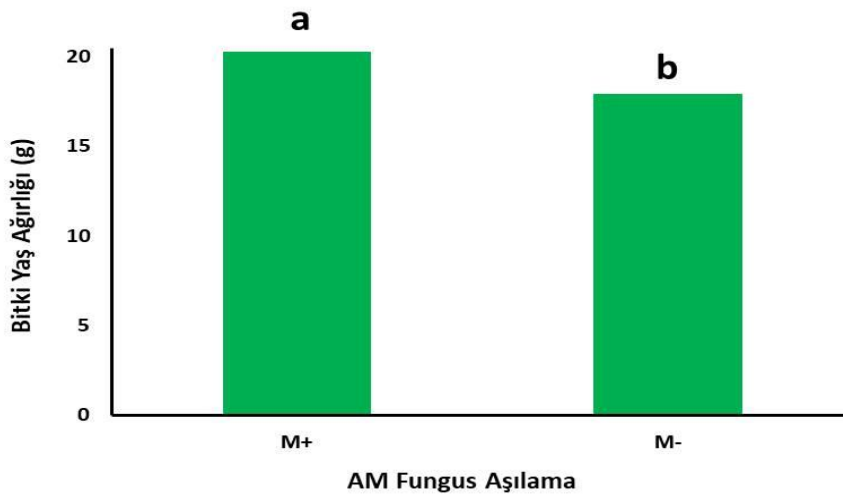
<sup>öd</sup> : Önemli değil

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının bitki yaş ağırlığı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları (Tablo 4.1), sulama seviyelerinin yanı sıra AM fungus aşılmasının bitki taze ağırlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu (P<0.01) göstermiştir. Bu parametrelerin interaksyonu önemli bir etkisi olmamıştır. Bitki taze ağırlıklarının en yüksek ve en düşük ortalamaları (22.97 g ve 14.04 g), sırasıyla AMF aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin bitki taze ağırlığı üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 4.1B). Görüldüğü gibi en yüksek bitki taze ağırlık ortalamaları aynı şekilde %100 ve %75 sulama seviyelerinde elde edilebilirken, en düşük bitki taze ağırlık ortalamaları ise aynı şekilde %25 ve %50 sulama seviyelerinde gözlemlenebilmiştir. Öte yandan, AMF ile aşılanmış bitkilerde, bitki taze ağırlığı üzerinde sulama seviyeleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır (Şekil 4.1A). Bu, bitkiler mikoriza ile aşılandığında sulama seviyelerinin bitki taze ağırlığı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı ortaya çıkmıştır. Aynı uygulamaların karşılaştırılması, bitki taze ağırlık parametre miktarlarının, AM aşılmasının bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini

doğrulayan, aşılammamış bitkilerden ziyade aşılammış bitkilerde daha yüksek olduğunu göstermiştir. AMF aşılamanın bitki taze ağırlığı üzerindeki bu olumlu ve önemli etkileri de Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki yaş ağırlığına etkisi.



Şekil 4.2. AM fungus aşılmasının bitki yaş ağırlık parametresi üzerine etkisi.



#### 4.1.2 Kuru ağırlık

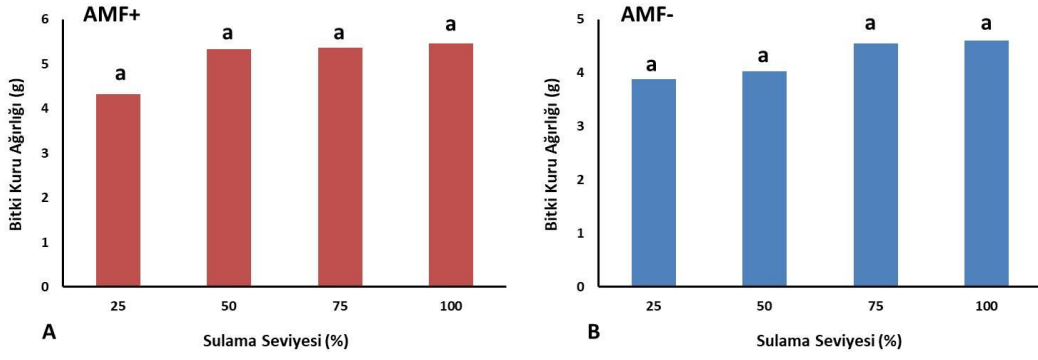
Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının bitki kuru ağırlığı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.2 de verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının bitki kuru ağırlığı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

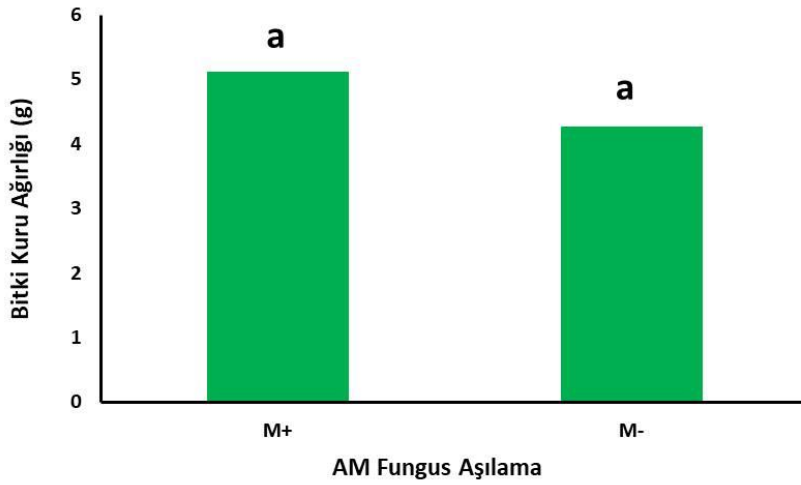
Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması
Sulama Seviyesi (A)	3	1.06 <sup>öd</sup>
AM fungus aşılama (B)	1	4.34 <sup>öd</sup>
A × B	3	0.18 <sup>öd</sup>
Hata	16	0.54
Total	23	

<sup>öd</sup>: Önemli değil

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının bitkinin kuru ağırlığı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları (Tablo 4.2), sulama seviyelerinin, AM fungus aşılmasının ve bunların etkileşiminin bitkinin kuru ağırlığı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ( $P < 0.01$ ) göstermiştir. Bitki kuru ağırlıklarının en yüksek ve en düşük ortalamaları (5.46 g ve 3.88 g) yine bitki taze ağırlık parametresine benzer şekilde, AMF aşılama ile %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılama uygulaması yapılmadan %25 sulama seviyesinde tekrar gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan ve AMF fungusu ile aşılanmış bitkilerde, sulama seviyelerinin bitkinin kuru ağırlığı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ortaya çıkmıştır (Şekil 4.3A ve 4.3B). Görüldüğü gibi bitki kuru ağırlık ortalamalarının miktarları tüm sulama seviyelerinde benzer bulunmuştur. Bu, mikorhizal aşılamanın bitki kuru ağırlık parametresi üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı anlamına gelmektedir. Ayrıca, aynı uygulamaların karşılaştırılması, bitki kuru ağırlık parametresi miktarlarının aşılanmış bitkilerde aşılanmamış bitkilerden daha yüksek olduğunu, ancak önemli ölçüde olmadığını göstermiştir. Şekil 4.4'te AMF aşılamanın bitkinin kuru ağırlığı üzerindeki etkisi de önemli olmadığı gösterilmiştir.



Şekil 4.3. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki kuru ağırlığına etkisi.



Şekil 4.4. AM fungus aşılmasının bitki kuru ağırlık parametresine etkisi.

## 4.2 Besin Elementleri

### 4.2.1 Potasyum içeriği

Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının bitki potasyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.3. de verilmiştir.

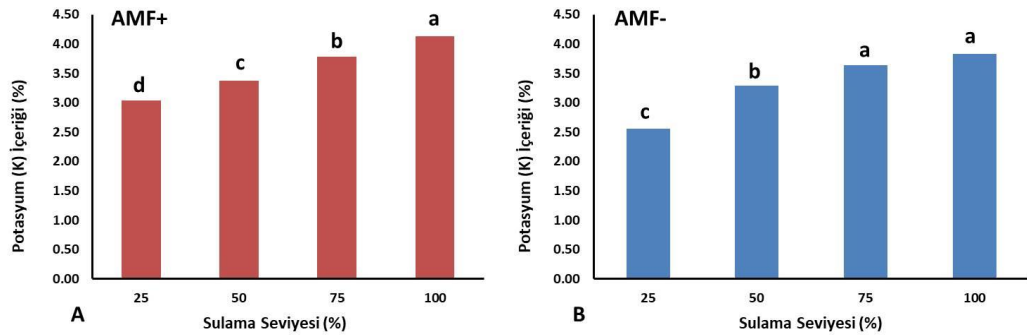
**Tablo 4.3.** Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının potasyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması
Sulama Seviyesi (A)	3	1.60**
AM fungus aşılama (B)	1	0.39**
A × B	3	0.05 <sup>öd</sup>
Hata	16	0.01
Total	23	

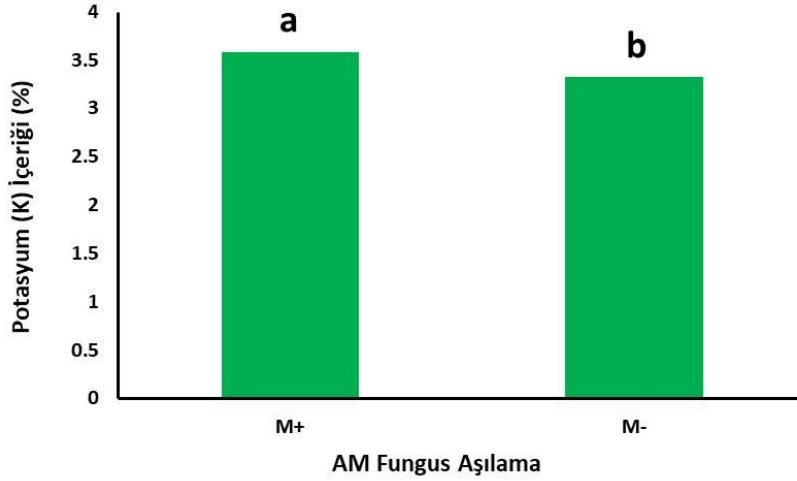
\*\* : Önemli P<0.01

<sup>öd</sup>: Önemli değil

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının potasyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları (Tablo 4.3), AMF aşılmasının yanı sıra sulama seviyelerinin de önemli etkiye sahip olduğunu gösterilmiştir (P<0.01). Bu parametrelerin etkileşiminin önemli bir etkisi olmamıştır. Potasyum içeriğinin en yüksek ve en düşük ortalamaları (%4,13 ve %2,55) sırasıyla AMF aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama düzeylerinin potasyum içeriği üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür (Şekil 4.5B). Görüldüğü gibi en yüksek potasyum içeriği ortalamaları aynı şekilde %100 ve %75 sulama seviyesinde elde edilebilirken, en düşük ortalama %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. Öte yandan, AMF ile aşılanmış bitkilerde, sulama seviyeleri arasında potasyum içeriği açısından da önemli farklılıklar bulunmuştur (Şekil 4.5A). Bu, bitkiler mikoriza tarafından aşılandığında, sulama düzeylerinin potasyum içeriği üzerinde önemli etkilere sahip olduğu anlamına gelmektedir. Aynı uygulamaların karşılaştırılması, potasyum içeriği parametre miktarlarının, AMF aşılamanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşılanmamış bitkilerden ziyade aşılanmış bitkilerde daha yüksek olduğunu göstermiştir. AMF aşılamanın bu olumlu ve anlamlı etkisi Şekil 4.6'da da gösterilmiştir.



**Şekil 4.5.** AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki potasyum içeriğine etkisi.



Şekil 4.6. AM fungus aşılamaının bitki potasyum içeriği parametresi üzerindeki etkisi.

#### 4.2.2 Kalsiyum içeriği

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılamaının bitki kalsiyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.4. de verilmiştir.

Tablo 4.4. Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılamaının kalsiyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

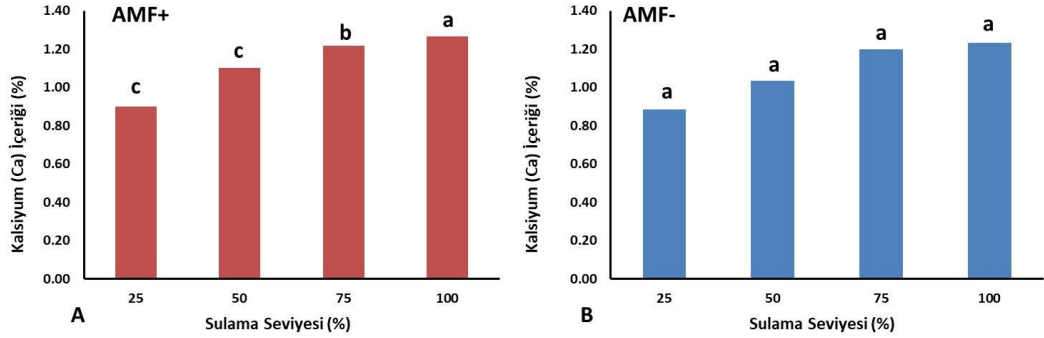
Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması
Sulama Seviyesi (A)	3	0.16**
AM fungus aşılama (B)	1	0.01 <sup>öd</sup>
A × B	3	0.001 <sup>öd</sup>
Hata	16	0.01
Total	23	

\*\* : Önemli  $P < 0.01$

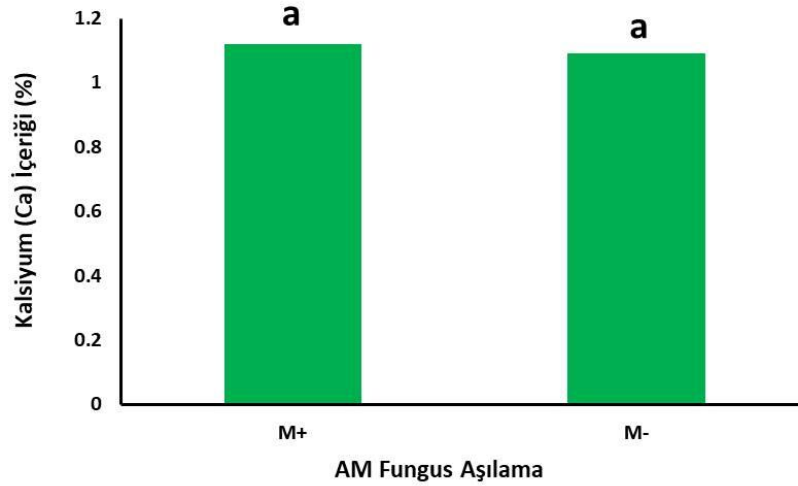
<sup>öd</sup> : Önemli değil

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılamaının kalsiyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları, sulama seviyelerinin önemli etkiye sahip olduğunu ( $P < 0.01$ ) ancak AM fungus aşılamaının önemli etkilere sahip olmadığını göstermiştir (Tablo 4.4). Ayrıca, bu parametrelerin etkileşiminin anlamlı bir etkisi olmamıştır. En yüksek ve en düşük ortalama kalsiyum içeriği (%1.27 ve %0.88) sırasıyla AM fungus aşılamaı yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılamaı uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılamaı olmayan bitkilerde, sulama düzeylerinin kalsiyum içeriği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Şekil 4.7B). Öte yandan, AMF ile aşılama

bitkilerde, sulama seviyeleri arasında kalsiyum içeriği açısından önemli farklılıklar bulunmuştur (Şekil 4.7A). Aynı uygulamaların karşılaştırılması, kalsiyum içeriği parametre miktarlarının aşılınmış bitkilerde aşılınmayanlara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir ki bu AMF aşılamanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulamıştır ancak bu artış anlamlı değildir. AMF aşılamanın bu pozitif fakat anlamlı olmayan ve anlamlı etkisi Şekil 4.8'de de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki kalsiyum içeriğine etkisi.



Şekil 4.8. AM fungus aşılamanın bitki kalsiyum içeriği parametresi üzerindeki etkisi.

#### 4.2.3. Fosfor içeriği

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılamanın bitki fosfor içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.5. de verilmiştir.

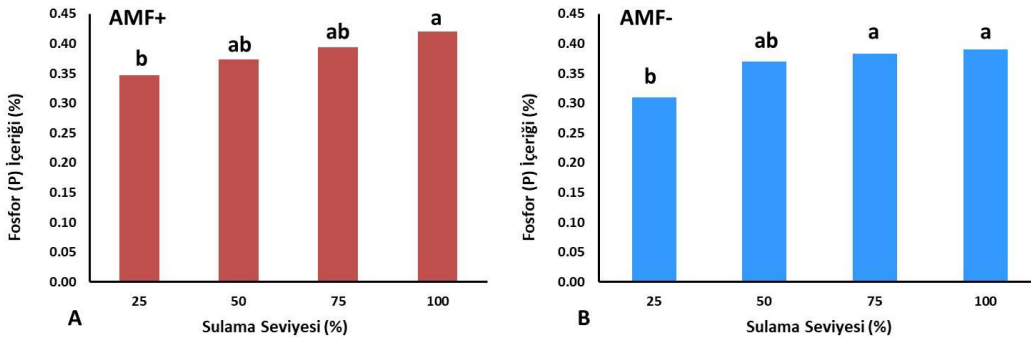
**Tablo 4.5.** Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının fosfor içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması
Sulama Seviyesi (A)	3	0.007**
AM fungus aşılama (B)	1	0.001 <sup>öd</sup>
A × B	3	0.0004 <sup>öd</sup>
Hata	16	0.0005
Total	23	

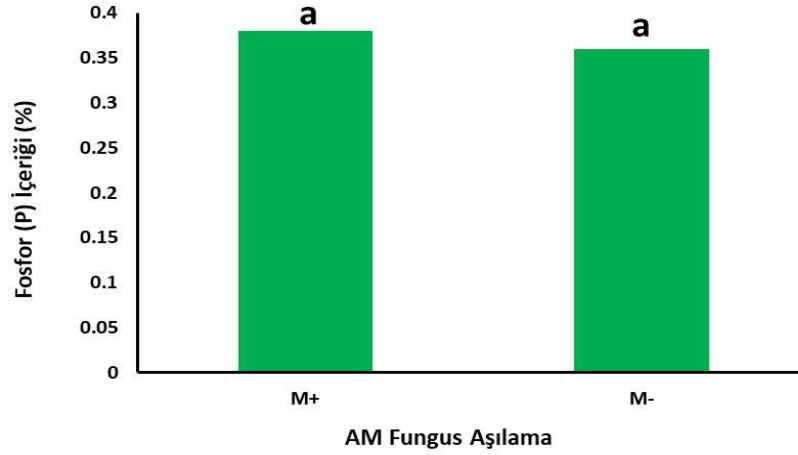
\*\* : Önemli P<0.01

<sup>öd</sup>: Önemli değil

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının fosfor içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları, sulama seviyelerinin önemli etkiye sahip olduğunu (P<0.01), ancak AMF aşılmasının önemli etkilere sahip olmadığını gösterdi (Tablo 4.5). Ayrıca, bu parametrelerin etkileşiminin anlamlı bir etkisi olmamıştır. Fosfor içeriğinin en yüksek ve en düşük ortalamaları (%0.42 ve %0.31) sırasıyla AMF fungus aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama düzeylerinin fosfor içeriği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Şekil 4.9B). Öte yandan, AMF ile aşılanmış bitkilerde sulama seviyeleri arasında da önemli bir fark bulunmamıştır (Şekil 4.9A). Aynı uygulamaların karşılaştırılması, fosfor içeriği parametre miktarlarının aşılanmış bitkilerde aşılanmayanlara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir, bu da AMF aşılmasının bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulamıştır, ancak bu artış önemli bulunmamıştır. AMF aşılamanın pozitif fakat anlamlı olmayan etkisi Şekil 4.10'da da gösterilmiştir.



**Şekil 4.9.** AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki fosfor içeriğine etkisi.



Şekil 4.10. AM fungus aşılama bitki fosfor içeriği parametresi üzerindeki etkisi.

#### 4.2.4 Azot içeriği

Sulama seviyelerinin ve AMF fungus aşılama bitki azot içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.6. de verilmiştir.

Tablo 4.6. Sulama seviyelerinin ve AMF aşılama bitki azot içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

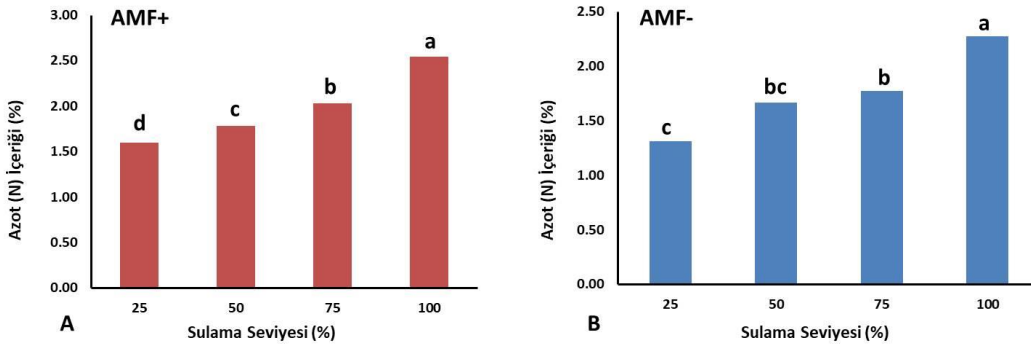
Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması
Sulama Seviyesi (A)	3	0.97**
AM fungus aşılama (B)	1	0.33**
A × B	3	0.009 öd
Hata	16	0.01
Total	23	

\*\* : Önemli  $P < 0.01$

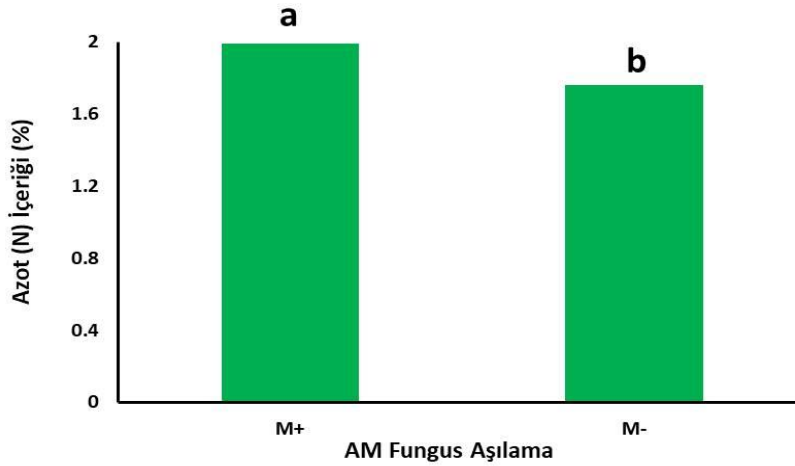
öd: Önemli değil

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılama bitki azot içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları, AMF aşılama bitki azot içeriği yanı sıra sulama seviyelerinin de önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir ( $P < 0.01$ ) (Tablo 4.6). Bu parametrelerin etkileşiminin önemli bir etkisi bulunmamıştır. En yüksek ve en düşük ortalama azot içeriği (%2,55 ve %1,31) sırasıyla AMF aşılama yapılan %100 sulama seviyesinde ve AM fungus aşılama uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlemlenmiştir. AMF aşılama olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin azot içeriği üzerinde önemli bir etkisi bulunmuştur (Şekil 4.11B). %50 ve %75

sulama seviyelerinin aynı etkiye sahip olduğu, %25 ve %50 sulama seviyelerinin benzer olduğu ancak %100 sulama seviyesinin diğerlerinden ayrıldığı görülmüştür. Öte yandan, AMF ile aşılanmış bitkilerde sulama seviyeleri arasında da önemli farklılıklar bulunmuştur (Şekil 4.11A). Aynı uygulamaların karşılaştırılması, azot içeriği parametre miktarlarının, AMF aşılanmanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşılanmamış bitkilerden ziyade aşılanmış bitkilerde daha yüksek olduğunu göstermiştir. AMF aşılanmanın olumlu ve anlamlı etkisi Şekil 4.12’de de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki azot içeriğine etkisi.



Şekil 4.12. AM fungus aşılmasının bitki azot içeriği parametresi üzerindeki etkisi.



#### 4.2.5 Sodyum içeriği

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının bitki sodyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi yapılmıştır ve sonuçlar tablo 4.7. de verilmiştir.

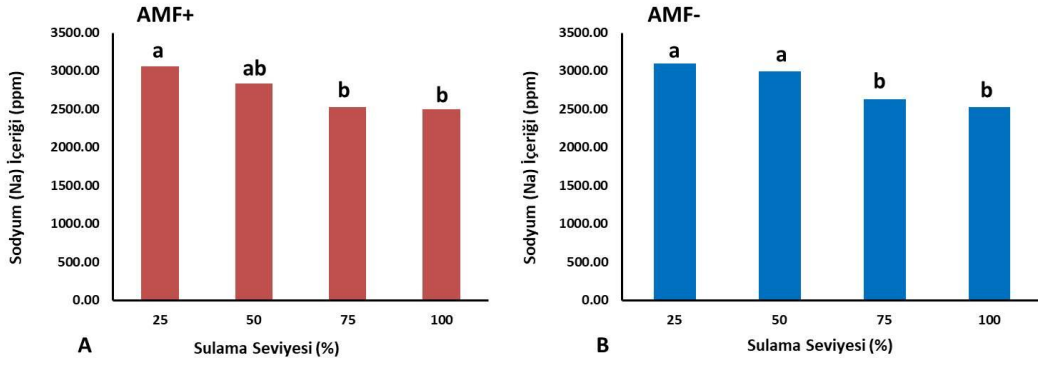
**Tablo 4.7.** Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının sodyum üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması
Sulama Seviyesi (A)	3	437222**
AMF aşılama (B)	1	41666.70 <sup>öd</sup>
A × B	3	6111.11 <sup>öd</sup>
Hata	16	22083.30
Total	23	

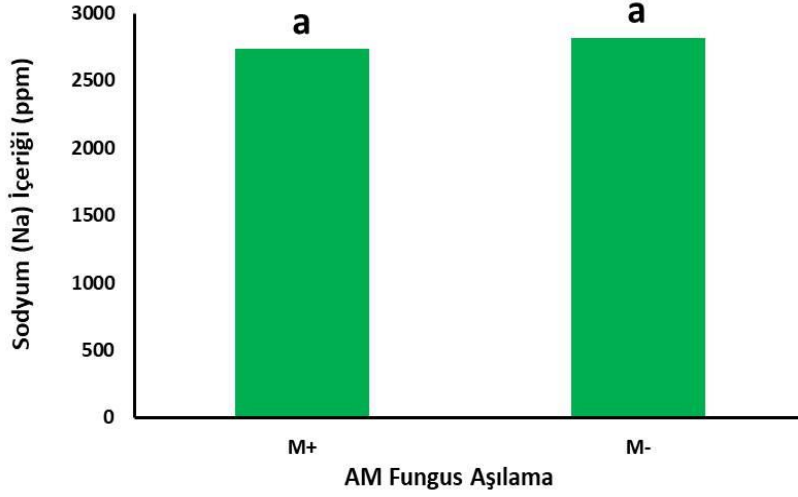
\*\* : Önemli P<0.01

<sup>öd</sup>: Önemli değil

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının sodyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi sonuçları, sulama seviyelerinin önemli bir etkiye sahip olduğunu (P<0.01), ancak AMF aşılmasının bu parametre üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir (Tablo 4.7). Bu parametrelerin etkileşiminin de önemli bir etkisi bulunmamıştır. Sodyum içeriğinin en yüksek ve en düşük ortalamaları (3100 ppm ve 2500 ppm) sırasıyla AMF aşılması yapılmayan %25 sulama seviyesinde ve AMF aşılama uygulamaları ile %100 sulama seviyesinde gözlenmiştir. Sonuçlar ayrıca su stresi durumunun artmasının bitki dokularında ortalama sodyum birikimini arttırdığını göstermiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin sodyum içeriği üzerinde önemli bir etkisi bulunmuştur (Şekil 4.13B). Aynı şekilde %25 ve %50 sulama seviyelerinin en yüksek sodyum ortalamalarına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca %75 ve %100 sulama seviyeleri benzer şekilde en düşük sodyum ortalamalarına sahip olmuştur. Öte yandan, AMF ile aşılınmış bitkilerde sulama seviyeleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 4.13A). Benzer şekilde sodyum ortalaması en yüksek %25 sulama seviyesinde gözlenirken, en düşük miktar %100 sulama seviyesinde elde edilmiştir. Aynı uygulamaların karşılaştırılması, sodyum içeriği parametre miktarlarının, AMF aşılmasının bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşılınmamış bitkilerden ziyade aşılınmış bitkilerde daha düşük olduğunu göstermiştir. AMF aşılmasının olumlu etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmayıp ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki sodyum içeriğine etkisi.



Şekil 4.14. AM fungus aşılmasının bitki sodyum içeriği parametresi üzerindeki etkisi.

#### 4.2.6 Magnezyum içeriği

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılamasının bitki magnezyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi yapılmıştır ve sonuçlar tablo 4.8. de verilmiştir.

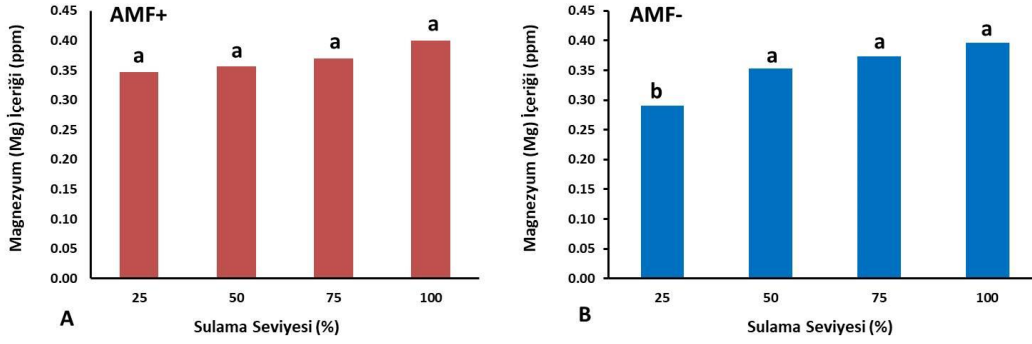
**Tablo 4.8.** Sulama seviyelerinin ve AMF aşılamasının magnezyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması
Sulama Seviyesi (A)	3	0.007**
AMF aşılama (B)	1	0.001 <sup>öd</sup>
A × B	3	0.001 <sup>öd</sup>
Hata	16	0.0007
Total	23	

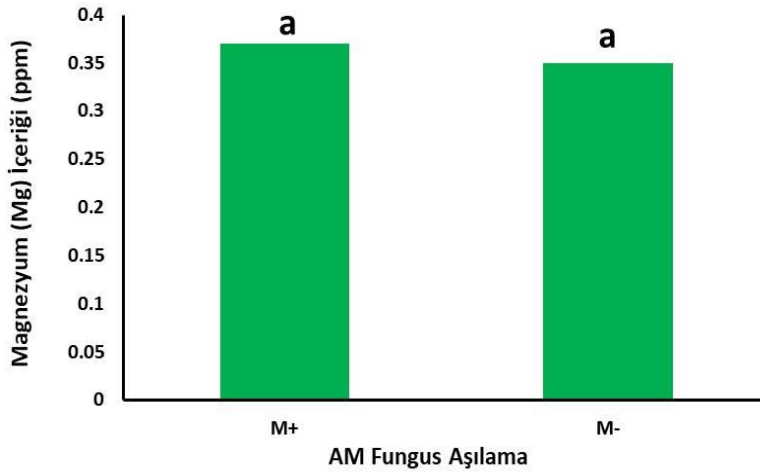
\*\* : Önemli  $P < 0.01$

<sup>öd</sup> : Önemli değil

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılamasının magnezyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi sonuçları (Tablo 4.8), sulama seviyelerinin önemli bir etkiye sahip olduğunu ( $P < 0.01$ ), ancak AMF aşılamasının bu parametre üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını gösterilmiştir. Bu parametrelerin etkileşiminin de önemli bir etkisi bulunmamıştır. En yüksek ve en düşük ortalama magnezyum içeriği (0,4 ppm ve 0,29 ppm), sırasıyla AMF aşılaması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılaması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılaması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin magnezyum içeriği üzerinde önemli bir etkisi ortaya çıkmıştır (şekil 4.15B). Aynı şekilde %50, %75 ve %100 sulama seviyelerinde en yüksek magnezyum ortalamalarına sahip olduğu görölmüştür. Ayrıca %25'lik sulama seviyesi farklı bir şekilde ortalama en düşük magnezyum miktarına sahip olmuştur. Öte yandan, AMF ile aşılanmış bitkilerde sulama seviyeleri arasında önemli bir fark olmadığı görölmüştür (şekil 4.15A). Aynı uygulamaların karşılaştırılması, magnezyum içeriği parametre miktarlarının, AMF aşılamasının bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan %100 sulama seviyesi haricinde, aşılanmamış bitkilerde aşılanmış bitkilerden daha düşük olduğunu göstermiştir. AMF aşılamasının olumlu etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmayıp ve şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.15. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki magnezyum içeriğine etkisi.



Şekil 4.16. AM fungus aşılmasının bitki magnezyum içeriği parametresi üzerindeki etkisi.

#### 4.2.7 Demir içeriği

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının bitki demir içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.9. de verilmiştir.

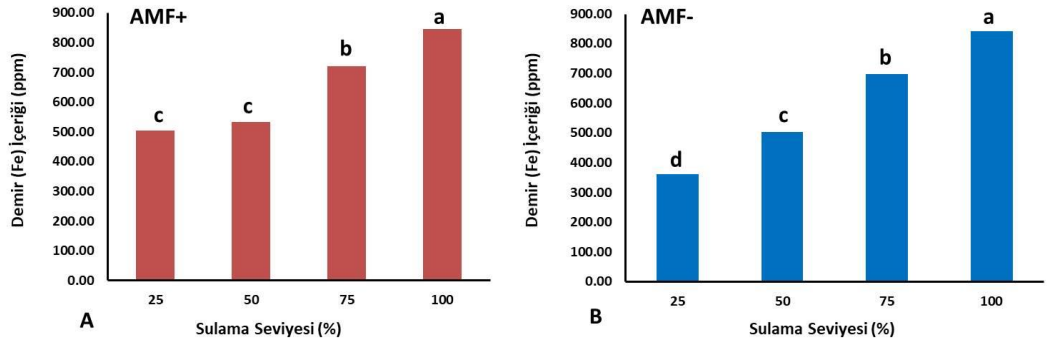
Tablo 4.9. Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının demir içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması
Sulama Seviyesi (A)	3	2066828**
AMF aşılama (B)	1	13920.2**
A × B	3	5878.94**
Hata	16	125.88
Total	23	

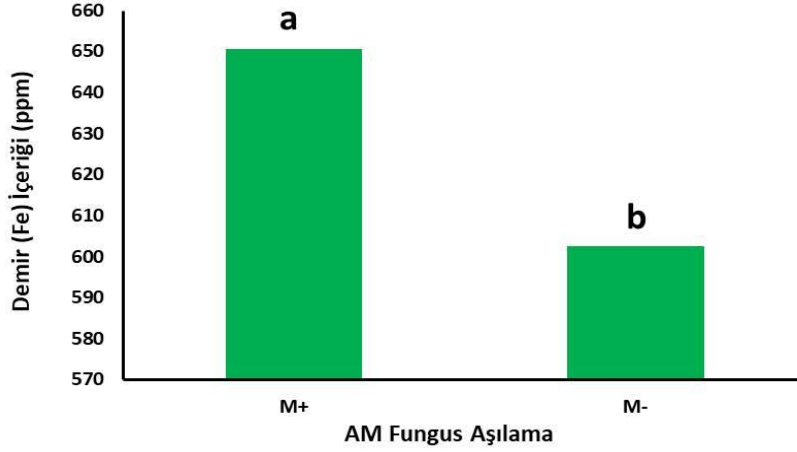
\*\* : Önemli P<0.01

öd : Önemli değil

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının demir içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları (Tablo 4.9), sulama seviyelerinin, AMF aşılmasının yanı sıra bunların etkileşiminin demir içeriği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ( $P<0.01$ ) göstermiştir. En yüksek ve en düşük ortalama demir içeriği (845.67 ppm ve 362.67 ppm), sırasıyla AMF aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin demir içeriği üzerinde önemli bir etkisi bulunmuştur (Şekil 4.17B). Su stresinin artmasının demir içeriğinin azalmasına neden olduğu gözlenmiştir. Böylece en yüksek ve en düşük demir içeriği sırasıyla %100 ve %25 sulama seviyelerinde gözlenmiştir. Ayrıca, AMF ile aşlanmış bitkilerde, demir içeriği parametresinde sulama seviyeleri arasında önemli farklılıklar bulunmuştur (Şekil 4.17A), ancak %25 ve %50 sulama seviyeleri aynı etkiyi göstermiş ve benzer istatistiksel grupta bir araya getirilmiştir. Aynı işlemlerin karşılaştırılması, demir içeriği parametre miktarlarının, AMF aşılmasının bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşlanmamış bitkilerde aşlanmış bitkilerden daha düşük olduğunu göstermiştir. AMF aşılmasının olumlu ve önemli etkisi Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki demir içeriğine etkisi.



Şekil 4.18. AM fungus aşılmasının bitki demir içeriği parametresi üzerindeki etkisi.

### 4.3 Uçucu Yağlar

Tablo 4.10. Sulama seviyelerinin ve AM fungus aşılmasının uçucu yağ oranı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

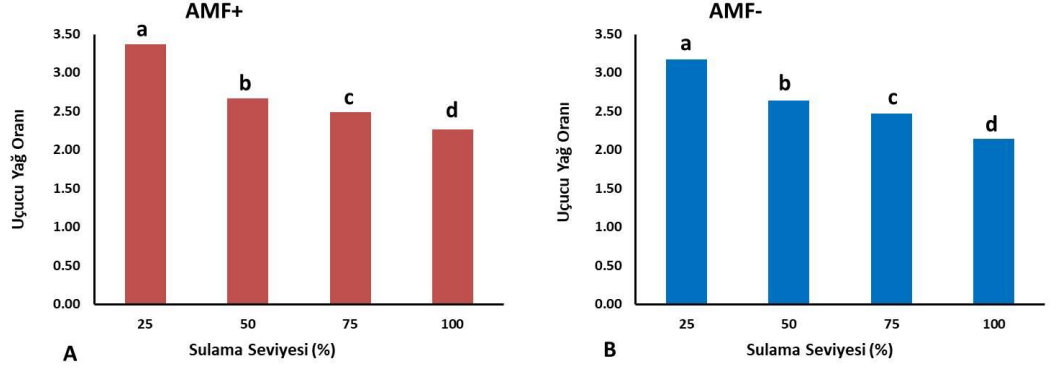
Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması
Sulama Seviyesi (A)	3	1.22**
AM fungus aşılama (B)	1	0.05**
A × B	3	0.009 <sup>öd</sup>
Hata	16	0.002
Total	23	

\*\* : Önemli P<0.01

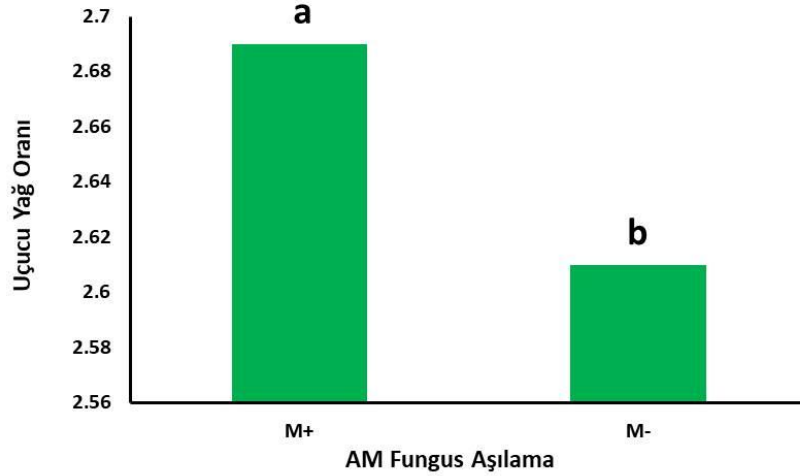
<sup>öd</sup>: Önemli değil

Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının uçucu yağ oranı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları (Tablo 4.10), sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının her ikisinin de bu parametre üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu (P<0.01) ancak etkileşimlerinin anlamlı olmadığını göstermiştir. Uçucu yağ oranının en yüksek ve en düşük ortalamaları (3.37 ve 2.15) sırasıyla AMF aşılması yapılan %25 sulama seviyesinde ve AMF aşılması yapılmayan %100 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AM aşılması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin uçucu yağ oranı üzerinde önemli bir etkisi bulunmuştur (Şekil 4.19B). Su stresinin artmasının uçucu yağ oranlarında artışa neden olduğu görülmüştür. Böylece en yüksek ve en düşük oranlar sırasıyla %25 ve %100 sulama seviyelerinde gözlemlenebilmiştir. Ayrıca, AMF ile aşılana bitkilerde, uçucu yağ oranı parametresinde sulama seviyeleri arasında (Şekil 4.19A) önemli farklılıklar

bulunmuştur. Aynı uygulamaların karşılaştırılması, uçucu yağ oranı parametre miktarlarının, AMF aşılamanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşılınmamış bitkilerde aşılınmış bitkilerden daha düşük olduğunu göstermiştir. AMF aşılamanın olumlu ve anlamlı etkisi Şekil 4.20'de de gösterilmiştir.



Şekil 4.19. AMF (A) içeren ve AMF (B) içermeyen uygulamalarda sulama düzeylerinin bitki uçucu yağ oranına etkisi.



Şekil 4.20. AM fungus aşılama (M+) ve aşılama (M-) uygulamalarının bitki uçucu yağ oranına etkisi.

#### 4.4 Fungus Spor Sayısı ve Fungus Kolonizasyon Yüzdesi

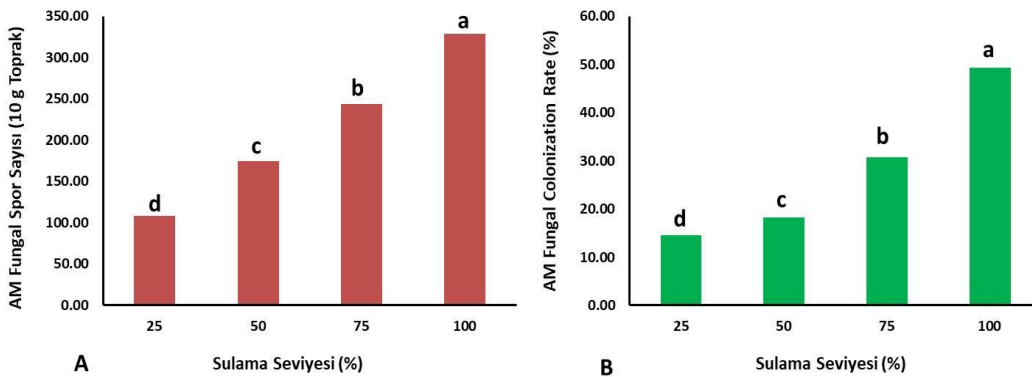
Sulama seviyelerinin AMF spor sayısı ve fungus kolonizasyon parametreleri üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi Tablo 4.11 de verilmiştir.

**Tablo 4.11.** Sulama seviyelerinin AMF spor sayısı ve fungus kolonizasyon parametreleri üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi.

Varyansın Kaynağı	df	Kare Ortalaması	
		Spor Sayısı (10g Toprak)	Fungal Kolonizasyonu (%)
Sulama Seviyesi (A)	3	26690.70**	741.22**
Hata Total	8	35.83	6.12
	11		

\*\* : Önemli P<0.01

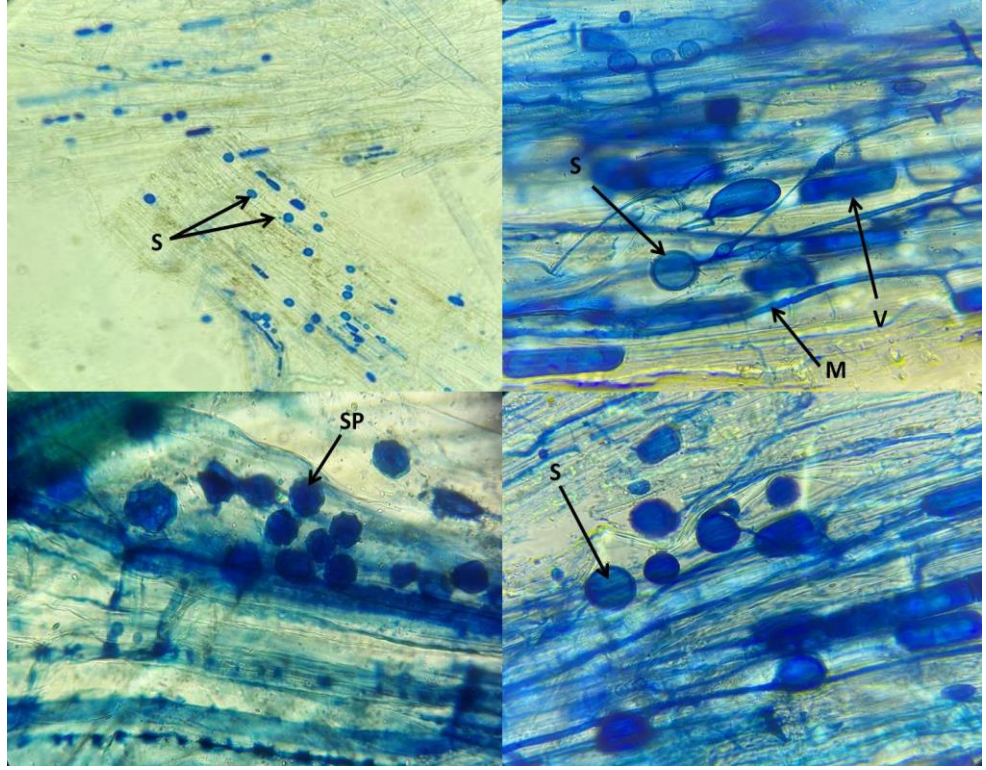
AMF sporu sayısı ve fungus kolonizasyon parametreleri üzerinde sulama düzeylerinin etkilerine ilişkin Varyans Analizi sonuçları, sulama düzeylerinin her iki parametre üzerinde önemli bir etkiye (P<0.01) sahip olduğunu göstermiştir (Tablo 4.11). AMF spor sayılarının en yüksek ve en düşük ortalamaları (10 g toprakta 328.33 ve 108.33 spor) sırasıyla %100 sulama seviyesi ve %25 sulama seviyesi uygulamalarında gözlenmiştir. Ayrıca en yüksek ve en düşük fungus kolonizasyonu ortalamaları (%49.33 ve %14.50) aynı uygulamalarda gözlenmiştir. Artan su stresi seviyesinin hem toprakta AMF spor sayısını hem de konukçu bitki köklerinde kolonizasyon oranını düşürdüğü gözlenmiştir. AMF spor sayısı ve kolonizasyon oranı bakımından sulama seviyeleri arasında önemli farklılıklar bulunmuştur (Şekil 4.21 A ve B). Ayrıca fungus spor sayısı ile kolonizasyon oranı arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu, fungus spor sayısının artmasının tüm uygulamalarda kolonizasyon oranının artmasına neden olduğu anlamına gelmektedir.



**Şekil 4.21.** Sulama seviyelerinin AMF spor sayısı ve fungus kolonizasyon oranı üzerindeki etkileri.



AMF yapıları tüm kök segmentlerinde gözlemlenebilmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada tüm konukçu bitkilerin AMF tarafından kolonize edildiği sonucuna varılmıştır. İncelenen örneklerde ekstra ve misel içi, vesikül, spor ve sporokarp gibi farklı AMF yapıları gözlemlenebilmiştir (Şekil 4.22). AMF yapılarının yoğunluğu farklı örnekler arasında değişiklik göstermiştir.



**Şekil 4.22.** Konukçu bitkilerdeki AMF yapıları. V: vesikel, M: fungus miselyumu, S: spor; SP: sporokarp.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tıbbi ve aromatik bitki (TAB) türleri, temel olarak uçucu yağlar (EO'lar) dahil olmak üzere çok çeşitli ikincil metabolitler içeren çeşitli kısımları (kökler, gövdeler, yapraklar, çiçekler, tohumlar, tomurcuklar, rizomlar, ağaç, kabuk vb.) için yetiştirilir. antimikrobiyal, antioksidan ve antiinflamatuvar etkiler gösterir. (Hassan, 2012; Chouhan *et al.*, 2017; Raveau *et al.*, 2020). Tıbbi bitkiler terapötik veya farmakolojik amaçlarla kullanılan bitkileri içerirken, aromatik bitkiler aromatik bileşikler açısından zengindir ve baharat veya tatlandırıcı maddeler olarak ve kozmetik veya tıpta yaygın olarak kullanılan ürünler sağlar (Sofowora *et al.*, 2013; Samarth *et al.*, 2017). Bu bitki türleri, esas olarak, antimikrobiyal etkiye sahip uçucu yağlar (EO'lar) dahil olmak üzere çok çeşitli ikincil metabolitler içeren çeşitli kısımları (kökler, gövdeler, yapraklar, çiçekler, tohumlar, tomurcuklar, rizomlar, ağaç, kabuk vb.) antioksidan ve anti inflamatuvar etkiler için yetiştirilir (Dhifi *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2020; Mugao *et al.*, 2020). TAB ekimi, yalnızca etkili sağlık bakım ürünleri kaynağı olarak değil, aynı zamanda gelir ve geçim güvenliği kaynağı olarak da görülmektedir (Sujatha *et al.*, 2011). Dünya Sağlık Örgütü, dünya nüfusunun %80'inin birinci basamak sağlık ve zindelik için şifalı bitkilere bağımlı olduğunu tahmin ediyor (Ekor, 2014; Karunamoorthi *et al.*, 2013). TAB'lerin kullanımı son otuz yılda büyük ölçüde arttı ve kısmen düşük yan etkileri nedeniyle, talepleri sadece yerel değil, aynı zamanda uluslararası pazarlarda da genişledi (Hamilton, 2004; He *et al.*, 2018; Longe, 2006). Artan küresel ısınmayla birlikte, tuzluluk ve sel gibi diğer abiyotik stres koşullarının yanı sıra kuraklık ve sıcak hava dalgalarının yoğunluğu da artacaktır (Crockett and Westerling, 2018; Zandalinas *et al.*, 2021). Bu çeşitli çevresel stresler, TAB'lerin büyümesini, gelişmesini ve üretkenliğini ciddi şekilde etkileyebilir (Mahajan *et al.*, 2020). Aslında, TAB'lar iklim değişikliğinin etkilerine karşı toleranslı değildir (Das *et al.*, 2016). Çeşitli abiyotik streslerin, EO'ların verimini ve kimyasal bileşimini etkilediği ve kalitelerinde değişikliklere yol açtığı bildirilmiştir (Chrysargyris *et al.*, 2016; Petropoulos *et al.*, 2008; Zehab-Salmasi *et al.*, 2001). Kimyon (*Cuminum cyminum* L.) tohumlarından ekstrakte edilen EO'ların kemotipi, su stresi altında değişti ve EO'nun kokusunda bir değişikliğe neden oldu (Bettaieb Rebey *et al.*, 2012). Ayrıca, su stresine maruz kalan düz yapraklı maydanoz *Petroselinum Crispum*'dan ekstrakte edilen EO'daki 1,3,8-p-menthatrienin nispi konsantrasyonunda bir azalma

gözlemlendi (Petropoulos *et al.*, 2008). Bu düşüş yağ kalitesine zarar verebilir. MAP'lerin insanlar için önemi ve abiyotik stresin MAP'ın büyümesi ve üretkenliği üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle, bitki büyümesini ve üretkenliğini iyileştirmek için abiyotik strese karşı bitki toleransını artırmak için yeterli yaklaşımların belirlenmesine ihtiyaç vardır. Çevre dostu tarım uygulamaları arasında, mikrobiyal ve/veya organik veya inorganik düzenleyicilerin eklenmesi, abiyotik stresin zararlı etkilerine karşı mücadele etmek için sürdürülebilir azaltma stratejileri olabilir (Begum *et al.*, 2019; Benaffari *et al.*, 2022; Diagne *et al.*, 2020; Porcel *et al.*, 2012; Shah *et al.*, 2021; Sun *et al.*, 2021). Bitkiler, abiyotik stres altında bitki performansını iyileştirmek için kökle ilişkili mikroorganizmalara, özellikle bakteri ve mantarlara büyük ölçüde güvenmektedir (Brown, 1974; Saia *et al.*, 2014). Glomeromycotae filumunun arbusküler mikorhizal mantarlarının (AMF) karasal bitki türlerinin %80'inden fazlasının kökleri ile simbiyotik bir ilişki kurduğu bilinmektedir (Smith and Read, 2008), TAB'ler dahil (Marulanda *et al.*, 2007; Al-Arjani *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022). Bu tür bir simbiyoz, bitkilerin topraktan daha fazla su ve fosfor, nitrojen ve oligo elementler dahil olmak üzere mineral besinler elde etmesine yardımcı olur ve buna karşılık, AMF konakçı bitkiden fotosimilatları (yani karbonhidratları) alır (Smith and Read, 2008; Latef *et al.*, 2016; Parniske, 2008). TAB'lerin AMF tarafından aşılmasının onları su stresi, tuzluluk ve kirlilik dahil olmak üzere abiyotik stres koşullarına karşı daha toleranslı hale getirdiği birçok çalışma ile tespit edilmiştir (Marulanda *et al.*, 2007; Al-Arjani *et al.*, 2020; Amiri *et al.*, 2015; Ebrahimi *et al.*, 2021), morfolojik, fizyolojik ve moleküler seviyelerde çeşitli mekanizmaların dahil edilmesi yoluyla (Ebrahimi *et al.*, 2021; Pedranzani *et al.*, 2016; Xie *et al.*, 2018; Amanifar and Toghranega, 2020; Bitterlich *et al.*, 2018; Abd\_Allah *et al.*, 2015; Hazzoumi *et al.*, 2015; Cheng *et al.*, 2021). Morfolojik, fizyolojik ve moleküler seviyelerde çeşitli mekanizmaların dahil edilmesi yoluyla Mikrobiyal (yani AMF, bitki büyümesini teşvik eden bakteriler (PGPR)) ve organik veya inorganik (yani kompost, biyokömür, gübreler, NPK, silikat, ve kil) toprak iyileştirmeleri, fizikokimyasal özellikleri ve toplam organik madde içeriğini geliştirmenin yanı sıra, besin mevcudiyetini ve toprağın su tutma kapasitesini artırarak bitki toleransı için faydalıdır (Abbott *et al.*, 2018; Bamdad *et al.*, 2021; Ullah *et al.*, 2021). Su stresi, tuzluluk ya da kirlilik gibi abiyotik stres altında, mikrobiyal ya da organik ya da inorganik toprak değişikliklerinin mevcudiyetiyle birlikte, pennyroyal (*Mentha pulegium*), adaçayı (*Mentha*

*pulegium*), fesleğen (*Ocimum basilicum*), biberiye (*Rosmarinus officinalis*) ve kimyon (*Cuminum cyminum*) gibi çeşitli TAB'ler için bitki büyümesinde ve ikincil metabolit üretiminde iyileşme rapor edilmiştir. (Banchio *et al.*, 2009; Dehghani *et al.*, 2019; Ghorbanpour *et al.*, 2015; Putwattana *et al.*, 2010).

Su stresi, TAB'lerin büyümesini ciddi şekilde etkileyen en önemli abiyotik faktörler arasındadır ve verimi ve EO kompozisyonunu olumsuz etkileyebilir (Petropoulos *et al.*, 2008). Çeşitli çalışmalar, su stresinin TAB'lerin vejetatif büyümesinde bir azalmaya neden olduğunu ortaya koymuştur. Örneğin *Lavandula angustifolia* gibi lavanta türlerinde (Chrysargyris *et al.*, 2016), ve *Lavandula stoechas* (Nogués and Baker, 2000) su stresi bitki boyunu, yaprak alanını ve bitki başına yaprak sayısını azaltmıştır. Ayrıca, Alishah *et al.* (2006) su stresinin tatlı fesleğen (*Ocimum basilicum*) için bitki boyunu, gövde çapını, yaprak sayısını ve alanını azalttığını göstermiştir. Sürgün büyümesindeki kısıtlama, büyük olasılıkla kök büyümesi lehine karbonhidrat yeniden tahsisinden veya fotosentez etkinliğindeki azalmadan kaynaklanıyordu (Jones and Tardieu, 1998). Çok sayıda araştırma, kimyon (*Cuminumcyminum* L.) gibi çeşitli Apiaceae türlerinde üreme aşamasında su stresinin şemsiye ve şemsiye sayısı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu bildirmiştir (Bettaieb Rebey *et al.*, 2012), susam (*Sesamum indicum* L.) (Kim *et al.*, 2007), kimyon (*Carum carvi* L.) (Laribi *et al.*, 2009) ve ve kişniş (*Coriandrum sativum*) (Thakur and Thakur, 2018). Bununla birlikte, tohum veriminde düşüşler gözlemlendi.

## **5.1 Sulama Seviyelerinin ve AM Fungus Aşılmasının Bitki Yaş Ağırlığı Üzerindeki Etkisi**

Bu çalışmada su stresinin yanı sıra AM mantar aşılmasının bitki taze ağırlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu parametrelerin etkileşiminin önemli bir etkisi olmamıştır. Araştırmalar, mikorhizal mantarların kuru koşullara karşı bitki direncini arttırdığını göstermiştir (Nambiar, 1977). Elde edilen sonuçlara göre, bitki taze ağırlıklarının en yüksek ve en düşük ortalamaları (22.97 g ve 14.04 g), sırasıyla AMF aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlemlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin bitki taze ağırlığı üzerinde

önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Görüldüğü gibi en yüksek bitki taze ağırlık ortalamaları aynı şekilde %100 ve %75 sulama seviyelerinde elde edilebilirken, en düşük bitki taze ağırlık ortalamaları ise aynı şekilde %25 ve %50 sulama seviyelerinde gözlemlenebilmiştir. Aynı zamanda, AMF ile aşılınmış bitkilerde, bitki taze ağırlığı üzerinde sulama seviyeleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır, ancak, bu, bitkiler mikoriza ile aşılandığında sulama seviyelerinin bitki taze ağırlığı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı ortaya çıkmıştır. Benzer uygulamaların karşılaştırılması, bitki taze ağırlık parametre miktarlarının, AMF aşılamanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşılınmamış bitkilerden ziyade aşılınmış bitkilerde daha yüksek olduğunu göstermiştir. Alman papatyası üzerinde yapılan bir denemede, ürün kapasitesinin yüzde 55, 85, 70 ve 100'ünde sulama uygulamaları uygulanarak, en az uçucu yağ miktarı, ürün kapasitesinin yüzde 55 ve 100'ünde yapılan sulamalardan, en düşük uçucu yağ miktarı elde edilmiştir. Sulama ile ilgili bitki kuru ağırlığı miktarı kapasitenin yüzde 55'inde olmuştur (Pirzad, 2008). Başka bir çalışmada ise, buharlaşma tepsisi sınıfından 25, 50, 75 ve 100 mm buharlaşmada sulama içeren sulama düzeylerinin, papatya bitkisinde bitkinin kuru performansı, uçucu yağ yüzdesi ve su tüketim etkinliği üzerinde önemli bir etkisi olmuştur (Omidbeigi, 2000). Benzer bir araştırmada, en yüksek uçucu yağ miktarı (yüzde 0,652) ve en düşük miktar (yüzde 0,59), buharlaştırma tavaından sırasıyla 25 ve 50 mm buharlaştırma sonrasında sulama uygulamaları ile ilgili olmuş ve en yüksek kuru bitki verimi 1136 olmuştur. kg/da ve en düşük verim sırasıyla 903 kg/da olmuştur. Buharlaştırma tavaından 100 ve 50 mm buharlaştırmadan sonraki sulama uygulamasına ilişkindir (Pirzad *et al.*, 2009 a). Pirzad *et al.* (2009 b), Alman papatyası kapitol üretiminde sulama ritmlerinin su tüketiminin etkinliğine etkisini araştırdıkları çalışmada 4 kademeli sulama sonrası ve buharlaşmadan 100, 25, 50, 75 mm buharlaşma tava, sulama işlemlerinden sırasıyla en yüksek kapitol sayısının 281 ve en az kapitol sayısının 193 olduğunu göstermiştir. Buharlaştırma tavaından 50 ve 100 milimetre buhar elde edilmiştir (Pirzad *et al.* 2009 b). Tarla kapasitesi, hafif stresin üçte ikisi ve şiddetli stresin üçte biri ve tarla kapasitesinin üçte biri nem uygulaması uygulanarak uçucu yağ üretiminde sulamanın su tüketiminin etkinliğine etkisinin araştırılmasında, maksimum tohum verimi ve Ayrıca tarla kapasitesi neminde 1000 adet kimyon tohumu ağırlığı elde edilmiştir ve Arbusküler Mikorizanın mısır (Boomsma and Vyn, 2008) ve nohut (Rathore and Singh, 1995)

ile simbiyozu verimli ve verimsiz topraklarda kuraklık stresi sırasında kuraklık direncini artırır ve verimi artırır ve *Poncirus trifoliata*'de kuru koşullarda büyümeyi artırır ve toprakta su tutulmasına neden olur (Xavier and Germida, 2002) soğanda su tüketiminin verimini artırır (Bolandnazar *et al.*, 2007).

## 5.2 Sulama Seviyelerinin ve AM Fungus Aşılmasının Bitki Kuru Ağırlığı Üzerindeki Etkisi

Çalışmada sulama seviyelerinin, AM mantar aşılmasının ve bunların etkileşiminin bitkinin kuru ağırlığı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Bitki kuru ağırlıklarının en yüksek ve en düşük ortalamaları (5.46 g ve 3.88 g) yine bitki taze ağırlık parametresine benzer şekilde, AMF aşılama ile %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılama uygulaması yapılmadan %25 sulama seviyesinde tekrar gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan ve AMF mantarı ile aşlanmış bitkilerde, sulama seviyelerinin bitkinin kuru ağırlığı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ortaya çıkmıştır. Görüldüğü gibi bitki kuru ağırlık ortalamalarının miktarları tüm sulama seviyelerinde benzer bulunmuştur. Bu, mikorhizal aşılamanın bitki kuru ağırlık parametresi üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı anlamına gelmektedir. Ayrıca, aynı uygulamaların karşılaştırılması, bitki kuru ağırlık parametresi miktarlarının aşılama bitkilerde aşılama bitkilerden daha yüksek olduğunu, ancak önemli ölçüde olmadığını göstermiştir. Kuraklık stresi altında bitki büyümesini destekleyen rizobakteriler (PGPR) ve mikorhizal mantarların *Melissa officinalis* L.'nin uçucu yağı üzerindeki etkisini araştırdılar. Sonuçlar, bitkinin boyu, tüm kök ve sürgünün kuru ağırlığı ve yaprak sayısının kuraklık stresi altında limon otunda önemli bir düşüş gösterdiğini ve PGPR, AMF ve PGPR + AMF aşılmasının, kuraklık stresi altında melisanın büyümesini ve biyokütlesini iyileştirdiğini göstermiştir (Eshaghi Gorgi *et al.*, 2022). Idrees *et al.* (2010), kuraklık stresinin su potansiyelini, su emilimini, stoma aparatlarını kapatmayı, turgor basıncını ve hücre büyümesini azaltarak bitki biyokütle üretimini ve büyümesini azalttığını belirtmiştir (Idrees *et al.*, 2010). Kuraklık stresinin bitki büyümesi, biyokütle üretimi ve yaprak sayısı üzerindeki olumsuz etkileri daha önce rapor edilmiştir (Khan *et al.*, 2019; Saheri *et al.*, 2020).

### 5.3 Potasyum İçeriği

Çalışmada sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının potasyum içeriği üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Potasyum içeriğinin en yüksek ve en düşük ortalamaları (%4,13 ve %2,55) sırasıyla AMF aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama düzeylerinin potasyum içeriği üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. En yüksek potasyum içeriği ortalamaları aynı şekilde %100 ve %75 sulama seviyesinde elde edilebilirken, en düşük ortalama %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. Öte yandan, AMF ile aşılınmış bitkilerde, sulama seviyeleri arasında potasyum içeriği açısından da önemli farklılıklar bulunmuştur. Bu, bitkiler mikoriza tarafından aşılандığında, sulama düzeylerinin potasyum içeriği üzerinde önemli etkilere sahip olduğu anlamına gelmektedir. Aynı uygulamaların karşılaştırılması, potasyum içeriği parametre miktarlarının, AMF aşılamanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşılınmamış bitkilerden ziyade aşılınmış bitkilerde daha yüksek olduğunu göstermiştir. Başka bir araştırmada arbüsküler mikorizal mantarların aşılınması normal ve kuraklık stresi koşullarında *Thyme denensis* Selak ve *Thyme vulgaris*'in uçucu yağ ve fizyolojik parametrelerini ve besin değerini iyileştirmiştir. Bu araştırmanın sonuçları hava organlarında AMF ve su stresinin etkileşim etkisinin, timus vulgariste potasyum için AMF ve su stresinin etkileşiminin önemli olduğunu göstermiştir (Arpanahi *et al.*, 2020). Çalışmalar, AMF aşılmasının abiyotik stres altında yetiştirilen MAP'lerin mineral beslenmesini arttırdığını göstermiştir. Örneğin *F. mosseae* ile aşılınan papatya bitkisinin analizlerinde ozmotik stres altında sürgün ve köklerde potasyum konsantrasyonunda artış gözlemlendiği gösterilmiştir (Ebrahimi *et al.*, 2021). Yerli *F. mosseae*'nin (yani, kuraklığa dayanıklı bir AMF suşu), lavantada (*Lavandula spica*) bulunan daha yüksek K içeriği ile kuraklık toleransı açısından allohton *F. mosseae*'den (yani, kuraklığa duyarlı bir AMF suşu) daha iyi olduğu bulundu (Marulanda *et al.*, 2007).

## 5.4 Kalsiyum İçeriği

Çalışmada sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının kalsiyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları, sulama seviyelerinin önemli etkiye sahip olduğunu ( $P<0.01$ ) ancak AM mantar aşılmasının önemli etkilere sahip olmadığını göstermiştir. Ayrıca, bu parametrelerin etkileşiminin anlamlı bir etkisi olmamıştır. En yüksek ve en düşük ortalama kalsiyum içeriği (%1.27 ve %0.88) sırasıyla AM mantar aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama düzeylerinin kalsiyum içeriği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Öte yandan, AMF ile aşılansmış bitkilerde, sulama seviyeleri arasında kalsiyum içeriği açısından önemli farklılıklar bulunmuştur. Aynı uygulamaların karşılaştırılması, kalsiyum içeriği parametre miktarlarının aşılansmış bitkilerde aşılansmayanlara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir ki bu AMF aşılmasının bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulamıştır ancak bu artış anlamlı değildir. Benzer başka bir araştırmada arbüsküler mikorizal mantarların aşılansması normal ve kuraklık stresi koşullarında *Thyme denensis* Selak ve *Thyme vulgaris*'in uçucu yağ ve fizyolojik parametrelerini ve besin değerini iyileştirmiştir. Bu araştırmanın sonuçları *Thyme vulgaris* de kalsiyum için AMF ve su stresinin etkileşiminin önemli olmadığını göstermiştir (Arpanahi *et al.*, 2020).

## 5.5 Fosfor İçeriği

Çalışmada Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının fosfor içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları (Tablo 4.5), sulama seviyelerinin önemli etkiye sahip olduğunu ( $P<0.01$ ), ancak AMF aşılmasının önemli etkilere sahip olmadığını gösterdi. Ayrıca, bu parametrelerin etkileşiminin anlamlı bir etkisi olmamıştır. Fosfor içeriğinin en yüksek ve en düşük ortalamaları (%0.42 ve %0.31) sırasıyla AMF mantar aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama düzeylerinin fosfor içeriği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Öte yandan, AMF ile aşılansmış bitkilerde sulama seviyeleri arasında da önemli bir fark bulunmamıştır. Aynı



uygulamaların karşılaştırılması, fosfor içeriği parametre miktarlarının aşılınmış bitkilerde aşılama-yanlara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir, bu da AMF aşılamanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulamıştır, ancak bu artış önemli bulunmamıştır. Benzer bir çalışmada, AMF'nin, P, Zn ve Cu dahil olmak üzere topraklarda nispeten hareketsiz mineral besinlerin alımını artırabileceği gösterilmiştir (Israel *et al.*, 2022). AMF'nin ekstra radikal hifleri, besin elementlerini emmek ve konukçu bitkiye aktarmak için rizosferin tükenme bölgesinin ötesine uzanabilir (Smith and Smith, 2011). Birkaç çalışma, AMF aşılmasının TAB'lerde besin alımı üzerindeki etkisini göstermiştir. Örneğin, iki AMF türü (*F. mosseae* ve *R.irregularis*), farklı su stresi seviyeleri altında rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) bitkilerinde yaprak P konsantrasyonunu önemli ölçüde artırdı (Zardak *et al.*, 2017). Ancak bazı çalışmalarda tam tersi görülmektedir, örneğin, kadife çiçeğinde (*Tagetes erecta*) su stresinin P emilimini azalttığı gözlemlenmiştir, ancak bu azalma oranı mikorhizal olmayan bitkilere göre daha düşük olmuştur (Asrar and Elhindi, 2011).

## 5.6 Azot İçeriği

Çalışmada Sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının azot içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları, AMF aşılmasının yanı sıra sulama seviyelerinin de önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir ( $P<0.01$ ). Bu parametrelerin etkileşiminin önemli bir etkisi bulunmamıştır. En yüksek ve en düşük ortalama azot içeriği (%2,55 ve %1,31) sırasıyla AMF aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AM mantar aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin azot içeriği üzerinde önemli bir etkisi bulunmuştur. %50 ve %75 sulama seviyelerinin aynı etkiye sahip olduğu, %25 ve %50 sulama seviyelerinin benzer olduğu ancak %100 sulama seviyesinin diğerlerinden ayrıldığı görülmüştür. Öte yandan, AMF ile aşılınmış bitkilerde sulama seviyeleri arasında da önemli farklılıklar bulunmuştur. Aynı uygulamaların karşılaştırılması, azot içeriği parametre miktarlarının, AMF aşılamanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşılınmamış bitkilerden ziyade aşılınmış bitkilerde daha yüksek olduğunu göstermiştir. Su stresi koşullarında, köklerin tek başına veya kombinasyon halinde iki AMF, *R. intraradices* ve *F. mosseae* tarafından

kolonizasyonu, gül sardunyasında (*Pelargonium graveolens* L.) N, P, Fe ve Zn konsantrasyonlarında aşılammamış bitkilerle karşılaştırıldığında önemli bir artışa neden oldu (Amiri *et al.*, 2017). Yerli *F. mosseae*'nin (yani, kuraklığa dayanıklı bir AMF suşu), lavantada (*Lavandula spica*) bulunan daha yüksek N içeriği ile kuraklık toleransı açısından allohton *F. mosseae*'den (yani, kuraklığa duyarlı bir AMF suşu) daha iyi olduğu bulundu (Marulanda *et al.*, 2007). Azot miktarının su kıtlığı koşullarında azaldığı, kuraklık stresi altında ise arttığı bildirilmiştir (Alam, 1999; Muni *et al.*, 1995; Tanguilig *et al.*, 1987).

### 5.7 Sodyum İçeriği

Çalışmada sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının sodyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi sonuçları, sulama seviyelerinin önemli bir etkiye sahip olduğunu ( $P < 0.01$ ), ancak AMF aşılmasının bu parametre üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Bu parametrelerin etkileşiminin de önemli bir etkisi bulunmamıştır. Azot içeriğinin en yüksek ve en düşük ortalamaları (3100 ppm ve 2500 ppm) sırasıyla AMF aşılması yapılmayan %25 sulama seviyesinde ve AMF aşılama uygulamaları ile %100 sulama seviyesinde gözlenmiştir. Sonuçlar ayrıca su stresi durumunun artmasının bitki dokularında ortalama sodyum birikimini arttırdığını göstermiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin sodyum içeriği üzerinde önemli bir etkisi bulunmuştur. Aynı şekilde %25 ve %50 sulama seviyelerinin en yüksek sodyum ortalamalarına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca %75 ve %100 sulama seviyeleri benzer şekilde en düşük sodyum ortalamalarına sahip olmuştur. Öte yandan, AMF ile aşılammış bitkilerde sulama seviyeleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Benzer şekilde sodyum ortalaması en yüksek %25 sulama seviyesinde gözlenirken, en düşük miktar %100 sulama seviyesinde elde edilmiştir. Aynı uygulamaların karşılaştırılması, sodyum içeriği parametre miktarlarının, AMF aşılamanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşılammamış bitkilerden ziyade aşılammış bitkilerde Na içeriği daha düşük olduğunu göstermiştir.

## 5.8 Magnezyum İçeriği

Çalışmada sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının magnezyum içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizi sonuçları, sulama seviyelerinin önemli bir etkiye sahip olduğunu ( $P<0.01$ ), ancak AMF aşılmasının bu parametre üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını gösterilmiştir. Bu parametrelerin etkileşiminin de önemli bir etkisi bulunmamıştır. En yüksek ve en düşük ortalama magnezyum içeriği (0,4 ppm ve 0,29 ppm), sırasıyla AMF aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin magnezyum içeriği üzerinde önemli bir etkisi ortaya çıkmıştır. Aynı şekilde %50, %75 ve %100 sulama seviyelerinde en yüksek magnezyum ortalamalarına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca %25'lik sulama seviyesi farklı bir şekilde ortalama en düşük magnezyum miktarına sahip olmuştur. Öte yandan, AMF ile aşılmuş bitkilerde sulama seviyeleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Aynı uygulamaların karşılaştırılması, magnezyum içeriği parametre miktarlarının, AMF aşılmanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan %100 sulama seviyesi haricinde, aşılammış bitkilerde aşılammış bitkilerden daha düşük olduğunu göstermiştir. Azot, kalsiyum ve magnezyum gibi besinlerin emiliminde buharlaşma ve terleme ile kütle hareketinin oranı çok önemli rol oynar ve bu oran ne kadar büyük olursa bu elementler bitki tarafından o kadar fazla alınır (Raju *et al.*, 1990; Bolan, 1991; Marschner and Dell, 1994).

## 5.9 Demir İçeriği

Çalışmada sulama seviyelerinin ve AMF aşılmasının demir içeriği üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları, sulama seviyelerinin, AMF aşılmasının yanı sıra bunların etkileşiminin demir içeriği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ( $P<0.01$ ) göstermiştir. En yüksek ve en düşük ortalama demir içeriği (845.67 ppm ve 362.67 ppm), sırasıyla AMF aşılması yapılan %100 sulama seviyesinde ve AMF aşılması uygulanmayan %25 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AMF aşılması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin demir içeriği üzerinde önemli bir etkisi bulunmuştur. Su stresinin artmasının demir içeriğinin azalmasına neden olduğu gözlenmiştir. Böylece en yüksek ve en düşük demir

içeriği sırasıyla %100 ve %25 sulama seviyelerinde gözlenmiştir. Ayrıca, AMF<sub>1</sub> ile aşılammış bitkilerde, demir içeriği parametresinde sulama seviyeleri arasında önemli farklılıklar bulunmuştur, ancak %25 ve %50 sulama seviyeleri aynı etkiyi göstermiş ve benzer istatistiksel grupta bir araya getirilmiştir. Aynı işlemlerin karşılaştırılması, demir içeriği parametre miktarlarının, AMF aşılamanın bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşılammamış bitkilerde aşılammış bitkilerden daha düşük olduğunu göstermiştir. Başka bir araştırmada, arbüsküler mikorizal mantarların aşılannması normal ve kuraklık stresi koşullarında *Thyme denensis* Selak ve *Thyme vulgaris*'in uçucu yağ ve fizyolojik parametrelerini ve besin değerini iyileştirmiştir. Sonuçlar, köklerdeki AMF ve su stresi etkileşiminin, iki *Thymus* türünde sadece N ve Fe için önemli olduğunu ortaya koymuştur. Sürgünlerde, AMF ve su stresinin etkileşimi N için önemli olmaktaiken, *Thymus daenensis*'te Fe ve Zn ve *Thymus vulgaris*'te K, Fe ve Cu. Artan su stresi ile birlikte kök ve sürgünde bulunan besin elementleri azalmış, ancak AMF aşılması her su stresi seviyesinde arttırmıştır. Bu besin seviyelerinin çoğu, *Thymus vulgaris*'teki kök Fe ve sürgün K hariç, AMF düşük su stresi seviyesinde inkübe edildiğinde elde edildi; bunların maksimum değerleri, AMF su stresi uygulanmadan inkübe edildiğinde elde edildi (Arpanahi *et al.*, 2020). Başka bir çalışmada mikoriza, badem bitkisinin toprak üstü kısmındaki demir konsantrasyonunu %80 oranında azaltmıştır. Badem bitkisinin kök kısmındaki demir konsantrasyonunda önemli bir fark olmadığını göstermektedir. Mikorizal simbiyoz nedeniyle bitkinin toprak altı kısmındaki demir konsantrasyonunda, bitki tarafından emilen demirin kökte biriktiğini ve simbiyotik bitkilerin hava organlarına aktarılamadığını doğrulamaktadır. Bu birikim, simbiyotik bitkilerin köklerdeki fosfor miktarının artmasından kaynaklanmış olabilir, bu da demirin yer altı organında bloke olmasına ve hava organına geçişini engellemesine neden olmuştur (Aghababaei *et al.*, 2011).

### 5.10 Uçucu Yağ Oranı

Çalışmada sulama seviyelerinin ve AMF aşılannmasının uçucu yağ oranı üzerindeki etkilerine ilişkin Varyans Analizinin sonuçları, sulama seviyelerinin ve AMF aşılannmasının her ikisinin de bu parametre üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ( $P < 0.01$ ) ancak etkileşimlerinin anlamlı olmadığını göstermiştir. Uçucu yağ oranının en yüksek ve en düşük ortalamaları (3.37 ve 2.15) sırasıyla AMF

aşılması yapılan %25 sulama seviyesinde ve AMF aşılması yapılmayan %100 sulama seviyesinde gözlenmiştir. AM aşılması olmayan bitkilerde, sulama seviyelerinin uçucu yağ oranı üzerinde önemli bir etkisi bulunmuştur. Su stresinin artmasının uçucu yağ oranlarında artışa neden olduğu görülmüştür. Böylece en yüksek ve en düşük oranlar sırasıyla %25 ve %100 sulama seviyelerinde gözlemlenebilmiştir. Ayrıca, AMF ile aşılana bitkilerde, uçucu yağ oranı parametresinde sula-ma seviyeleri arasında önemli farklılıklar bulunmuştur. Aynı uygulamaların karşılaştırılması, uçucu yağ oranı parametre miktarlarının, AMF aşılamaının bu bitki parametresi üzerindeki olumlu etkilerini doğrulayan, aşılamaınmamış bitkilerde aşılamaınmış bitkilerden daha düşük olduğunu göstermiştir. Su stresi, TAB'lerin büyümesini ciddi şekilde etkileyen en önemli abiyotik faktörler arasındadır ve verimi ve uçucu yağ kompozisyonunu olumsuz etkileyebilir (Petropoulos *et al.*, 2008). Birkaç çalışma, su stresinin, bitki türlerine ve stres süresine bağlı olarak bileşen seviyelerini artırarak veya azaltarak, uçucu yağ'ların verimini ve bileşimini değiştirdiğini göstermiştir (Israel *et al.*, 2022). Ek olarak, abiyotik stresler, damıtılmış uçucu yağ'ların bileşiminde değişikliklere neden oldu. Bitkiler hareket edemediğinden, abiyotik stresle başa çıkmak için çok sayıda strateji geliştirmişlerdir; bunların arasında AMF'nin bitki büyümesini teşvik ettiği ve TAB'ler (Marulanda *et al.*, 2007; Al-Arjani *et al.*, 2020) dahil olmak üzere konukçu bitkilerde abiyotik streslere karşı daha iyi tolerans sağladığı bilinmektedir (Smith and Read, 2008). Mevcut incelemenin aşağıdaki bölümleri, TAB'lerde abiyotik stresin zararlı etkilerini hafifletmek için AMF tarafından kullanılan mekanizmalara odaklanmaktadır (Israel *et al.*, 2022).

### 5.11 Fungus Spor Sayısı ve Fungus kolonizasyon Yüzdesi

Çalışmada AM fungal spor sayılarının en yüksek ve en düşük ortalamaları (10 g toprakta 328.33 ve 108.33 spor) sırasıyla %100 sulama seviyesi ve %25 sulama seviyesi uygulamalarında gözlenmiştir. Ayrıca en yüksek ve en düşük mantar kolonizasyonu ortalamaları (%49.33 ve %14.50) aynı tedavilerde gözlenmiştir. Artan su stresi seviyesinin hem topraktaki AM mantar spor sayısını hem de konukçu bitki köklerindeki kolonizasyon oranını azalttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar önceki sonuçlara (Gholamhoseini *et al.*, 2013; Amiri *et al.*, 2015; Grümberg *et al.*, 2015; Tyagi *et al.*, 2017; Ostadi *et al.*, 2022) benzerdir. Amani

Machiani *et al.* (2021), AMF kolonizasyon oranının kuraklık stresi koşullarında önemli ölçüde azaldığını bildirmiştir. Kuraklık stresi durumunda kök kolonizasyonunun azalması, AMF optimum su ihtiyacının azalmasına ve konukçu bitki tarafından azaltılan karbonhidrat arzına bağlı olabilir (Shukla *et al.*, 2013). Ayrıca, Wu ve ark. (2013), kuraklık koşullarında düşük spor yoğunluğunun, sonuçlarımızla uyumlu olarak, mantar sporlarının çimlenmesinin azalmasından kaynaklanabileceği sonucuna varmıştır. Bazı araştırmacılar, kuraklık stresi koşullarında kök kolonizasyonunun azalmadan daha sık arttığını ve köklere daha fazla karbon tahsisinin bu artışın nedeni olabileceğini bildirmişlerdir (Mardukhi *et al.*, 2011; Zardak *et al.*, 2017).

**KAYNAKLAR DİZİNİ**

- Abbaspour, H.**, 2010, Investigation of the effects of vesicular arbuscular mycorrhiza on mineral nutrition and growth of *Carthamus tinctorius* under salt stress conditions, *Russ. J. Plant Physl.*, 57: 564-570.
- Abbott, L.K., Macdonald, L.M., Wong, M.T.F., Webb, M.J., Jenkins, S.N. and Farrell, M.**, 2018, Potential Roles of Biological Amendments for Profitable Grain Production-A Review. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 256, 34–50.
- Abd\_Allah, E.F., Hashem, A., Alqarawi, A.A., Bahkali, A.H. and Alwhibi, M.S.**, 2015, Enhancing Growth Performance and Systemic Acquired Resistance of Medicinal Plant *Sesbania sesban* (L.) Merr Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi under Salt Stress. *Saudi J. Biol. Sci.* 22, 274–283.
- Aghababaei, F., Raiesi, F. and Nadian, H.**, 2011, Influence of mycorrhizal symbiosis on the uptake of nutrients in some commercial genotypes of almond in a sandy loam soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 25(2), 137-147.
- Ahmadi, T., Shabani, L. and Sabzalian, M.R.**, 2019, Improvement in drought tolerance of lemon balm, *Melissa officinalis* L. under the pre-treatment of LED lighting. *Plant Physiol. Biochem. PPB*, 139, 548–557.
- Alam, S.M.**, 1999, Nutrition uptake by plants under stress condition, In: M.Pessarakli (ed.), *Handbook of plant and crop stress* , Marcel Dekker Inc., 285-315 pp.
- Al-Arjani, A.B.F., Hashem, A. and AbduAllah, E.F.**, 2020, Arbuscular Mycorrhizal Fungi Modulates Dynamics Tolerance Expression to Mitigate Drought Stress in *Ephedra Foliata* Boiss. *Saudi J. Biol. Sci.* 27, 380–394.
- Alves, F.M., Joshi, M., Djidonou, D., Joshi, V., Gomes, C.N. and Leskovar, D.I.**, 2021, Physiological and Biochemical Responses of Tomato Plants Grafted onto *Solanum pennellii* and *Solanum peruvianum* under Water-Deficit Conditions. *Plants*, 10, 2236.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., Aghaee, A. and Maggi, F.**, 2021, Funnelformis mosseae inoculation under water deficit stress improves the yield and phytochemical characteristics of thyme in intercropping with soybean. *Scientific Reports*, 11(1), 1-13 pp.
- Amanifar, S. and Toghranegar, Z.**, 2020, The efficiency of arbuscular mycorrhiza for improving tolerance of *Valeriana officinalis* L. and enhancing valerenic acid accumulation under salinity stress. *Industrial Crops and Products*, 147, 112234 p.
- Amin, B., Atif, M.J., Meng, H.W., Ghani, M.I., Ali, M., Wang, X., Ding, Y.Y., Li, X.J. and Cheng, Z.H.**, 2022, Biochemical and Physiological Responses of *Cucumis sativus* Cultivars to Different Combinations of Low-Temperature and High Humidity. *J. Plant Growth Regul.*, 1–17.
- Amiri, R., Nikbakht, A. and Etemadi, N.**, 2015, Alleviation of Drought Stress on Rose Geranium [*Pelargonium graveolens* (L.) Herit.] in Terms of Antioxidant Activity and Secondary Metabolites by Mycorrhizal Inoculation. *Sci. Hortic.* 197, 373–380.
- Amiri, R., Nikbakht, A., Rahimmalek, M. and Hosseini, H.**, 2017, Variation in the essential oil composition, antioxidant capacity, and physiological characteristics of *Pelargonium graveolens* L. inoculated with two species of mycorrhizal fungi under water deficit conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(2), pp.502-515.
- Anonymous**, 2010, *European Pharmacopoeia* (E. P.) 7th ed. European Directorate for the Quality of Medicines & Health Care (EDQM): Strasbourg, France, 2010, p.1231.
- Arpanahi, A.A., Feizian, M., Mehdipourian, G. and Khojasteh, D.N.**, 2020, Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, 100, 103217 p.



## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ashrafi, M., Azimi-Moqadam, M.R., Mohseni Fard, E., Shekari, F., Jafary, H., Moradi, P., Pucci, M., Abate, G. and Mastinu, A.,** 2022, Physiological and Molecular Aspects of Two Thymus Species Differently Sensitive to Drought Stress. *BioTech*, 11(2), 8 p.
- Aslani, Z., Hassani, A., Abdollahi Mandoulakani, B., Barin, M. and Maleki, R.,** 2023, Effect of drought stress and inoculation treatments on nutrient uptake, essential oil and expression of genes related to monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*), *Scientia Horticulturae*, 309, 111610.
- Asrar, A.W.A. and Elhindi, K.M.,** 2011, Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi journal of biological sciences*, 18(1), 93-98.
- Aykaç, A., Teralı, K., Özbeyli, D., Ede, S., Albayrak, Ö., Başer, K.H.C. and Şener, G.,** 2022, A multi-parameter evaluation of the neuroprotective and cognitive-enhancing effects of *Origanum onites* L. (Turkish Oregano) essential oil on scopolamine-induced amnesic rats. *Metabolic Brain Disease*, 37(4), 1041-1055 pp.
- Bahadori, F., Ashorabadi, E.S., Mirza, M., Matinzade, M. and Abdosi, V.,** 2013, Improved growth, essential oil yield and quality in *Thymus daenensis* Celak on mycorrhizal and plant growth promoting rhizobacteria inoculation. *Int J Agron Plant Prod*, 4, 3384-3391 pp.
- Bakkali Yakhlef, S.E., Abbas, Y., Prin Y., Abourouh M., Perrineau, M.M. and Duponnois, R.,** 2011, Effective arbuscular mycorrhizal fungi in the roots of *Tetraclinis articulata* and *Lavandula multifida* in Moroccan *Tetraclinis* woodlands, *Mycology*, 2, 79-86.
- Bamdad, H., Papari, S., Lazarovits, G. and Berruti, F.,** 2021, Soil Amendments for Sustainable Agriculture: Microbial-organic Fertilizers. *Soil Use Manag.* 38, 94-120.
- Banchio, E., Xie, X., Zhang, H. and Paré, P.W.,** 2019, Soil Bacteria Elevate Essential Oil Accumulation and Emissions in Sweet Basil. *J. Agric. Food Chem.* 57, 653–657.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Baytop, T.**, 2021, Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi Geçmişte ve Bugün, Ankara Nobel Tıp Kitabevi, Turkey.
- Becer, E., Mutlu Altundag, E., Başer, K.H.C. and Vatansever, H.S.**, 2022, Cytotoxic activity and antioxidant effects of *Origanum onites* essential oil and its two major contents, carvacrol and p-Cymene on human colorectal (HCT116) and hepatocellular carcinoma (HepG2) cell lines. Journal of Essential Oil Research, 1-10 pp.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N. and Zhang, L.**, 2019, Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. Front. Plant Sci. 10, 1068.
- Benaffari, W., Boutasknit, A., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Ait-Rahou, Y., Ben-Laouane, R., Ben Ahmed, H., Mitsui, T.; Baslam, M. and Meddich, A.**, 2022, The Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Vermicompost-Based Organic Amendments Enhance Soil Fertility, Growth Performance, and the Drought Stress Tolerance of Quinoa. Plants, 11, 393.
- Berry, P.E.**, 2013, Encyclopaedia Britannica.
- Bettaieb Rebey, I., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B.**, 2012, Effect of Drought on the Biochemical Composition and Antioxidant Activities of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Seeds. Ind. Crops Prod. 36, 238–245.
- Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannes, W. A., Kchouk, M. E. and Marzouk, B.**, 2009, Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition, Scientia Horticulturae, 120(2), 271-275.
- Biareh, V., Shekari, F., Sayfzadeh, S., Zakerin, H., Hadidi, E., Beltrão, J.G.T. and Mastinu, A.**, 2022, Physiological and qualitative response of *Cucurbita pepo* L. to salicylic acid under controlled water stress conditions. Horticulturae, 8(1), 79 p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Bidabadi, S.S., VanderWeide, J. and Sabbatini, P.,** 2020, Exogenous melatonin improves glutathione content, redox state and increases essential oil production in two *Salvia* species under drought stress. *Sci Rep* 10, 6883.
- Bitterlich, M., Rouphael, Y., Graefe, J. and Franken, P.,** 2018, Arbuscular Mycorrhizas: A Promising Component of Plant Production Systems Provided Favorable Conditions for Their Growth. *Front. Plant Sci.* 9, 1329.
- Bista, D.R., Heckathorn, S.A., Jayawardena, D.M., Mishra, S. and Boldt, J.K.,** 2018, Effects of drought on nutrient uptake and the levels of nutrient-uptake proteins in roots of drought-sensitive and-tolerant grasses. *Plants*, 7(2), 28 p.
- Bolan N.S.,** 1991, A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, 134:189–207.
- Bolandnazar, S., Aliasgarzad, N., Neishabury, M.R. and Chaparzadeh, N.,** 2007, Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition, *Scientia Horticulturae* 114, 11–15.
- Boomsma, C.R. and Vyn, T.J.,** 2008, Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis, *Field Crops Research* 108, 14–31.
- Boutasknit, A., Baslam, M., Ait-El-Mokhtar, M., Anli, M., Ben-Laouane, R., Douira, A., El Modafar, C., Mitsui, T., Wahbi, S. and Meddich, A.,** 2020, Arbuscular mycorrhizal fungi mediate drought tolerance and recovery in two contrasting carob (*Ceratonia siliqua* L.) ecotypes by regulating stomatal, water relations, and (in) organic adjustments. *Plants*, 9(1), 80 p.
- Brown, M.E.,** 1974, Seed and Root Bacterization. *Annu. Rev. Phytopathol.* 12, 181–197.
- Camprubi, A., Zárata, I.A., Adholeya, A., Lovato, P.E. and Calvet, C.,** 2013, Field performance and essential oil production of mycorrhizal rosemary in restoration low-nutrient soils, *Land Degrad. Develop.* 26, 793-799.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Cartabia, A., Tsiokanos, E., Tsafantakis, N., Lalaymia, I., Termentzi, A., Miguel, M., ... and Declerck, S.,** 2021, The arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 modulates metabolites production of *Anchusa officinalis* L. under semi-hydroponic cultivation. *Frontiers in plant science*, 1766.
- Cheng, S., Zou, Y.N., Kuşca, K., Hashem, A., AbduAllah, E.F. and Wu, Q.S.,** 2021, Elucidating the Mechanisms Underlying Enhanced Drought Tolerance in Plants Mediated by Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Front. Microbiol.* 12, 809473.
- Chouhan, S., Sharma, K. and Guleria, S.,** 2017, Antimicrobial Activity of Some Essential Oils-Present Status and Future Perspectives. *Medicines* , 4, 58.
- Chrysargyris, A., Laoutari, S., Litskas, V.D., Stavriniades, M.C. and Tzortzakis, N.,** 2016, Effects of Water Stress on Lavender and Sage Biomass Production, Essential Oil Composition and Biocidal Properties against *Tetranychus Urticae* (Koch). *Sci. Hortic.*, 213, 96-103.
- Crockett, J.L. and Westerling, A.L.,** 2018, Greater Temperature and Precipitation Extremes Intensify Western U.S. Droughts, Wildfire Severity, and Sierra Nevada Tree Mortality. *J. Clim.* 31, 341-354.
- Dalpé, Y.,** 1993, Vesicular-arbuscular mycorrhiza. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, 287-301 pp.
- Das, M., Jain, V. and Malhotra, S.,** 2016, Impact of Climate Change on Medicinal and Aromatic Plants: Review. *Indian J. Agric. Sci.* 86, 1375-1382.
- Davis, P.H., Mill, R. and Tan, K.,** 1982, Flora of Turkey and the East Aegean Islands; Edinburgh Univ. Press, 1, p.9.
- Dehghani Bidgoli, R., Azarnezhad, N., Akhbari, M. and Ghorbani, M.,** 2019, Salinity Stress and PGPR Effects on Essential Oil Changes in *Rosmarinus officinalis* L. *Agric. Food Secur.* 8, 2.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Demirci, B., Kırıcı, D., Öztürk, G. and Demirci, F.,** 2022, The Effect of Extraction Time on *Origanum onites* L. Infusions and Essential Oils–Biological Evaluation, Statistical Principal Component and Hierarchical Cluster Analyses. *Chemistry & Biodiversity*.
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N. and Mnif, W.,** 2016, Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. *Medicines*, 3, 25.
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P.I., Fall, D., Hocher, V. and Svistoonoff, S.,** 2020, Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Growth and Performance: Importance in Biotic and Abiotic Stressed Regulation. *Diversity*, 12, 370.
- Ebrahimi, F., Salehi, A., Movahedi Dehnavi, M., Mirshekari, A.; Hamidian, M. and Hazrati, S.,** 2021, Biochemical Response and Nutrient Uptake of Two Arbuscular Mycorrhiza-Inoculated Chamomile Varieties under Different Osmotic Stresses. *Bot. Stud.*, 62, 22
- Ekor, M.,** 2014, The Growing Use of Herbal Medicines: Issues Relating to Adverse Reactions and Challenges in Monitoring Safety. *Front. Pharmacol.*, 4, 177.
- Elansary, H.O., Mahmoud, E.A., El-Ansary, D.O. and Mattar, M.A.,** 2019, Effects of Water Stress and Modern Biostimulants on Growth and Quality Characteristics of Mint. *Agronomy*, 10, 6.
- Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A. and Hashemi, M.,** 2017, Morpho-physiological and phytochemical traits of (*Thymus daenensis* Celak.) in response to deficit irrigation and chitosan application. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(10), 1-13 pp.
- Eruygur, N., Ataş, M., Çevir, Ö. and Tekin, M.,** 2017, Investigating of Phytochemicals, Antioxidant, Antimicrobial and Proliferative Properties of Different Extracts of *Thymus spathulifolius* Hausskn. and Velen. Endemic Medicinal Plant from Sivas, Turkey, *International Journal of Secondary Metabolite*, 4(3, Special Issue 1), 155-166.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Eshaghi Gorgi, O., Fallah, H., Niknejad, Y. and Barari Tari, D.,** 2022, Effect of Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizal fungi inoculations on essential oil in *Melissa officinalis* L. under drought stress. *Biologia*, 77(1), 11-20.
- Fagbola, O., Osonubi, O., Mulongoy, K. and Odunfa, S.,** 2001, Effects of drought stress and arbuscular mycorrhiza on the growth of *Gliricidia sepium* (Jacq). Walp, and *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. in simulated eroded soil conditions. *Mycorrhiza*, 11(5), 215-223 pp.
- Ghadyeh Zarrinabadi, I., Razmjoo, J., Abdali Mashhadi, A., Mojeni, H.K. and Boroomand, A,** 2019, Physiological response and productivity of pot marigold (*Calendula officinalis*) genotypes under water deficit. *Ind. Crops Prod.* 139, 111488.
- Gharibi, S., Tabatabaei, B.E., Saeidi, G. and Goli, S.A.,** 2016, Effect of Drought Stress on Total Phenolic, Lipid Peroxidation, and Antioxidant Activity of *Achillea* Species *Appl. Biochem. Biotechnol.* 178, 796-809.
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A. and Dolatabadian, A.,** 2013, Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress, *Agric. Water Manag.* 117. 106-114.
- Ghorbanpour, M., Hatami, M., Kariman, K., and Khavazi, K.,** 2015, Enhanced efficiency of medicinal and aromatic plants by PGPRs. In *Plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants* Springer, Cham. 43-70 pp.
- Grümberg, B.C., Urcelay, C. and Shroeder, M.A.,** 2015, The role of inoculum identity in drought stress mitigation by arbuscular mycorrhizal fungi in soybean, *Biol. Fertil. Soils* 51. 1-10.
- Güner A., Özhatay, N., Ekim, T. and Başer KHC.,** 2000, *Flora of Turkey and the East Aegean Islands (supplement 2)*, Edinburgh University Press, Edinburgh, UK.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Hamilton, A.C.**, 2004, Medicinal Plants, Conservation and Livelihoods. Biodivers. Conserv. 13, 1477-1517.
- Harrier, L.A.**, 2001, The arbuscular mycorrhizal symbiosis: a molecular review of the fungal dimension, Journal of experimental botany, 52(suppl\_1), 469-478.
- Hassan, B.**, 2012, Medicinal Plants (Importance and Uses). Pharm. Anal. Acta, 3, 2153-2435.
- Hassan, H.M., Mina, S.A., Bishr, M.M. and Khalik, S.M.A.**, 2019, Influence of foliar spray of ethephon and water stress on the essential oil composition and impact on the cytotoxic activity of *Thymus vulgaris* aerial parts. Natural product research, 33(18), 2714-2717 pp.
- Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Hassan Elharchli, E. and Joutei, K.A.**, 2015, Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and Water Stress on Growth, Phenolic Compounds, Glandular Hairs, and Yield of Essential Oil in Basil (*Ocimum gratissimum* L). Chem. Biol. Technol. Agric. 2, 10.
- He, J., Yang, B., Dong, M. and Wang, Y.**, 2018, Crossing the Roof of the World: Trade in Medicinal Plants from Nepal to China. J. Ethnopharmacol., 224, 100-110.
- Iauk, L., Acquaviva, R., Mastrojeni, S., Amodeo, A., Pugliese, M., Ragusa, M., Loizzo, M.R., Menichini, F. and Tundis, R.**, 2015, Antibacterial, antioxidant and hypoglycaemic effects of *Thymus capitatus* (L.) Hoffmanns. Et Link leaves' fractions, Journal of enzyme inhibition and medicinal chemistry, 30(3).360-365.
- Idrees, M., Khan, M.M.A., Aftab, T., Naeem, M. and Hashmi, N.**, 2010, Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in lemongrass varieties under water stress. Journal of Plant Interactions, 5(4), 293-303 pp.
- Indrasumunar, A.**, 2007, Molecular Cloning and Functional Characterization of Soybean (*Glycine Max* L.) Nod Factor Receptor Genes, Ph.D. Thesis, School of Inte-grative Biology, The University of Queensland.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Israel, A., Langrand, J., Fontaine, J., and Lounès-Hadj Sahraoui, A., 2022,** Significance of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Mitigating Abiotic Environmental Stress in Medicinal and Aromatic Plants: A Review. *Foods*, 11(17), 2591.
- Jones, H.G. and Tardieu, F., 1998,** Modelling water relations of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*, 74(1-2), 21-46.
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M. and Sharma, A., 2020,** The Impact of Drought in Plant Metabolism: How to Exploit Tolerance Mechanisms to Increase Crop Production. *Appl. Sci.* 10, 5692.
- Karunamoorthi, K., Jegajeevanram, K., Vijayalakshmi, J. and Mengistie, E., 2013,** Traditional Medicinal Plants: A Source of Phytotherapeutic Modality in Resource-Constrained Health Care Settings. *J. Evid. Based Complement. Altern. Med.*, 18, 67-74.
- Khan, M.N., Zhang, J., Luo, T., Liu, J., Rizwan, M., Fahad, S., ... and Hu, L., 2019,** Seed priming with melatonin coping drought stress in rapeseed by regulating reactive oxygen species detoxification: Antioxidant defense system, osmotic adjustment, stomatal traits and chloroplast ultrastructure perseveration. *Industrial Crops and Products*, 140, 111597.
- Kim, K.S., Park, S.H. and Jenks, M.A., 2007,** Changes in Leaf Cuticular Waxes of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Plants Exposed to Water Deficit. *J. Plant Physiol.*, 164, 1134-1143.
- Lange, D., 2006,** International Trade in Medicinal and Aromatic Plants: Actors, Volumes and Commodities. *Frontis*, 17, 155-170.
- Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A. and Marzouk, B., 2009,** Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. *Industrial Crops and Products*, 30(3), 372-379.



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Latef, A.A.H.A., Hashem, A., Rasool, S., AbduAllah, E.F., Alqarawi, A.A., Egamberdieva, D., Jan, S., Anjum, N.A. and Ahmad, P.,** 2016, Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis and Abiotic Stress in Plants: A Review. *J. Plant Biol.* 59, 407-426.
- Letchamo, W., Xu, H.L. and Gosselin, A.,** 1995, Photosynthetic potential of *Thymus vulgaris* selections under two light regimes and three soil water levels. *Scientia horticulturae*, 62(1-2), 89-101 pp.
- Li, H., Xiang, D., Wang, C., Li, X. and Lou, Y.,** 2012, Effects of epigeic earthworm (*Eisenia fetida*) and arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) on enzyme activities of a sterilized soil–sand mixture and nutrient uptake by maize. *Biology and Fertility of Soils*, 48(8), 879-887 pp.
- Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M.R. and Wu, H.,** 2020, The Effect of Developmental and Environmental Factors on Secondary Metabolites in Medicinal Plants. *Plant Physiol. Biochem.* 148, 80-89.
- Mahajan, M., Kuiry, R. and Pal, P.,** 2020, Understanding the Consequence of Environmental Stress for Accumulation of Secondary Metabolites in Medicinal and Aromatic Plants. *J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants.* 18, 100255.
- Mansinhos, I., Gonçalves, S., Rodríguez-Solana, R., Duarte, H., Ordóñez-Díaz, J. L., Moreno-Rojas, J. M. and Romano, A.,** 2022, Response of *Thymus lotocephalus* In Vitro Cultures to Drought Stress and Role of Green Extracts in Cosmetics. *Antioxidants*, 11(8), 1475.
- Mardukhi, B., Rejali, F. and Daei, G.,** 2011, Arbuscular mycorrhizas enhance nutrient uptake in different wheat genotypes at high salinity levels under field and greenhouse conditions, *Comptes Rendus Biol.* 334. 564-571.
- Marschner H. and B. Dell.,** 1994, Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159:89-102.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J.M. and Azcón, R.,** 2007, Drought Tolerance and Antioxidant Activities in Lavender Plants Colonized by Native Drought-Tolerant or Drought-Sensitive Glomus Species. *Microb. Ecol.* 54, 543-552.
- Mugao, L.G., Gichimu, B.M., Muturi, P.W. and Mukono, S.T.,** 2020, Characterization of the Volatile Components of Essential Oils of Selected Plants in Kenya. *Biochem. Res. Int.* 2020, e8861798.
- Muni, Ram., Ram, D. and Singh, S.,** 1995, Irrigation and nitrogen requirements of Bergamot mint on a sandy loam soil under sub-tropical conditions, *Agric. Water Manag.*, 27: 45-54.
- Nambiar, E.K.S.,** 1977, The effect of drying of the topsoil and of micronutrients in the subsoil on micronutrient uptake by an intermittently defoliated ryegrass, *Plant Soil*, 46:185.
- Navarro-Fernández, C.M., Aroca, R. and Barea, J.M.,** 2011, Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and water regime on the development of endemic *Thymus* species in dolomitic soils. *Applied Soil Ecology*, 48(1), 31-37 pp.
- Nogués, S. and Baker, N.R.,** 2000, Effects of Drought on Photosynthesis in Mediterranean Plants Grown under Enhanced UV-B Radiation. *J. Exp. Bot.* 51, 1309-1317.
- Omidbeygi, R.,** 2000, Investigating the chemical types of Iranian chamomiles and comparing with the improved type. *Tarbiat Modares Agricultural Sciences Journal*, 1.
- Ostadi, A., Javanmard, A., Amani Machiani, M., Sadeghpour, A., Maggi, F., Nouraein, M., Morshedloo, M.R., Hano, C. and Lorenzo, J.M.,** 2022, Co-application of TiO<sub>2</sub> nanoparticles and arbuscular mycorrhizal fungi improves essential oil quantity and quality of sage (*Salvia officinalis* L.) in drought stress conditions. *Plants*, 11(13), 1659 p.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ouahmane, L., Duponnois, R., Hafidi, M., Kisa, M., Boumezzough, A., Thioulouse, J. and Plenchette, C.,** 2006, Some Mediterranean plant species (*Lavandula* spp. and *Thymus satureioides*) act as potential plant nurses for the early growth of *Cupressus atlantica*, *Plant Ecology*, 185, 123-134.
- Özkan, M. and Soy, E.,** 2007, Morphology, anatomy, hair and karyotype structure of *Salvia blepharoclaena* Hedge and Hub.-Mor. (Lamiaceae), endemic to Turkey, *Pak. J. Biol. Sci*, 10(6), 893-898.
- Parniske, M.,** 2008, Arbuscular Mycorrhiza: The Mother of Plant Root Endosymbioses. *Nat. Rev. Microbiol.* 6, 763-775.
- Pedranzani, H., Rodríguez-Rivera, M., Gutiérrez, M., Porcel, R.; Hause, B. and Ruiz-Lozano, J.M.,** 2016, Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Regulates Physiology and Performance of *Digitaria eriantha* Plants Subjected to Abiotic Stresses by Modulating Antioxidant and Jasmonate Levels. *Mycorrhiza*, 26, 141-152.
- Petropoulos, S.A., Daferera, D., Polissiou, M.G. and Passam, H.C.,** 2008, The Effect of Water Deficit Stress on the Growth, Yield and Composition of Essential Oils of Parsley. *Sci. Hortic.*, 115, 393-397.
- Pirbalouti, A. G., Samani, M. R., Hashemi, M. and Zeinali, H.,** 2014, Salicylic acid affects growth, essential oil and chemical compositions of thyme (*Thymus daenensis* Celak.) under reduced irrigation. *Plant Growth Regulation*, 72(3), 289-301.
- Pirzad, A.,** 2008, Effects of irrigation and plant density on some physiological characteristics and effective substances of German chamomile. PhD Thesis, Tabriz University, Tabriz, Iran.
- Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M.R., Zehtab Salmasi, S. and Mohammadi, S.A.,** 2009a, The effects of irrigation and plant density on the efficiency of water consumption in the production of chamomile essential oil. *Journal of Agricultural Science*, 18 (2): 49.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M.R., Zehtab Salmasi, S. and Mohammadi, S. A.,** 2009b, The effects of irrigation and plant density on the efficiency of water consumption in the production of chamomile capitul. Journal of Agricultural Science, 18 (4): 81-91.
- Pirzad, A. and Mohammadzadeh, S.,** 2018, Water use efficiency of three mycorrhizal Lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*). Agricultural water management, 204, 1-10 pp.
- Porcel, R., Aroca, R. and Ruiz-Lozano, J.M.,** 2012, Salinity Stress Alleviation Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi. A Review. Agron. Sustain. Dev. 32, 181-200.
- Porcel, R. and Ruiz-Lozano, J.M.,** 2004, Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. J Experiment Bot. 55: 1743-1750.
- Pradhan, N., Singh, P., Dwivedi, P. and Pandey, D.K.,** 2020, Evaluation of sodium nitroprusside and putrescine on polyethylene glycol induced drought stress in *Stevia rebaudiana* Bertoni under in vitro condition. Industrial Crops and Products, 154, 112754 p.
- Prananath, B., Sanjay, K.S., Vishwa, B.P., Lata, N. and Avnish, P.,** 2015, Cleopatra mandarin (*Citrus reshni* Hort. Ex tan.) modulate physiological mechanisms to tolerate drought stress due to arbuscular mycorrhizal fungi and mycorrhizal helper bacteria. African Journal of Microbiology Research, 9(18), 1236-1246 pp.
- Puangbut, D., Jogloy, S., Vorasoot, N. and Songsri, P.,** 2022, Photosynthetic and physiological responses to drought of Jerusalem artichoke genotypes differing in drought resistance. Agricultural Water Management, 259, 107252p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Putwattana, N., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P. and Chaiyarat, R., 2010,** Immobilization of Cadmium in Soil by Cow Manure and Silicate Fertilizer, and Reduced Accumulation of Cadmium in Sweet Basil (*Ocimum basilicum*). *ScienceAsia*. 36, 349-354.
- Raju, P.S., Clark, R.B., Ellis, J.R. and Maranville, J.W. 1990,** Effects of species of VAMycorrhizal fungi on growth and mineral uptake of sorghum at different temperatures. *Plant and Soil*, 121: 165-170.
- Ramezani, S., Abbasi, A., Sobhanverdi, S., Shojaeiyan, A. and Ahmadi, N., 2020,** The effects of water deficit on the expression of monoterpene synthases and essential oils composition in *Salvia* ecotypes. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(11), 2199-2207.
- Rathore, V.P. and Singh, H.P., 1995,** Quantification and correlation of vesicular arbuscular mycorrhizal propagules with soil properties of some mollisols of northern India. *Mycorrhiza* 5:201-203.
- Raveau, R., Fontaine, J. and Lounès – Hadj Sahraoui, A., 2020,** Essential Oils as Potential Alternative Biocontrol Products against Plant Pathogens and Weeds: A Review. *Foods*, 9, 365.
- Rodriguez, R.J., Henson, J., Van Volkenburgh, E., Hoy, M., Wright, L., Beckwith, F., Kim, Y. and Redman, RS., 2008,** Stress tolerance in plants via habitat-adapted symbiosis. *Int Soc Microbial Ecol.* 2: 404-416.
- Saheri, F., Barzin, G., Pishkar, L., Boojar, M. M. A. and Babaeekhou, L., 2020,** Foliar spray of salicylic acid induces physiological and biochemical changes in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress. *Biologia*, 75(12), 2189-2200.
- Saia, S., Amato, G., Frenda, A.S., Giambalvo, D. and Ruisi, P., 2014,** Influence of arbuscular mycorrhizae on biomass production and nitrogen fixation of berseem clover plants subjected to water stress. *PloS one*, 9(3), p.e90738.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Samarth, R.M., Samarth, M. and Matsumoto, Y.,** 2017, Medicinally Important Aromatic Plants with Radioprotective Activity. *Future Sci. OA*, 3, FSO247.
- Shukla, A.; Vyas, D.; Anuradha, J.,** 2013, Soil depth: an overriding factor for distribution of arbuscular mycorrhizal fungi, *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13. 23-33.
- Shah, A., Nazari, M., Antar, M., Msimbira, L.A., Naamala, J., Lyu, D., Rabileh, M., Zajonc, J. and Smith, D.L.,** 2021, PGPR in Agriculture: A Sustainable Approach to Increasing Climate Change Resilience. *Front. Sustain. Food Syst*, 5, 667546.
- Shukla, A., Vyas, D. and Anuradha, J,** 2013, Soil depth: an overriding factor for distribution of arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(1), 23-33.
- Smith, S.E. and Read, D.J.,** 2008, *Mycorrhizal Symbiosis*, 3rd ed.; Academic Press: Amsterdam, The Netherland; Boston, MA, USA.; ISBN 978-0-12-370526-6.
- Smith, S.E. and Smith, F.A.,** 2011, Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual review of plant biology*, 62, 227-250.
- Sofowora, A., Ogunbodede, E. and Onayade, A.,** 2013, The Role and Place of Medicinal Plants in the Strategies for Disease Prevention. *Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Med.*, 10, 210-229.
- Stevens, J., Senaratna, T. and Sivasithamparam, K.,** 2006, Salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilisation, *Plant Growth Regul* 49: 77-83.
- Sujatha, S., Bhat, R., Kannan, C. and Balasimha, D.,** 2011, Impact of Intercropping of Medicinal and Aromatic Plants with Organic Farming Approach on Resource Use Efficiency in Arecanut (*Areca catechu* L.) Plantation in India. *Ind. Crops Prod.*, 33, 78-83.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Sun, R.T., Zhang, Z.Z., Zhou, N., Srivastava, A.K., Kuşca, K., AbduAllah, E.F., Hashem, A. and Wu, Q.S.,** 2021, A Review of the Interaction of Medicinal Plants and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, 49, 12454.
- Symanczik, S., Lehmann, M.F., Wiemken, A., Boller, T. and Courty, P.E.,** 2018, Effects of two contrasted arbuscular mycorrhizal fungal isolates on nutrient uptake by *Sorghum bicolor* under drought. *Mycorrhiza*, 28(8), 779-785 pp.
- Tan, A.,** 2010, Türkiye bitki genetik kaynakları ve muhafazası, *Anadolu J AARI*, 20(1), 7-25 pp.
- Tanguilig, V.C., Yambao, E.B., Toole, J.C.O. and DeDatta, S.K.,** 1987, Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration and nutrient uptake of rice, maize and soybean, *Plant Soil*, 103-155.
- Tarraf, W., Ruta, C., De Cillis, F., Tagarelli, A., Tedone, L. and De Mastro, G.,** 2015, Effects of mycorrhiza on growth and essential oil production in selected aromatic plants, *Italian Journal of Agronomy*, 10(3), 160-162.
- Tepe, B., Cakir, A. ve SihogluTepe, A.,** 2016, Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacology of *Origanum onites* (L.): a review. *Chem Biodivers* 13(5):504-520.
- Thakur, P. and Thakur, A,** 2018, Effect of water stress on yield and seed quality of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 9(1), 159-163.
- Tramblay, Y., Koutroulis, A., Samaniego, L., Vicente-Serrano, S.M., Volaire, F., Boone, A., Le Page, M., Llasat, M.C., Albergel, C., Burak, S. et al.,** 2020, Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios. *Earth-Sci. Rev.* 210, 103348.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tripathi, A., Pohanková, E., Fischer, M., Orság, M., Trnka, M., Klem, K. and Marek, M.,** 2018, The Evaluation of Radiation Use Efficiency and Leaf Area Index Development for the Estimation of Biomass Accumulation in Short Rotation Poplar and Annual Field Crops. *Forests*, 9, 168.
- Trouvelot, A., Kough, J.L. and Gianinazzi-Pearson, V.,** 1986, Estimation of vesicular arbuscular mycorrhizal infection levels. Research for methods having a functional significance. In *Physiological and genetical aspects of mycorrhizae, Aspects physiologiques et genetiques des mycorrhizes: proceedings of the 1st European Symposium on Mycorrhizae, Dijon, 1-5 July 1985.* Paris: Institut national de le recherche agronomique, c1986.
- Tyagi, J., Varma, A. and Pudake, R.N.,** 2017, Evaluation of comparative effects of arbuscular mycorrhiza (*Rhizophagus intraradices*) and endophyte (*Piriformospora indica*) association with finger millet (*Eleusine coracana*) under drought stress. *European Journal of Soil Biology*, 81, 1-10 pp.
- Ullah, N., Ditta, A., Imtiaz, M., Li, X., Jan, A.U., Mehmood, S., Rizwan, M.S. and Rizwan, M.,** 2021, Appraisal for Organic Amendments and Plant Growth-promoting Rhizobacteria to Enhance Crop Productivity under Drought Stress: A Review. *J. Agron. Crop Sci.*, 207, 783-802.
- Wagg, C., Barendregt, C., Jansa, J. and van der Heijden, M.G.,** 2015, Complementarity in both plant and mycorrhizal fungal communities are not necessarily increased by diversity in the other. *Journal of Ecology*, 103(5), 1233-1244 pp.
- Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, Mç, Heier, T., Hückelhoven, R., Neumann, C., von Wettstein, D., Franken, P. and Kogel, K.H.,** 2005, The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield, *Proc Natl Acad Sci USA* 102:13386-13391.
- Watson, L., Dallwitz, M. J., Gibbs, A. J., and Pankhurst, R. J.,** 1988, Automated taxonomic descriptions. *Prospects in systematics*, 36, 297-304.



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Whitfield, L., Richards, A.J. and Rimmer, D.L.,** 2004, Effects of mycorrhizal colonization on *Thymus polytrichus* from heavy-metal-contaminated sites in northern England, *Mycorrhiza*, 14, 47-54.
- Wu, Q., Srivastava, A.K. and Zou, Y.,** 2013, AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: a review, *Sci. Hortic.* 164.77-87.
- Wu, Q.S. and Zou, Y.N.,** 2010, Beneficial roles of arbuscular mycorrhizas in citrus seedlings at temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 289-293 pp.
- Xavier, L.J.C. and Germida, J.J,** 2002, Response of lentil under controlled conditions to co-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia varying in efficacy. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(2), 181-188.
- Xian-can, Z., Feng-bin, S. and Hong-wen, X.,** 2010, Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthetic characteristics of maize under low temperature stress. *Yingyong Shengtai Xuebao*, 21(2).
- Xie, W., Hao, Z., Zhou, X., Jiang, X., Xu, L., Wu, S., Zhao, A., Zhang, X. and Chen, B.,** 2018, Arbuscular Mycorrhiza Facilitates the Accumulation of Glycyrrhizin and Liquiritin in *Glycyrrhiza uralensis* under Drought Stress. *Mycorrhiza*, 28, 285-300.
- Yousefi, A.R., Rashidi, S., Moradi, P. and Mastinu, A.,** 2020, Germination and Seedling Growth Responses of *Zygophyllum fabago*, *Salsola kali* L. and *Atriplex canescens* to PEG-Induced Drought Stress. *Environments*, 7, 107.
- Zandalinas, S.I., Fritschi, F.B. and Mittler, R.,** 2021, Global Warming, Climate Change, and Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster. *Trends Plant Sci.*, 26, 588-599.
- Zardak, S.G., Dehnavi, M.M., Salehi, A. and Gholamhoseini, M.,** 2017, Responses of field grown fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to different mycorrhiza species under varying intensities of drought stress. *Journal of applied research on medicinal and aromatic plants*, 5, 16-25.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Zehtab-Salmasi, S., Javanshir, A., Omidbaigi, R., Alyari, H. and Ghassemi-Golezani, K.,** 2001, Effects of Water Supply and Sowing Date on Performance and Essential Oil Production of Anise (*Pimpinella anisum* L.). *Acta Agron. Hung.*, 49, 75-81.
- Zhang, M., Shi, Z., Zhang, S. and Gao, J.,** 2022, A Database on Mycorrhizal Traits of Chinese Medicinal Plants. *Front. Plant Sci.*, 13, 840343.
- Zhao, Y., Cartabia, A., Lalaymia, I. and Declerck, S.,** 2022, Arbuscular mycorrhizal fungi and production of secondary metabolites in medicinal plants. *Mycorrhiza*, 1-36 pp.

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince, değerli bilgilerini ve kıymetli zamanını benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam büyük bir sabır ve ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda bana ışık olan kıymetli danışman hocam Sayın **Prof. Dr. Burçin ÇOKUYSAL**'a, çalışma süresince değerli fikirlerini ve bilgilerini benden esirgemeyen, her zaman beni motive eden, yüreklendiren saygıdeğer hocam **Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAKICI**'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Koşulsuz bir şekilde hizmetime sunan, yardımlarını benden esirgemeyen ve bana yol gösteren ve tezimin istatistik çalışmalarında bana yardımcı olan ikinci danışman hocam Sayın **Prof. Dr. Younes REZAAE DANESH**'e minnetlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında kullandığım tohumlarının temin edilmesinde Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsünden **Doç. Dr. Ünal KARIK**'a teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca aldığım kararlarda beni destekleyen, maddi ve manevi olarak hep arkamda duran ve bu yolda sonuna kadar devam etme cesareti veren **AİLEME** sonsuz teşekkürlerimi sunmaktan onur duyuyorum. Çalışmalarım sırasında yardımlarını benden esirgemeyen ve çalışma boyunca bana her konuda yardımcı olan ablam **Dr. Öğr. Üyesi. Solmaz NAJAFI**'ye teşekkürlerimi sunarım.

Bu Proje Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 22652 proje numarası ile desteklenmiştir. Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

02 / 02 / 2023

Mina NAJAFI

## ÖZGEÇMİŞ

Mina NAJAFI, ilk, orta ve lise eğitimini Urmia'da tamamlamıştır. 2003 yılında Matin Lisesi'nden mezun olmuş, 2005 yılında Urumia Üniversitesi/ Ziraat Fakültesi/ Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünde lisans eğitimine başlamış ve 2009 yılında aynı bölümden mezun olmuştur. 2011 yılında Ankara Üniversitesi/ Ziraat Fakültesi/ Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünde Yüksek lisans eğitimine başlamış ve 2014 yılında aynı bölümden mezun olmuştur. 2018 yılı eylül ayında Ege Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü/ Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Anabilim dalında Doktora öğrenimine başlamıştır. Halen aynı bölümde doktora eğitimine devam etmektedir.

### Yayınlar

- Effects of Hazelnut Husk Waste on Growth and Nutrient Contents of Primula. 2019. Arctic journal 72 (5).
- Morphological Characteristics of Boralan Sand Dunes in West Azarbaijan. 2018.
- Rhizobium and its Role as Bio-Fertilizer in Cereal Production. 2018. The Role of Bio-Fertilizers in Sustainable Agriculture. 2018.
- Karyotype analysis of Achillea spp in Iran. 2014.
- Efficiency of nitrogen fixation in legumes using pesticides. 2013.
- Investigation the effect of using combination of bio-organic and chemical fertilizers on biological yield and yield component of sunflower. 2013.
- Effects of micronutrients Fe, Zn and Mn on yield and yield components in soybean. 2013.
- Evaluation of biofertilizers (Nitroxin, Superphosphate and Thiobacillus) influence on vegetative and reproductive components reactions in corn. 2013.
- Karyosystematic study in some of almond species and peach in Iran. 2012.

## **Kitaplar**

- Balci, M., Najafi, S. and Najafi, M. 2020. Preparing the New Generations to Real Life by Teaching How to Fish. In: Kunter, B. and Keskin, N. (eds.). Agricultural and Natural Sciences, Theory, Current Researches and New Trends. IVPE Publication, Cetinje, Montenegro.
- Najafi, S., Balci, M. and Najafi, M. 2020. Where Should We Go? (Aiming for Future Agricultural Movement) Why Should Worry About Security and Food Safety? In: Ghiyasi, M., Popovic-Djordjevic, J.B. and Kiralan, M. (eds.). Innovative Approaches for Sustainable Food Production and Security by 2050. Springer Nature Publishing.

## **Projeler**

1. Van Gölü Havzasında Yetiştirilen Yerel Buğdayın Rhizosferindeki Arbusküler Mikoriza Popülasyonlarının Araştırılması (Araştırmacı)
2. Arbuscular Mikorizal Mantarın Kuraklık Stres Durumu Altında Kekik Bitkisinin (*Origanum onites* L.) Büyüme, Beslenme ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi (Araştırmacı)