

**“TUZLULUK KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN
BİBER (*Capsicum annuum* L.) BİTKİSİNDE
ARBUSKÜLER MİKORİZANIN BAZI FİZYOLOJİK
VE BİYOKİMYASAL PARAMETRELER ÜZERİNE
ETKİSİ”**

FAZİLET ÖZLEM ÇEKİÇ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOLOJİ
ANA BİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**MERSİN
KASIM – 2008**

**“TUZLULUK KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN BİBER (*Capsicum
annuum* L.) BİTKİSİNDE ARBUSKÜLER MİKORİZANIN BAZI
FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL PARAMETRELER ÜZERİNE
ETKİSİ”**

FAZİLET ÖZLEM ÇEKİÇ

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Biyoloji
Ana Bilim Dalı**

DOKTORA TEZİ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR**

**MERSİN
Kasım - 2008**

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Doktora Tezi olarak kabul ediyoruz.

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR

Jüri Üyesi
Prof. Dr. İbrahim ORTAŞ

Jüri Üyesi
Prof. Dr. Ş.Fatih TOPÇUOĞLU

Jüri Üyesi
Doç. Dr. Nermin ORCAN

Jüri Üyesi
Doç. Dr. Yüksel KELEŞ

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../.....tarih ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr.Mahir TURHAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÖZ

Bu çalışmada arbusküler mikoriza mantarı olan *Glomus mosseae* ve *Glomus intraradices*'in biber bitkisinin (*Capsicum annuum* L.) tuz [Sodyum klorür (NaCl)] stresi koşullarında bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametreler (oransal su içeriği, fosfor konsantrasyonu, kök enfeksiyonu, pigment içerikleri, antioksidan enzim aktiviteleri ve lipid peroksidasyonu) üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneme iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Birinci deney setinde 0 mM NaCl, 100 mM NaCl, 200 mM NaCl çözeltisi hasattan önceki 7 gün süresince, ikinci deney setinde 0 mM NaCl, 1 mM NaCl, 2 mM NaCl, 4 mM NaCl, 8 mM NaCl çözeltisi çimlenmeden sonra iki aylık gelişim süresince sulama suyu şeklinde uygulanmıştır. Her iki deney setinde de mikorizanın özellikle *G. intraradices*'in *G. mosseae*'ya göre daha iyi enfekte olduğu ve bitki gelişimi üzerine olumlu etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Bitki gelişiminin en başından itibaren uygulanan tuz koşullarında enfeksiyonun azalmasına karşılık bitkilerin iyi geliştikleri görülmüştür. Mikorizanın özellikle *G. intraradices*'in toplam klorofil, oransal su içeriği, fosfor konsantrasyonunu artırdığı tespit edilmiştir. Kısa süreli tuz stresinde mikorizalı bitkilerin mikorizasız bitkilere göre daha yüksek antioksidan enzim aktivitesine sahip olduğu, uzun süre ve düşük konsantrasyonlu tuz uygulamasında ise antioksidan enzim aktivitelerinin belirgin bir şekilde etkilenmediği tespit edilmiştir. Ayrıca, 200 mM NaCl tuz konsantrasyonu mikorizalı ve mikorizasız bitkilerde toplam klorofil, fosfor konsantrasyonu ve enzim aktivitelerinde belirgin bir azalmaya neden olmuştur. Çalışmanın her iki deney setinden elde edilen bulgulara göre, tuz koşullarında mikorizalı bitkilerde özellikle *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde daha düşük lipid peroksidasyonu gözlenmiştir. Bundan dolayı *G. intraradices*'in tuzun membranlara olan zararlı etkisini azaltabileceği söylenebilir. Sonuç olarak, mikorizal enfeksiyonun bitkinin tuz stresine alışmasına yardımcı olabildiği ve *G. intraradices*'in *G. mosseae*'den daha etkili bir tür olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, tuz stresi, antioksidan enzimler, lipid peroksidasyonu.

ABSTRACT

In this study, the effects of *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* arbuscular mycorrhizal fungi under salt [Sodium chloride (NaCl)] stress conditions on some physiological and biochemical parameters (relative water content, phosphorus concentration, root colonization, pigment contents, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation) were investigated in pepper plants (*Capsicum annuum* L.). The experiment was set up in two steps. In the first experiment 0 mM NaCl, 100 mM NaCl, 200 mM NaCl solution were treated to the plants during one week before the harvest, in the second experiment 0 mM NaCl, 1 mM NaCl, 2 mM NaCl, 4 mM NaCl, 8 mM NaCl were treated with irrigation after germination during two months till the harvest. In both of the experiments, it was determined that mycorrhiza especially *G. intraradices* had beneficial effects on plant growth and root colonization better than *G. mosseae*. It was observed that the infection was decreased under salt conditions applied from the beginning of plant growth, however plants grew well in these conditions. It was determined that mycorrhiza especially *G. intraradices* increased total chlorophyll, relative water content and phosphorus concentration. It was observed that in the short term salt stress mycorrhizal plants increased antioxidant enzyme capacities more than nonmycorrhizal plants, however in the long term salt stress with small concentrations of salt application the antioxidant enzymes were not affected clearly. Also 200 mM NaCl salt concentration caused a remarkably decrease in the concentration of total chlorophyll, phosphorus concentrations and enzymes activities. According to the results of two experiments, it was determined that under salt conditions in mycorrhizal plants especially plants infected with *G. intraradices* had lower lipid peroxidation than nonmycorrhizal plants. Therefore it can be said that *G. intraradices* would decrease the deleterious effects of salt to membranes. As a result, it was determined that the root colonization with mycorrhiza could help plant to acclimate salt stress and *G.intraradices* would be more efficient species than *G.mosseae*.

Key Words : *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, salt stress, antioxidant enzymes, lipid peroxidation.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince bilgi, görüş ve önerilerini esirgemeyen ve bana her konuda destek olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR'a (Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü) yakın ilgi, anlayış ve desteğinden dolayı çok teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında görüş ve önerilerini esirgemeyen ve laboratuvarında çalışmama izin veren tez izleme komite üyesi değerli hocam Prof. Dr. İbrahim ORTAŞ'a (Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü), tez izleme komite üyesi değerli hocam Doç.Dr. Nermin ORCAN'a (Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü), mikoriza ve fosfor analizlerim sırasında yardımını esirgemeyen Arş.Gör. Çağdaş AKPINAR'a (Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü), sonuçlarımın istatistiksel değerlendirilmesinde emeği olan Arş.Gör. Mehmet Ali SUNGUR'a (Mersin Üniversitesi, Tıp Fakültesi Biyoistatistik Bölümü), analizlerim sırasında yardımlarını esirgemeyen Sertan ÇEVİK'e, Mehmet SERTBAŞ'a (Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü) ve gerekli olduğunda yanımda olan oda arkadaşım Arş.Gör. Filiz KAYA'ya çok teşekkür ederim. Çalışmamda maddi destek sağlayan Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi'ne teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince destekleri ile daima yanımda olan sevgili aileme özellikle de anneme teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|------------|
| ÖZ | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | x |
| SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 4 |
| 2.1. MİKORİZA NEDİR? | 4 |
| 2.2. MİKORİZAL BİRLİĞİN YARARLARI | 4 |
| 2.3. MİKORİZAL BİRLİĞİN OLUŞMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER | 6 |
| 2.4. MİKORİZA ÇEŞİTLERİ | 7 |
| 2.5. ARBUSKÜLER MİKORİZANIN YAŞAM DÖNGÜSÜ | 11 |
| 2.6. MİKORİZANIN TARIMDAKİ ROLÜ VE ÖNEMİ | 13 |
| 2.7. TUZ STRESİ | 14 |
| 2.8. TUZ STRESİ VE MİKORİZA | 15 |
| 2.9. BİTKİLERİN ANTIOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMLERİ | 17 |
| 3. MATERYAL VE METOT | 19 |
| 3.1. BİTKİ YETİŞTİRME KOŞULLARI | 19 |
| 3.2. YETİŞTİRME ORTAMI | 21 |
| 3.3. YETİŞTİRME ORTAMININ STERİLİZASYONU | 22 |
| 3.4. BİTKİDEKİ ORANSAL SU İÇERİĞİ'NİN (OSİ) ÖLÇÜLMESİ | 22 |
| 3.5. MİKORİZA KÖK ENFEKSİYONUNUN BELİRLENMESİ | 22 |
| 3.6. FOSFOR ANALİZİ | 23 |
| 3.7. PİGMENTLERİN EKSTRAKSİYONU VE ANALİZİ | 23 |
| 3.8. ENZİM AKTİVİTELERİNİN ÖLÇÜLMESİ | 23 |
| 3.8.1. Superoksit Dismutaz (SOD, EC.1.15.1.1.) Aktivite Tayini | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 3.8.2. Askorbat Peroksidaz (AP, EC.1.11.1.11.) Aktivite Tayini | 24 |
| 3.8.3. Glutatyon Redüktaz (GR, E.C.1.6.4.2.) Aktivite Tayini | 24 |
| 3.8.4. Katalaz (KAT, E.C.1.11.1.6.) Aktivite Tayini | 24 |
| 3.9. ÇÖZÜNÜR PROTEİN MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ | 25 |
| 3.10. LİPİD PEROKSİDASYONU | 25 |
| 3.11. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME | 26 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 27 |
| 4.1. BULGULAR | 27 |
| 4.1.1. Birinci Deney Setinin Bulguları | 27 |
| 4.1.1.1. Bitkilerin genel görünüşü | 27 |
| 4.1.1.2. Oransal su içeriği (OSİ) | 29 |
| 4.1.1.3. Kök enfeksiyonu | 30 |
| 4.1.1.4. Fosfor (P) konsantrasyonu | 32 |
| 4.1.1.5. Klorofil a içeriği | 34 |
| 4.1.1.6. Klorofil b içeriği | 36 |
| 4.1.1.7. Klorofil a/b oranı | 36 |
| 4.1.1.8. Toplam klorofil içeriği | 37 |
| 4.1.1.9. Toplam karotenoid içeriği | 39 |
| 4.1.1.10. Karotenoid/klorofil oranı | 39 |
| 4.1.1.11. SOD aktivitesi | 40 |
| 4.1.1.12. AP aktivitesi | 42 |
| 4.1.1.13. GR aktivitesi | 43 |
| 4.1.1.14. KAT aktivitesi | 44 |
| 4.1.1.15. Lipid peroksidasyonu | 46 |
| 4.1.2. İkinci Deney Setinin Bulguları | 48 |
| 4.1.2.1. Bitkilerin genel görünüşü | 48 |
| 4.1.2.2. Oransal su içeriği (OSİ) | 50 |
| 4.1.2.3. Kök enfeksiyonu | 52 |
| 4.1.2.4. Fosfor (P) konsantrasyonu | 53 |
| 4.1.2.5. Klorofil a içeriği | 55 |
| 4.1.2.6. Klorofil b içeriği | 57 |
| 4.1.2.7. Klorofil a/b oranı | 57 |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| 4.1.2.8. Toplam klorofil içeriği | 58 |
| 4.1.2.9. Toplam karotenoid içeriği | 60 |
| 4.1.2.10. Karotenoid/klorofil oranı | 61 |
| 4.1.2.11. SOD aktivitesi | 62 |
| 4.1.2.12. AP aktivitesi | 63 |
| 4.1.2.13. GR aktivitesi | 65 |
| 4.1.2.14. KAT aktivitesi | 66 |
| 4.1.2.15. Lipid peroksidasyonu | 67 |
| 4.2. TARTIŞMA | 70 |
| 4.2.1. Bitkilerin Genel Görünüşü | 70 |
| 4.2.2. Oransal Su İçeriği (OSI) | 73 |
| 4.2.3. Kök Enfeksiyonu | 75 |
| 4.2.4. Fosfor (P) Konsantrasyonu | 77 |
| 4.2.5. Klorofil İçerikleri | 79 |
| 4.2.6. Toplam Karotenoid İçeriği | 82 |
| 4.2.7. SOD Aktivitesi | 83 |
| 4.2.8. AP Aktivitesi | 85 |
| 4.2.9. GR Aktivitesi | 87 |
| 4.2.10.KAT Aktivitesi | 88 |
| 4.2.11.Lipid Peroksidasyonu | 89 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 91 |
| KAYNAKLAR | 93 |
| ÖZGEÇMİŞ | 106 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| Çizelge | | Sayfa |
|----------------|--|-------|
| Çizelge 2.1. | Antioksidan enzimler, buldukları yerler ve etkileri. | 18 |
| Çizelge 3.1. | Çalışmanın birinci deney setinde hasattan önceki 7 gün süresince tuz stresi uygulaması için oluşturulan deneme deseni, n=5. | 20 |
| Çizelge 3.2. | Çalışmanın ikinci deney setinde iki ay süresince tuz stresi uygulaması için oluşturulan deneme deseni, n=3. | 21 |
| Çizelge 3.3. | Yetiştirme ortamı olarak toprağın kimyasal özellikleri. | 21 |
| Çizelge 4.1.1. | Birinci deney setinin oransal su içeriğine (OSİ) ait varyans analizi sonuçları. | 30 |
| Çizelge 4.1.2. | Birinci deney setinin kök enfeksiyonuna ait varyans analizi sonuçları. | 32 |
| Çizelge 4.1.3. | Birinci deney setinin fosfor konsantrasyonuna ait varyans analizi sonuçları. | 34 |
| Çizelge 4.1.4. | Birinci deney setinin klorofil a içeriğine ait varyans analizi sonuçları. | 35 |
| Çizelge 4.1.5. | Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki klorofil a içeriği, klorofil b içeriği, klorofil a/b oranı değerleri, n=5. | 35 |
| Çizelge 4.1.6. | Birinci deney setinin klorofil b içeriğine ait varyans analizi sonuçları. | 36 |
| Çizelge 4.1.7. | Birinci deney setinin klorofil a/b oranına ait varyans analizi sonuçları. | 37 |
| Çizelge 4.1.8. | Birinci deney setinin toplam klorofil içeriğine ait varyans analizi sonuçları. | 38 |
| Çizelge 4.1.9. | Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki toplam klorofil içeriği, toplam karotenoid içeriği, karotenoid/klorofil oranı değerleri, n=5. | 38 |

| | |
|---|----|
| Çizelge 4.1.10. Birinci deney setinin toplam karotenoid içeriğine ait varyans analizi sonuçları. | 39 |
| Çizelge 4.1.11. Birinci deney setinin karotenoid/klorofil oranına ait varyans analizi sonuçları. | 40 |
| Çizelge 4.1.12. Birinci deney setinin SOD aktivitesine ait varyans analizi sonuçları | 41 |
| Çizelge 4.1.13. Birinci deney setinin AP aktivitesine ait varyans analizi sonuçları. | 43 |
| Çizelge 4.1.14. Birinci deney setinin GR aktivitesine ait varyans analizi sonuçları. | 44 |
| Çizelge 4.1.15. Birinci deney setinin KAT aktivitesine ait varyans analizi sonuçları. | 46 |
| Çizelge 4.1.16. Birinci deney setinin MDA miktarına ait varyans analizi sonuçları. | 47 |
| Çizelge 4.2.1. İkinci deney setinin oransal su içeriğine (OSİ) ait varyans analizi sonuçları. | 51 |
| Çizelge 4.2.2. İkinci deney setinin kök enfeksiyonuna ait varyans analizi sonuçları. | 53 |
| Çizelge 4.2.3. İkinci deney setinin fosfor konsantrasyonuna ait varyans analizi sonuçları. | 54 |
| Çizelge 4.2.4. İkinci deney setinin klorofil a içeriğine ait varyans analizi sonuçları. | 55 |
| Çizelge 4.2.5. İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki klorofil a içeriği, klorofil b içeriği, klorofil a/b oranı değerleri, n=3. | 56 |
| Çizelge 4.2.6. İkinci deney setinin klorofil b içeriğine ait varyans analizi sonuçları. | 57 |
| Çizelge 4.2.7. İkinci deney setinin klorofil a/b oranına ait varyans analizi sonuçları. | 58 |
| Çizelge 4.2.8. İkinci deney setinin toplam klorofil içeriğine ait varyans analizi sonuçları. | 59 |

| | |
|--|----|
| Çizelge 4.2.9. İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki toplam klorofil içeriği, toplam karotenoid içeriği, karotenoid/klorofil oranı değerleri, n=3. | 60 |
| Çizelge 4.2.10. İkinci deney setinin toplam karotenoid içeriğine ait varyans analizi sonuçları. | 61 |
| Çizelge 4.2.11. İkinci deney setinin karotenoid/klorofil oranına ait varyans analizi sonuçları. | 62 |
| Çizelge 4.2.12. İkinci deney setinin SOD aktivitesine ait varyans analizi sonuçları. | 63 |
| Çizelge 4.2.13. İkinci deney setinin AP aktivitesine ait varyans analizi sonuçları. | 64 |
| Çizelge 4.2.14. İkinci deney setinin GR aktivitesine ait varyans analizi sonuçları. | 66 |
| Çizelge 4.2.15. İkinci deney setinin KAT aktivitesine ait varyans analizi sonuçları. | 67 |
| Çizelge 4.2.16. İkinci deney setinin MDA miktarına ait varyans analizi sonuçları. | 69 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| Şekil | | Sayfa |
|---------------|--|-------|
| Şekil 2.1. | Mikoriza çeşitleri. | 8 |
| Şekil 2.2. | Arbusküler mikorizal mantarın toprak tuzluluğundan etkilenmesiyle ilgili mekanizmalar. | 16 |
| Şekil 4.1.1. | Birinci deney setinde tuz uygulanmayan mikorizasız (kontrol) ve iki farklı mikoriza türü (<i>G. mosseae</i> ve <i>G. intraradices</i>) ile enfekte olan biber bitkilerinin genel görünüşü. | 27 |
| Şekil 4.1.2. | Birinci deney setinde mikorizasız 100 mM NaCl uygulanan biber bitkilerinin yapraklarının genel görünümü. | 28 |
| Şekil 4.1.3. | Birinci deney setinde mikorizasız 200 mM NaCl uygulanan biber bitkilerinin yapraklarının genel görünümü. | 28 |
| Şekil 4.1.4. | Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki oransal su içeriği (OSİ), n=5. | 29 |
| Şekil 4.1.5. | Birinci deney setinde <i>G. intraradices</i> ile enfekte olan biber bitkisinin kökünün ışık mikroskobundaki görüntüsü (10 x 10). | 31 |
| Şekil 4.1.6. | Birinci deney setinde <i>G. intraradices</i> ile enfekte olan biber bitkisinin kök korteksinin enfeksiyon bölgelerini gösteren ışık mikroskobundaki görüntüsü (40 x 10). | 31 |
| Şekil 4.1.7. | Birinci deney setinde biber bitkisinin <i>G. mosseae</i> ve <i>G. intraradices</i> ile kök enfeksiyonu (%), n=5. | 32 |
| Şekil 4.1.8. | Birinci deney setinde biber bitkisinin yaprak ve gövde dokularındaki fosfor (P) konsantrasyonu, n=5. | 33 |
| Şekil 4.1.9. | Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki SOD aktivitesi, n=5. | 41 |
| Şekil 4.1.10. | Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki AP aktivitesi, n=5. | 42 |

| | | |
|---------------|---|----|
| Şekil 4.1.11. | Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki GR aktivitesi, n=5. | 44 |
| Şekil 4.1.12. | Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki KAT aktivitesi, n=5. | 45 |
| Şekil 4.1.13. | Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki MDA miktarı, n=5. | 47 |
| Şekil 4.2.1. | İkinci deney setinde mikoriza ve tuz uygulanmayan (kontrol) ve iki farklı mikoriza türü (<i>G. mosseae</i> ve <i>G. intraradices</i>) ile enfekte olan biber bitkilerinin genel görünüşü. | 49 |
| Şekil 4.2.2. | İkinci deney setinde <i>G. intraradices</i> ile enfekte olan bitkilerin tuz uygulamalarındaki genel görünüşleri. | 50 |
| Şekil 4.2.3. | İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki oransal su içeriği (OSİ), n=3. | 51 |
| Şekil 4.2.4. | İkinci deney setinde <i>G. intraradices</i> ile enfekte olan biber bitkisinin kökünün ışık mikroskobundaki görüntüsü (40 x 10). | 52 |
| Şekil 4.2.5. | İkinci deney setinde biber bitkisinin <i>G. mosseae</i> ve <i>G. intraradices</i> ile kök enfeksiyonu (%), n=3. | 53 |
| Şekil 4.2.6. | İkinci deney setinde biber bitkisinin yaprak ve gövde dokularındaki fosfor (P) konsantrasyonu, n=3. | 54 |
| Şekil 4.2.7. | İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki SOD aktivitesi, n=3. | 63 |
| Şekil 4.2.8. | İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki AP aktivitesi, n=3. | 64 |
| Şekil 4.2.9. | İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki GR aktivitesi, n=3. | 65 |
| Şekil 4.2.10. | İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki KAT aktivitesi, n=3. | 67 |
| Şekil 4.2.11. | İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki MDA miktarı, n=3. | 68 |

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|------------------------|--------------------------------|
| AMF | : Arbusküler mikorizal fungus |
| AP | : Askorbat peroksidaz |
| ctDNA | : Sitoplazmik DNA |
| DHA | : Dehidroaskorbat |
| DHAR | : Dehidroaskorbat redüktaz |
| ECM | : Ektomikoriza |
| GR | : Glutasyon redüktaz |
| GSH | : Okside glutasyon |
| GSSG | : Redükte glutasyon |
| MDHA | : Monodehidroaskorbat |
| MDHAR | : Monodehidroaskorbat redüktaz |
| mtDNA | : Mitokondriyal DNA |
| KAT | : Katalaz |
| $^1\text{O}_2$ | : Singlet oksijen |
| $\text{O}_2^{\cdot -}$ | : Süperoksit radikali |
| $\cdot\text{OH}$ | : Hidroksil radikali |
| OSİ | : Oransal su içeriği |
| P | : Fosfor |
| PVP | : Polivinil polipirrolidon |
| ROT | : Reaktif oksijen türleri |
| SOD | : Süperoksit dismutaz |

1. GİRİŞ

Akdeniz Bölgesi'nde, tarım topraklarında sulama suyunun tuzluluğunun artması önemli bir problem oluşturmaktadır. Tuzluluk genellikle düşük yağıştan, kaynak sularının fazla kullanılmasından ve aşırı gübrelemeden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle topraklar sıklıkla tuzlanmaktadır [1]. Tuzluluk topraktaki iyonların konsantrasyonuna ve suyun hacmine bağlıdır [2]. Suyun yüksek tuzluluğu toprağın verimini olumsuz etkileyerek bitkilerin büyümesini engellemektedir [1].

Bitkiler tuzluluktan önemli ölçüde etkilenmektedir. Tuzluluk ile kök çevresinde düşük su potansiyeli meydana gelmektedir. Sodyum (Na^+) ve klor (Cl^-) gibi iyonların toksik etkileri ve besin alımının, dağılımının azalmasıyla birlikte meydana gelen besin düzensizliği tuzun bitkilerde oluşturduğu en önemli etkilerdendir [3]. Bitkiler tuz stresi gibi çeşitli stres koşullarına maruz kaldıklarında oluşabilecek önemli biyokimyasal değişikliklerden biri aktif oksijen türlerinin ortaya çıkmasıdır. Bitki hücrelerinin kloroplastları ve mitokondrileri, aktif oksijen türlerinin önemli hücre içi üreticileridir [4-7].

Elektron taşıma zincirinden ayrılan elektronlar normal aerobik metabolizmada oksijen ile reaksiyona girerek süperoksit (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($\bullet\text{OH}$) gibi aktif oksijen türlerini oluştururlar. Bu sitotoksik oksijen türleri oldukça reaktiftir ve koruyucu mekanizmalar olmadığı takdirde normal metabolizmada lipidlere, proteinlere, nükleik asitlere, fotosentetik pigmentlere ve membranlara zarar vererek metabolizmayı bozarlar [4-7]. Çeşitli stres koşulları ile artan serbest radikaller, membranlardaki lipidlerin peroksidasyonuna, protein ve nükleik asitlerin hasarına neden olmaktadır. Bu etkilerden dolayı hücre duvarı ve hücre membranının bütünlüğü bozulmaktadır [8].

Bitkiler stres sonucu oluşan aktif oksijen türlerinin hasar verici etkilerinden korunmak için çok sayıda antioksidan enzime sahiptir. Süperoksit dismutaz (SOD, EC. 1.15.1.1), süperoksidin (O_2^-) en önemli gidericisidir ve enzimin aktivitesi sonucunda hidrojen peroksit (H_2O_2) oluşur. SOD aktivitesinin bu toksik ürünü,

askorbat peroksidaz (AP, EC.1.11.1.11), glutatyon redüktaz (GR, EC. 1.6.4.2) ve katalaz (KAT, EC1.11.1.6) enzimleri tarafından suya (H₂O) ve moleküler O₂' e dönüştürülür [5, 9].

Arbusküler mikorizal mantar (AMF), topraklarda doğal olarak bulunmaktadır. Tuzluluğun mikoriza oluşumunu ve fonksiyonunu etkilemesine rağmen, tuzlu koşullarda yetişen bitkilerde arbusküler mikorizal mantar ile inokülasyonun, büyümeyi arttırdığı hakkında çok sayıda çalışma bulunmaktadır [1, 10, 11, 12, 13, 14]. Arbusküler mikorizal simbiyotik ilişki, karasal bitkilerin kökleri arasında mutualistik bir birliktir [15]. Mikoriza hifleri toprağın derinliklerine uzanarak, hareketsiz elementlerin absorpsiyonunu artırmaktadır. Bu etki, hiflerin topraktaki yüzey alanlarını arttırmaları ile gerçekleşir. Fungal hifler, köklerin içine ulaşamadığı küçük toprak partiküllerine uzanabilirler. Arbusküler mikorizal mantar toprakta besinlerin çözünmesini sağlayan enzimler salgılamaktadır. AMF dışı doğru (eksternal) hifler üreterek toprağın su tutma kapasitesini artırmaktadır [11, 16].

AMF ile birlik oluşturan bitkilerin büyümesindeki artış, fosfor (P), çinko (Zn), bakır (Cu) ve demir (Fe) gibi elementlerin alımının artması sonucu gerçekleşmektedir [11]. Tuzluluk şartlarında AMF ile inoküle olan bazı bitkilerin tuzluluktan daha az etkilendiği bildirilmiştir. Bu olumlu etki, tuzluluk şartlarında arbusküler mikoriza ile enfekte olan bitkilerin daha fazla miktarda P almalarından kaynaklanmaktadır [12, 17].

Mikoriza, hareketsiz besinlerden özellikle P alınmasına yardımcı olur. Bitkideki P miktarının artması, AMF ile enfekte olan bitkilerin tuz stresine karşı geliştirdikleri en önemli stratejidir [18, 19]. Mikorizal bitkilerdeki Mg⁺² alımının artması ve indirgenen Na⁺ konsantrasyonunun azalması klorofil miktarının da artmasını sağlar [19]. Tuz stresinde mikorizal kök hücrelerinin plazma membranının bütünlüğü ve sağlamlığının artması P alımının artırılması ile gerçekleşir. Bununla birlikte fosforun olumlu etkisinin yanında, AMF tuzun zararlı etkilerini diğer elementlerin yardımı ile azaltabilir [14].

Su kıtlığı yeryüzünde önemli bir problem oluşturmaktadır. Tarım için elverişli suyun kısıtlı olduğu durumlarda, tuzlu su tarımda kullanılmaktadır [3]. Tuzun zararlı etkilerini ortadan kaldırmak için toprağa çeşitli kimyasallar eklemek ya da tuza toleranslı varyetelerin seçilmesi gibi çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemler pahalı, uzun zaman gerektiren ve sıklıkla da geçici çözümler olabilmektedir [4]. Tuzlu su ile sulanan bitkideki hasarı en aza indirgeyici stratejiler geliştirilerek bitkiden yüksek verim alınabilir. Bu stratejilerden biri doğal bir mekanizma olan arbusküler mikorizadır. Arbusküler mikoriza, bitkinin tuz toleransını artırıcı ve tuzlu toprakların biyolojik düzelticileri olarak tanımlanabilir [1, 20].

Biber bitkisi (*Capsicum annuum* L.) Türkiye’de ve dünyada tarımsal öneme sahip önemli bir bitkidir [21]. Biber bitkisinin köklerinin arbusküler mikorizal mantar ile normal olarak simbiyotik birlik oluşturduğu bilinmektedir [21, 22]. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda mikoriza çok sayıda bitkiye aşılmıştır. Bitkilerin mikoriza ile enfeksiyonu sonucunda bitkinin verimi incelenmiştir. Ancak tuzluluk koşullarında hangi mikorizal mantarın biber bitkisinin antioksidan aktivite bakımından daha etkili olduğu tam olarak bilinmemektedir.

Bu çalışmanın amacı, doğada yaygın olarak bulunan ve tarımda da kullanıma olanağı olan arbusküler mikoriza türleri *Glomus mosseae* ve *Glomus intraradices*’in, tuz stresine maruz kalan biber bitkisinde antioksidan enzim aktiviteleri, pigment içeriği ve lipid peroksidasyonu üzerine etkilerini belirlemek ve hangi mikoriza türünün biber bitkisinin tuzlu, verimsiz toprakta yetiştirilmesinde daha yararlı olacağını ortaya çıkarmaktır. Çalışmada dünyada ve ülkemizde tarımsal açıdan büyük öneme sahip olan biber bitkisi, arbusküler mikorizal mantarlar ile aşılınıp kısa süreli yüksek konsantrasyonlu ve uzun süreli düşük konsantrasyonlu tuzluluk koşullarında yetiştirildi. Farklı tuz koşullarında mikorizal mantarların biber bitkisinde bazı biyokimyasal ve fizyolojik parametreler üzerine etkileri araştırıldı.

2 . KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. MİKORİZA NEDİR?

Mikoriza terimi ilk olarak 1885'te orman patoloğu A.B. Frank tarafından ağaç kökleri ve mantarlar arasında bir birlik olarak tanımlanmıştır. Yunanca kökenli *myco*, fungus, mantar; *rhiza* ise kök anlamına gelmektedir. Bu iki kelimenin birleştirilmesiyle kök mantarı anlamında mikoriza terimi oluşturulmuştur. Bitki türlerinin yaklaşık % 95'inin mikoriza ile birlik oluşturduğu düşünülürse mikorizanın birçok bitki için önemi anlaşılabilir [23].

Mikoriza ilk olarak mantar-ağaç ortaklığı olarak bilinse de daha sonra mantarların otsu ve çalı formundaki bitkilerle de birlik oluşturduğu belirlenmiştir. 1887'de *Ericaceae* ve *Orchidaceae* familyalarının üyelerinde de mikorizal birliğin olduğu tespit edilmiştir. 1897'de günümüzde en yaygın mikoriza olarak bilinen arbusküler vesiküler mikoriza tanımlanmıştır [24, 25]. Mantar ve bitki kökleri arasındaki mikorizal birlik doğada yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Bu birliği oluşturan çok sayıda mantar türü belirlenmiştir [26].

2.2. MİKORİZAL BİRLİĞİN YARARLARI

Mikorizal birlik, mutualizm tipi simbiyotik bir birlik olduğundan dolayı her iki ortak için de yararlıdır.

Mikorizal İlişkiden Mantarın Yararları

- Mantar konaktan fotosentetik ürünleri sağlar. Konukçu hücrenin içindeki besin maddeleri, mantar için önemli bir besin kaynağıdır [27].
- Ektomikoriza durumunda kök, hifler için bir taşıyıcı görevi görür[27].
- Endomikoriza durumunda mikoriza, kök hücrelerinin içinde güvendedir [27].

Mikorizal İlişkiden Bitkinin Yararları

- Mantar konukçuya başta P olmak üzere potasyum (K), kalsiyum (Ca), mangan (Mn), demir (Fe), magnezyum (Mg), bakır (Cu), bor (B), alüminyum (Al) gibi besin elementlerinin absorpsiyonunu artırır ve rizosferde (kök çevresinde) toprağın özelliklerini iyileştirir [27, 28].
- Konak bitkilerin kök alanını genişletir ve suyun absorpsiyonunu kolaylaştırır [28].
- Köklerin çevresindeki misel tabakası, bitkiyi biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı koruyarak kuraklığa, tuzluluğa, ağır metallerle karşı toleransını ve toprak patojenlerine karşı dayanıklılığını artırır [26, 28].
- Mantar, salgıladığı kimyasal maddelerle çeşitli stres faktörlerinin neden olduğu oksidatif hasarlara karşı bitkiyi korur ve konak bitkinin savunma sisteminin hızlı bir şekilde aktive edilmesini sağlar [27, 28, 29, 30, 31].
- Bazı bitki tohumlarının (Örneğin, Orkide tohumları) çimlenmeleri mikorizal ilişkiye bağlıdır [32].
- Mikoriza, azot fiksasyonu için olumlu etkiye sahiptir ve kuraklık gibi stres koşullarında meydana gelen nodül senesensini engeller [33].

Mikorizal mantarın konak bitkiye en önemli faydası, bitkiye besin elementi temin etmesidir [24]. Mikorizal mantar özellikle P iletiminde oldukça etkilidir. P, bütün organizmalar için önemli bir makrobesindir ve nükleik asit, fosfolipid, çok sayıda enzim ve koenzim için gerekli yapısal bir elementtir. Bu nedenle yeterli miktarlarda P'nin sağlanması, hücrel P dengesini sağlamak için oldukça önemlidir [34, 35].

P'nin toprakta hareketliliği yavaş olduğu için bitki kök hücrelerine girişi sınırlıdır. Çünkü köklerin fosfat absorpsiyon oranı, toprakta fosfatın difüzyon oranından daha fazladır. Fosfat alımı zor olduğundan bitkiler fosfat alımını kolaylaştırıcı mekanizmalar geliştirmiştir. Bu mekanizmalardan biri de mikoriza birlikleridir [34]. Büyümekte olan bitki kökü, kök bölgelerinde (rizosferde)

mikorizal birlik ile fosfat tüketim zonu oluşturur. Böylece bitki, mikorizal birlikte mantar hifleri yardımıyla bulunduğu bölgeden daha uzak bölgelere uzanabilir ve çözünmüş yeni fosfat havuzlarına ulaşarak kök sisteminin uzantısı olarak görev yapabilir [34, 36].

2.3. MİKORİZAL BİRLİĞİN OLUŞMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Mikorizanın varlığı veya çeşidi birçok faktöre bağlıdır.

- Toprağın yapısı: pH, organik madde yükü, su kapasitesi yönüyle etkilidir. Su içeriği bakımından zengin olan topraklar mikorizal mantarlar tarafından tercih edilmez. Organik madde ise olumlu yönde etkilidir [27].
- Konukçunun özelliği: Örneğin, bütün *Oleaceae* üyeleri mikoriza taşırken, *Brassicaceae* ve *Saxifragaceae* üyelerinin çoğunun mikorizadan yoksun olduğu bilinmektedir [27].
- Sıcaklık koşulları: Düşük sıcaklık mikorizanın yerleşmesi için uygun bir ortam sağlar. Çünkü bitkisel artıkları parçalayan bakteriyel aktivite zayıflar ve organik madde birikimi gerçekleşir [27]. Yüksek sıcaklığın P alımını indirgediği de bilinmektedir [22].
- Uygun mikorizal mantarın varlığı ve etkinliği: Mantar mevcut olmalı ve aktif olmalıdır [27].
- Sekonder Metabolitler: Kök korteks dokusunda fungitoksik bileşiklerin olması ya da bunların kök salgılarıyla salınması bitkilerin mikorizal mantar ile enfeksiyonunu indirgeyebilir. Mikorizalı olmayan familyaların alkaloid ve flavonoid gibi sekonder metabolitleri üretmelerinin mantarlara antagonist etki yaptıkları düşünülmektedir [37]. Örneğin, *Brassicaceae* ve *Chenopodiaceae* gibi mikorizasız familyalarda bitki sekonder metabolitlerinin mikoriza oluşumunu inhibe ettiği belirtilmiştir [37].

Topraktaki P miktarı mikorizal birliğin oluşumunu etkileyen önemli bir faktördür. Yüksek P çözünürlüğü AMF kolonizasyonunu genellikle engellemektedir [38]. Ortaş [39], yarı kurak bölgelerde düşük P içeriğine sahip topraklar için mikorizal inokülasyonun uygun olduğunu belirtmiştir. Yüksek P miktarının bitkinin

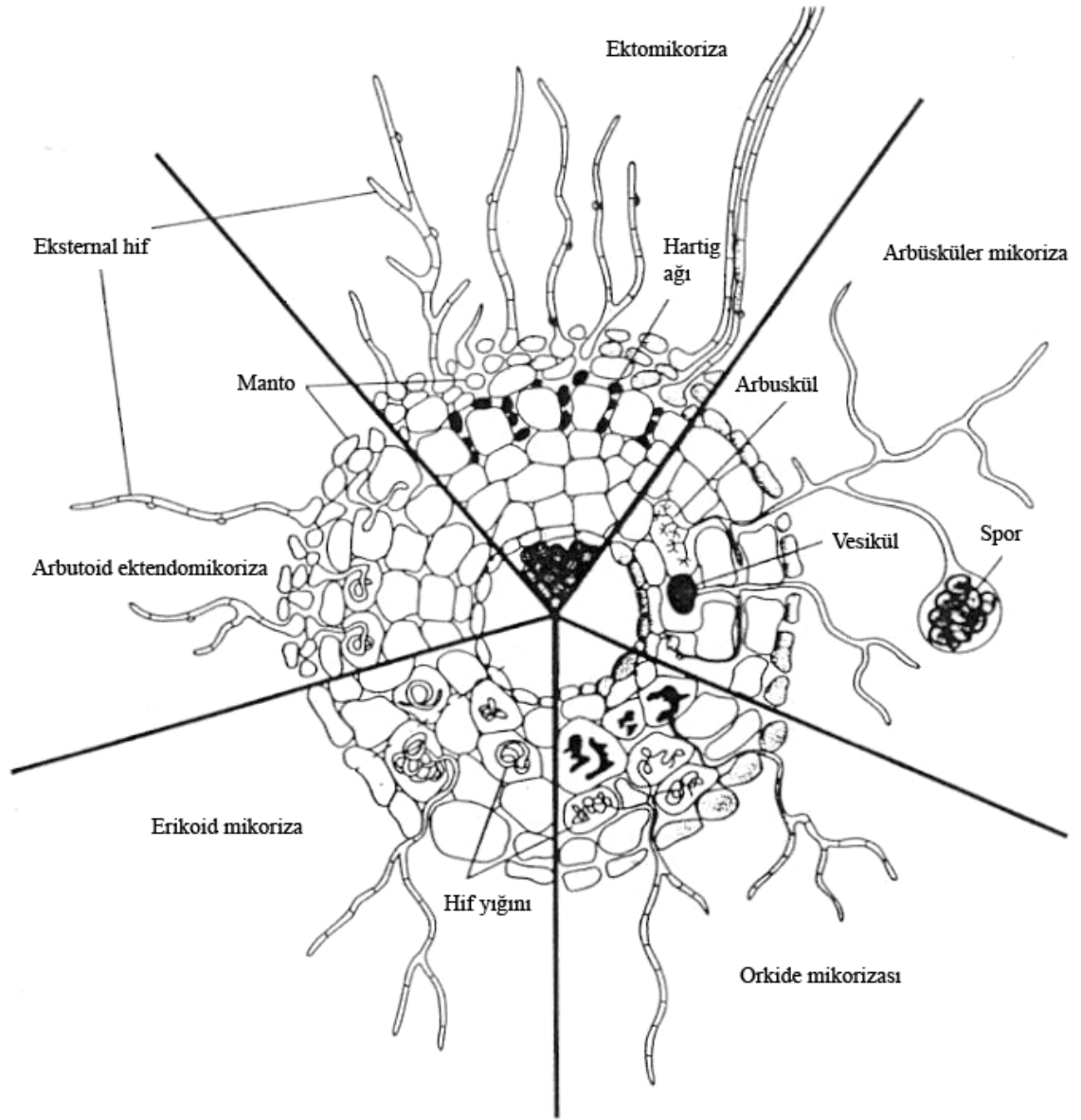
kök enfeksiyonunu ve spor sayısını düşürdüğü belirtilmiştir [39, 40]. Ortaş ve ark. [41], P ve Zn miktarının artmasıyla mikorizal bağımlılığın azaldığı fakat bu bağımlılığın Zn'den daha çok P'ye bağlı olduğunu belirtmiştir.

2.4. MİKORİZA ÇEŞİTLERİ

Mikoriza kök içindeki ve dışındaki görünümleri ve taksonomik özellikleri yönünden beş grup altında sınıflandırılmaktadır [20].

- Ektomikoriza
- Endomikoriza (Arbusküler mikoriza)
- Ektendomikoriza
- Erikoid mikoriza
- Orkide mikorizası

Mikoriza çeşitleri, şekilsel olarak Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Mikoriza çeşitleri [42].

Mikorizal birlik, mutualistik bitki, mutualistik mantarlar ve toprak faktörlerinin işbirliği sonucu oluşur. Farklı mantarlar ve konak bitkileri ile morfolojileri farklı olan mikorizal birlikler tanımlanmıştır [23].

- Ektomikoriza

Ektomikoriza (ECM) , “Hartig ağı” denilen ağ benzeri yapılar üreterek korteks hücreleri ve hifler arasında yayılış gösterir. Hartig ağı, orman biyoloğu Robert Hartig tarafından isimlendirilmiştir. Genel olarak kökün mantar ile etkileşiminden 2-4 gün sonra oluşur. Birçok ektomikoriza birlikte kökü tamamen saran hif mantosu oluşturabilir. Bu manto kökün çatallanmasına ve kümelenmesine neden olur. ECM oluşturan en büyük mantar çoğunluğunu *Basidiomycetes* ile bazı *Ascomycetes* ve az sayıda *Zygomycetes* oluşturur. 6000 ya da daha fazla mantar türünün Angiospermlerin yaklaşık % 10’u ve çok sayıda Gymnosperm’le ECM oluşturduğu tahmin edilmektedir. Ektomikoriza oluşturan mantarların çoğu mantar ve dallanma özelliği gösteren modifiye olmuş yan kökler oluşturur [23] (Şekil 2.1).

Hartig ağının aktivitesi kökün yaşına ve büyümesine bağlıdır. Yaşlı köklerde manto genel olarak birliğin inaktif olmasından çok sonra bile bozulmadan kalır. Yaşlı ECM kökleri genel olarak depo görevi görür [23]. Ektomikoriza çalılarından orman ağaçlarına kadar odunsu bitkilerde oluşur. *Betulaceae*, *Caesalpiniaceae*, *Fagaceae*, *Juglandaceae*, *Myrtaceae*, *Pinaceae*, *Salicaceae*, *Casuarinaceae*, *Dipterocarpaceae* familyalarına ait bitki türlerinin ektomikorizal birlik oluşturduğu bilinmektedir. *Pinus spp.* gibi belirli ağaç türleri büyümeleri ve gelişmeleri için özellikle ECM birliğine ihtiyaç duyar [23].

- Endomikoriza (Arbusküler Mikoriza)

Mikoriza çeşitleri içinde arbusküler mikoriza, ekolojik ve tarımsal açıdan büyük öneme sahiptir. Arbusküler mikorizanın konak seçiciliği çok azdır ve çöl ekosisteminden, orman ekosistemine, tropiklerden arktik bölgelere kadar çok sayıda ekosistemde yer alan ve en fazla yayılma gösteren mikorizadır [43]. Günümüzde arbusküler mikorizalar ciğerotları, eğreltileri de içeren çok sayıda bitkinin yaklaşık olarak %80’ inde (yaklaşık 200.000’den fazla tür) bulunmaktadır [34, 44].

Arbusküler mikoriza Devonian döneminden kalma 400 milyon yıllık fosillerde bulunmuştur. Angiospermler, Gymnospermler, Pteridofitlerin kökleri ile birlik

oluşturdukları bilinmektedir. Ektomikorizal birlik oluşturan bitki ailelerinde (Örneğin, *Pinaceae*, *Betulaceae*) AMF enfeksiyonu görülmemektedir [23].

Tarımsal bitkiler dahil, özellikle otsu bitkilerde AMF birliklerine rastlanır. Septasız hifler, *Glomus* veya diğer *Zygomycetes* üyelerine; septalı olanlar ise *Mycena*, *Armillariella* vb. türlerine aittir. Kökteki hücrelerden toprağa doğru dallanan misel, uçlarında sporları meydana getirir [27, 35]. Arbusküler mikorizada karbon bileşikleri, konak bitkiden mantara arbuskül yoluyla geçer [25]. AMF kökün içinde internal, eksternal ve toprakta yoğun bir ağ oluşturan ekstraradikal miselyum fazlarından oluşur. Ekstraradikal miselyum fosfatın az olduğu yerde kök çevresinde çok hızlı bir şekilde gelişir [26].

Arbusküler mikoriza ile bitki arasındaki ilişkide hormonların da rol aldığı bilinmektedir. Sitokinin, giberellin, etilen, absisik asit, oksin ve jasmonik asit mikorizal ilişkide rol oynamaktadır. Fitohormonlar içinde jasmonatların mikorizal köklerde önemli bir rolü olduğu söylenmektedir [45]. Jasmonatlar çeşitli yollarla mikorizal birlik oluşumunu etkileyip simbiyotik ilişkide maksimum faydanın oluşmasını sağlamaktadır [45].

- Ektendomikoriza

Bitki köklerini çok sayıda mantar kolonize edebilir, fakat mikoriza çeşidi konak bitki için de seçici olabilir. Bununla beraber bazı durumlarda konukçu birden fazla mikorizal birlik oluşturabilir. Ektendomikoriza çeşidi ince ya da mantosu olmayan ECM yapısı oluşturur. Ayrıca Hartig ağındaki hif kök korteks hücrelerine girebilir. Ektomikoriza, fidenin olgunlaşması gibi ektendomikoriza ile yer değiştirir. *Alnus* (Kızılağaç), *Salix* (Söğüt), *Populus* (Kavak) ve *Eucalyptus* (Ökalyptus) aynı bitkide hem AMF hem de ECM birliği oluşturabilir. Bazı erikoid bitkileri de nadiren de olsa ECM ve AMF kolonizasyonu oluşturur [23].

- Erikoid Mikoriza

Ericaceae bitkileri sub-arktik ve sub-alpin bölgelerin yüksek asidik, organik yükü fazla olan topraklarda *Ascomycetes* ile mikorizal birlik oluşturur. Erikoid mikoriza, *Ericaceae* bitkilerinin kök sisteminde hatta kök tüylerinde oluşur. Bunun sonucu olarak iç korteks hücreleri fungal hif ile paketlenir. Bu mantarlar kök çevresini saran organik maddeyi parçalamak için hücre dışı enzimler üretir. Böylece kök, çevresini saran organik bileşikleri absorblar. Erikoid mikoriza oluşturan mantarlar *Ascomycetes* ve *Hyphomycetes*'e aittir. Erikoid mikoriza oluşturan bitkiler *Rhododendron*, *Calluna*, *Erica* ve *Vaccinium*'dur [23].

- Orkide Mikorizası

Orchidaceae familyası bitkiler aleminde en yaygın familyalardan biridir. Genellikle tropiklerde ve subtropiklerde yayılma gösteren 20.000'den fazla türü tanımlanmıştır. Orkideler yaşam döngülerinde mikorizal mantara bağımlılık göstermektedir [23].

2.5.ARBUSKÜLER MİKORİZANIN YAŞAM DÖNGÜSÜ

AMF simbiyozisi, aseksual sporlar ve mikorizal kökler tarafından üretilen hifin uygun bir köke kolonizasyonu ile başlar. Yaşlı kökler bile inokulasyon için uygun kaynak olabilir. Çünkü yeni bir hifin büyümesi ve diğer bitkileri kolonize etmelerine kadar mantarı çevrenin zararlı etkilerinden korur. Hifin kök yüzeyine ulaşmasıyla mantar korteksin içine girer ve hif, arbuskül gibi morfolojik olarak farklı özelleşmiş yapılar üretir. Arbusküller, hif yığınları arasında ilave edilmiş ve özelleşmiş hiflerdir ve simbiyontlar arasında besin değişiminin ana parçası olarak görev görürler. Bununla birlikte hiç arbuskülü olmayan mikoriza çeşitleri de bulunmaktadır [46]. Bu durum besin değişiminde diğer bitki-fungal yüzeylerinin hangi derecede işlev gördüğü konusunda tartışma yaratmaktadır [46].

Mikoriza oluşumunda, primer enfeksiyon (köke ilk giriş) ile sekonder enfeksiyon (fungal hiflerin kollara ayrılarak enfeksiyonun ilerlemesi) farklı şekillerde gerçekleşir. İlk enfeksiyon sporların çimlenmesine, hifin toprakta

büyümesine ve bitki köküne girmesine bağlıdır. İkincil enfeksiyon konak bitkinin fizyolojisi ile etkilenmektedir, çünkü hifin yayılması için gerekli olan enerjinin büyük bir kısmı, bitkiden arbusküller ya da hifler aracılığıyla mantara gönderilen fotosentez ürünlerinden temin edilir. Mantar, konağın karbonhidratlarına bağımlı olacağı için, fotosentetik ürünlerin ulaşılabilirliğinin değişmesi de mantarı etkileyecektir [2].

AMF'nin yaşam döngüsü asimbiyotik bir şekilde gerçekleşemez. Sadece AMF sporları bitkiden bağımsızdır [46]. Sporlar birden fazla tabaka içeren kalın hücre duvarlı, yuvarlak yapılı ve yaklaşık olarak 10-1000 µm arasındaki yapılardır. Çok sayıda nukleusa sahiptir. Spor oluşumu türden türe ve ortam şartlarına göre farklılık gösterir, fakat genellikle mikorizal kolonizasyon oluştuktan 3-4 hafta içinde oluşur [23]. Bununla beraber, AMF sporlarının en göze çarpan özelliği değişik fizyolojileridir. Diğer toprak mantarlarından farklı olarak, bu sporlar çoğu zaman bitkiye bağlı sinyaller olmadığı zaman çimlenme ve büyüme yeteneklerini durdururlar. AMF sporları, uygun su ve sıcaklık şartlarında çimlenir ve hifler 2-3 hafta içinde büyür. Çok sayıda nukleus spordan uzayan misele gider ve bazıları mitoz geçirir [46].

Arbuskül terimi ilk olarak 1905'te Gallaud tarafından tanımlanmıştır. Arbusküller, çatalsı dallanma gösteren küçük çalı gibi yapılardır. Yunancada *arboreus* ağaç benzeri anlamına gelmektedir. Arbuskül taşıyan hif küçük vakuoller içinde çok sayıda nukleus, mitokondri, glikojen partikülü, lipid damlaları taşır. Bu vakuoller yüksek seviyede P ve Ca taşır. Arbuskül taşıyan hif bu nedenle aktif bir şekilde topraktan kök dokularına P transportunda görev alır [23]. Hifler ise görevlerine göre sınıflandırılır. Kök boyunca büyüyen "dağıtıcı hif", rizosfer toprağında ilerleyen "ince emici hif", spor üreten hif "fertil hif" olarak adlandırılır [23]. Vesiküller lipid bakımından zengin asıl üretken kısım ve geçici besin depo organı olarak görev görürler.

2.6. MİKORİZANIN TARIMDAKİ ROLÜ VE ÖNEMİ

Doğada oldukça yaygın olan mikorizal mantar çok sayıda ekosistemin integral bir parçasıdır. Bitkilere sağladığı yararlarından dolayı bu birlik özellikle tarım faaliyetlerinde son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Organik tarım uygulamalarının yaygınlaştığı bir dönemde mikorizal birliğe olan ilgi giderek artmaktadır [47]. Mikorizal mantarlar aynı zamanda biyogübre olarak kullanılmaktadır. Ortaş ve Akpınar [48], mikoriza, kompost ve hayvan gübresi uygulanan bitkilerin kalitesinin mineral gübre uygulamasına göre yüksek, fakat verim açısından biraz düşük olduğunu belirtmiştir.

Mikorizal birliğin sağladığı yararlarından dolayı geleneksel tarımda kullanılan pestisit, herbisit gibi insan sağlığına zararlı kimyasal maddelerin kullanımı da azalmaktadır [26]. Bu nedenle bu yararlı mantarlara verilen önem giderek artacaktır [47]. Toprağın verimliliğini artıran [47], bitkinin meyve kalitesini yükselten [49], bitki patojenlerini biyolojik olarak kontrol eden mikorizal birlik, geleneksel tarım yöntemlerindeki kimyasal kullanımını azaltıcı önemli bir uygulama olabilir [47]. Ortaş [39], toprak ve ekin yönetimi ile mikorizadan maksimum düzeyde verim alınabileceğini vurgulamıştır. Toprağın fizyolojik özelliklerinin de organik olan materyalden önemli ölçüde etkilendiği ve bu durumun ekolojik açıdan önemli olduğu bildirilmiştir [50]. Ayrıca AMF'nin antioksidan üretimini artırdığı için tıbbi bitkilerin yetiştirilmesinde potansiyel “doğal” alternatif bir yol olabileceği vurgulanmıştır [51].

AMF, bitki büyümesine her zaman katkı sağlamayabilir. Çünkü AMF aktivitesi, toprak yapısı ve bitki türlerinin yanıtları ile büyük ölçüde sınırlıdır. Bu nedenle bu mekanizma tam olarak çözülememiştir. AMF'nin toprak yapısının kararlılığında ya da mikrobese konsantrasyonlarının artmasındaki etkili rolünün bilinmesi ile yeni varyetelerin ıslahında etkili bir mekanizma olabileceği belirtilmiştir [38]. AMF'nin tarımda uzun dönem etkili kullanılması durumunda fizyolojileri, fonksiyonları ve çevre ile etkileşimlerinin geliştirilebileceği düşünülmektedir [26].

2.7. TUZ STRESİ

Dünyada kuraklığın artmasıyla tarım alanlarında susuzluk ile birlikte tuzlanma problemi ortaya çıkmaktadır. Günümüzde sulama alanlarının %50'si tuzluluktan etkilenmektedir [52]. Birçok alanda, özellikle Akdeniz Bölgesi'nde tarım arazilerinin sulama suyundaki tuzluluğun artması önemli bir problem oluşturmaktadır. Artan tuzlanma bu bölgelerde düşük yağıştan ve kaynak sularının fazla kullanılmasından ve aşırı gübrelemeden kaynaklanmaktadır [1]. Tuzluluğun artmasıyla bitkinin su alımı azaldığından dolayı bitkide fizyolojik ve morfolojik değişiklikler ortaya çıkmaktadır [53].

Tuzlu toprakta büyüyen bitkiler iki farklı fizyolojik strese maruz kalırlar. İlki sodyum (Na^+) ve klor (Cl^-) gibi spesifik iyonların toksik etkileridir [2, 18]. Bu etkiler şu şekilde sıralanabilir: enzimlerin ve diğer makromoleküllerin yapısının bozulması, fotosentez ve solunumun engellenmesi, protein sentezinin inhibisyonu ve iyon yetersizliğinin uyarılmasıdır. İkinci olarak tuzlu topraktaki yüksek ozmotik potansiyele maruz kalan bitkiler fizyolojik kuraklık riski altındadır. Çünkü, köklerden toprağa ozmoz ile suyun hareketinin önlenmesi için bitkilerin hücre içi yüksek ozmotik potansiyellerini korumaları gerekmektedir. Bitkiler bunun için kökleriyle topraktan elektrolit alabilirler, fakat bu iyon fazlalığı bazı bitkilerin büyümesini engeller. Toprağın bu durumu köklerde suya karşı permeabilityyi ve bitkiye su girişini azaltır [2].

Yüksek Na^+ konsantrasyonu, hücrelerin dehidrasyonuna neden olan ozmotik stresi oluşturur [54]. Kuraklık ve tuz stresi su kıtlığına neden olduğundan dolayı bitki büyümesine genel olarak benzer etki gösterir [52, 54]. Tuzluluk bitkilerin su alma yeteneklerini azaltır ve bu olay büyüme hızının yavaşlamasına neden olur. Sürgün büyümesinin başlangıçta azalması kökler tarafından sentezlenen hormonal sinyallere bağlıdır. Bitkiye yüksek miktarda tuz girdiğinde, yaşlı yapraklardaki tuz miktarı toksik seviyelere ulaşır. Bu durum zamansız senesense neden olur ve fotosentetik yaprak alanını indirgeyerek büyümenin sağlanamayacağı seviyeye getirir [54]. Tuzluluk, Na^+ ve Cl^- 'un K^+ , Ca^{+2} ve nitrat (NO^{-3}) gibi iyonlarla yarışmasından

dolayı besin yetersizliğine ve dengesizliğine neden olmaktadır [52]. Tuza dayanıklı bitkiler düşük miktarlarda Na^+ ve Cl^- 'yi yapraklara taşırlar ve sitoplazmada ya da hücre duvarında birikmelerini önlemek için bu iyonları vakuollerde depolar. Bu şekilde tuzun toksik etkisinden kurtulurlar [54].

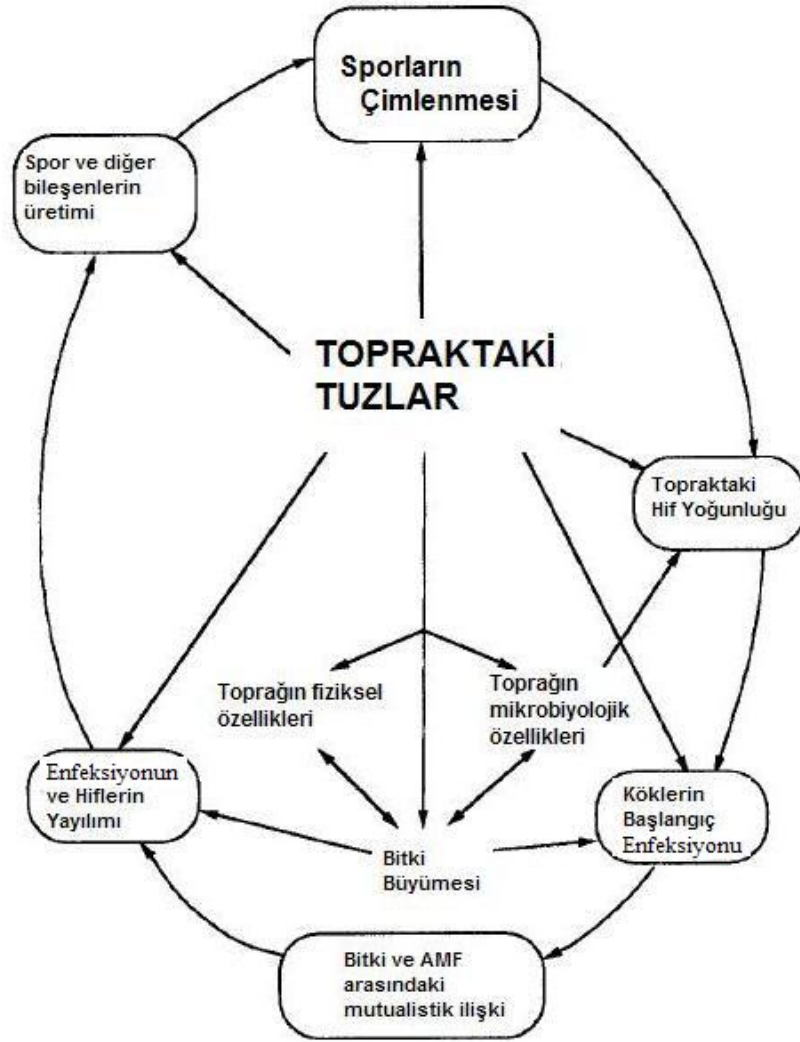
2.8. TUZ STRESİ VE MİKORİZA

Artan tuzluluktan dolayı bozulan tarım arazilerini iyileştirmek için düşük bütçeli teknolojilerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Çok sayıda mikroorganizma yüksek miktarlarda tuz konsantrasyonunu tolere etme yeteneğine sahiptir. Bu mikroorganizmalar içinde mikorizal mantarlar oldukça ilgi çekmektedir. Tuzlu koşullarda yetişen bitkilerin arbusküler mikorizal mantar ile inokülasyonunun bitkilerin büyümesini artırdığı hakkında çok sayıda çalışma bulunmaktadır [1, 10, 11, 12, 13, 14, 55, 56].

Tuzluluk şartlarında artan bitki büyümesi, arbusküler mikorizal mantar ile enfekte olan bitkilerin daha fazla miktarda mineral almalarından kaynaklanmaktadır [12]. Mikoriza hifleri toprağın derinliklerine uzanarak, hareketsiz elementlerin absorpsiyonunu artırmaktadır. Bu etki, hiflerin topraktaki yüzey alanlarını artırmaları ile gerçekleşir [11, 13, 16]. Bu hifler toprakta santimetrelerce uzayabilir [57]. Tuz stresinde AMF ile kolonizasyonun besin elementlerinin iletiminin artmasıyla bitkinin büyümesinin ve tuza toleransının arttığı bilinmektedir [18]. Tuz stresinde AMF ile enfekte olan bitki köklerinde daha fazla miktarda çözünebilir şeker bulunabileceği, bunun nedeninin AMF'nin karbonhidrat ihtiyacı nedeniyle köklerde çözünebilir şekerlerin depolanması ve taşınımının artması olduğu belirtilmiştir. Mikorizal kök dokularındaki çözünebilir şekerlerin yüksek olması, mikorizal bitkileri tuz stresinde oluşan ozmotik strese karşı daha fazla dayanıklı kılacağı vurgulanmıştır [14]. Bolat [56], tuzlu topraklardan alınan doğal mikorizaların da kültür bitkilerinde çalıştığını ve bitki gelişimine ve bitki besin elementleri alımına destek olduğunu vurgulamıştır.

Arbusküler mikoriza tuzlu topraklarda doğal olarak bulunmaktadır. Bununla birlikte tuzluluk mikorizal birliğin oluşumunu ve işlevini etkilemektedir [18]. Ayrıca tuz konsantrasyonunun artmasıyla mikorizal mantarın köklerde kolonizasyonu ve topraktaki hif uzunluğu azalmaktadır [58]. Hif uzunluğunun azalması ile suyun ve P, K, Fe, Cu ve Zn gibi önemli minerallerin bitki tarafından alımı azalmaktadır. Ayrıca topraktaki Na miktarının artmasıyla diğer besinlerin kök bölgesindeki dağılımı da baskılanmaktadır [22].

Toprak tuzluluğu AMF aktivitesini ve büyümesini çeşitli mekanizmalarla etkilemektedir (Şekil 2.2). AMF zorunlu olarak konağa ihtiyaç duydukları için konağı etkileyen faktörler fungal simbiyozisi de etkilemektedir [2].



Şekil 2.2. Arbusküler mikorizal mantarın toprak tuzluluğundan etkilenmesiyle ilgili mekanizmalar [2].

Arbusküler mikoriza sporlarının çimlenmesi 4 evrede gerçekleşir: Hidrasyon, aktivasyon, çimlenme tüpünün ortaya çıkması ve hifin büyümesi. İlk olarak spor içindeki bileşikler su ile karışır. Bütün organellerin ve makromoleküllerin hidrasyonu tamamlandıktan sonra RNA ve enzimler aktif hale gelir. Sporun aktive olmasından 2-10 gün sonra çimlenme tüpü oluşur ve bunu hif büyümesi takip eder. Çözülmüş tuzlar ile spor çimlenme fazlarının engellenmesi, hif oluşumunu da engeller ve dolayısıyla mikorizanın bitki köklerine kolonizasyonu engellenir [2].

AMF sporlarının çimlenmesi kuru topraklar gibi su potansiyelinin düşük olduğu topraklarda gecikir. Tuzlu koşullarda spor çimlenmesinin engellenmesi, Na^+ ya da Cl^- iyonlarının toksisitesinden çok NaCl 'nin yarattığı ozmotik etkiden kaynaklanır [2]. Tuzluluk AMF sporlarının çimlenmesini inhibe eder ve yeni fertil sporların oluşumunu engeller. Bununla birlikte, çok sayıda halofit bitki AMF ile yoğun bir şekilde kolonize olmaktadır [59].

2.9. BİTKİLERİN ANTIOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMLERİ

Reaktif oksijen türleri (ROT) kloroplastların, mitokondrilerin ve peroksizomların oksidatif metabolizmaları sırasında üretilir [60]. ROT'un esas olarak üretildiği yer kloroplastlardır. Bunlar lipidler, pigmentler ve nükleik asitler ile reaksiyona girerler ve lipid peroksidasyonuna, dolayısıyla hücrenin yaşama yeteneğine olumsuz yönde etki ederler [5, 60]. ROT, farklı yollardan nükleotit bazlarına etki ederek DNA'nın yapısında hasarlara neden olur. Mitokondriyal DNA (mtDNA) ve sitoplazmik DNA (ctDNA) ROT üretim yerlerine yakındır ve bunlardan kolaylıkla etkilenirler [61].

Bitkilerin antioksidatif sistemleri reaktif oksijen türlerini ortadan kaldırmak için çok sayıda enzim içermektedir. Tuz stresi sonucu bitki hücrelerinde oluşan süperoksit radikalleri, süperoksit dismutaz (SOD) enziminin reaksiyonu ile hidrojen perokside (H_2O_2) dönüştürülür [60] (Çizelge 2.1.). SOD'un katalizlediği reaksiyon sonucu oluşan ve kuvvetli bir oksidan olan H_2O_2 ; DNA'da, proteinlerde hasarlara,

stomaların kapanmasına, lipid peroksidasyonuna ve hatta hücre ölümüne neden olur. H_2O_2 'nin hücrede birikimi, katalaz (KAT) ya da askorbat-glutasyon döngüsü ile önlenir. Detoksifikasyonun enzimatik mekanizması, dehidroaskorbat redüktaz (DHAR), glutasyon redüktaz (GR) ve diğer enzimleri içermektedir [61]. AP, askorbat-glutasyon döngüsünde H_2O_2 'yi suya indirger. Bu sırada askorbat monodehidroaskorbata (MDHA) okside olur. MDHA, monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR) tarafından askorbata dönüştürülür. Bununla birlikte MDHA'nın iki molekülü enzimatik olmayan yol ile MDHA'ya ve dehidroaskorbata (DHA) oransız olarak dönüştürülür. DHA, DHAR (E.C. 1.6.5.4.) ve GR (E.C. 1.6.4.2.) tarafından askorbata indirgenir. Bu reaksiyondan sonra redükte glutasyon (GSH), DHAR'ın etkisi ile okside glutatyon (GSSG) dönüşür ve GSSG, GR tarafından NADPH'ye bağlı olarak GSH'ye geri indirgenir [61, 62].

Çizelge 2.1. Antioksidan enzimler, buldukları yerler ve etkileri [61].

| Mekanizmalar | Süpürdüğü madde | Ürün | Hücrede bulunduğu yer |
|--------------------------------------|-----------------|----------|--|
| SOD | $O_2 \cdot^-$ | H_2O_2 | Kloroplast, sitoplazma, mitokondri, peroksizom |
| Katalaz | H_2O_2 | H_2O | Mitokondri, peroksizom |
| Peroksidazlar | H_2O_2 | H_2O | Birçok yerde |
| Askorbat-glutasyon döngüsü enzimleri | H_2O_2 | H_2O | Kloroplast, sitoplazma, mitokondri, peroksizom |
| Glutasyon peroksidaz | H_2O_2 | H_2O | Kloroplast, sitoplazma, ER, mitokondri |

Yapılan araştırmalar ROT'un zararları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte, son yıllarda artan kanıtlarla reaktif oksijen türlerinin ayrıca sinyal molekül olarak önemli rol oynadıkları, ani fakat kontrollü olarak üretildikleri belirlenmiştir. Bu nedenle ROT çok fazla üretildiğinde zararlı, düşük konsantrasyonda üretildiğinde hücre için yararlıdır. ROT'un yararı çevreye duyarlı olarak bitkinin büyümesi ve gelişimini düzenlemesidir [63]. Bu metabolik ağda antioksidanlar ROT'un konsantrasyonunu kontrol eder ve her iki madde bitkinin kendi fizyolojik ihtiyacına göre düzenlenir [64].

3. MATERYAL ve METOT

3.1. BİTKİ YETİŞTİRME KOŞULLARI

Çalışma iki deney seti şeklinde yapıldı. Her iki deney setinde bölgemizde yaygın olarak üretimi yapılan *Capsicum annuum* L. cv.Cumaovası kullanıldı. Tohumlar, 1 gün süre ile havalandırılan suda bekletildikten sonra viyollere ekildi. Bitkiler, 26/22 °C (gün/gece) sıcaklık, % 65 ±5 oransal nem ve 480 µmol foton m²/sn (gün/gece 14 s / 10 s) koşullarında iklim odasında yetiştirildi. Tohumlar, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü'nden sağlanan *Glomus mosseae* ve *Glomus intraradices* arbusküler mikorizal mantarlar ile aşılandı. Her tohum yaklaşık olarak 1000 spor / bitki ile aşılandı. Fideler yeterli büyüklüğe geldiklerinde 1.8 kg toprak içeren saksılara aktarıldı. Aktarım sırasında da bitkiler *G. mosseae* ve *G. intraradices* arbusküler mikorizal mantar sporları ile aşılandı. Mikoriza sporları kök yatağının 3 cm altına gelecek şekilde yetiştirme ortamına uygulandı. Daha sonra bitkiler 2 ay süreyle yetiştirildi. Çalışmada kullanılan mikoriza türlerinin sistematik sınıflandırılması aşağıda verilmiştir [65].

| | | | |
|----------|-----------------------|----------|----------------------------|
| Regnum: | <i>Fungi</i> | Regnum: | <i>Fungi</i> |
| Divisio: | <i>Glomeromycota</i> | Divisio: | <i>Glomeromycota</i> |
| Classis: | <i>Glomeromycetes</i> | Classis: | <i>Glomeromycetes</i> |
| Ordo: | <i>Glomerales</i> | Ordo: | <i>Glomerales</i> |
| Familia: | <i>Glomeraceae</i> | Familia: | <i>Glomeraceae</i> |
| Genus: | <i>Glomus</i> | Genus: | <i>Glomus</i> |
| Species: | <i>Glomus mosseae</i> | Species: | <i>Glomus intraradices</i> |

Çalışmanın birinci deney setinde bitkiler, ikinci ayın son 7 gününde tuz stresine (0 mM NaCl, 100 mM NaCl, 200 mM NaCl) sulama suyu şeklinde maruz bırakıldı (Çizelge 3.1) ve bu sürenin sonunda analiz işlemleri için bitkiler hasat edildi. Her uygulama için 3 saksı, her saksıda 6 fide yetiştirildi. Her analiz için 5 tekrar kullanıldı (n=5). 7 gün sonunda her bir saksıya toplam verilen tuz miktarı 100 mM NaCl uygulaması için 20,23 g, 200 mM NaCl uygulaması için 40,46 g'dır.

Çizelge 3.1. Çalışmanın birinci deney setinde hasattan önceki 7 gün süresince tuz stresi uygulaması için oluşturulan deneme deseni, n=5.

| Bitki | Mikoriza | NaCl (mM) |
|---------------------------|------------------------|-----------|
| <i>Capsicum annuum</i> L. | Mikorizasız | 0 |
| | | 100 |
| | | 200 |
| | <i>G. mosseae</i> | 0 |
| | | 100 |
| | | 200 |
| | <i>G. intraradices</i> | 0 |
| | | 100 |
| | | 200 |

Çalışmanın ikinci deney setinde, bitki yetiştirme ve mantar aşılama işlemleri birinci deney setinde olduğu gibi gerçekleştirildi. Ancak yeni çıkmış fideler saksılara aktarıldıktan sonra 2 ay süresince tuz stresine (0 mM NaCl, 1 mM NaCl, 2 mM NaCl, 4 mM NaCl, 8 mM NaCl) maruz bırakıldı (Çizelge 3.2). Her uygulama için 3 saksı, her saksıda 6 fide yetiştirildi. Her analiz için 3 tekrar kullanıldı (n=3). İki ayın sonunda her bir saksıya toplam verilen tuz miktarı 1 mM NaCl uygulaması için 1,73 g, 2 mM NaCl uygulaması için 3,47 g, 4 mM NaCl uygulaması için 6,94 g, 8 mM NaCl uygulaması için 13,87 g'dır.

Her iki deney setinde hasat yapıldıktan sonra bitki kökleri topraktan ayrılarak, bol çeşme suyu ve daha sonra saf su ile yıkandı. Bitki köklerinin yüzeyindeki fazla su kurutma kağıdı ile alındıktan sonra bitki köklerinin canlılığının korunması amacıyla etanol çözeltilisine korumaya alındı. Kök örnekleri % kök enfeksiyonu analizlerine kadar alkolde bekletildi. Hasat günü yaprakların oransal su içeriği ölçüldü. Yaprak örnekleri tartılıp pigment analizleri, enzim aktivite ölçümleri, lipid peroksidasyonu ve fosfor analizlerine kadar -50 °C'de bekletildi.

Çizelge 3.2. Çalışmanın ikinci deney setinde iki ay süresince tuz stresi uygulaması için oluşturulan deneme deseni, n=3.

| Bitki | Mikoriza | NaCl (mM) |
|---------------------------|------------------------|-----------|
| <i>Capsicum annuum</i> L. | Mikorizasız | 0 |
| | | 1 |
| | | 2 |
| | | 4 |
| | | 8 |
| | <i>G. mosseae</i> | 0 |
| | | 1 |
| | | 2 |
| | | 4 |
| | | 8 |
| | <i>G. intraradices</i> | 0 |
| | | 1 |
| | | 2 |
| | | 4 |
| | | 8 |

3.2. YETİŞTİRME ORTAMI

Yetiştirme ortamı olarak bitki besin elementlerince nispeten fakir olan toprak kullanıldı (Çizelge 3.3.). Söz konusu toprak Eskişehir Sultanönü'nden temin edildi. Analizlerden önce toprağın tarla kapasitesi % 27,45 olarak belirlendi. Her bir saksı tarla kapasitesi ihtiyacına göre sulandı.

Çizelge 3.3. Yetiştirme ortamı olarak toprağın kimyasal özellikleri.

| | | | |
|----------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| P | 4.13 mg kg ⁻¹ | K | 2.44 mg kg ⁻¹ |
| Fe | 2.33 mg kg ⁻¹ | Zn | 0.11 mg kg ⁻¹ |
| Mn | 5.93 mg kg ⁻¹ | Cu | 0.92 mg kg ⁻¹ |
| pH | 7.96 | Tuz | 0.24 mS (miliSiemens) |
| Organik Madde (O.M.)(%) | 0.87 | % Kalsiyum karbonat (CaCO ₃) | 16.6 |

3.3. YETİŞTİRME ORTAMININ STERİLİZASYONU

Ortamda bulunan ve mikoriza ile rekabete girebilecek mikroorganizmaları ortamdaki uzaklaştırmak ve mikorizanın etkinliğini daha iyi görebilmek amacıyla, çalışmada kullanılan toprak, polietilen sterilizasyon poşetleri içinde 121 °C’de ve 1,5 atmosfer basınç altında 2 saat süreyle otoklavlandı. Steril edilen topraklar çalışmada kullanılana kadar sterilizasyon poşetlerinde tutularak toprağın biyolojik aktivitesini sağlayacak olan mikroorganizmaların dengelenmesine olanak sağlandı.

3.4. BİTKİDEKİ ORANSAL SU İÇERİĞİ’NİN (OSİ) ÖLÇÜLMESİ

Bitkilerin OSİ’sini ölçmek için hasat yapıldıktan hemen sonra her bir yapraktan 4 disk (0,8 cm) çıkarıldı ve yaş ağırlıkları (YA) tartıldı. Yaprak diskleri, 2 saat boyunca 25°C’de ultra saf suda bekletilip, turgorlu ağırlıkları (TA) tartıldı. Daha sonra örnekler, 110°C’de 24 saat boyunca etüvde kurutuldu. Yapılan kurutma işleminden sonra kuru ağırlıkları (KA) tartıldı. OSİ, Sairam ve Srivastava [7]’ye göre aşağıdaki formülle hesaplandı.

$$OSİ = \frac{YA - KA}{TA - KA} \times 100$$

3.5. MİKORİZA KÖK ENFEKSİYONUNUN BELİRLENMESİ

Kök temizleme ve boyama işlemi Koske ve Gemma [66]’ye göre yapıldı. Bu yöntemde göre kökler iyice yıkandıktan sonra bir petri kutusuna alındı ve 1 cm uzunlukta olacak şekilde kesilerek deney tüplerine aktarıldı. Yeterli miktarda % 2.5 (w/v) potasyum hidroksit (KOH) çözeltisi köklerin içinde bulunduğu tüplere eklenerek 90 °C’lik su banyosunda bekletildi. Tüplerdeki KOH atılarak köklerin üzerini kapatacak şekilde % 1’lik hidroklorik asit (HCl) ilave edildi. Tüplerdeki asit uzaklaştırılarak kökleri boyamak için yeterli miktarda asitleştirilmiş Glycerol Trypan Blue boyası eklendi. Tüplerdeki çözelti ve haşlanmış kökler tekrar bir petri kutusuna aktarılarak ışık mikroskobunda 40x10 büyütmeyle incelendi [67].

% kök enfeksiyonu aşağıdaki formül yardımıyla hesaplandı.

$$\% \text{ Kök enfeksiyonu} = 100 \times (\text{Toplam mikorizalı kök} / \text{Toplam kök sayısı})$$

3.6. FOSFOR ANALİZİ

Bitkilerin yaprak ve gövde kısımları 65-75 °C'de 48 saat süreyle etüvde kurutuldu. Daha sonra kuru madde ağırlıkları belirlenerek homojenizatörde öğütüldü. Fosfor (P) analizi için; öğütülmüş bitki örneklerinden 0,2 g alınarak kuru yakma yöntemine göre 550 °C'de 5 saat kül fırınında yakıldı. Yakılan örneklerin üzerine 1/3'lük HCl çözeltisinden 2 mL konularak üzeri saf su ile tamamlandı ve filtre kağıdından 20 mL'lik kaplara süzüldü. Her bir örnekten 0.5 mL alınarak saf su ile 10 mL'ye tamamlandı. Örnekler 882 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunarak P konsantrasyonu belirlendi [68].

3.7. PİGMENTLERİN EKSTRAKSİYONU VE ANALİZİ

Klorofillerin ekstraksiyonu Porra ve ark. [69]'na ve Keleş [70]'e göre yapıldı. 0.5 g tartılan yapraklar, % 80'lik asetonda homojenize edildi. Klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarı 647 ve 664 nm'de spektrofotometrede (Perkin Elmer Lambda EZ 210) ölçülerek belirlendi. Ölçümler sonucunda klorofil a/b oranı hesaplandı.

Karotenoid analizi Keleş [70]'e ve Moore [71] 'e göre yapıldı. 0.5 g tartılan yapraklar % 80'lik asetonda ve 0.2 g sodyum sülfat (Na₂SO₄) çözeltisi ile homojenize edildi. Ekstraktlar evapore edildi ve geriye kalan kısım 2 mL kloroform içinde çözüldü ve ince tabaka kromatografisine uygulandı. Karotenoid miktarı 450 nm'de spektrofotometrede (Perkin Elmer Lambda EZ 210) belirlendi. Ölçümler sonucunda karotenoid/klorofil oranı hesaplandı.

3.8. ENZİM AKTİVİTELERİNİN ÖLÇÜLMESİ

3.8.1. Superoksit Dismutaz (SOD, EC.1.15.1.1.) Aktivite Tayini

SOD aktivitesi, Beyer ve Fridovich [72]'e göre ölçüldü. 1 g yaprak dokusu 5 mL fosfat tamponu ile ekstrakte edildi. Tampon, 0.1 mM Etilendiamin tetraasetikasit (EDTA) ve 100 mg polivinilpirolidon (PVP) içermektedir. 2.4 mL fosfat tamponu, 1

mL sodyum karbonat, 200 µL L-Methionin, 200 µL nitro blue tetrazolium (NBT), 150 µL enzim ve 150 µL riboflavin eklenerek reaksiyon başlatıldı ve örnekler 10 dakika süresince 25 °C ışık altında tutuldu. Bir birim SOD aktivitesi 560 nm’de spektrofotometrede (Perkin Elmer) NBT’nin % 50 inhibisyonuna neden olan enzim miktarı olarak belirlendi (U g⁻¹ YA). Unit, 25 °C’de 1 dakikada 1 µmol substratı ürüne dönüştüren enzim (SOD) miktarını göstermektedir.

3.8.2. Askorbat peroksidaz (AP, EC 1.11.1.11.) Aktivite Tayini

AP aktivitesi Bonnet ve ark. [73]’na göre yapıldı. 150 mg yaprak dokusu 200 mM (pH 7.8) HEPES, 2 mM EDTA, 5 mM magnezyum klorür (MgCl₂), 4 mM sodyum askorbat içeren 1.5 mL ekstraksiyon ortamında homojenize edildi. Saf ekstrakt 4 °C’de 5 dakika 16000 g’de santrifüj edildi ve supernatan ölçümler için kullanıldı. Reaksiyon karışımı 50 mM sodyum dihidrojenfosfat (NaH₂PO₄) (pH=7), 500 µM askorbat, 1mM hidrojen peroksit (H₂O₂) ve ekstrakt içermektedir. 290 nm’de absorbanstaki düşüş; okside olan askorbat ölçüldü. AP aktivitesi, 290 nm’de askorbat için 2.8 µM cm⁻¹ tükenme katsayısı kullanılarak hesaplandı.

3.8.3. Glutasyon redüktaz (GR E.C.1.6.4.2.) Aktivite Tayini

GR aktivitesi Carlberg ve Mannervik [74]’e göre yapıldı. 1 g yaprak dokusu 5 mL potasyum fosfat tamponu (pH=7 ve 0.1 mM EDTA) ve 100 mg PVP eklenerek homojenize edildi. Saf ekstrakt 4 °C’de 5 dakika 16 000 g’de santrifüj edildi ve supernatan ölçümler için kullanıldı. 3 mL’lik UV küvet içerisine 1.5 mL fosfat tamponu, 150 µL Nikotinamid adenin dinükleotit fosfat (NADPH), 150 µL okside glutasyon (GSSG), 1 mL H₂O ve 200 µL ekstraktın eklenmesi ile reaksiyon başlatıldı. 340 nm’de spektrofotometrede absorban azalması ölçüldü. Birinci dakikada ölçüm yapılmayıp ikinci dakikadaki absorban azalması kaydedildi ve sonuçlar bir dakikada oksitlenen NADPH₂’nin µmol değeri olarak hesaplandı.

3.8.4. Katalaz (KAT E.C. 1.11.1.6.) Aktivite Tayini

Katalaz aktivitesi, Aebi [75]’e göre yapıldı. 1 g yaprak dokusu 5 mL potasyum fosfat tamponu (pH=7 ve 0.1 mM EDTA) ve 100 mg PVP eklenerek homojenize

edildi. Reaksiyon 2.8 mL potasyum fosfat tamponu (pH=7 EDTA içermez), 80 µL H₂O₂ (0.5 M) ve 120 µL enzim ekstraktının karıştırılması ile başlatıldı. Katalaz aktivitesi 240 nm'de 30 saniye içindeki absorbans azalması ile tespit edildi ve sonuçlar H₂O₂ dakika⁻¹ olarak hesaplandı.

3.9. ÇÖZÜNÜR PROTEİN MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ

Çözünür protein miktarı, Lowry metodu ile ölçüldü [76]. 1 g taze yaprak dokusu 5 mL fosfat tamponu ile homojenize edildi. Saf ekstrakt 4 °C'de, 5 dk, 16000 g'de santrifüj edildi ve süpernatant ölçümler için kullanıldı. 1 mL örnek 50 °C'de su banyosuna alındı ve 10 dakika bekletildi. Üzerine 0,9 mL A solüsyonu [100 mL distile suda 0,2 g sodyum-potasyum tartarat ile 10 g sodyum karbonat (NaCO₃)] eklendi ve 50 °C'de 10 dakika bekletildi. Bu sürenin sonunda tüpler su banyosundan çıkarıldı ve soğuyuncaya kadar oda sıcaklığında karanlıkta bekletildi. Üzerine 0,1 mL B solüsyonu [100 mL suda 0,2 g sodyum-potasyum tartarat ile 1 g bakır sülfat-5 sulu (CuSO₄.5H₂O)] eklendi. 10 dakika oda sıcaklığında bekletildi. Üzerine 3 mL C solüsyonu (1 mL Folin-Ciocolteu 15 mL su ile seyreltildi) eklenip karıştırıldı ve 50 °C'de su banyosunda 10 dakika inkübe edildi. Tüpler su banyosundan çıkarılıp oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Ultra saf su ile hazırlanmış kontrole karşı spektrofotometrik olarak 650 nm'de ölçüm yapıldı. Örneklerdeki protein miktarları Bovine Serum Albumine (BSA) ile hazırlanmış standart eğriden hesaplandı. Protein tayinlerinin yapılmasının amacı sentezlenen enzimlerin birim protein başına düşen miktarının yani spesifik aktivitelerinin saptanmasıdır [77].

3.10. LİPİD PEROKSİDASYONU

Lipid peroksidasyonu Ohkawa ve ark. [78]'na göre, malondialdehit (MDA) miktarının ölçülmesi ile belirlendi. 0.2 g yaprak dokusu 1 mL % 5 trikloroasetik asit (TCA) solüsyonunda homojenizatör ile homojenize edildi. Homojenat 12000 rpm'de 15 dakika oda sıcaklığında santrifüjlendi.

Süpernatant, % 0.5 tiobarbiturik asit (TBA) ve % 20 TCA solüsyonlarından eşit hacimler alınarak tüplere aktarıldı. Tüpler, 96 °C'de 25 dakika inkübe edildi. İnkübasyondan sonra tüpler buz banyosuna aktarılıp 10000 rpm'de 5 dakika

santrifüjlendi. Süpernatanın absorbanası 532 nm'de ve 600 nm'de spektrofotometrede (Perkin Elmer) ölçüldü. % 20 TCA solüsyonu içinde % 0.5 TBA kontrol olarak kullanıldı. MDA içeriği, 155 mMcm^{-1} tükenme katsayısı kullanılarak hesaplandı.

3.11. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME

İstatistiksel analizler Statistica 6.0 paket programında yapıldı. Değerlerin normal dağılım gösterip göstermedikleri Kolmogorov-Simirnov testi ile incelendi. Tüm değerlerin normal dağılım gösterdikleri sonucuna ulaşıldı. Değerlerin mantar türleri ve tuz grupları bakımından karşılaştırılması amacıyla iki yönlü varyans analizi testi kullanıldı. Farklı grupların belirlenmesinde ise Tukey HSD (Honestly Significant Difference) değeri hesaplandı.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. BULGULAR

4.1.1. Birinci Deney Setinin Bulguları

4.1.1.1. Bitkilerin genel görünüşü

Birinci deney setinde bitki büyümesi açısından en az büyümenin mikoriza uygulanmayan biber bitkilerinde olduğu tespit edildi (Şekil 4.1.1.). Mikoriza uygulanan bitkilerin yaprakları, mikorizasız bitkilere göre daha sağlıklı ve daha koyu yeşil renkli olarak belirlendi. Mikoriza türleri arasında *Glomus intraradices* ile enfekte olan bitkilerin *Glomus mosseae* ile enfekte olan bitkilere göre daha iyi geliştikleri ve yapraklarının daha yeşil olduğu gözlemlendi.



Şekil 4.1.1. Birinci deney setinde tuz uygulanmayan mikorizasız (kontrol) ve iki farklı mikoriza türü (*G. mosseae* ve *G. intraradices*) ile enfekte olan biber bitkilerinin genel görünüşü.

Tuz uygulamasıyla mikorizasız bitkilerin yaprakları belirgin şekilde sarardı. Özellikle 200 mM NaCl uygulamasıyla mikorizasız bitkilerin yapraklarında nekrozlar ve yaprak uçlarında kararmalar görüldü (Şekil 4.1.2., Şekil 4.1.3.).



Mikorizasız 100 mM NaCl

Şekil 4.1.2. Birinci deney setinde mikorizasız 100 mM NaCl uygulanan biber bitkilerinin yapraklarının genel görünümü.



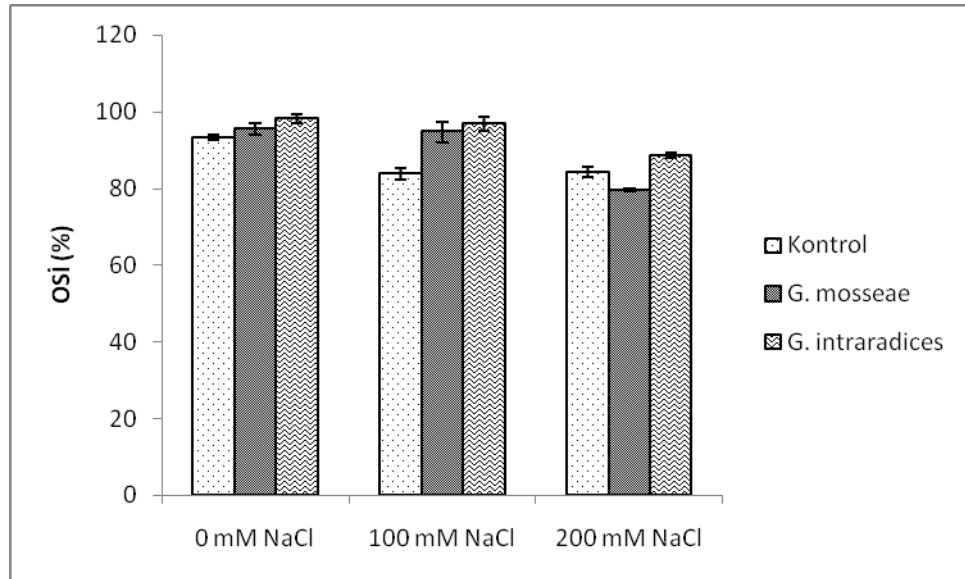
Mikorizasız 200 mM NaCl

Şekil 4.1.3. Birinci deney setinde mikorizasız 200 mM NaCl uygulanan biber bitkilerinin yapraklarının genel görünümü.

G. mosseae ve *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin yapraklarında tuz uygulamasıyla birlikte nadiren kloroz (sarma) olduğu görüldü. Fakat yaprak yapısındaki bu değişiklikler, tuz konsantrasyonunun artmasıyla (200 mM NaCl) daha belirgin şekilde gözlemlendi.

4.1.1.2. Oransal su içeriği (OSİ)

Birinci deney setinde mikorizasız biber bitkisinde ve mikoriza ile enfekte olan bitkilerde tuz uygulamaları ile yapraklardaki oransal su içeriğinin azaldığı belirlendi. Kontrol grubunun oransal su içeriğinin (% 93, 31), *G. mosseae* (% 95, 49) ve *G. intraradices* (% 98, 18) ile enfekte olan bitkilerin oransal su içeriğinden daha düşük olduğu gözlemlendi (Şekil 4.1.4.). Mikoriza türlerinin OSİ üzerine etkileri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi ($p < 0,001$) (Çizelge 4.1.1.). *G. mosseae* ve *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde 100 mM NaCl ve 200 mM NaCl uygulamaları arasında OSİ bakımından farkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi ($p < 0,001$). Ölçümler sonucunda mikoriza uygulamalarının oransal su içeriğini artırdığı, fakat tuz konsantrasyonunun artışına bağlı olarak OSİ'nin azaldığı belirlendi. OSİ bakımından mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşim (interaksiyon) istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p < 0,001$).



Şekil 4.1.4. Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki oransal su içeriği (OSİ), n=5.

Çizelge 4.1.1. Birinci deney setinin oransal su içeriğine (OSİ) ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 414,961 | 207,481 | 92,382 | 0,000*** |
| Tuz | 2 | 1041,768 | 520,884 | 231,926 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 323,251 | 80,813 | 35,982 | 0,000*** |
| Hata | 36 | 80,853 | 2,246 | | |

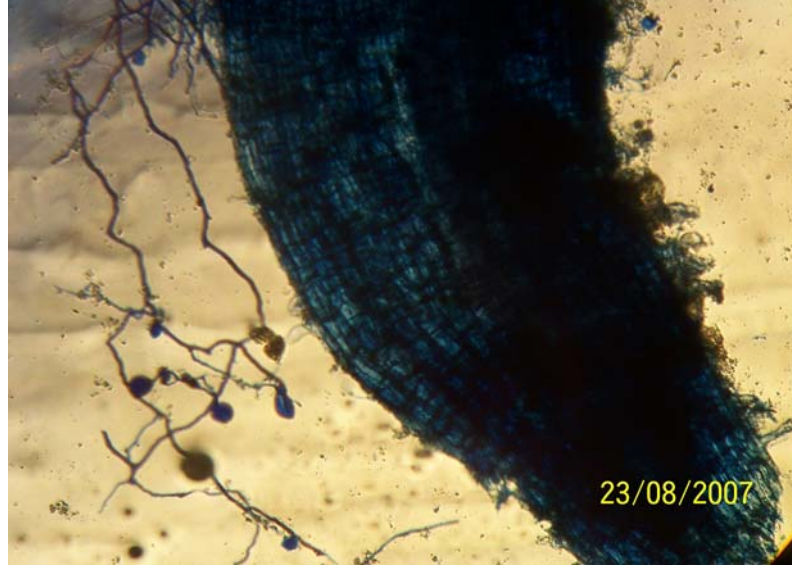
* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

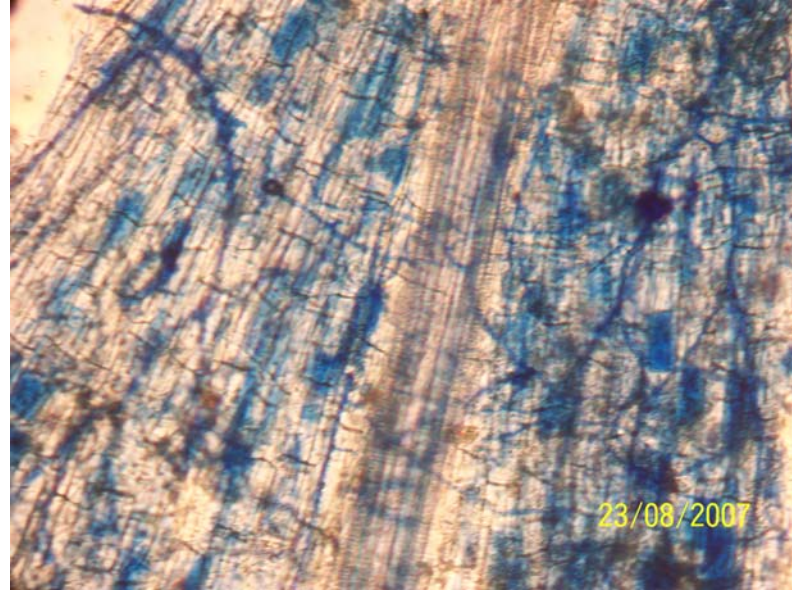
*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.1.3. Kök enfeksiyonu

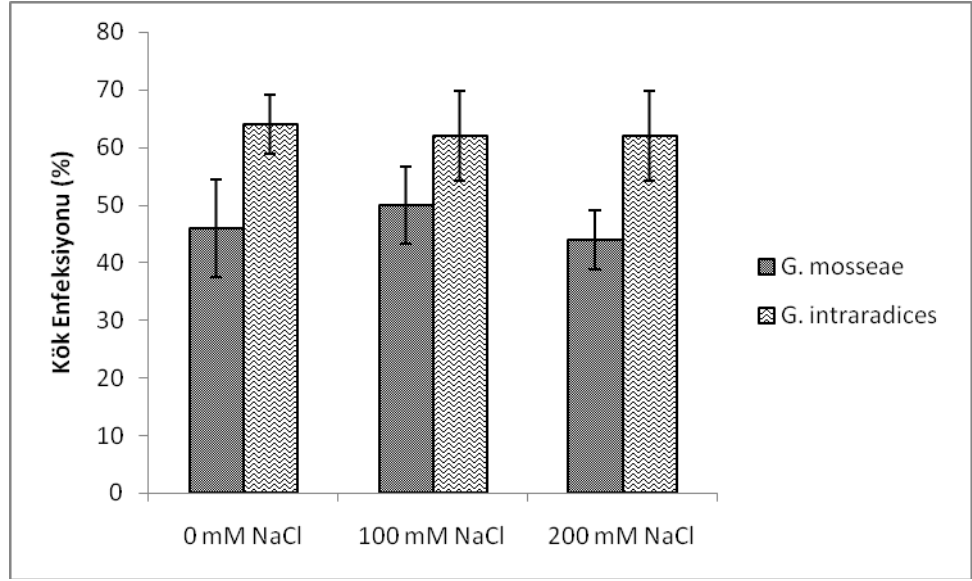
Birinci deney setinde mikorizasız bitkilerde kök enfeksiyonu tespit edilmedi. *G. mosseae* ve *G. intraradices* uygulanan biber bitkisinin köklerindeki en yüksek % kök enfeksiyonu *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde ışık mikroskopunda arbuskül, mikorizal hif tespiti ile belirlendi (Şekil 4.1.5., Şekil 4.1.6.). Kök enfeksiyonu bakımından mikoriza türleri arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,001$) (Çizelge 4.1.2.). *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerde 100 mM NaCl uygulamasındaki kök enfeksiyonunda (% 50), tuz uygulanmayan bitkilere (% 46) göre biraz artış gözlenirken, 200 mM NaCl uygulamasında (% 44) azalma belirlendi (Şekil 4.1.7.). *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde ise tuz uygulamalarıyla enfeksiyonun düşük oranda etkilendiği (0 mM NaCl, % 64; 100 mM NaCl, % 62; 200 mM NaCl, % 62) tespit edildi. Bununla beraber, tuz konsantrasyonuna bağlı olarak % kök enfeksiyonu arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlendi.



Şekil 4.1.5. Birinci deney setinde *G. intraradices* ile enfekte olan biber bitkisinin kökünün ışık mikroskopundaki görüntüsü (10 x 10).



Şekil 4.1.6. Birinci deney setinde *G. intraradices* ile enfekte olan biber bitkisinin kök korteksinin enfeksiyon bölgelerini gösteren ışık mikroskopundaki görüntüsü (40 x 10).



Şekil 4.1.7. Birinci deney setinde biber bitkisinin *G. mosseae* ve *G. intraradices* ile kök enfeksiyonu (%), n=5.

Çizelge 4.1.2. Birinci deney setinin kök enfeksiyonuna ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 1 | 1920,0 | 1920,00 | 34.909 | 0,000*** |
| Tuz | 2 | 46,667 | 23,333 | 0.424 | 0,659 |
| Mikoriza+Tuz | 2 | 60,000 | 30,000 | 0.545 | 0,587 |
| Hata | 24 | 1320,000 | 55,000 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli (p<0,05)

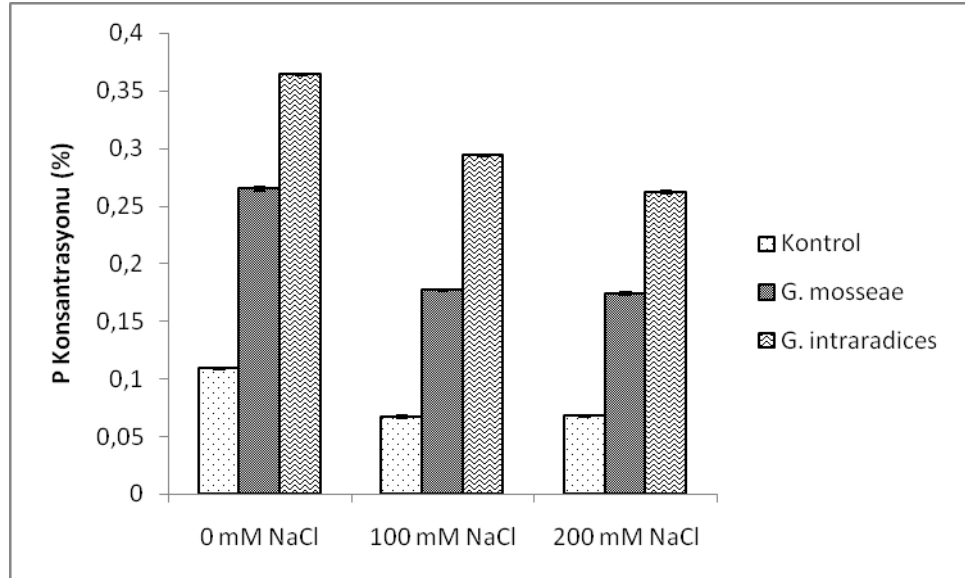
** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

4.1.1.4. Fosfor (P) konsantrasyonu

Birinci deney setinde biber bitkisinin tuz uygulanmayan mikorizasız (kontrol) bitkilere ait yaprak ve gövde dokularındaki fosfor (P) konsantrasyonunun (% 0,109), *G. mosseae* (% 0,265) ve *G. intraradices* (% 0,364) ile enfekte olan bitkilerin P konsantrasyonundan yaklaşık olarak 2-3 kat daha düşük olduğu belirlendi. En

yüksek P konsantrasyonu *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde belirlendi. Mikoriza türleri arasında P miktarları bakımından farklar istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,001$) (Çizelge 4.1.3.). P konsantrasyonu bakımından mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşim (interaksiyon) istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,001$). Mikorizalı ve mikorizasız bitkilerdeki P konsantrasyonunun tuz uygulamaları ile azaldığı belirlendi (Şekil 4.1.8.). *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde bu azalmanın tuz konsantrasyonuna bağlı olduğu gözlemlendi (100 mM NaCl, % 0,294; 200 mM NaCl, % 0,262). Tuz uygulamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,001$).



Şekil 4.1.8. Birinci deney setinde biber bitkisinin yaprak ve gövde dokularındaki fosfor (P) konsantrasyonu, n=5.

Çizelge 4.1.3. Birinci deney setinin fosfor konsantrasyonuna ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|------------|----------|
| Mikoriza | 2 | 0,382 | 0,191 | 235567,918 | 0,000*** |
| Tuz | 2 | 0,053 | 0,027 | 32778,603 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 0,006 | 0,002 | 1953,192 | 0,000*** |
| Hata | 36 | 0,000 | 0,000 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.1.5. Klorofil a içeriği

Birinci deney setinde tuz uygulanmayan mikorizasız biber bitkisinin yapraklarındaki klorofil a içeriğinin, *G. mosseae* ve *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin klorofil a içeriklerinden daha düşük olduğu belirlendi. Mikoriza türleri arasında klorofil a içeriği bakımından farkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edildi ($p<0,001$) (Çizelge 4.1.4.). En yüksek klorofil a içeriği *G. intraradices* ile enfekte olan tuz uygulanmayan bitkilerde ($43,53 \text{ mg g}^{-1}$) belirlenirken, *G. mosseae* ile enfekte bitkilerde ($20,89 \text{ mg g}^{-1}$) ve mikorizasız kontrol bitkilerde ($17,85 \text{ mg g}^{-1}$) daha düşük olarak ölçüldü (Çizelge 4.1.5.). Mikorizasız ve mikorizalı bitkilerde tuz uygulamalarında klorofil a içeriğinde azalma gözlemlendi. Uygulamalar arasında en düşük klorofil a içeriği, mikorizasız 200 mM NaCl uygulanan bitkilerde ($8,59 \text{ mg g}^{-1}$) belirlendi. Tuz uygulamalarının klorofil a içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edildi ($p<0,05$). Bununla beraber mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşimin (interaksiyon) klorofil a içeriği üzerine istatistiksel olarak anlamlı etkisinin olmadığı belirlendi.

Çizelge 4.1.4. Birinci deney setinin klorofil a içeriğine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 2830,97 | 1415,49 | 8,4816 | 0,001*** |
| Tuz | 2 | 1386,66 | 693,33 | 4,1545 | 0,024* |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 597,27 | 149,32 | 0,8947 | 0,477 |
| Hata | 36 | 6007,98 | 166,89 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

Çizelge 4.1.5. Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki klorofil a içeriği, klorofil b içeriği, klorofil a/b oranı değerleri, n=5.

| Mikoriza | Tuz (mM NaCl) | Klorofil a (mg.g ⁻¹) | Klorofil b (mg.g ⁻¹) | Klorofil a/b oranı |
|------------------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Mikorizasız | 0 | 17,85±6,71 | 13,95±5,20 | 1,29±0,19 |
| | 100 | 14,89±0,91 | 14,86±1,45 | 1,00±0,04 |
| | 200 | 8,59±3,15 | 7,21±1,64 | 1,23±0,37 |
| <i>G. mosseae</i> | 0 | 20,89±7,07 | 12,05±3,48 | 1,75±0,13 |
| | 100 | 12,89±3,86 | 12,11±4,81 | 1,06±0,12 |
| | 200 | 14,43±4,14 | 10,18±2,70 | 1,42±0,16 |
| <i>G. intraradices</i> | 0 | 43,53±11,04 | 52,27±42,52 | 0,93±0,47 |
| | 100 | 32,88±4,25 | 40,98±14,90 | 0,79±0,06 |
| | 200 | 18,48±9,27 | 9,61±3,44 | 1,79±0,47 |

4.1.1.6. Klorofil b içeriği

Birinci deney setinde biber bitkisinin en yüksek klorofil b içeriği, *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde (52,27 mg g⁻¹) belirlendi (Çizelge 4.1.5.). Mikoriza türleri arasında klorofil b içeriği bakımından farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edildi (p<0,001) (Çizelge 4.1.6.). 200 mM NaCl uygulamasında mikorizalı ve mikorizasız bitkilerin klorofil b içeriği azalırken, *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde bu azalmanın oldukça belirgin olduğu tespit edildi. Tuz uygulamalarının klorofil b içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenirken (p<0,05), mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşimin (interaksiyon) klorofil b içeriği üzerine istatistiksel olarak anlamlı etkisinin olmadığı belirlendi (Çizelge 4.1.6.).

Çizelge 4.1.6. Birinci deney setinin klorofil b içeriğine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 5089,75 | 2544,87 | 9,66923 | 0,000*** |
| Tuz | 2 | 2453,98 | 1226,99 | 4,66193 | 0,016* |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 2619,54 | 654,89 | 2,48823 | 0,061 |
| Hata | 36 | 9474,95 | 263,19 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

4.1.1.7. Klorofil a/b oranı

Birinci deney setinde tuz uygulanmayan bitkilerde en yüksek klorofil a/b oranı *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerde belirlendi (Çizelge 4.1.5.). Mikoriza türleri arasında klorofil a/b oranı bakımından farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edildi (p<0,05). Mikorizalı ve mikorizasız biber bitkilerinde 100 mM NaCl uygulamasının, klorofil a/b oranını tuz uygulanmayan bitkilere göre azalttığı belirlendi. Bununla beraber *G. intraradices* ile enfekte olan 200 mM NaCl

uygulanan bitkilerin klorofil a/b oranının (1,79 mg g⁻¹), tuz uygulanmayan bitkilere (0,93 mg g⁻¹) göre belirgin düzeyde arttığı tespit edildi. Tuz uygulamalarının (p<0,001), mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşimin (p<0,001) klorofil a/b oranı üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (Çizelge 4.1.7.).

Çizelge 4.1.7. Birinci deney setinin klorofil a/b oranına ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 0,58938 | 0,29469 | 3,4672 | 0,042* |
| Tuz | 2 | 2,19564 | 1,09782 | 12,9167 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 2,14431 | 0,53608 | 6,3073 | 0,001*** |
| Hata | 36 | 3,05973 | 0,08499 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

4.1.1.8. Toplam klorofil içeriği

Birinci deney setinde tuz uygulanmayan mikorizasız biber bitkisinin yapraklarındaki toplam klorofil içeriğinin, *G. mosseae* ve *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin toplam klorofil içeriğinden daha düşük olduğu belirlendi. *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin toplam klorofil içeriği (95,79 mg g⁻¹), *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerin (32,99 mg g⁻¹) ve mikorizasız kontrol bitkilerin (31,80 mg g⁻¹) toplam klorofil içeriğine göre oldukça yüksek bulundu. Mikoriza türleri arasında toplam klorofil içerikleri bakımından farkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi (p<0,001) (Çizelge 4.1.8.). Mikoriza uygulamalarının toplam klorofil içeriğini artırdığı fakat tuz uygulamaları ile her iki mikoriza türünde toplam klorofil içeriğinin azaldığı belirlendi (p<0,001). Özellikle 200 mM NaCl uygulamasında *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde toplam klorofil içeriğinin belirgin bir şekilde azaldığı (28,08 mg g⁻¹) tespit edildi (Çizelge 4.1.9.). Mantar

türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşim (interaksiyon), toplam klorofil içeriği bakımından istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,05$).

Çizelge 4.1.8. Birinci deney setinin toplam klorofil içeriğine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 9189,01 | 4594,51 | 26,9189 | 0,000*** |
| Tuz | 2 | 3058,27 | 1529,13 | 8,9591 | 0,001*** |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 1926,80 | 481,70 | 2,8223 | 0,039* |
| Hata | 36 | 6144,45 | 170,68 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

Çizelge 4.1.9. Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki toplam klorofil içeriği, toplam karotenoid içeriği, karotenoid/klorofil oranı değerleri, $n=5$.

| Mikoriza | Tuz (mM NaCl) | Toplam Klorofil ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | Toplam Karotenoid ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) | Karotenoid/Klorofil oranı |
|------------------------|---------------|---|---|---------------------------|
| Mikorizasız | 0 | 31,80±11,61 | 7,92±0,049 | 0,289±0,124 |
| | 100 | 29,75±2,09 | 7,83±0,041 | 0,264±0,019 |
| | 200 | 15,79±2,46 | 7,70±0,009 | 0,499±0,072 |
| <i>G. mosseae</i> | 0 | 32,99±10,41 | 7,89±0,012 | 0,272±0,122 |
| | 100 | 24,95±7,21 | 7,91±0,069 | 0,358±0,159 |
| | 200 | 24,61±5,89 | 7,77±0,016 | 0,331±0,069 |
| <i>G. intraradices</i> | 0 | 95,79±17,92 | 8,08±0,070 | 0,122±0,055 |
| | 100 | 73,86±6,33 | 8,01±0,061 | 0,146±0,111 |
| | 200 | 28,08±11,56 | 7,90±0,038 | 0,386±0,335 |

4.1.1.9. Toplam karotenoid içeriği

Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki toplam karotenoid içeriği bakımından mikoriza türleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,001$). En yüksek toplam karotenoid içeriği *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde ($8,08 \mu\text{g g}^{-1}$) tespit edildi (Çizelge 4.1.9.). Bununla birlikte, tuz uygulanmayan *G. mosseae* ile enfekte olan ($7,89 \mu\text{g g}^{-1}$) ve mikorizasız bitkilerin ($7,92 \mu\text{g g}^{-1}$) toplam karotenoid içeriklerinin birbirine yakın olduğu belirlendi. Tuz uygulamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edildi ($p<0,001$) (Çizelge 4.1.10.). Uygulama gruplarının tümünde yüksek tuz konsantrasyonunda karotenoid içeriğinin azaldığı görüldü.

Çizelge 4.1.10. Birinci deney setinin toplam karotenoid içeriğine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 0,0240 | 0,120 | 18.913 | 0,000*** |
| Tuz | 2 | 0,196 | 0,098 | 15.428 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 0,016 | 0,004 | 0.635 | 0,641 |
| Hata | 36 | 0,228 | 0,006 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.1.10. Karotenoid/klorofil oranı

Birinci deney setinde tuz uygulanmayan mikorizasız kontrol bitkilerde karotenoid/klorofil oranı (0,289), *G. mosseae* (0,272) ve *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerden (0,122) daha yüksek olarak belirlendi. 100 mM NaCl uygulamasında mikorizasız bitkilerde karotenoid/klorofil oranı azalırken, mikorizalı bitkilerde artma tespit edildi (Çizelge 4.1.9.). Tuz uygulamalarının karotenoid/klorofil oranı üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu

belirlendi ($p<0,01$) (Çizelge 4.1.11.). 200 mM NaCl uygulamasında ise, mikorizalı ve mikorizasız bitkilerin karotenoid/klorofil oranında artma belirlendi. En yüksek karotenoid/klorofil oranı, mikorizasız 200 mM NaCl uygulanan bitkilerde (0,499) tespit edildi. Mikoriza türleri ile tuz uygulamaları arasındaki etkileşimin karotenoid/klorofil oranı üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlendi.

Çizelge 4.1.11. Birinci deney setinin karotenoid/klorofil oranına ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|---------|
| Mikoriza | 2 | 0,146 | 0,073 | 2.984 | 0,063 |
| Tuz | 2 | 0,273 | 0,137 | 5.589 | 0,008** |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 0,126 | 0,032 | 1.291 | 0,292 |
| Hata | 36 | 0,880 | 0,024 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

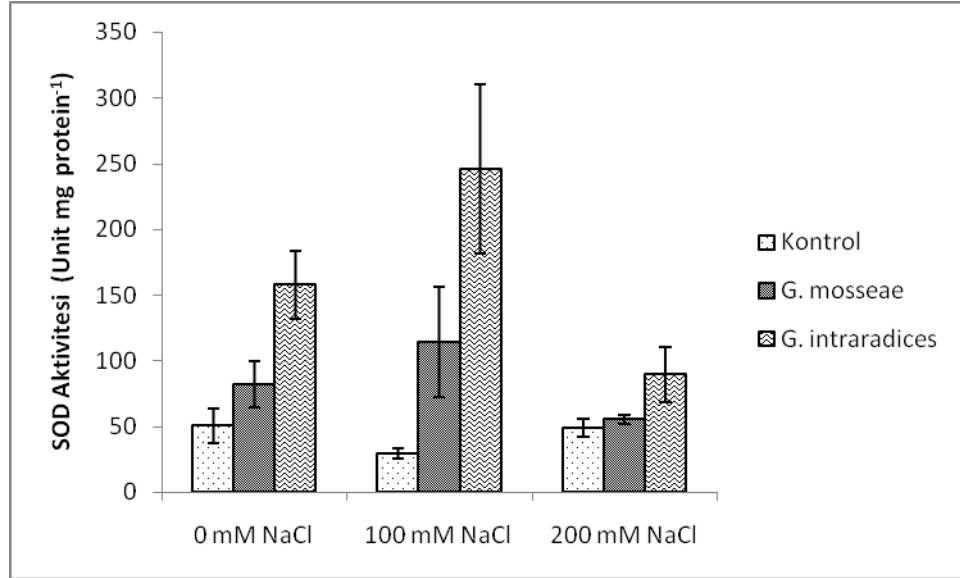
** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.1.11. SOD aktivitesi

Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki spesifik SOD aktivitesinin mikoriza uygulamalarıyla arttığı belirlendi. Mikorizanın SOD aktivitesi üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,001$). Tuz uygulanmayan *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin SOD aktiviteleri (157,69 Unit mg protein⁻¹), *G. mosseae* (82,37 Unit mg protein⁻¹) ile enfekte bitkilerin ve mikorizasız bitkilerin SOD aktivitesinden (50,56 Unit mg protein⁻¹) daha yüksek bulundu. 100 mM NaCl uygulamasında mikorizasız bitkilerin SOD aktivitesinin azaldığı, bununla beraber mikorizalı bitkilerin SOD aktivitesinin arttığı gözlemlendi (Şekil 4.1.9.). Mikorizalı bitkilerde 100 mM NaCl uygulamasında SOD aktivitesi artarken, 200 mM NaCl uygulamasında azalma belirlendi ($p<0,001$). Tuz

uygulamalarıyla mikorizasız bitkilerin SOD aktivitesinde azalma gözlemlendi. SOD aktivitesi bakımından mantar-tuz etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi ($p < 0,001$) (Çizelge 4.1.12.).



Şekil 4.1.9. Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki SOD aktivitesi, n=5.

Çizelge 4.1.12. Birinci deney setinin SOD aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 114259,8 | 57129,9 | 91,6541 | 0,000*** |
| Tuz | 2 | 32148,7 | 16074,4 | 25,7883 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 39622,2 | 9905,6 | 15,8916 | 0,000*** |
| Hata | 36 | 22439,5 | 623,3 | | |

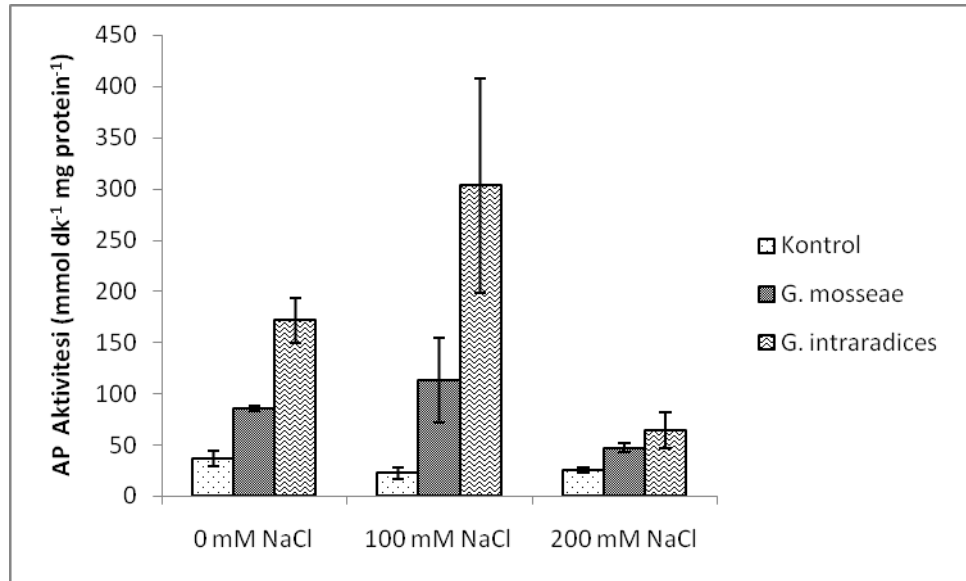
* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

4.1.1.12. AP aktivitesi

Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki spesifik AP aktivitesinin mikoriza uygulamalarıyla arttığı gözlemlendi. Mantar türlerinin AP aktivitesi üzerine etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi ($p < 0,001$). En yüksek AP aktivitesi görülen *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin 100 mM NaCl uygulamasında ($303,24 \text{ mmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$), mikorizasız bitkilerin AP aktivitesine ($36,89 \text{ mmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$) göre yaklaşık 8 kat daha yüksek olduğu tespit edildi. Mikorizalı bitkilerde 100 mM NaCl uygulamasında SOD aktivitesindeki artışa benzer olarak AP aktivitesi artarken, mikorizasız bitkilerde tuz konsantrasyonuna bağlı olarak azalma belirlendi (Şekil 4.1.10.). 200 mM NaCl uygulamasında mikorizalı ve mikorizasız bitkilerde AP aktivitesinde belirgin bir azalma gözlemlendi ($p < 0,001$). AP aktivitesi bakımından mantar-tuz etkileşiminin (interaksiyonun) istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi ($p < 0,001$) (Çizelge 4.1.13.).



Şekil 4.1.10. Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki AP aktivitesi, n=5.

Çizelge 4.1.13. Birinci deney setinin AP aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 177033,4 | 88516,7 | 54,6847 | 0,000*** |
| Tuz | 2 | 76291,1 | 38145,6 | 23,5659 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 78517,8 | 19629,4 | 12,1269 | 0,000*** |
| Hata | 36 | 58272,2 | 1618,7 | | |

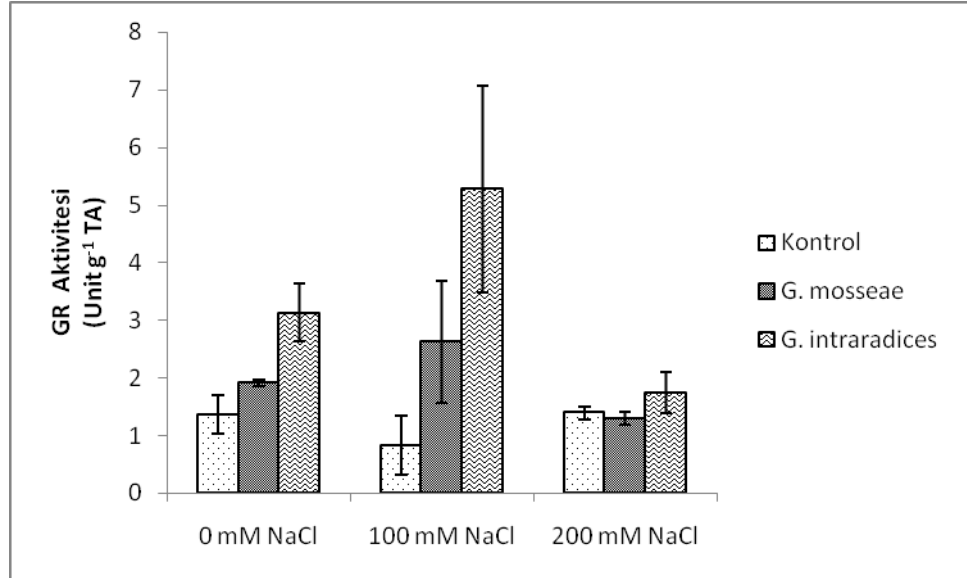
* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.1.13. GR aktivitesi

Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki spesifik GR aktivitesinin mikorizalı bitkilerde daha yüksek olduğu belirlendi. En yüksek aktivite *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde tespit edildi. Mantar türlerinin GR aktivitesi üzerine etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,001$) (Çizelge 4.1.14.). Mikorizalı bitkilerde 100 mM NaCl uygulamasıyla GR aktivitesi belirgin bir şekilde artarken, 200 mM NaCl uygulamasıyla enzim aktivitesi azalmıştır ($p<0,001$). *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin 100 mM NaCl uygulanan grubunda (5,28 Unit g^{-1} TA) tuz uygulanmayan mikorizasız bitkilerin GR aktivitesine (1,37 Unit g^{-1} TA) göre yaklaşık 4 kat daha yüksek GR aktivitesi belirlendi. Mikorizasız bitkilerde 100 mM NaCl uygulamasıyla (0,83 Unit g^{-1} TA) GR aktivitesi azalırken, 200 mM NaCl uygulamasında (1,39 Unit g^{-1} TA) tuz uygulanmayan bitkilere (1,37 Unit g^{-1} TA) göre belirgin bir fark gözlenmedi (Şekil 4.1.11.). GR aktiviteleri bakımından mantar-tuz etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,001$).



Şekil 4.1.11. Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki GR aktivitesi, n=5.

Çizelge 4.1.14. Birinci deney setinin GR aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 35,8041 | 17,9021 | 29,9559 | 0,000*** |
| Tuz | 2 | 16,2138 | 8,1069 | 13,5654 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 22,7855 | 5,6964 | 9,5319 | 0,000*** |
| Hata | 36 | 21,5141 | 0,5976 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli (p<0,05)

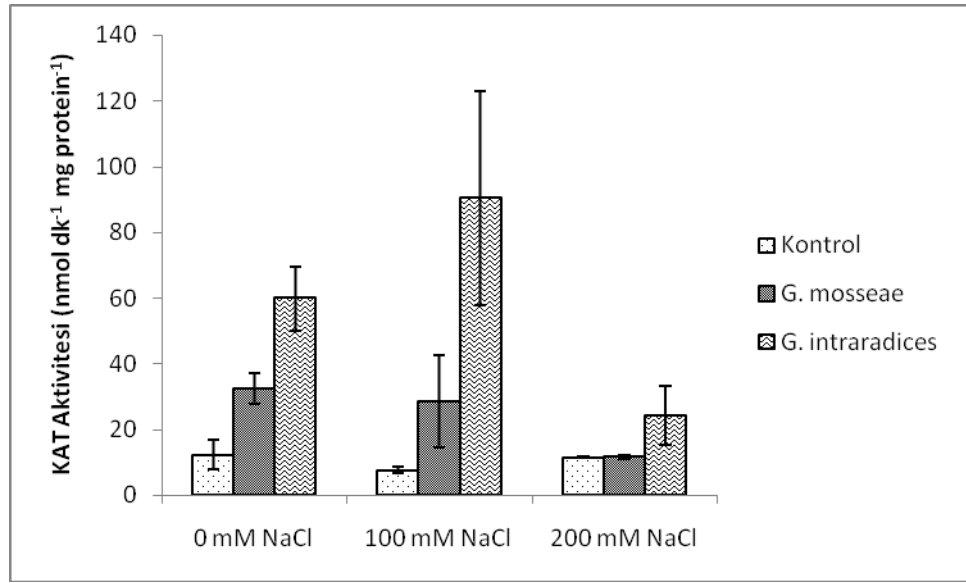
** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

4.1.1.14. KAT aktivitesi

Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarında en yüksek spesifik KAT aktivitesi *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde belirlendi. KAT aktivitesi bakımından mikoriza türleri arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulundu (p<0,001). En düşük KAT aktivitesi mikorizasız kontrol grubunda

(12,26 nmol dk⁻¹ mg protein⁻¹) tespit edildi (Şekil 4.1.12.). *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerin yapraklarında tuz konsantrasyonuna bağlı olarak KAT aktivitesi azalmakla birlikte, bu değerler mikorizasız bitkilerin KAT aktivitesi değerlerinden daha yüksektir. Tuz uygulamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi (p<0,001) (Çizelge 4.1.15.). Tuz uygulamalarında KAT aktivitesi genel olarak azalma gösterirken, *G. intraradices* ile enfekte olan ve 100 mM NaCl uygulanan bitkilerde (90,49 nmol dk⁻¹ mg protein⁻¹), mikorizasız bitkilere göre (12,26 nmol dk⁻¹ mg protein⁻¹) yaklaşık olarak 7 kat daha yüksek aktivite belirlendi. Buna karşılık, 200 mM NaCl uygulamasında mikorizalı ve mikorizasız bitkilerde KAT aktivitesinde belirgin bir azalma gözlemlendi. Tuz-mikoriza etkileşiminin toplam KAT aktivitesi üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (p<0,001).



Şekil 4.1.12. Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki KAT aktivitesi, n=5.

Çizelge 4.1.15. Birinci deney setinin KAT aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 18196,66 | 9098,33 | 55,4142 | 0,000*** |
| Tuz | 2 | 5544,82 | 2772,41 | 16,8856 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 6672,45 | 1668,11 | 10,1598 | 0,000*** |
| Hata | 36 | 5910,76 | 164,19 | | |

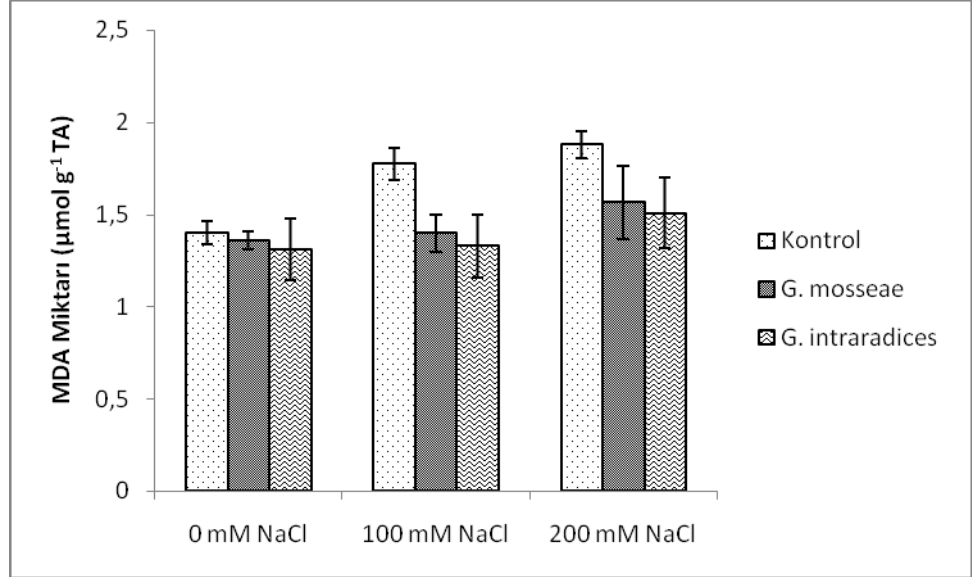
* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.1.15. Lipid peroksidasyonu

Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarında lipid peroksidasyonunun göstergesi olan malondialdehit (MDA) miktarının mikorizasız bitkilerde diğer uygulama gruplarına göre daha yüksek olduğu ve tuz konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak lipid peroksidasyonunun arttığı belirlendi (Şekil 4.1.13.). Tuz uygulanmayan *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde MDA miktarı ($1,31 \mu\text{mol g}^{-1}$ TA), *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerin ($1,36 \mu\text{mol g}^{-1}$ TA) ve mikorizasız bitkilerin ($1,40 \mu\text{mol g}^{-1}$ TA) MDA miktarına göre daha düşük olarak belirlendi. Lipid peroksidasyonu bakımından mikoriza türleri arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,01$) (Çizelge 4.1.16.). 200 mM NaCl uygulaması ile birlikte tüm uygulamalarda MDA miktarının arttığı belirlendi. Tuz uygulamasının MDA miktarına etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi ($p<0,05$). Bununla beraber lipid peroksidasyonu bakımından mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşim (interaksiyon) istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı.



Şekil 4.1.13. Birinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki MDA miktarı, n=5.

Çizelge 4.1.16. Birinci deney setinin MDA miktarına ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|---------|
| Mikoriza | 2 | 0,772 | 0,386 | 5.255 | 0,010** |
| Tuz | 2 | 0,639 | 0,320 | 4.349 | 0,020* |
| Mikoriza+Tuz | 4 | 0,220 | 0,055 | 0.747 | 0,567 |
| Hata | 36 | 2,646 | 0,074 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

Kısa süreli fakat yüksek konsantrasyon tuz uygulanan birinci deney setinde mikorizanın bitki gelişimini artırdığı, mikoriza türlerinden *G. intraradices*'in *G. mosseae*'ye göre daha etkili olduğu gözlemlendi. Tuz dozları arasında bitkide meydana gelen fizyolojik değişiklikler doğrultusunda 200 mM NaCl uygulamasının 100 mM NaCl'ye göre daha olumsuz etkilere neden olduğu tespit edildi. *G. intraradices*'in *G. mosseae*'ye göre tuz stresinde biber bitkisinde daha olumlu etkilere sahip olduğu belirlendi. Sonuç olarak tuz uygulamalarında mikorizanın, bitkinin dayanıklılığını artırdığı gözlemlendi.

4.1.2. İkinci Deney Setinin Bulguları

4.1.2.1. Bitkilerin genel görünüşü

İkinci deney setinde birinci deney setinde olduğu gibi mikoriza ile enfekte olan bitkilerin mikorizasız bitkilere göre daha iyi geliştikleri, daha sağlıklı ve yapraklarının daha koyu renkte olduğu gözlemlendi. Mikoriza türleri arasında *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin, *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilere göre daha iyi geliştikleri ve yapraklarının daha koyu yeşil renkte olduğu gözlemlendi (Şekil 4.2.1). Mikorizasız bitkilerin yapraklarının Şekil 4.2.1.'de görüldüğü gibi daha küçük olduğu ve kloroza uğradığı gözlemlendi.



Şekil 4.2.1. İkinci deney setinde mikoriza ve tuz uygulanmayan (kontrol) ve iki farklı mikoriza türü (*G. mossea* ve *G. intraradices*) ile enfekte olan biber bitkilerinin genel görünüşü.

İkinci deney setinde *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin tuz uygulamalarındaki (1 mM NaCl, 2 mM NaCl, 4 mM NaCl, 8 mM NaCl) genel görünüşleri birinci deney setinden farklı olarak belirgin değişiklikler göstermemiştir (Şekil 4.2.2.). Mikorizasız bitkilerin yapraklarında 8 mM NaCl uygulaması kloroza neden oldu. *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde tuz uygulaması ile kloroza rastlanmazken, *G. mossea* ile enfekte olan bitkilerin alt yapraklarında kloroz gözlemlendi.



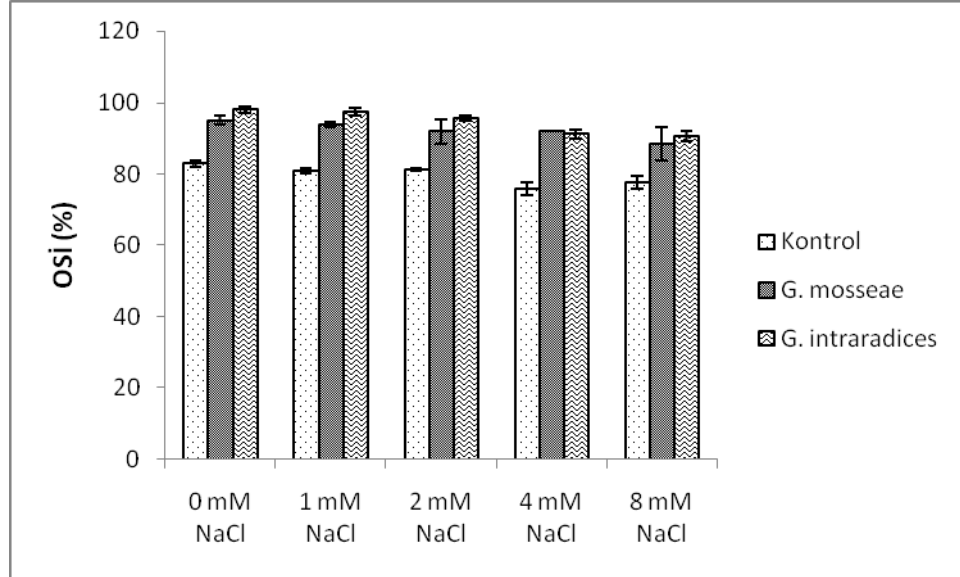
Şekil 4.2.2. İkinci deney setinde *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin tuz uygulamalarındaki genel görünüşleri.

İkinci deney setindeki sonuçlarımızla birinci deney setindeki sonuçlarımız birbiriyle paralellik gösterdi. Mineral içeriği düşük olan toprakta mikorizal birliğin her iki deney setinde de biber bitkisinin gelişimini artırdığı gözlemlendi. Her iki deney setinde de *G. intraradices* ile enfekte olan biber bitkilerinin daha iyi geliştiği ve topraktaki besin eksikliği ve tuz stresine dayanıklılığı artırdığı belirlendi. Mikorizasız bitkilerin ise bu koşullara daha duyarlı olduğu gözlemlendi.

4.1.2.2. Oransal su içeriği (OSİ)

İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki en düşük OSİ değeri, tüm uygulamalarda mikorizasız bitkilerde belirlendi. Mikoriza uygulamalarının oransal su içeriğini artırdığı tespit edildi. En yüksek OSİ değeri, *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde (% 98,04) gözlemlendi. Mikorizalı ve mikorizasız bitkilerde oransal su içeriğinin tuz konsantrasyonuna bağlı olarak azaldığı belirlendi (Şekil 4.2.3.). Tuz uygulamasının OSİ üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edildi ($p < 0,001$) (Çizelge 4.2.1.). 8 mM NaCl uygulamasında *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde OSİ (% 90,57), *G. mosseae* ile enfekte bitkilerin (% 88,42) ve mikorizasız bitkilerin (% 77,57) OSİ değerinden daha yüksek olarak belirlendi.

Oransal su içeriği bakımından mantar-tuz etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı değilken, mikoriza uygulamasının ($p<0,001$) etkisi istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (Çizelge 4.2.1.).



Şekil 4.2.3. İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki oransal su içeriği (OSI), n=3.

Çizelge 4.2.1. İkinci deney setinin oransal su içeriğine (OSI) ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 1916,3 | 958,2 | 241,90 | 0,000*** |
| Tuz | 4 | 274,7 | 68,7 | 17,34 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 40,8 | 5,1 | 1,29 | 0,287 |
| Hata | 30 | 118,8 | 4,0 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

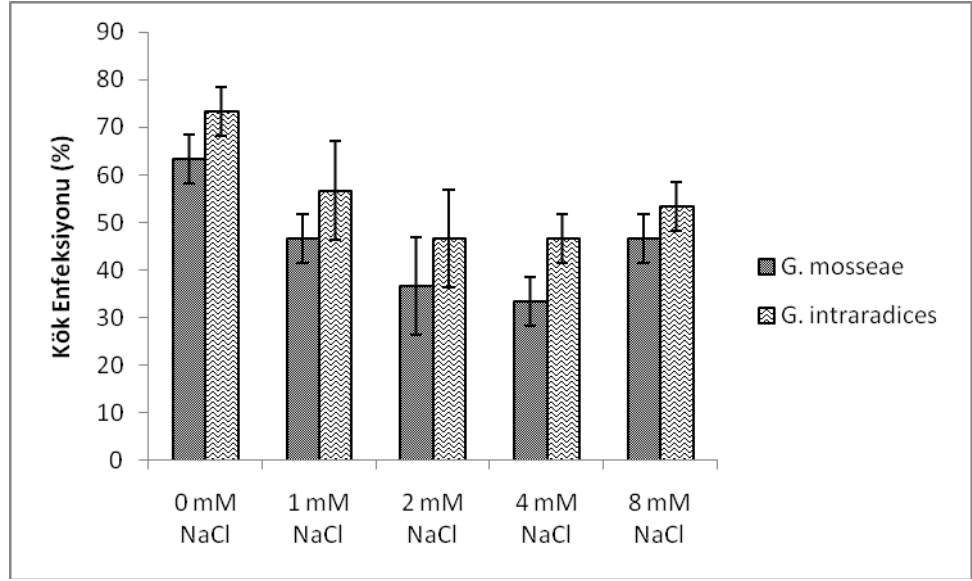
*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.2.3. Kök enfeksiyonu

İkinci deney setinde birinci deney setindeki bulgulara benzer olarak mikorizasız bitkilerde kök enfeksiyonu tespit edilmedi. Mikorizanın kök enfeksiyonu bakımından etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,001$). *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin köklerinde en yüksek enfeksiyon (% 73,33) gözlemlendi (Şekil 4.2.4.). Tuz uygulamalarıyla enfeksiyon oranının her iki mikoriza türünde de azaldığı ve *G. mosseae* ile enfeksiyonun tuzdan daha fazla etkilendiği tespit edildi ($p<0,001$) (Şekil 4.2.5.). Tuz uygulanmayan *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerin kök enfeksiyon değerinin (% 63,33), 4 mM NaCl uygulaması ile (% 33,33) belirgin düzeyde azaldığı tespit edildi. Kök enfeksiyonu bakımından mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşim (interaksiyon) istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,05$) (Çizelge 4.2.2.).



Şekil 4.2.4. İkinci deney setinde *G. intraradices* ile enfekte olan biber bitkisinin kökünün ışık mikroskopundaki görüntüsü (40 x 10).



Şekil 4.2.5. İkinci deney setinde biber bitkisinin *G. mosseae* ve *G. intraradices* ile kök enfeksiyonu (%), n=3.

Çizelge 4.2.2. İkinci deney setinin kök enfeksiyonuna ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 26084,44 | 13042,22 | 308,895 | 0,000*** |
| Tuz | 4 | 2031,11 | 507,78 | 12,026 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 1048,89 | 131,11 | 3,105 | 0,011* |
| Hata | 30 | 1266,67 | 42,22 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

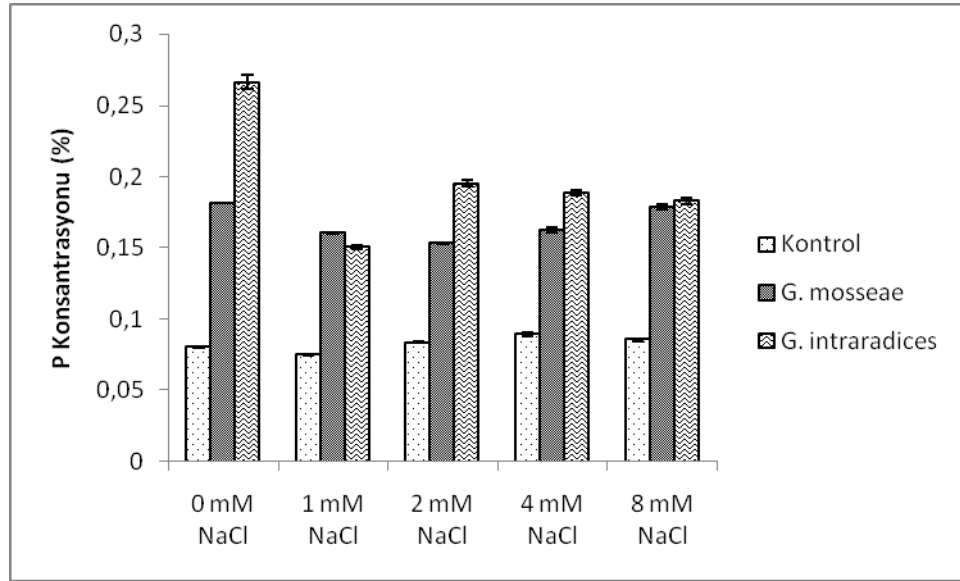
** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

4.1.2.4. Fosfor (P) konsantrasyonu

İkinci deney setinde mikorizalı biber bitkisinin yaprak ve gövde dokularındaki fosfor (P) konsantrasyonu, mikorizalı bitkilerde mikorizasızlara göre daha yüksek bulundu. *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin P konsantrasyonu (% 0,266), mikorizasız bitkilere (% 0,081) göre yaklaşık 3 kat daha yüksektir (Şekil 4.2.6.). Mikoriza ($p < 0,001$) ve tuz ($p < 0,001$) uygulamalarının P konsantrasyonu üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (Çizelge 4.2.3.). Tuz

uygulamaları mikorizasız bitkilerin yapraklarının P konsantrasyonunda belirgin değişikliklere neden olmadı. Bununla birlikte, mikorizalı bitkiler tüm tuz konsantrasyonlarında mikorizasız bitkilere göre daha yüksek fakat tuz uygulanmayan bitkilere göre daha düşük P içermektedir. Fosfor konsantrasyonları bakımından mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşim (interaksiyon) istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p < 0,001$).



Şekil 4.2.6. İkinci deney setinde biber bitkisinin yaprak ve gövde dokularındaki fosfor (P) konsantrasyonu, $n=3$.

Çizelge 4.2.3. İkinci deney setinin fosfor konsantrasyonuna ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 0,104594 | 0,05229 | 12337,3 | 0,000*** |
| Tuz | 4 | 0,010500 | 0,00262 | 619,2 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 0,013209 | 0,00165 | 389,5 | 0,000*** |
| Hata | 30 | 0,000127 | 0,00000 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

4.1.2.5. Klorofil a içeriği

İkinci deney setinde biber bitkisinin tuz uygulanmayan *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerin klorofil a içeriği (1,514 mg g⁻¹), mikorizasız bitkilerin (1,483 mg g⁻¹) ve *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin (1,413 mg g⁻¹) klorofil a değerlerinden daha yüksek olarak belirlendi. Mikoriza türleri arasında klorofil a içeriği bakımından farkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edildi (p<0,001) (Çizelge 4.2.4.). Tuz uygulamalarından özellikle 8 mM NaCl uygulamasında *G. mosseae* ve mikorizasız bitkilerin klorofil a değerinin arttığı, bununla beraber *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde klorofil a içeriğinin azaldığı belirlendi (Çizelge 4.2.5.). Mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşimin (interaksiyon) klorofil a içeriği üzerine istatistiksel olarak anlamlı etkisinin olduğu belirlendi (p<0,05).

Çizelge 4.2.4. İkinci deney setinin klorofil a içeriğine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 0,13930 | 0,06965 | 105,5 | 0,000*** |
| Tuz | 4 | 0,00661 | 0,00165 | 2,5 | 0,063 |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 0,01255 | 0,00157 | 2,4 | 0,041* |
| Hata | 30 | 0,01980 | 0,00066 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

Çizelge 4.2.5. İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki klorofil a içeriği, klorofil b içeriği, klorofil a/b oranı değerleri, n=3.

| Mikoriza | Tuz (mM NaCl) | Klorofil a (mg.g ⁻¹) | Klorofil b (mg.g ⁻¹) | Klorofil a/b Oranı |
|------------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Mikorizasız | 0 | 1,483 ± 0,042 | 2,452±0,017 | 0,6050±0,020 |
| | 1 | 1,471 ± 0,004 | 2,418±0,032 | 0,6084±0,010 |
| | 2 | 1,490 ± 0,021 | 2,440±0,023 | 0,6107±0,014 |
| | 4 | 1,481 ± 0,016 | 2,392±0,025 | 0,6195±0,013 |
| | 8 | 1,519 ± 0,003 | 2,380±0,059 | 0,6389±0,016 |
| <i>G. mosseae</i> | 0 | 1,514±0,004 | 2,434±0,024 | 0,6221±0,006 |
| | 1 | 1,516±0,007 | 2,439±0,017 | 0,6216±0,007 |
| | 2 | 1,509±0,011 | 2,426±0,021 | 0,6220±0,007 |
| | 4 | 1,502±0,055 | 2,406±0,059 | 0,6250±0,038 |
| | 8 | 1,532±0,008 | 2,433±0,012 | 0,6299±0,001 |
| <i>G. intraradices</i> | 0 | 1,413±0,03 | 2,593±0,069 | 0,5451±0,021 |
| | 1 | 1,402±0,005 | 2,567±0,066 | 0,5465±0,015 |
| | 2 | 1,329±0,022 | 2,622±0,082 | 0,5073±0,023 |
| | 4 | 1,402±0,027 | 2,581±0,045 | 0,5432±0,015 |
| | 8 | 1,385±0,003 | 2,326±0,078 | 0,5961±0,021 |

4.1.2.6. Klorofil b içeriği

İkinci deney setinde en yüksek klorofil b içeriği, *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde belirlendi. Tuz uygulanmayan *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde klorofil b içeriği ($2,593 \text{ mg g}^{-1}$), mikorizasız bitkilerden ($2,452 \text{ mg g}^{-1}$) ve *G. mosseae* ile enfekte bitkilerin klorofil b içeriğinden ($2,434 \text{ mg g}^{-1}$) daha yüksek olarak belirlendi. Tuz uygulamalarında genel olarak klorofil b içeriğinde azalma gözlenirken, 4 ve 8 mM NaCl uygulamalarında bu azalmanın daha belirgin olduğu gözlendi (Çizelge 4.2.5.). Mikoriza türleri arasında klorofil b içeriği bakımından farkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edildi ($p<0,001$) (Çizelge 4.2.6.). Tuz uygulamalarının klorofil b içeriğine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi ($p<0,001$). 8 mM NaCl uygulamasında, *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin klorofil b içeriğinde oldukça belirgin bir azalmanın olduğu gözlendi. Mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşimin (interaksiyon) klorofil b içeriği üzerine istatistiksel olarak anlamlı etkisinin olduğu belirlendi ($p<0,001$).

Çizelge 4.2.6. İkinci deney setinin klorofil b içeriğine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 0,1350 | 0,0675 | 23,23 | 0,000*** |
| Tuz | 4 | 0,0814 | 0,0204 | 7,01 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 0,1046 | 0,0131 | 4,50 | 0,001*** |
| Hata | 30 | 0,0871 | 0,0029 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.2.7. Klorofil a/b oranı

İkinci deney setinde tuz uygulanmayan *G. mosseae* ile enfekte bitkilerin klorofil a/b oranı ($0,6221 \text{ mg g}^{-1}$), mikorizasız ($0,6050 \text{ mg g}^{-1}$) ve *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin klorofil a/b oranından ($0,5451 \text{ mg g}^{-1}$) daha yüksek olduğu

belirlendi (Çizelge 4.2.5.). 8 mM NaCl uygulaması ile klorofil a/b oranının mikorizalı ve mikorizasız bitkilerde belirgin şekilde arttığı gözlemlendi. Mikoriza türleri arasında klorofil a/b oranı bakımından farkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edildi ($p<0,001$) (Çizelge 4.2.7.). Tuz uygulamalarının klorofil a/b oranına etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi ($p<0,01$).

Çizelge 4.2.7. İkinci deney setinin klorofil a/b oranına ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 0,05323 | 0,02662 | 69,79 | 0,000*** |
| Tuz | 4 | 0,00860 | 0,00215 | 5,64 | 0,002** |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 0,00579 | 0,00072 | 1,90 | 0,097 |
| Hata | 30 | 0,01144 | 0,00038 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.2.8. Toplam klorofil içeriği

İkinci deney setinde tuz uygulanmayan mikorizalı bitkilerin yapraklarındaki toplam klorofil içeriği, mikorizasız bitkilerdekine göre daha yüksektir. Fakat mikorizanın toplam klorofil içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edildi. En yüksek klorofil düzeyi tuz uygulanmayan *G. intraradices* ile enfekte bitkilerin yapraklarında ($4,006 \text{ mg g}^{-1}$) ölçüldü. Tuz uygulamalarının ($p<0,001$) ve tuz-mikoriza ($p<0,001$) etkileşiminin toplam klorofil içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (Çizelge 4.2.8.). Tuz uygulanan bütün uygulama gruplarında toplam klorofil içeriğinde küçük artış ve azalmalar görülürken, *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin 8 mM NaCl uygulanan grubunda belirgin bir azalma gözlemlendi (Çizelge 4.2.9.).

Çizelge 4.2.8. İkinci deney setinin toplam klorofil içeriğine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 0,0102 | 0,0051 | 2,2 | 0,130 |
| Tuz | 4 | 0,0554 | 0,0139 | 5,9 | 0,001*** |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 0,1325 | 0,0166 | 7,1 | 0,000*** |
| Hata | 30 | 0,0702 | 0,0023 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

Çizelge 4.2.9. İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki toplam klorofil içeriği, toplam karotenoid içeriği, karotenoid/klorofil oranı değerleri, n=3.

| Mikoriza | Tuz (mM NaCl) | Toplam Klorofil (mg.g ⁻¹) | Toplam Karotenoid (µg.g ⁻¹) | Karotenoid/Klorofil oranı |
|------------------------|---------------|---------------------------------------|---|---------------------------|
| Mikorizasız | 0 | 3,936±0,035 | 7,847±0,051 | 1,994±0,005 |
| | 1 | 3,888±0,029 | 7,953±0,240 | 2,045±0,056 |
| | 2 | 3,930±0,006 | 7,841±0,042 | 1,995±0,009 |
| | 4 | 3,873±0,010 | 7,736±0,010 | 1,997±0,004 |
| | 8 | 3,900±0,057 | 7,897±0,010 | 2,025±0,031 |
| <i>G. mosseae</i> | 0 | 3,948±0,025 | 7,922±0,063 | 2,007±0,015 |
| | 1 | 3,955±0,012 | 7,953±0,042 | 2,011±0,013 |
| | 2 | 3,935±0,024 | 7,810±0,035 | 1,985±0,016 |
| | 4 | 3,908±0,007 | 7,847±0,135 | 2,008±0,034 |
| | 8 | 3,965±0,020 | 8,060±0,063 | 2,034±0,023 |
| <i>G. intraradices</i> | 0 | 4,006±0,065 | 8,151±0,017 | 2,035±0,034 |
| | 1 | 3,968±0,064 | 8,039±0,058 | 2,026±0,019 |
| | 2 | 3,950±0,065 | 7,897±0,042 | 1,999±0,040 |
| | 4 | 3,983±0,049 | 7,953±0,019 | 1,996±0,020 |
| | 8 | 3,712±0,077 | 7,940±0,010 | 2,139±0,045 |

4.1.2.9. Toplam karotenoid içeriği

İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki en yüksek toplam karotenoid içeriği *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin tuz uygulanmayan grubunda (8,151 µg g⁻¹) belirlenirken, tuz stresine bağlı olarak karotenoid içeriğinde azalma gözlemlendi (Çizelge 4.2.9.). Bununla birlikte, mikoriza uygulanan bitkilerin yapraklarındaki toplam karotenoid içeriği mikorizasız bitkilere göre daha yüksek

bulundu. *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerde 8 mM NaCl uygulamasına bağlı olarak karotenoid içeriğinin ($8,06 \mu\text{g g}^{-1}$) diğer bütün uygulama gruplarına ve tuz uygulanmayan *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilere göre ($7,92 \mu\text{g g}^{-1}$) belirgin bir şekilde arttığı gözlemlendi. Mikoriza ($p<0,001$) ve tuz uygulamalarının ($p<0,01$) toplam karotenoid içeriği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4.2.10.). Bununla beraber, toplam karotenoid içeriği bakımından mantar-tuz etkileşiminin anlamlı olmadığı tespit edildi.

Çizelge 4.2.10. İkinci deney setinin toplam karotenoid içeriğine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 0,150 | 0,075 | 9,3 | 0,001*** |
| Tuz | 4 | 0,175 | 0,044 | 5,4 | 0,002** |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 0,143 | 0,018 | 2,2 | 0,055 |
| Hata | 30 | 0,242 | 0,008 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.2.10. Karotenoid/klorofil oranı

İkinci deney setinde tuz uygulanmayan mikorizasız bitkilerin karotenoid/klorofil oranı ($1,994 \text{ mg g}^{-1}$), *G. mosseae* ($2,007 \text{ mg g}^{-1}$) ve *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin karotenoid/klorofil oranından ($2,035 \text{ mg g}^{-1}$) daha düşük olarak belirlendi (Çizelge 4.2.9.). Mikoriza türleri arasında karotenoid/klorofil oranı bakımından farkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edildi ($p<0,05$) (Çizelge 4.2.11.). 8 mM NaCl uygulamasında mikorizasız ve mikorizalı bitkilerin karotenoid/klorofil oranında artış olduğu, bu artışın mikorizalı bitkilerden *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde daha belirgin olduğu gözlemlendi. Tuz uygulamalarının karotenoid/klorofil oranına etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi ($p<0,001$). Mantar türleri ve tuz

uygulamaları arasındaki etkileşimin (interaksiyon) karotenoid/klorofil oranı üzerine istatistiksel olarak anlamlı etkisinin olduğu belirlendi ($p<0,05$).

Çizelge 4.2.11. İkinci deney setinin karotenoid/klorofil oranına ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 0,0088 | 0,0044 | 4,2 | 0,024* |
| Tuz | 4 | 0,0302 | 0,0076 | 7,3 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 0,0208 | 0,0026 | 2,5 | 0,032* |
| Hata | 30 | 0,0311 | 0,0010 | | |

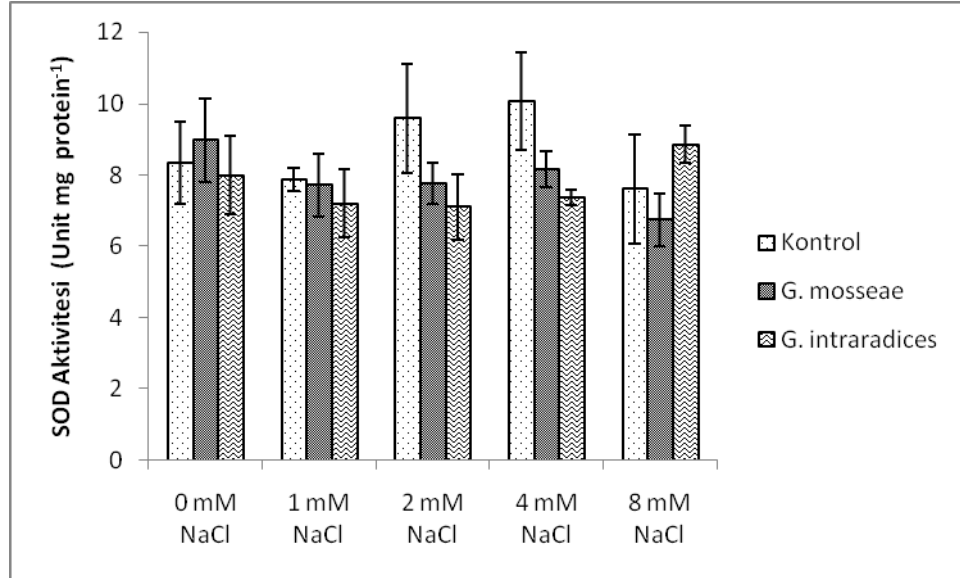
* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.2.11. SOD aktivitesi

İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki spesifik SOD aktivitesi, çalışmamızın birinci deney setinden elde edilen sonuçların aksine, tuz uygulanan mikorizasız bitkilerde mikorizalı bitkilere göre daha yüksektir (Şekil 4.2.7.). Mikorizanın SOD aktivitesi üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,05$) (Çizelge 4.2.12.). Mikorizasız bitkilerde 2 mM NaCl (9,57 Unit mg protein⁻¹) ve 4 mM NaCl (10,05 Unit mg protein⁻¹) uygulamaları ile SOD aktivitesi tuz uygulanmayan mikorizasız kontrol bitkilerine (8,34 Unit mg protein⁻¹) göre artarken, 8 mM NaCl uygulandığında (7,61 Unit mg protein⁻¹) belirgin bir azalma tespit edildi. *G. mosseae* ve *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde tuz uygulamaları ile SOD aktivitesinin azaldığı görülürken, *G. intraradices*'de 8mM NaCl uygulaması ile SOD aktivitesinin belirgin bir şekilde arttığı gözlemlendi. SOD aktivitesi bakımından mantar-tuz etkileşiminin ve tuzun etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlendi.



Şekil 4.2.7. İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki SOD aktivitesi, n=3.

Çizelge 4.2.12. İkinci deney setinin SOD aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|--------|
| Mikoriza | 2 | 8,432 | 4,216 | 3,508 | 0,043* |
| Tuz | 4 | 6,131 | 1,533 | 1,275 | 0,302 |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 21,842 | 2,730 | 2,272 | 0,052 |
| Hata | 30 | 36,056 | 1,202 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli (p<0,05)

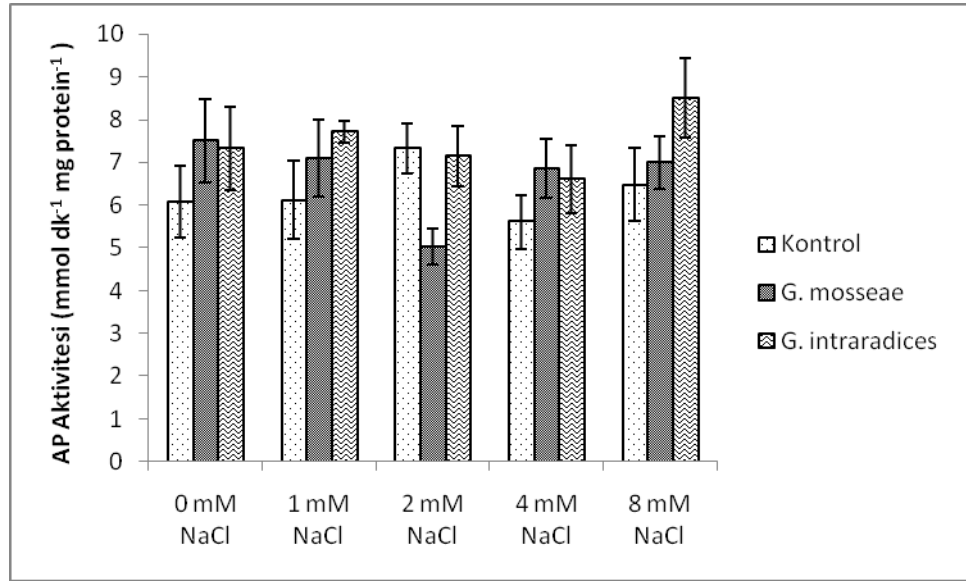
** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

4.1.2.12. AP aktivitesi

İkinci deney setinde biber bitkisinin tuz uygulanmayan *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerin spesifik AP aktivitesi ($7,50 \text{ mmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$), *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin ($7,32 \text{ mmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$) ve mikorizasız bitkilerin AP aktivitesinden ($6,08 \text{ mmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$) daha yüksek olarak belirlendi (Şekil 4.2.8.). Mantar türlerinin AP aktivitesi üzerine etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (p<0,01) (Çizelge 4.2.13.). En yüksek AP aktivitesi *G.*

intraradices ile enfekte olan bitkilerde 8 mM NaCl uygulaması ile (8,51 mmol dk⁻¹ mg protein⁻¹) görüldü. *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerin AP aktivitesinin tuz uygulamalarıyla azaldığı fakat bu azalmanın tuz konsantrasyonlarına bağlı olmadığı belirlendi. Bununla birlikte, tuz uygulamasının AP aktivitesi üzerine istatistiksel olarak önemli etkisinin olmadığı tespit edildi. AP aktiviteleri bakımından mantar-tuz etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlendi.



Şekil 4.2.8. İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki AP aktivitesi, n=3.

Çizelge 4.2.13. İkinci deney setinin AP aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|---------|
| Mikoriza | 2 | 10,008 | 5,004 | 6,868 | 0,004** |
| Tuz | 4 | 5,614 | 1,403 | 1,926 | 0,132 |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 16,591 | 2,074 | 2,846 | 0,058 |
| Hata | 30 | 21,858 | 0,729 | | |

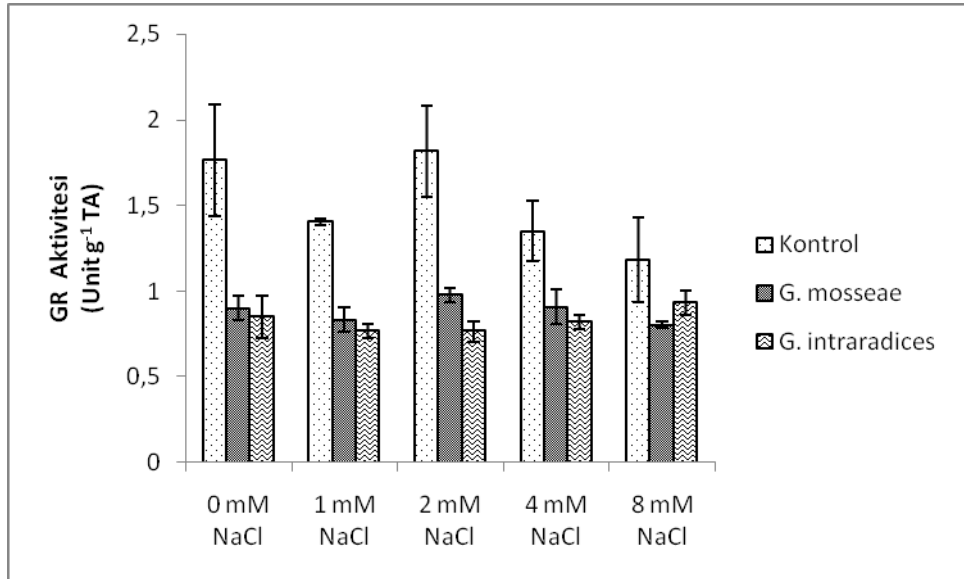
* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

4.1.2.13. GR aktivitesi

İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarında çalışmamızın birinci deney setinden elde edilen sonuçların aksine, mikorizasız bitkilerde mikorizalılara göre daha yüksek spesifik GR aktivitesi bulundu (Şekil 4.2.9.). Mikorizalı bitkilerde tuz uygulamalarının GR aktivitesinde belirgin değişikliklere neden olmadığı görüldü. Mikoriza türleri arasında GR aktiviteleri bakımından farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlendi ($p < 0,001$) (Çizelge 4.2.14.). Tuzun GR aktivitesine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edildi ($p < 0,05$). Mikorizasız tuz uygulanmayan bitkilerin GR aktivitesinin ($1,76 \text{ Unit g}^{-1} \text{ TA}$), 2 mM NaCl uygulaması ile arttığı ($1,82 \text{ Unit g}^{-1} \text{ TA}$), fakat diğer tuz uygulamalarında enzim aktivitesinin azaldığı gözlemlendi. GR aktivitesi bakımından mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşim (interaksiyon) istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p < 0,05$).



Şekil 4.2.9. İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki GR aktivitesi, n=3.

Çizelge 4.2.14. İkinci deney setinin GR aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 4,21430 | 2,10715 | 78,390 | 0,000*** |
| Tuz | 4 | 0,36025 | 0,09006 | 3,350 | 0,022* |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 0,66268 | 0,08284 | 3,082 | 0,012* |
| Hata | 30 | 0,80641 | 0,02688 | | |

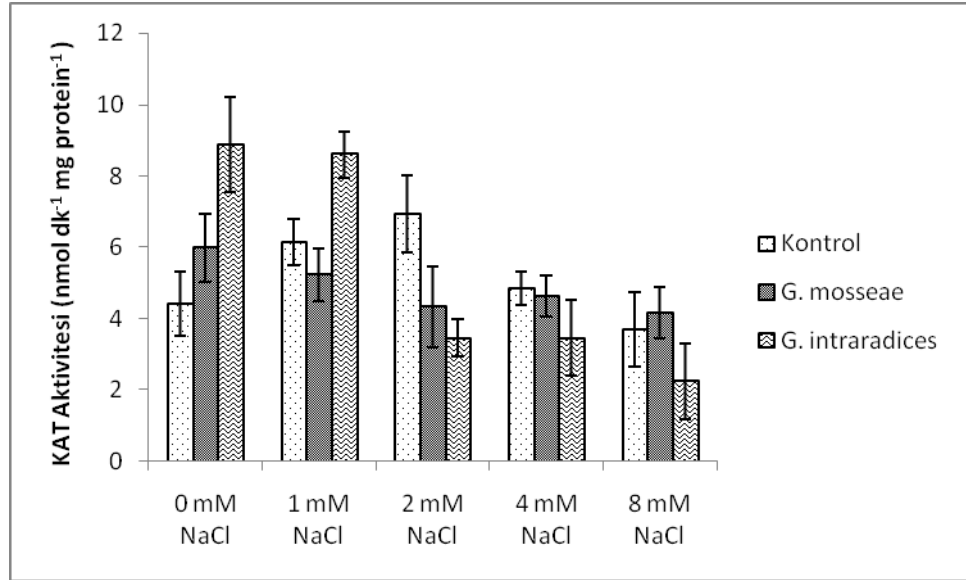
* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

4.1.2.14. KAT aktivitesi

İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki spesifik KAT aktivitesi, mikorizalı bitkilerde daha yüksek olarak belirlendi. En yüksek KAT aktivitesi, *G. intraradices* ile enfekte olan tuz uygulanmayan bitkilerde ($8,86 \text{ nmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$) ve 1 mM NaCl uygulamasında ($8,60 \text{ nmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$) belirlendi. Mikorizasız bitkilerde ise 1 mM NaCl ($6,14 \text{ nmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$) ve 2 mM NaCl ($6,95 \text{ nmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$) uygulamaları KAT aktivitesini kontrol grubuna göre ($4,41 \text{ nmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$) belirgin bir şekilde arttırırken, tuz konsantrasyonunun artması ile (8mM NaCl uygulaması) enzim aktivitesinin ($3,71 \text{ nmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$) azaldığı tespit edildi (Şekil 4.2.10.). Mikorizalı bitkilerde, tuz uygulamalarıyla birlikte KAT aktivitesinin azaldığı görüldü. *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde 8 mM NaCl uygulaması ile ($2,24 \text{ nmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$), tuz uygulanmayan bitkilere ($8,86 \text{ nmol dk}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$) göre yaklaşık olarak 4 kat bir azalma gözlemlendi. KAT aktivitesi bakımından mantar türleri ve tuz uygulamaları arasındaki etkileşim (interaksiyon) istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,001$). Mikoriza uygulamaları arasında KAT aktivitesi bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark görülmezken, tuz uygulamaları açısından istatistiksel olarak önemli farklılık belirlendi ($p<0,001$) (Çizelge 4.2.15.).



Şekil 4.2.10. İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki KAT aktivitesi, n=3.

Çizelge 4.2.15. İkinci deney setinin KAT aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 1,690 | 0,845 | 0,847 | 0,439 |
| Tuz | 4 | 70,151 | 17,538 | 17,573 | 0,000*** |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 76,549 | 9,569 | 9,588 | 0,000*** |
| Hata | 30 | 29,940 | 0,998 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli (p<0,05)

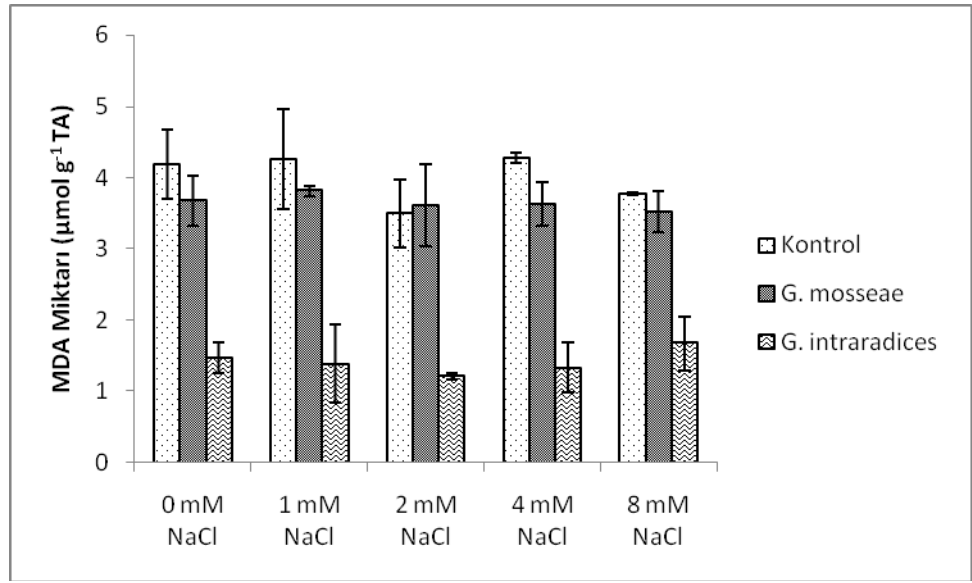
** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

4.1.2.15. Lipid peroksidasyonu

İkinci deney setinde, birinci setinden elde edilen sonuçlara benzer olarak en yüksek MDA miktarı mikorizasız bitkilerin yapraklarında tespit edildi. Tuz uygulanmayan *G. intraradices* ile enfekte bitkilerde (1,47 $\mu\text{mol g}^{-1}$ TA), mikorizasız kontrol bitkilere (4,18 $\mu\text{mol g}^{-1}$ TA) ve *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilere göre

(3,68 $\mu\text{mol g}^{-1}$ TA) belirgin düzeyde daha düşük MDA miktarı belirlendi (Şekil 4.2.11.). Tuz uygulamalarının mikorizalı bitkilerdeki MDA miktarını önemli düzeyde etkilemediği ve istatistiksel olarak da anlamlı olmadığı belirlendi. Bununla beraber özellikle 8 mM NaCl uygulaması ile *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde MDA miktarının da arttığı tespit edildi. MDA miktarları bakımından mantar-tuz etkileşimi anlamlı değilken, mikoriza türleri arasında MDA miktarlarında istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu belirlendi ($p < 0,001$) (Çizelge 4.2.16.).



Şekil 4.2.11. İkinci deney setinde biber bitkisinin yapraklarındaki MDA miktarı, n=3.

Çizelge 4.2.16. İkinci deney setinin MDA miktarına ait varyans analizi sonuçları.

| Varyasyon Kaynakları | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F değeri | Prob |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Mikoriza | 2 | 57,9261 | 28,9630 | 154,822 | 0,000*** |
| Tuz | 4 | 0,7348 | 0,1837 | 0,982 | 0,432 |
| Mikoriza+Tuz | 8 | 1,2905 | 0,1613 | 0,862 | 0,558 |
| Hata | 30 | 5,6122 | 0,1871 | | |

* İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$)

** İstatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli ($p<0,01$)

*** İstatistiksel olarak %0,1 düzeyinde önemli ($p<0,001$)

Uzun dönem düşük konsantrasyon tuz uygulanan ikinci deney setinde, birinci deney setine benzer olarak mikorizanın biber bitkisinin gelişimini olumlu yönde etkilediği ve *G. intraradices*'in *G. mosseae*'ye göre bitki gelişimini daha çok artırdığı belirlendi. Tuz dozları arasında bitkide meydana gelen fizyolojik değişiklikler doğrultusunda özellikle 8 mM NaCl'nin olumsuz etkilerinin olduğu belirlendi. Sonuç olarak tuz uygulamalarında mikorizanın bitkinin dayanıklılığını artırdığı gözlemlendi.

4.2.TARTIŞMA

4.2.1. Bitkilerin Genel Görünüşü

Çalışmanın her iki deney setinden elde edilen verilere göre mikoriza uygulamasının bitki gelişimi üzerinde olumlu etki gösterdiği belirlendi. Araştırma bulguları çeşitli araştırmacıların çalışmaları ile paralellik göstermektedir [21, 22, 79, 80]. Çalışmada özellikle Zn eksikliğinin şiddetli olduğu Eskişehir Sultanönü Bölgesi'ndeki aluviyal ana materyal üzerinde oluşan toprak materyali kullanıldı. Toprak özellikleri göz önünde bulundurulduğunda Zn'nin yanı sıra toprağın diğer özelliklerinin de bitki yetiştiriciliği, özellikle mikro besin elementleriyle beslenme açısından sorunlu olduğu bilinmektedir [81]. Her iki deney setinden elde edilen bulgular sonucunda bitki besin elementlerince fakir olan toprakta mikorizanın bitki gelişimi için oldukça etkili olduğu gözlemlendi.

Her iki deney setinde de *G. intraradices* ile enfekte olan biber bitkilerinin *G. mosseae*'dan daha iyi büyüme ve gelişme gösterdikleri belirlendi. Aguilera-Gomez ve ark. [79] düşük P içerikli toprakta biber bitkisinin *G. intraradices* ile iyi enfekte olduğu ve bitki gelişiminin arttığını bildirdi. Martin ve Stutz [22], *G. intraradices*'in biber bitkisinde normal koşullarda ve yüksek sıcaklıkta gövde büyümesini artırdığını vurgulamıştır. Şensoy ve ark. [21], AMF'nin biber bitkisinin fide özelliklerini iyileştirdiğini fakat bitki genotiplerinin mikoriza türlerine karşı farklı yanıtlar verdiğini, bu nedenle hangi genotipin hangi mikoriza türü ile daha iyi birlik oluşturduğunun araştırılması gerektiğini vurgulamıştır.

Biber bitkisine farklı arbusküler mikorizal mantar türleri (*Glomus fasciculatum*, *Glomus macrocarpum*, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora laevis*, *Sclerocystis dussii*) aşılandığında, mikorizal mantarlar arasında en fazla *Glomus macrocarpum*'un büyümede etkili olduğu vurgulanmıştır [82]. Mikoriza mantarı ile inokülasyonun meyve verimini, gövde P konsantrasyonunu, Zn, Cu, Mn ve Fe alımını ve gövde kuru madde ağırlığını artırdığı belirtilmiştir. Araştırmacılar biber bitkisinin mikoriza

mantarı ile aşılması sonucunda kullanılacak fosforlu gübre oranının %50 oranında azaltılabileceğini bildirmişlerdir.

Verticillium patojeni ile enfekte olan *C. annuum* cv. Piquillo ile yapılan bir çalışmada, arbusküler mikoriza etkinliğinin *Glomus* türleri arasında farklılık gösterdiği belirtilmiştir. *G. mosseae*'nin bitki gelişimi üzerinde olumlu etkisinin olduğu fakat bu etkinin patojenle enfekte olmuş bitkilerde görülmediği belirtilmiştir. *G. deserticola* ile enfekte olan bitkilerin mikorizasız bitkilere göre daha iyi geliştikleri ve mikorizal birliğin patojenin zararlı etkilerini azaltılabileceği belirtilmiştir. *G. intraradices* ile enfekte olan biber bitkisinde ise patojenle enfeksiyon şiddetinin mikorizasız bitkilerden bile daha fazla olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle mikoriza türlerinin biber bitkisine etkisinin farklı biyotik ve abiyotik stres şartlarına bağlı olabileceği söylenebilir [30].

Piper nigrum (siyah biber) bitkisi ile yapılan bir çalışmada, en fazla kök ağırlığının ve primer kök miktarının *Gigaspora margarit* ile enfeksiyonu sonucu görüldüğü, en uzun primer kökün ise *Glomus fasciculatum* ile enfekte olan bitkilerde olduğu belirtilmiştir [83]. *Sesbania aegyptiaca* ve *S. grandiflora* bitkileri ile yapılan bir çalışmada ise *Glomus macrocarpum*'un tuzluluk koşullarında mikorizalı fidelerin mikorizasızlara göre daha uzun kök ve gövde kuru ağırlığına sahip oldukları belirtilmiştir [19].

Lycopersicon esculentum (domates) [13] ve *Gossypium arboreum* (pamuk) [84] ile yapılan çalışmalarda, tuz stresi altında *Glomus mosseae*'nin bitki gelişimine olumlu etkisinin olduğu ve mikorizanın tuzun zararlı etkilerinden bitkiyi koruyabildiği belirtilmiştir. Zhong Qun ve ark. [85], domates bitkisinde AMF inokülasyonunun tuz stresinde ve normal koşullarda bitkinin büyümesini artırdığını belirtmiştir. *Lotus glaber* bitkisinde ise *G. intraradices*'in bitki büyümesini artırdığı, tuza toleranslı genotipte daha etkili bir simbiyotik birlik oluşturduğu belirtilmiştir [86]. Çalışmamızda her iki deney setinde tuz stresinde mikorizalı bitkilerin yapraklarının tuz uygulanmayan mikorizalı bitkilerin yaprakları kadar koyu yeşil oldukları gözlemlendi. Benzer şekilde P oranı düşük, tuzlu toprakta yetiştirilen *Allium*

cepa bitkilerinde AMF ile inokülasyon sonucunda bitkilerin daha yeşil oldukları belirtilmiştir [58].

Lycopersicon esculentum ile yapılan bir çalışmada, domates bitkisi tuzlu ve tuz içermeyen topraktan izole edilen AMF ile inoküle edilip farklı konsantrasyonda tuz içeren toprakta yetiştirilmiştir. Tuzsuz topraktaki AMF gövde uzamasını artırırken, tuzlu topraktaki arbusküler mikorizanın sürgün ve kök uzamasını baskıladığı ve AMF'nin tuzlu toprakta bitkinin yaşayabilmesi için yararlı etkileri olabileceği belirtilmiştir [87]. Çalışmamızda uzun ve kısa dönem tuz streslerinde AMF'nin bitki gelişimine olumlu etkilerinin olduğu belirlendi. Ghorbanlı ve ark. [88], mikorizanın soya fasulyesinde tuz koşullarında bitki büyümesini artırdığını ve bu artışın bitkileri oksidatif strese karşı koruyan antioksidan enzim aktivitelerini artırmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Çalışmamızda benzer şekilde mikorizalı biber bitkisinin mikorizasızlara göre daha iyi geliştiğinin gözlenmesi, artan antioksidan aktivitesi ile bağlantılı olduğu söylenebilir.

Lactuca sativa bitkisinin kuraklık koşullarında yetiştirilmesi sırasında *Glomus* türlerinin marul bitkisi üzerinde oldukça önemli etkilerinin olduğu, *G. deserticola* ile enfekte olan bitkilerde kuraklıkla yaprak alanı % 9 azalırken, *G. occultum* ile enfekte bitkilerde azalmanın % 70 olduğu bildirilmiştir. Bitki gelişiminin ilk döneminde (6 hafta) farklı mikoriza ile enfekte olan bitkilerde belirgin farkın olmadığı, kuraklık stresinden sonra ise mikorizalı bitkilerin yaprak gaz değişimi ve yaprak alanları arasındaki farkın belirginleştiği vurgulanmıştır. Bu çalışma ile *Glomus* türlerine ve uygulama zamanının etkisine dikkat çekilmiştir [89].

Çalışmamızda mineral içeriği düşük toprak kullanıldığından dolayı, tuz konsantrasyonundan bağımsız olarak mikorizasız bitkilerin çok yavaş geliştiği, özellikle yüksek tuz konsantrasyonu kullanılan ilk deney setinde iki ayın sonunda mikorizasız bitkilerin yapraklarında şiddetli kloroz olduğu belirlendi. Tuz stresinin yaprak senesensini artırdığı [90] ve mikorizasız bitkilerin yapraklarının tuzluluktan daha çok etkilendiği söylenebilir. *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin tuzun zararlarından daha az etkilendiği belirlendi. Bununla birlikte, ilk deney setindeki

mikorizalı bitkilerde yoğun tuz (200 mM NaCl) uygulamalarına bağlı olarak bitki yapraklarında yer yer kloroz gözlenirken, daha düşük konsantrasyonda kloroza nadiren rastlandı. Klorozun sadece yoğun tuz konsantrasyonunda görülmesi, mikorizanın bitkide tuz stresinin olumsuz etkilerini azaltabileceğini göstermektedir.

İkinci deney setinde, biber bitkisinin gelişim süresi boyunca uygulanan düşük konsantrasyonlu tuza bağlı olarak mikorizasız bitkilerde şiddetli kloroz gözlendi. Oransal su içeriğinin azalması ve membran geçirgenliğinin bozulması klorozun artmasına neden olabilir. Sonuçlarımıza göre, biber bitkisi fide gelişimi süresince tuza maruz kaldığında birinci deney setinden elde edilen bulgulara benzer olarak mikorizanın bitki gelişimini artırdığı görülmüştür. *G. intraradices*'in biber bitkisinin tuz stresine dayanıklılığının artmasında daha etkili olduğu belirlendi. Fidelere uzun süreli ve düşük konsantrasyonda tuz uygulamalarının bitkilerin büyüme ve gelişmesini baskılamadığı gibi, bitkilerin tuza toleransını da artırabilir. Kısa süreli ve yüksek tuz konsantrasyonunun mikoriza ile enfekte olan bitkilerin de gelişimini olumsuz etkilediği ve tuza duyarlılığı artırdığı söylenebilir. Her iki deney setinden elde edilen verilere göre, mikorizanın bitkinin dayanıklılık mekanizmasını geliştirdiği ve bunun sonucunda bitkilerin tuzlu toprakta daha iyi geliştikleri gözlemlendi.

4.2.2. Oransal Su İçeriği (OSİ)

Arbusküler mikorizal birliğin su sıkıntısına karşı bitkinin toleransını ve su kullanım etkinliğini artırdığını belirten çalışmalar bulunmaktadır [91, 92]. Ruiz-Lozano ve ark. [89], su kullanım etkinliğindeki artışın ekstra misel üretilmesi ile kök iletkenliğinin artmasının bir sonucu olduğunu vurgulamıştır. Mikorizal mantarın kuraklık şartlarında bitkilerin kök morfolojilerini değiştirerek yaygın hifleri ile bitkinin topraktan suyu emme yeteneğini artırdıkları bilinmektedir [92]. Soya fasulyesi ile yapılan bir çalışmada arbusküler mikorizanın kuraklığa karşı konak bitkiyi koruduğu ve mikorizalı bitkilerin mikorizasız bitkilere göre kuraklık stresinde daha fazla yaprak su potansiyeline, sürgün ağırlığına ve düşük lipid peroksidasyonuna sahip oldukları belirtilmiştir [93]. Çalışmamızda benzer şekilde

mikorizalı bitkilerin OSİ değerlerinin mikorizasız bitkilerden daha yüksek olduğu bulundu.

Biber bitkisi ile yapılan bir çalışmada, normal koşullarda *Glomus fasciculatum*'un, kuraklık stresinde ise *Glomus* ssp. (ZAC-19)'nin yapraklarındaki oransal su içeriğini arttırdığı belirtilmiştir. Kuraklık uygulamasından 14 gün sonra *Glomus fasciculatum*'un bitkilerin OSİ'sini artırdığı fakat bu artışın ZAC-19 ile enfekte olan bitkilerde daha fazla olduğu, bu nedenle stres süresinin mikorizanın etkinliğini belirlediği vurgulanmıştır [94]. Çalışmamızda, mikorizasız bitkilere kısa süreli ve uzun süreli tuz uygulandığında tuz ile birlikte OSİ'de azalma belirlenirken, mikorizalı bitkilerde mikorizasızlara göre daha yüksek OSİ tespit edildi. Değerlerin uygulama süresi, mantar türleri ve tuz konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiği saptandı.

Brassica türlerinin farklı genotipleri ile yapılan bir çalışmada, en düşük yaprak su potansiyelinin yüksek tuz konsantrasyonunda belirlendiği, kontrol bitkilerinde OSİ'nin yüksek olduğu ve genotipler arasında önemli farklılıkların bulunduğu belirtilmiştir. Tuzlu topraklarda bitkinin yüksek OSİ ve turgor potansiyeline sahip olmasının bitkinin yaşayabilmesi için gerekli olduğu vurgulanmıştır [95]. *Triticum durum* düzenli sulanarak ve farklı su sıkıntıları uygulanarak yetiştirildiğinde, her iki durumda da OSİ'nin azaldığı fakat *G. claroideum* ile enfeksiyonun oransal su içeriğini artırarak yaprak su miktarını koruduğu ve toplam kuru ağırlığı artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca hücre membran geçirgenliğinin bozulmasının OSİ'nin azalması ile ilgili olduğu ve bu durumun senesensi hızlandırabileceği vurgulanmıştır [96]. Çalışmamızın her iki deney setinde de mikorizasız bitkilerde OSİ'nin mikorizalı bitkilere göre düşük olması ve tuz uygulanması ile birlikte OSİ'nin azalması ve yapraklarda görülen kloroz bu araştırmacıların bulgularıyla uygunluk göstermektedir.

Farklı tuz toleransına sahip olan *Lotus glaber* genotiplerinde *G. intraradices*'in normal koşullarda toplam su içeriğini artırdığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, mikoriza ile enfekte olan tuza hassas bitkilerde tuz stresi koşullarında mikorizasızlara

göre daha düşük miktarda su içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir [86]. Bu nedenle bitkinin tuza karşı toleransının mikorizal ilişkiden bağımsız olduğu düşünülebilir.

Çalışmamızda, yaprakların oransal su içeriğinin mikoriza inokülasyonu ile arttığı ve kısa süreli ve yüksek tuz konsantrasyonundan daha az etkilendiği görüldü. Biber bitkisinin yapraklarındaki OSİ her iki deney setinde de mikorizalı bitkilerde özellikle *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde mikorizasızlara ve *G. mosseae* ile enfeksiyonlu bitkilere göre daha yüksek olduğu belirlendi. Bu sonuçlara göre, tuz stresinde ve tuz stresinden bağımsız olarak su kullanım etkinliğini artırması bakımından *G. intraradices*'in *G. mosseae*'dan daha etkili olduğu söylenebilir.

4.2.3. Kök Enfeksiyonu

Topraktaki fosfor (P) miktarı mikorizal birliğin oluşumunu etkileyen önemli bir faktördür [38, 39] ve Ortaş ve ark. [40], yüksek P konsantrasyonunun kök enfeksiyonunu ve spor sayısını düşürdüğünü bildirmişlerdir. Ortaş ve ark. [41], P ve Zn miktarının artmasıyla mikorizal bağımlılığın azaldığı fakat bu bağımlılığın Zn'den daha çok P'ye bağlı olduğunu belirtmiştir. P konsantrasyonu düşük olan toprakta yetiştirilen biber bitkisinde *G. intraradices* ile enfeksiyonun düşük P koşullarında daha yüksek olduğu vurgulanmıştır [79]. Valentine ve ark. [97], mikoriza enfeksiyon oranının P içeriğine ve diğer elementlerin ulaşılabilirliğine bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir. Düşük P ve diğer minerallerin yüksek miktarlarda bulunması en fazla enfeksiyona ve maksimum net fotosenteze sebep olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle çalışmamızda her iki deney setinde P içeriği düşük olan Eskişehir Sultanönü toprağı kullanıldı.

Fasulye bitkisine (*Phaseolus vulgaris*) *G. clarum*'un *G. intraradices*'den daha iyi enfekte olduğu belirtilmiştir. Ayrıca enfeksiyon oranının reaktif oksijen türlerinin temizleyicilerinin oluşmasında etkili olabileceği belirtilmiştir [98]. Bu nedenle bitkilerin hangi mikoriza ile birlik oluşturacağı ve hangi mikoriza ile verimin artacağı detaylı olarak araştırılmalıdır. Biber bitkisi ile yapılan bir çalışmada yüksek sıcaklıkta en iyi kolonizasyonun *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde

görüldüğü, yüksek sıcaklıkta en fazla arbuskül ve vesikül oluşumunun ise *Glomus* karışımlarından *G. intraradices*'te gerçekleştiği belirtilmiştir [22]. Biber bitkisi ile yapılan başka bir çalışmada ise *G. intraradices*'in % 76,4 oranı ile iyi bir şekilde kolonize olduğu belirtilmiştir [99].

Glomus fasciculatum ve *Glomus* ssp. (ZAC-19) ile yapılan bir çalışmada, biber bitkisine normal koşullarda *Glomus fasciculatum*'un daha iyi enfekte olduğu, fakat kuraklık koşullarında *Glomus* ssp. (ZAC-19) ile enfeksiyonun arttığı belirtilmiştir [94]. *Piper nigrum* (siyah biber) bitkisi ile yapılan bir çalışmada ise, *Gigaspora margarita*, *Glomus fasciculatum* ve *Acaulospora laevis* arasında en yüksek enfeksiyonun *A. laevis* ile gerçekleştiği belirtilmiştir [83]. Bu nedenle enfeksiyonun mikoriza türüne ve stres koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterdiği bilinmektedir.

G. versiforme ile enfekte olan *Citrus tangerine* bitkisi ile yapılan bir çalışmada su stresinin AMF kolonizasyonunu indirdiği belirtilmiştir [15]. Tuzun varlığı ve konsantrasyonu da kolonizasyonu etkileyebilir. Zhong Qun ve ark. [85], tuz konsantrasyonunun kök kolonizasyonunu değiştirdiğini ve tuzun artmasıyla birlikte kolonizasyonda azalma olduğunu belirtmiştir. Yüksek tuz konsantrasyonunun AMF kök kolonizasyonunu ve sporları inhibe etmesinin yanında hif büyümesini de engellediği, böylece topraktaki AMF yoğunluğunun azaldığı bilinmektedir [55, 58]. Çalışmanın her iki deney setinde de tuz konsantrasyonu ile enfeksiyon arasında benzer bir ilişki olduğu belirlendi. Her iki mikoriza türü ile enfeksiyonun, tuzun uygulama dozuna ve süresine bağlı olduğu belirlendi.

Birinci deney setinde tuzun yüksek konsantrasyonunda (200 mM NaCl) inokülasyon azalırken, ikinci deney setinde tuz uygulanan grupların tümünde, uygulanmayanlara göre enfeksiyonun azaldığı belirlendi. İkinci deney setinde tuz uygulamasıyla enfeksiyonun tuz uygulanmayan bitkilere göre daha belirgin düzeyde azalmasının nedeni, fide gelişiminin başlangıcından itibaren düşük konsantrasyonda tuz uygulamasının mantarın bitki köküne girişini yavaşlatmasına bağlı olabilir. Bu görüşümüz, enfeksiyon derecesinin bitkilerin vejetasyon zamanına bağlı olduğunu

bildiren araştırmacıların bulgularını doğrulamaktadır [100]. Aynı araştırmacılar çeşitli halofit bitki familyalarının AMF ile kuvvetli bir şekilde enfekte olduğunu, fakat enfeksiyon derecesinin bitki tūrüne gōre de değiştiğini bildirmişlerdir. Bu nedenle mikorizal enfeksiyon bitkinin tuz stresine karşı verdiği yanıtı değiştirebilir.

4.2.4. Fosfor (P) Konsantrasyonu

AMF, önemli elementlerin kōkler tarafından alımı ve iletilmesi için oldukça etkili özelleşmiş bir sistemdir [101]. P, bitki bōyümesi için oldukça önemli bir besin elementidir. Önceki alışmalar AMF'nin bitkilerde P alımını artırmasından dolayı bitki gelişimine pozitif etkisinin olduğunu vurgulamıştır [102, 103]. P konsantrasyonu düşük olan toprakta yetiştirilen biber bitkisinde *G. intraradices* ile enfeksiyon sonucunda mikorizasız bitkilere gōre iek organlarının gelişiminin arttığı bildirilmiştir [79]. *G. intraradices* ile birlik oluşturan biber bitkilerinde P konsantrasyonunun arttığı (%35-45) ve bunun da biber bitkilerinin gelişimini olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir [99]. Çalışmamızda her iki deney setinden elde ettiğimiz bulgulara gōre, *G. intraradices* ile enfekte olan biber bitkisinin normal koşullarda ve tuz koşullarında daha yüksek P konsantrasyonuna sahip olmaları bitkilerin daha iyi gelişmelerini sağlamıştır.

Çalışmamızda mikorizasız bitkilerin % P konsantrasyonu, bitki yapraklarındaki P içerikleri için kritik değer olarak kabul edilen % 0,2'den [104] belirgin düzeyde düşük olduğu görölmektedir. Mikorizasız bitkilerde bu değerlerin tuz uygulamalarıyla daha da azaldığı tespit edilmiştir. Mikorizalı bitkilerin P konsantrasyonlarının mikorizasız bitkilere gōre daha yüksek olması, mikorizanın mineral içeriği düşük olan toprakta yetiştirilen biber bitkisine P alımında olumlu etkilerinin olduğunu göstermektedir. Her iki deney setinden elde edilen bulgulara gōre *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin P konsantrasyonlarının kritik değerlerin üzerinde olduğu tespit edildi. Bu sonuçlar, *G. intraradices*'in bitki gelişiminde daha etkili olduğunu göstermektedir.

Akpınar [105], mısır, pırasa, soğan ve üçgül bitkilerinde *G. mosseae* ve *G. etunicatum* ile enfekte olan bitkilerin P ve Zn içeriklerinin daha yüksek olduğunu vurgulamıştır. *Piper nigrum* (siyah biber) bitkisinde ise *G. fasciculatum*'un P içeriğini artırdığı belirtilmiştir [83]. *G. intraradices*, *Glomus sp.* (AZ 112) ve karışımlarının biber bitkisinde P oranını artırdığı fakat yüksek sıcaklıkta mikorizalı bitkilerin P konsantrasyonunun azaldığı belirtilmiştir [22]. Bu nedenle stres tipinin mikorizal birliğin etkinliğini değiştirebildiği söylenebilir.

P oranı düşük ve tuzlu toprakta yetiştirilen *Allium cepa* bitkilerinde AMF ile inokülasyon sonucunda bitkilerin daha yeşil oldukları ve mikorizanın P yoksunluğunun ve tuzun olumsuz etkilerini düzelttiği vurgulanmıştır [58]. Bu sonuçlar, çalışmamızın her iki deney setinden elde ettiğimiz bulgularla paralellik göstermektedir.

Düşük tuz konsantrasyonlarında *Acacia nilotica* bitkisinde *Glomus fasciculatum*'un etkisinin incelendiği bir çalışmada, mikorizalı bitkilerde daha fazla miktarda P, Zn ve Cu bulunduğu belirtilmiştir. Tuz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte mikorizal bitkilerde besin içeriği azalmıştır [18]. Tuz stresinde mikorizanın P alımını arttırdığını bildiren başka çalışmalar da bulunmaktadır [19]. Al-Karaki [13], *Lycopersicon esculentum* bitkisinde tuzluluk koşullarında *G. mosseae*'nın bitki gelişimini olumlu etkilediği ve mikorizal mantar ile enfekte olan bitkinin gövde P, K, Zn, Cu ve Fe değerlerinin yüksek olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, arbusküler mikoriza ile inokülasyonun tuz stresinin olumsuz etkilerini azalttığı belirtilmiştir. Çalışmamızda ise her iki deney setinde mikorizanın P alımını artırdığı fakat tuz koşullarında P alımında azalma olduğu görüldü. Bununla birlikte, mikorizalı bitkilerin P değerlerinin mikorizasız bitkilerdekine göre daha yüksek olduğu belirlendi. Bu nedenle mikorizanın tuz stresi koşullarında bitkilerin P alımını arttırdığı bulgularımızda da gösterilmiştir.

Ortaş ve ark. [40], toprakta bulunan fosforun doğru yönetilmesi durumunda daha az gübreleme yapılarak ve verim kaybı olmadan üretim sağlanabileceğini vurgulamaktadır. Bu nedenle mikoriza ile artan P oranı ile biber bitkisinde daha az

gübre uygulamasına ihtiyaç duyulacaktır. Çalışmamızda tuz uygulamalarında mikorizalı bitkilerin P içeriğinin mikorizasız bitkilere göre daha fazla olması, tuz koşullarında yetişen biber bitkisinin özellikle *G. intraradices* ile enfeksiyonu sonucunda daha yüksek verim alınabileceği düşünülmektedir.

4.2.5. Klorofil İçerikleri

Bitki yapraklarındaki klorofil içeriği fotosentezin önemli bir göstergesidir. Yüksek tuzluluk sonucu fotosentezde meydana gelen belirgin inhibisyon PSII kompleksi ile ilişkilendirilmektedir. Tuz stresinin PSII aktivitesinin azalmasına neden olduğu bilinmektedir [106]. Tuz stresinin klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriğini azalttığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır [107]. Tuz uygulamaları ile tuza nispeten toleranslı olan *Lycopersicon esculentum* var.cerasiforme'nin klorofil a ve toplam klorofil içeriklerinde artışın olduğu, tuza toleranslı olmayan *Lycopersicon esculentum* var.Rheinlands Ruhm'da ise tuz stresi ile klorofil içeriklerinde belirgin şekilde azalma görüldüğü bildirilmiştir [108].

Deniz suyu ile sulanan pirinç bitkilerinin klorofil içeriklerinin azaldığı, dolayısıyla fotosentez oranının azaldığı ve tuzluluğun artmasıyla birlikte Ca^{+2} , Mn^{+2} ve K^{+} iyonlarının indirgenliği belirtilmiştir [109]. Başka bir çalışmada yüksek tuz konsantrasyonunda yetişen biber bitkilerinde daha düşük klorofil içeriğinin olduğu, bununla beraber tuzluluk koşullarında KNO_3 eklenmesiyle birlikte klorofil içeriğinde artış olduğu vurgulanmıştır [110]. Çalışmamızda ise klorofil içeriğinin benzer şekilde tuz stresi ile azaldığı fakat mikorizalı bitkilerin daha yüksek klorofil içeriğine sahip oldukları belirlendi. Bu nedenle tuzluluğun bitkide klorofil içeriği üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılması için mikorizanın dışarıdan ilave edilen kimyasal maddelerin yerine kullanılması önerilebilir.

Tuz stresi koşullarında *G. mosseae* ile enfekte olan mısır bitkisinin yapraklarındaki yüksek klorofil içeriği nedeniyle mikoriza ile kök enfeksiyonunun NaCl'nin zararlı etkilerini azalttığı vurgulanmıştır [14]. *Lotus glaber* bitkisinin tuza toleranslı genotiplerinde AMF ile birlik oluşturan bitkilerin klorofil içeriklerinin

mikorizasızlara göre daha yüksek olduğu, AMF birliğinin klorofil içeriği açısından tuza toleranslı olan genotipte daha etkili olduğu belirtilmiştir [86]. *Sesbania aegyptiaca* ve *S. grandiflora* bitkilerinde *G. macrocarpum*'un tuzluluk koşullarında mikorizalı fidelerin mikorizasızlara göre daha yüksek klorofil içeriğine sahip olduğu ve tuzun mikorizasız bitkilerde klorofil sentezini engelleyebileceği vurgulanmıştır [19]. Biber bitkisinde AMF inokülasyonunun klorofil içeriğini mikorizasız bitkilere göre artırdığı ve mikorizal mantarın (*Glomus fasciculatum* ve farklı yerlerden izole edilen karışık mikorizal mantar) kuraklığın olumsuz etkilerini azalttığı belirtilmiştir [49]. Mikorizal birlik ile güçlenen antioksidan savunma sisteminin, tuz stresi nedeniyle kloroplastlarda artış gösteren aktif oksijen türlerinin zararsızlaştırılmasıyla klorofillerin parçalanmasının engellendiği söylenebilir.

Vigna radiata ile yapılan bir çalışmada ise, *Glomus clarum*'un klorofil içeriğini artırdığı, deniz suyu ile sulama yapıldığında klorofil miktarının mikorizalı bitkilerde mikorizasızlara göre oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir [3]. *Lactuca sativa* ve *Allium cepa* bitkileri tuz stresine maruz bırakıldığında yüksek tuz konsantrasyonunda mikorizalı bitkilerin klorofil oranının daha yüksek ve yapraklarının daha yeşil oldukları bildirilmiştir [58]. Benzer olarak biber bitkisi ile yapılan bir çalışmada, *G. intraradices*'in klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriklerini mikorizasız bitkilere göre artırdığı belirtilmiştir [99]. Benzer şekilde çalışmamızda *G. intraradices*'in klorofil a ve klorofil b içeriğini belirgin şekilde artırdığı belirlendi.

Klorofil a/b oranındaki değişimlerin fotosistem I ve fotosistem II arasındaki koşullardan etkilenme bakımından farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir [70]. Çalışmamızda klorofil a/b oranı *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde daha düşük olarak belirlendi. Ünyayar ve ark. [111], kuraklığa toleranslı *Lycopersicon peruvianum* bitkisindeki klorofil a/b oranındaki azalmanın, PSII'yi kuraklık stresine karşı daha iyi koruyabileceğini bildirmiştir. Çalışmamızda ise *G. intraradices*'in tuzluluk koşullarında fotosistemlerin korunmasında daha etkili olabileceği düşünülmektedir.

Klorofil a/b oranının kuraklık stresinde mikorizalı ve mikorizasız mısır bitkisinde azaldığı, fakat mikorizasız bitkilerde klorofil a/b oranının daha düşük olduğu bildirilmiştir [112]. Çalışmamızda her iki deney setinde de tuz uygulanmayan bitkilerde en düşük klorofil a/b oranı *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde belirlendi, bu nedenle bu mikoriza türünün bitkiyi daha iyi koruyabildiği söylenebilir. Bununla beraber yüksek tuz uygulamalarında klorofil a/b oranının arttığı, dolayısıyla bu koşullarda mikoriza türünün etkinliğinin azalabileceği söylenebilir.

Biber bitkisinde senesensi hızlandıran *Verticillium* patojeninin klorofil içeriği üzerine olumsuz etkisinin mikoriza ile ortadan kaldırıldığı belirtilmiştir [30]. Su stresi sırasında ise *Zea mays* (mısır) bitkisinde *G. intraradices*'in klorofil içeriğini artırdığı ve farklı genotiplerde farklı yanıtların geliştiği vurgulanmıştır [112]. Buğday bitkisinde ise mikorizanın (*G. claroideum*) kuraklık stresinde klorofil içeriğini artırdığı ve senesensi geciktirdiği belirtilmiştir. *G. claroideum* ile buğday bitkisinin enfekte olması durumunda kuraklığın zararlı etkilerinin indirgenebileceği vurgulanmıştır. Mikorizalı bitkilerin yüksek klorofil içeriği, dokularda senesensi gösteren belirteçlerin azalması nedeniyle mikorizal aktivitenin bitkiyi kuraklığa karşı koruyabileceğini ve senesens sendromunu erteleyebileceğini göstermiştir [96].

Kısa süre ve yüksek konsantrasyonda tuz uygulanan ve *G.intraradices* ile enfekte olan biber bitkilerinin yapraklarındaki klorofil içeriğinin, *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerden ve mikorizasız bitkilerden daha yüksek olduğu belirlendi. Bununla birlikte *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde tuz konsantrasyonunun artmasıyla klorofil içeriğinde belirgin düşme görüldü. Artan tuz konsantrasyonu mikorizal ilişkiyi olumsuz etkileyebilir. *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilere ve mikorizasız bitkilere göre tuz stresinde metabolik ve fizyolojik durumun devamlılığı için daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Çalışmamızda, uzun süreli ve düşük konsantrasyonda tuz uygulandığında mikorizalı bitkilerde daha yüksek miktarda klorofil elde edilmesine karşılık, tuz stresine bağlı olarak bütün uygulama gruplarında, klorofil içeriği belirgin

değişiklikler göstermemiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda mikorizalı ve mikorizasız biber bitkilerinin uzun süreli ve düşük konsantrasyonlu tuza maruz kalması durumunda bitkilerin tuza dayanıklılığının artabileceği söylenebilir.

4.2.6. Toplam Karotenoid İçeriği

Karotenoidler ışığı toplayıcı pigmentlerdir ve stres koşullarında fotosentetik aygıtları koruyucu işlevleri vardır [113]. Ayrıca, fotosentetik sistemlerde karotenoidler (β -karoten ve ksantofiller) önemli antioksidan etkiye sahiptir [114, 115]. Çalışmamızın her iki deney setinde de, *G. intraradices* ile enfekte olan biber bitkilerinde mikorizasız ve *G. mosseae* ile enfekte olan bitkilerden daha yüksek karotenoid içerdiği belirlendi. Bu nedenle *G. intraradices*'in stres koşullarında biber bitkisinin fotosentez mekanizmasının korunmasında avantajlı olacağı söylenebilir.

Biber bitkisinde *Glomus fasciculatum* ve farklı bölgelerden alınan mikoriza örnekleri ile enfeksiyon sonucunda meyvedeki ksantofil ve karoten miktarlarının arttığı, kuraklık uygulandığında ise bu artışın mikorizalı bitkilerde daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Mikoriza türleri arasında biber bitkisine etki açısından farklar bulunduğu vurgulanmıştır [49].

Karotenoidlerin kloroplastlardaki anten komplekslerinde oluşan triplet klorofilin ortadan kaldırılmasında etkili olduğu ve karotenoidlerdeki azalmanın tilakoidlerde meydana gelen tekli oksijen miktarındaki artışla ilişkili olabileceğini bildiren çalışmalar [116, 117], mikorizalı ve mikorizasız biber bitkilerinde tuza bağlı karotenoid miktarındaki azalmayı açıklayabilir. Tilakoidlerde fotosentez sırasında tekli oksijen miktarının artması, β -karotenin parçalanmasına yol açabilir. Aynı zamanda stres sırasında (kuraklık ve tuz) klorofiller gibi karotenoid miktarı da azalma gösterebilir [116]. Benzer şekilde uzun süreli ve düşük konsantrasyonda uygulanan tuzun toplam karotenoid miktarını azalttığı görülmüştür.

Literatür bilgilerimize göre, karotenoidlerin fotosentetik membranın devamlılığı ve korunması için önemli olduğu bildirilmektedir [116]. Tuz

konsantrasyonunun artması ile biber bitkisinde karotenoid miktarının azalması ve MDA konsantrasyonunun artması literatür bilgisini desteklemektedir.

Her iki deney setinden elde ettiğimiz bulgulara göre karotenoid/klorofil oranının yüksek tuz konsantrasyonunda arttığı belirlenmiştir. Ünyayar ve ark. [111], Keleş ve Ünyayar [118] kuraklık stresi ile domates bitkisinde karotenoid/klorofil oranındaki artışın, karotenoidlerin koruyucu mekanizması sonucu oluşabileceğini bildirmiştir. Benzer şekilde Güzel [119], domates bitkisinde kuraklık stresi ile karotenoid/klorofil oranının arttığını, toleranslı olan türde artışın daha fazla olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda özellikle yüksek konsantrasyonda tuz uygulanan *G. intraradices* ile enfekte olan biber bitkilerinde karotenoid/klorofil oranının yüksek olması, bu mikoriza türünün yüksek dozda tuz stresi koşullarında bitkinin koruyucu mekanizmalarını daha iyi çalıştıracığı söylenebilir.

4.2.7. SOD Aktivitesi

Bitkiler reaktif oksijen türlerine karşı gelişmiş bir savunma sistemine sahiptir. Reaktif oksijen türlerinin üretimlerini sınırlayarak ve aynı zamanda onları süpürüp ortadan kaldırarak savunma gerçekleştirirler. Hücre içinde superoksit dismutaz (SOD), reaktif oksijen türlerine karşı savunmanın ilk basamağındadır [64]. $O_2^{\cdot-}$, SOD'un aktivitesi ile hızlı bir şekilde H_2O_2 'ye dönüşür [120]. Reaktif oksijen türlerinin (ROT) miktarının, üretim ve yıkım oranlarına bağlı olarak tuzluluk ile birlikte arttığı belirtilmiştir [121]. ROT metabolizması SOD, POD, KAT ve AP gibi çeşitli antioksidan enzimlerin işlevlerine bağlıdır [122, 123]. Çok sayıda bitkide antioksidan savunma sistemi ve tuz toleransı arasında kuvvetli bir ilişki olduğu bilinmektedir [85, 122, 123]. Reaktif oksijen türlerinin stres koşullarında meydana getirdiği hasarları yüksek antioksidan kapasitesinin önleyebildiği tespit edilmiştir [124]. Arbusküler mikorizadan bağımsız olarak önceki çalışmalar, domates bitkisindeki yüksek SOD, AP ve KAT aktivitelerinin tuz stresinde artan büyüme ve tuz toleranslılığı ile ilişkili olabileceği vurgulanmıştır [60, 62]. Mikorizal birliğin antioksidan enzim aktivitelerini artırdığı belirtilmiştir [125].

Sheng Wu ve ark. [15], *G. versiforme* ile enfekte olan *Citrus tangerine* bitkisinde iyi sulanmış şartlarda ve su stresinde SOD aktivitesinin AMF bitkilerinde mikorizasız bitkilere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu sonuçlarla antioksidan savunma mekanizmasının oksidatif hasarı azaltabileceği ve AMF birlikteliğinin enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan ürünleri artırarak kuraklık toleransını artırabileceği vurgulanmıştır. *Lactuca sativa* ile yapılan başka bir çalışmada ise, mikorizalı bitkilerin gövde ve köklerindeki SOD spesifik aktivitesinin mikorizasız bitkilere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir [126]. Çalışmamızda, artan SOD aktivitesinin tuz stresine maruz kalan biber bitkisinde mikorizanın koruyucu bir mekanizma olabileceği söylenebilir.

Myrtus communis ve *Phillyrea angustifolia*'nın kökünde ve gövdesinde kuraklık şartlarında arbusküler mikoriza *G. intraradices* ve 3 farklı mikoriza karışımının (*G. intraradices*, *G. deserticola* ve *G. mosseae*) SOD aktivitesini her iki türde önemli ölçüde azalttığı, mikorizasız bitkilerde ise kuraklık stresinde SOD aktivitesini artırdığı ayrıca AMF ile inoküle olan *Myrtus communis* ve *Phillyrea angustifolia*'nın kuraklık stresinde oksidatif hasarı önlemek için başka mekanizmalar geliştirebilecekleri belirtilmiştir [103]. Domates bitkisinin SOD aktivitesinin AMF ya da tuzluluk ile arttığı belirtilmiştir [85]. Çalışmamızda kısa süreli ve yüksek konsantrasyonda tuza maruz kalan mikorizalı bitkilerde SOD aktivitesi, 200 mM NaCl hariç, belirgin bir şekilde arttığı belirlendi. Buna karşılık, uzun süreli ve düşük konsantrasyondaki tuz uygulamalarında mikorizalı bitkilerde SOD aktivitesinin genel olarak azaldığı görüldü. Bu durum gelişim boyunca verilen tuza karşı bir alışmanın olabileceğini göstermektedir. Zhong Qun ve ark. [85], SOD aktivitesindeki azalmanın bitkinin tuz stresine karşı göstermiş olduğu bir adaptasyon olabileceğini belirtmiştir. İkinci deney setinden elde ettiğimiz sonuçlar Caravaca ve ark. [103]'ün elde ettiği bulgularla paralellik göstermektedir.

Zhong Qun ve ark. [85], domates bitkisinde AMF inokülasyonunun tuz stresinde ve normal koşullarda bitkinin büyümesini artırdığı ve tuzluluk koşullarında *G. mosseae*'nin SOD aktivitesini tuz stresinde ve normal koşullarda mikorizasız bitkilere göre artırdığı belirtilmiştir. Fakat yüksek tuz konsantrasyonunun (%1) SOD

aktivitesini mikorizalı ve mikorizasız bitkilerde azalttığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar, çalışmamızın birinci deney setinin bulgularıyla uygunluk göstermektedir. Zhong Qun ve ark. [85], tuz toleransının SOD ile birlikte POD ve AP aktiviteleri ile gerçekleştiğini vurgulamıştır.

Fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris*) ile düşük P koşullarında yapılan bir çalışmada *G. clarum* ile simbiyozisin son evresinde SOD aktivitesinin arttığı belirtilmiştir [98]. Porcel ve Ruiz-Lozano [93], kuraklık stresinin soya fasulyesi bitkisinde *G. intraradices* ile enfeksiyonu sonucunda SOD aktivitesini artırdığını belirtmiştir. Kuraklık stresi *Lactuca sativa* bitkinde SOD aktivitesini mikorizasız bitkilerde % 17 oranında artırırken, *G. mosseae* ile enfekte olan marul bitkisinde % 93, *G. deserticola* ile enfekte olanlarda % 128 oranında artırdığı belirtilmiştir. *G. deserticola*'nın marul bitkisinin kuraklığa karşı toleransının artmasına yardımcı olacağı belirtilmiştir [126].

Trifolium pratense-G. mosseae, *T. pratense-G. intraradices*, *Allium cepa-G. mosseae* ve *A. cepa-G. intraradices* ile yapılan bir çalışmada, mikorizasız *Trifolium* bitkisinde toplam SOD aktivitesinin 50 ve 80 günlük bitkilerde, 15 ve 30 günlük bitkilere göre iki kat arttığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, AMF ile inoküle olan bitkilerde ancak 80 gün sonra enzim aktivitesinin yükseldiği belirtilmiştir. Aynı şartlar altında yetiştirilen soğan bitkisinde enzim aktivitesinde herhangi bir değişiklik olmadığı vurgulanmıştır [127]. Bu nedenle SOD aktivitesindeki değişikliklerin büyüme zamanı, bitki ve mantar türüne bağlı olduğu söylenebilir.

4.2.8. AP Aktivitesi

H₂O₂ yıkımının diğer bir yolu H₂O₂'ye KAT'dan daha yüksek ilgiye sahip olan peroksidazlar yoludur. H₂O₂'yi ortadan kaldıran askorbat-glutasyon döngüsündeki enzimler bitkilerde yüksek aktiviteye sahiptir. Bu yoldaki ilk adım, H₂O₂ detoksifikasyonunda en önemli rolü olan askorbat peroksidazdır (AP). AP, H₂O₂'nin askorbat ile suya indirgenmesini katalizler [120].

G. mosseae ile enfekte olan tütün bitkisi ile yapılan bir çalışmada, AP aktivitesinin simbiyozis gelişiminin erken safhalarında uyarıldığı belirtilmiştir [128]. Sheng Wu ve ark. [15], su stresinde *Citrus tangerine*'nin köklerinde *G. versiforme* ile AP aktivitesinin arttığını vurgulamıştır. Benzer şekilde çalışmamızda, kısa süreli 100 mM NaCl uyguladığımızda mikorizalı biber bitkilerinde AP aktivitesinin arttığı belirlendi. Ghorbanlı ve ark. [88], mikorizalı bitkilerin yüksek AP aktiviteleri nedeniyle mikorizasızlara göre daha yüksek H₂O₂'i ortadan kaldıracak mekanizmalara sahip olduğunu belirtmiştir. Bununla beraber Porcel ve Ruiz-Lozano [93], *G. intraradices* ile enfekte olan soya fasulyesi bitkilerinde, kuraklık ya da iyi sulanmış koşullarda düşük AP aktivitesi olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda, kısa süre ve yüksek miktarda tuz uygulandığında (200 mM NaCl) AP aktivitesinin mikorizalı bitkilerde de belirgin düzeyde azaldığı belirlendi. Yüksek tuz konsantrasyonunun AP aktivitesinin inhibe olmasına yol açtığı söylenebilir. Gelişim süresi boyunca ve düşük konsantrasyonda uygulanan tuz mikoriza ile enfekte olan bitkilerin AP aktivitesini artırmıştır.

Tuzlu topraklarda *G. mosseae* ile enfekte olan domates bitkisinde AP aktivitesinin arttığı belirtilmiştir [85]. Domates bitkisinde arbusküler mikoriza ile tuz toleransının artabileceği, bu mekanizmanın AP, POD ve SOD enzimlerinin artışı ile gerçekleştiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, yüksek tuz konsantrasyonunun (% 1) mikorizalı domates bitkilerinde de AP aktivitesini azalttığı ve mikorizaya bağlı tuz toleransının tuz konsantrasyonu ile bağlantılı olduğu vurgulanmıştır. Bu bulgular çalışmamız ile uygunluk göstermektedir [85].

Olea europaea ssp. *Sylvestris* ve *Retama sphaerocarpa* bitkilerinde *G. claroideum*'un yarı kurak koşullarda AP aktivitesini artırdığı belirtilmiştir. Yarı kurak Akdeniz koşullarında yetiştirilen çalı bitkilerinin mikorizal kolonizasyon ile antioksidan aktivitesinin arttığı ve bu bitkilerin adaptasyon ve gelişimlerinin de arttığı vurgulanmıştır [125]. *G. intraradices* ile enfeksiyon sonucunda soya fasulyesi bitkisinde de kuraklık stresinde AP aktivitesinin arttığı belirtilmiştir [93].

4.2.9. GR Aktivitesi

GR ile birlikte AP'nin rol aldığı ASC-GSH döngüsü, bitkilerdeki önemli antioksidan savunma sistemlerinden biridir [129]. Zhong Qun ve ark. [85], AP aktivitesinin AMF ile birlikte aşamalı bir şekilde uyarıldığını bildirmiştir. Caravaca ve ark. [103], su sıkıntısı olan koşullarda AMF'nin oksidatif hasarı önleyen mekanizmalar geliştirdiğini bildirmiştir. Aynı araştırmacılar, *G. versiforme* ile enfekte olan *Citrus tangerine*'de iyi sulanmış şartlarda GR aktivitesinin AMF bitkilerinde mikorizasız bitkilere göre daha yüksek olduğunu bulmuştur. Benzer sonuçlar çalışmamızda kısa süreli ve 100 mM NaCl uygulamasında elde edildi. Sheng Wu ve ark. [15], enzimatik ve enzimatik olmayan ürünlerin oksidatif hasarı azalttığı ve tuz toleransını artırdığını vurgulamıştır.

G. intraradices'in *Lavandula spica* bitkisinde kuraklık şartlarında GR aktivitesini artırırken, glutasyon düzeyini azalttığı ve bu durumun kuraklık koşullarında simbiyotik birliğin etkinliği sonucu meydana gelebileceği belirtilmiştir [130]. Soya fasulyesi ile yapılan bir çalışmada kuraklık stresi ile köklerdeki GR aktivitesinin mikorizasız bitkilerde arttığı, *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerin köklerinde ise GR aktivitesinin azaldığı belirtilmiştir. Gövdedeki GR aktivitesi kuraklık stresinde mikorizalı ve mikorizasız bitkilerde benzer olurken, iyi sulanmış koşullarda GR aktivitesinin mikorizasız bitkilerde 40 kat daha yüksek olduğu belirtilmiştir [93].

G. claroideum'un enfekte ettiği *Olea europaea* bitkilerinde yarı kurak koşulların GR aktivitesini artırmadığı, *Retama sphaerocarpa* bitkisinde ise GR aktivitesinin arttığı belirtilmiştir [125]. Soya fasulyesi ile yapılan bir çalışmada ise mikorizalı bitkilerin köklerindeki GR aktivitesinin mikorizasız bitkilere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir [120]. Bulgularımıza göre, kısa süreli 100 mM NaCl uygulanan mikorizalı bitkilerde AP aktivitesindeki artışa benzer olarak GR aktivitesi de artış göstermiştir. Bununla birlikte, yüksek tuz konsantrasyonunun (200 mM NaCl) her iki mikorizalı bitkide GR aktivitesini azalttığı belirlendi. Buna karşılık, gelişim süresi boyunca verilen düşük konsantrasyondaki tuz uygulamasında

mikorizalı bitkilerde GR aktivitesinin tuz uygulanmayan bitkilere göre önemli bir değişiklik göstermediği, bununla birlikte mikorizasız bitkilere göre daha düşük olduğu belirlendi. Buna göre oksidatif hasar oluşturacak koşulların meydana gelmediği ve bitkinin gelişim süresi boyunca uygulanan tuza alışma göstermiş olabileceği söylenebilir.

4.2.10. KAT Aktivitesi

H₂O₂'nin kuvvetli bir oksidan olması ve tiol gruplarını hızlı bir şekilde okside etmesinden dolayı fazla miktarda depolanmasına izin verilmez. KAT peroksizomlarda H₂O₂'yi su ve moleküler oksijene dönüştürür [5, 9]. Porcel ve ark. [120], nodüllü soya fasulyesi köklerinde iyi sulanmış şartlarda *G. mosseae*'nin KAT aktivitesini uyardığını belirtmiştir. Çalışmamızda da KAT aktivitesi her iki deney setinde de mikorizasızlara göre daha yüksektir. Araştırmacılar, AMF ile uyarılan KAT aktivitesinin mikorizalı domates bitkilerinde tuz toleransının artırılmasında önemli olmayabileceğini fakat tuzlulukta önemli bir role sahip olduğunu belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar, domates bitkisinde *G. mosseae* ve düşük konsantrasyonda tuz uygulamalarının KAT aktivitesini geçici olarak artırdığı, fakat daha sonra mikorizasız bitkilerle aynı seviyeye geldiği belirtilmiştir. Mikorizalı domates bitkisinin tuza toleransında KAT'dan çok SOD, POD ve AP'nin daha etkili olduğu belirtilmiştir [85]. *G. intraradices* ile enfekte olan biber bitkilerinde yüksek konsantrasyonda (100 mM NaCl) tuz stresine bağlı olarak KAT aktivitesi tuz uygulanmayan gruba göre artış gösterirken, uzun süreli ve düşük konsantrasyondaki tuz uygulamasında azaldığı bulunmuştur.

Olea europaea ssp. *sylvestris*, *Retama sphaerocarpa* ve *Rhamnus lycioides* bitkilerine *G. claroideum* ve doğal mikoriza karışımı uygulaması yaparak yarı kurak koşullarda mikoriza uygulamasının KAT aktivitesini artırdığı ve bu bitkilerin verimliliğinin arttığı vurgulanmıştır [125]. Su stresine maruz bırakılan *G. versiforme* ile enfekte olan *Citrus tangerine* bitkilerinin köklerinde de KAT aktivitesinin arttığı belirtilmiştir [15]. Fasulye bitkisinde (*Phaseolus vulgaris*) ise *G. clarum*'un KAT miktarını simbiyozisin son evresinde artırdığı vurgulanmıştır [98]. Tütün bitkisinde

ise *G. mosseae*'nın simbiyozis gelişiminin erken safhalarında KAT aktivitelerini uyardığı belirtilmiştir [128].

Çalışmamızın her iki deney setinde de görüldüğü gibi, mikorizalı bitkilerde mikorizasızlara göre daha yüksek antioksidan enzim aktivitesi belirlendi. Ayrıca, kısa süre ve 100 mM NaCl uygulandığında mikorizalı bitkilerde enzim aktivitesinin artması, bitkinin strese girdiğini ve enzim aktivitelerini arttırdığını gösterebilir. Ancak, gelişim süresi boyunca verilen düşük konsantrasyondaki tuzun antioksidan enzim aktivitelerinde gözle görülür artışa yol açmaması bitkilerin bu süre boyunca tuzun etkisini tolere edebildiği ve alıştığı söylenebilir. Mikorizalı bitkilerde bu durumun daha belirgin olarak ortaya çıkması mikorizanın bitkinin strese alışmasına yardımcı olabileceğini gösterebilir.

4.2.11. Lipid Peroksidasyonu

Malondialdehit (MDA), stres koşullarında ya da doğal koşullar altında hücrelerin doymamış yağ asitlerinin enzimatik olarak parçalanması ve oksidasyonu sonucu oluşmaktadır [131]. Porcel ve Ruiz-Lozano [93], AMF ile enfekte olan soya fasulyesinde kuraklık stresinde lipidlerde daha az oksidatif hasarın olduğunu bildirmiştir. Önceki bir çalışmada, çalışmamıza benzer olarak AMF ile enfekte fidelerin mikorizasız fidelere göre daha düşük MDA içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir [85]. Domates bitkisinde *G. mosseae*'nin tuzluluk koşullarında AMF inokülasyonunun MDA miktarını azalttığı belirtilmiştir. Böylece bitkinin tuza toleransının AMF ile artabileceği vurgulanmıştır. Mikorizalı bitkilerde MDA konsantrasyonunun düşük olmasıyla tuz stresinde hücrelerde meydana gelebilecek olan hasarların da daha az olacağı vurgulanmıştır [85]. Çalışmamızda mikoriza uygulanmayan grupta tuz stresiyle birlikte MDA konsantrasyonu önemli ölçüde artarken, mikorizalı bitkilerde belirgin değişiklikler meydana gelmemiştir. Yazıcı ve ark. [131], artan antioksidan enzimlerle tuz toleransının sadece kısa dönemde değil uzun dönem tuz stresinde de hücresel membranları daha iyi koruduğunu bildirmiştir. Bunlar, ikinci deney setinden elde edilen sonuçlarımızla da uygunluk göstermektedir.

Kuraklık stresine maruz bırakılan *G. intraradices* ile enfekte olan soya fasulyesi bitkilerinde mikorizasız bitkilere göre lipid peroksidasyonunun biraz daha düşük olduğu belirtilmiştir. Lipid peroksidasyonunun düşük olması sonucunda mikorizalı bitkilerin kuraklık stresinde daha avantajlı olabileceği vurgulanmıştır [93]. *G. versiforme* ile enfekte olan *Citrus tangerine* bitkisinde ise su stresiyle MDA, H₂O₂ ve O₂⁻'nin mikorizalı ve mikorizasız bitkilerde arttığı fakat miktarlarının mikorizasız bitkilerde belirgin şekilde daha yüksek olduğu bildirilmiştir [15]. Benzer şekilde, soya fasulyesinin köklerinde kuraklığın bir sonucu olarak lipidlerde oksidatif hasarın arttığı ve mikorizasız bitkilere göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir [120]. Kuraklık stresinde ve normal koşullarda mikorizasız bitkilerin nodüllerindeki lipidlerin oksidatif hasarının daha yüksek olduğu ve köklerdeki oksidatif hasarın düşük olmasının antioksidatif enzim aktiviteleri ile bağlantılı olabileceği vurgulanmıştır.

Lipid peroksidasyonunun indikatörü olan MDA, stres uygulamalarında mikorizalı bitkilerdeki MDA miktarına göre mikorizasız biber bitkilerinde daha yüksek olduğu tespit edildi. Çalışmamızda, kısa süre uygulanan tuz konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak MDA konsantrasyonu mikorizasız bitkilerde artarken, uzun süreli tuz uygulamasında küçük artış ve azalmalar gözlemlendi. Uzun süre ve düşük konsantrasyonda tuz uygulandığında ise MDA içeriği mikorizalı bitkilerde belirgin değişiklikler göstermedi. Bu nedenle biber bitkisinin mikorizal birlik oluşturmasıyla tuzun zararlı etkisini ortadan kaldıracak antioksidan sistemini aktifleştirdiği ve bitkinin strese dayanıklılığını arttırdığı söylenebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Arbusküler mikorizanın biber bitkisinin gelişiminde olumlu etki gösterdiği belirlendi.
- Her iki deney setinden elde edilen morfolojik ve fizyolojik sonuçlar doğrultusunda verimsiz toprakta *Glomus intraradices* ile enfeksiyonun *Glomus mosseae*'ye göre biber bitkisinin gelişimi açısından daha avantajlı olacağı belirlendi.
- Biber bitkisinin uzun süre ya da kısa süreli tuza maruz kalması durumunda mikorizalı biber bitkisinin mikorizasız bitkilere göre daha dayanıklı olduğu gözlemlendi.
- Tuz stresinde *G. intraradices*'in *G. mosseae*'ya göre biber bitkisi üzerinde daha olumlu etkilerinin olduğu belirlendi. Fakat bu etkinin tuz konsantrasyonuna ve stresin süresine göre değişebileceği görüldü.
- Bitkilerin çimlenmesinden itibaren tuz stresine maruz kalmasının mikoriza enfeksiyonunu azalttığı belirlendi. Bu nedenle enfeksiyonun gerçekleşmesi için fide gelişimine kadar toprak tuzluluğunun azaltılması önerilebilir.
- Kısa süreli ve yüksek tuz stresi koşullarında mikorizalı bitkilerdeki antioksidan aktivitenin artışına bağlı olarak membranlardaki hasarın azaldığı belirlendi. Antioksidan aktivite bakımından *G. intraradices* enfeksiyonunun daha etkili olduğu saptandı.
- Tuz stresinde ve normal koşullarda lipid peroksidasyonu en az *G. intraradices* ile enfekte olan bitkilerde bulundu. Bu nedenle bu mikoriza türünün tuz stresinde biber bitkisine daha iyi etki yaptığı söylenebilir. Fakat tuz konsantrasyonunun artmasıyla bu mikoriza türünün etkisinin azaldığı belirlendi.

- Gelişim süresi boyunca ve düşük konsantrasyonda tuza maruz kalan mikorizalı bitkilerde antioksidan enzim aktivitelerinin belirgin değişiklikler göstermemesi ve membran hasarının azalması, mikorizanın bitkinin tuza alışmasına yardımcı olduğu ve bu konuda *G. intraradices*'in daha başarılı olduğu söylenebilir.
- Tuz stresinde mikoriza-bitki birliğindeki fizyolojik ve moleküler çalışmaların birlikte gerçekleştirilmesi bitki-arbusküler mikoriza etkileşiminin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.
- Dünyada kullanılabilir su kaynakları her geçen gün azalmaktadır. Gelecekte tarım arazilerinin sulanmasında tuzlu suların kullanılması gerekebilir. Arbusküler mikorizanın bitkideki tuz toleransını artırma mekanizmalarının moleküler biyoloji çalışmaları ile ayrıntılı olarak ortaya çıkarılmasının tuzlu topraklardan yüksek düzeyde verim alınmasında katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Al-Karaki, G.N. "Growth and mineral acquisition by mycorrhizal tomato grown under salt stress.", *Mycorrhiza*, **10**:51-4, (2000).
- [2] Juniper, S., Abbott, L. "Vesicular-arbuscular mycorrhizas and soil salinity", *Mycorrhiza* **4**:45-57, (1993).
- [3] Rabie, G.H., "Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and kinetin on the response of mungbean plants to irrigation with seawater" *Mycorrhiza*, **15**:225-230, (2005).
- [4] Dasgan, H.Y., Akbaş, H., Abak, K., Çakmak, İ. "Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses", *Plant Science* **163**:695-703, (2002).
- [5] Dionisio-Sese, M.L., Tobita, S. "Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress", *Plant Science*, **135**:1-9, (1998).
- [6] Hartley-Whitaker J., Ainsworth G. ve Meharg A.A. "Copper- and arsenate-induced oxidative stress in *Holcus lanatus* L. clones with differential sensitivity", *Plant , Cell and Environment*, **24**:713-722, (2001).
- [7] Sairam, R.K. ve Srivastava, G.C. "Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress", *Plant Science*, **162**:897-904, (2002).
- [8] Sreenivasulu N., Ramanjulu S., Ramachandra-Kini K., Prakash H. S., Shekar-Shetty H., Savithri H.S., Sudhakar C. "Total peroxidase activity and peroxidase isoforms as modified by salt stress in two cultivars of fox-tail millet with differential salt tolerance", *Plant Science*, **141**:1-9, (1999).
- [9] Hernandez, J. ve Almansa, M. S. "Short-term effects of salt stress on antioxidant systems and leaf water relations of pea leaves", *Physiologia Plantarum*, **115**:251-257, (2002).
- [10] Cho, K., Toler, H., Lee, J., Ownley, B., Stutz, J.C., Moore, J.L. "Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses." *Journal of Plant Physiology*, **163(5)**:517-528, (2006).

- [11] Ghazi, N., Al-Karaki, G.N. “Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water.” *Scientia Horticulturae*, **109**:1–7, (2006).
- [12] Sharifi, M., Ghorbanli, M., Ebrahimzadeh, H. “Improved growth of salinity-stressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi.” *Journal of Plant Physiology*, **9**:1144-1151, (2007).
- [13] Al-Karaki G. N. “Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water” *Scientia Horticulturae*, **109(1)**:1-7, (2006).
- [14] Feng, G., Zhang, F.S., Tian, X.L., Li.C.Y., Tang, C., Rengel, Z. “Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots” *Mycorrhiza*, **12**:185-190, (2002).
- [15] Sheng, Wu, Q., Ning Zou, Y., Xue Xia, R. “Effects of water stress and arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxygen metabolism and antioxidant production by citrus (*Citrus tangerine*) roots” *European Journal of Soil Biology*, **42**:166-172, (2006).
- [16] Ortaş, İ. “Mikoriza nedir?” *TÜBİTAK Dergisi*, 351, (1997).
- [17] Li, H., Smith, S. E., Holloway, R. E., Zhu, Y ve Smith, F. A. “Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorus uptake by wheat grown in a phosphorus-fixing soil even in the absence of positive growth responses” *New Phytologist*, **172**:536–543, (2006).
- [18] Giri, B., Kapoor, R. ve Mukerji, K. G. “Improved Tolerance of *Acacia nilotica* to Salt Stress by Arbuscular Mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be Partly Related to Elevated K/Na Ratios in Root and Shoot Tissues” *Microbial Ecology*, **54(4)**:753-760, (2007).
- [19] Giri ,B. ve Mukerji ,K.G., “Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake” *Mycorrhiza*, **14(5)**:307-312, (2004).
- [20] Smith, S., ve Read, D.J.. Mycorrhizal Symbiosis. Third Edition. Academic Pres. London, 800 s, (2008).

- [21] Şensoy, S., Demir, S., Turkmen, O., Erdinc, C. ve Savur, O. B. “Responses of some different pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi” *Scientia Horticulturae*, **113(1)**:92-95, (2007).
- [22] Martin, C. A., Stutz, J. “Interactive effects of temperature and arbuscular mycorrhizal fungi on growth, P uptake and root respiration of *Capsicum annuum* L.” *Mycorrhiza*, **14**:241–244, (2004).
- [23] Mehrotra, V. S. “Mycorrhiza: Role and Applications”, Allied Publishers, Hindistan 355 s., (2005).
- [24] Strack, D., Fester, T., Hause, B., Schliemann W. ve Walter M.H., “Arbuscular Mycorrhiza: Biological, Chemical, and Molecular Aspects”, *Journal of Chemical Ecology*, **29(9)**:1955-1979, (2003).
- [25] Koide, R.T. ve Mosse, B., “A history of research on arbuscular mycorrhiza”, *Mycorrhiza*, **14**:145-163, (2004).
- [26] Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G. ve Bending, G.D. “ Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming” *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **113(1-4)**:17-35, (2006).
- [27] Gücin, F., Tamer, A.Ü., Mikolojiye Giriş, Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Ders Notları No:1, Bursa, 121 s, (1997).
- [28] Song, H. “Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanism”, *Electronic Journal of Biology*, **1(3)**: 44-48, (2005).
- [29] Harrier, LA., “The arbuscular mycorrhizal symbiosis: a molecular review of the fungal dimension”, *Journal of Experimental Botany*, **52(Special Issue)**:469-478, (2001).
- [30] Garmendia, I., Goicoechea, N. ve Aguirreolea, J. “Antioxidant Metabolism in Asymptomatic Leaves of Verticillium-infected Pepper Associated with an Arbuscular Mycorrhizal Fungus” *Journal of Phytopathology*, **152**:593–599, (2004).
- [31] Alejo-Iturvide, F., Márquez-Lucio, M. A., Morales-Ramírez, I., Vázquez-Garcidueñas, M. S., Olalde-Portugal, V. “Mycorrhizal protection of chili plants challenged by *Phytophthora capsici*” *Journal of Plant Pathology*, **120(1)**:13-20, (2008).

- [32] Richardson, K.A., Peterson, R.L. & Currah, R.S., “Seed reserves and early symbiotic protocorm development of *Plantanthera hyperborea* (*Orchidaceae*). Canadian Journal of Botany”, **70**: 291-300, (1992).
- [33] Ruiz-Lozano, J. M., Collados, C., Barea, J. M. ve Azcón, R. “Arbuscular mycorrhizal symbiosis can alleviate drought-induced nodule senescence in soybean plants” *New Phytologist*, **151**:193-502, (2001).
- [34] Karandashov, V. ve Bucher, M., “Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas”, *TRENDS in Plant Science*, **10 (1)**: 22-29, (2005).
- [35] John, T., “The Importance of Mycorrhizal Fungi and Other Beneficial Microorganisms in Biodiversity Projects”, *Western Forest Nursery Associations Meeting*, 14-18, (1992).
- [36] Kuiper, P.J.C., Kuiper, D., Schuit, J. “Root functioning under stress conditions: an introduction” *Plant and Soil*, **111(2)**: 249-253, (1988).
- [37] Muthukumar, T., Udaiyan, K., Shanmughavel, P., “Mycorrhiza in sedges-an overview”, *Mycorrhiza*, **14**:65–77, (2004).
- [38] Ryan, M. H. ve Graham, J. H. “Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture?” *Plant and Soil*, **244**:263–271, (2002).
- [39] Ortaş, İ. “Effect of Selected Mycorrhizal Inoculation on Phosphorus Sustainability in Sterile and Non-sterile Soils in the Harran Plain in South Anatolia” *Journal of Plant Nutrition*, **26(1)**:1–17, (2003).
- [40] Ortaş, İ., Kaya, Z., Ülger, A.C., Akpınar, Ç. ve Demirbaş, A. “Fosforlu gübre uygulamasının uzun dönemde mısır bitkisinin verimine ve mikoriza oluşumu üzerine etkisi”, *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **20(3)**:9-16, (2005).
- [41] Ortaş, İ., Ortakçi, D., Kaya, Z., Çınar, A., Önelge, N., “Mycorrhizal dependency of sour orange in relation to phosphorus and zinc nutrition” *Journal of Plant Nutrition*, **25(6)**:1263–1279, (2002).
- [42] Baas, W.J. (2003). *Mycorrhiza van stinzenplante*, Erişim: www.ecologischgroen.be/bib/stinzen.html, [7 Aralık 2005].
- [43] Alves da Silva, G., Acioli dos Santos, B., Alves, M.V., Costa Maia, L., “Arbuscular mycorrhiza in species of *Commelinidae* (*Liliopsida*) in the state of Pernambuco (Brazil)”, *Acta Botanica Brasilica*, **15(2)**, (2001).

- [44] Parniske, M., “Molecular genetics of the arbuscular mycorrhizal symbiosis”, *Current Opinion in Plant Biology*, **7**: 414-421, (2004).
- [45] Hause, B., Mrosk, C., Isayenkov, S. ve Strack, D. “Jasmonates in arbuscular mycorrhizal interactions” *Phytochemistry* **68(1)**:101-110, (2007).
- [46] Requena, N., Serrano, E., Ocón, A. ve Breuninger, M. “Plant signals and fungal perception during arbuscular mycorrhiza establishment” *Phytochemistry*, **68(1)**:33-40, (2007).
- [47] Johansson, J. F., Paul, L.R., Finlay, R.D., “Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture”, *FEMS Microbiology Ecology*, **48**: 1–13, (2004).
- [48] Ortaş, İ. ve Akpınar, Ç. “Mikoriza inokülasyonu, kompost, hayvan gübresi ve mineral gübrelemenin buğday bitkisinin büyüme ve besin elementleri alımı üzerine etkileri” *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **20(4)**: 9-18, (2005).
- [49] Mena-Violante, H.G., Ocampo-Jiménez, O., Dendooven, L., Martínez-Soto, G., González-Castañeda, J., Davies Jr., F.T. ve Olalde-Portugal, V. “Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L.cv San Luis) plants exposed to drought” *Mycorrhiza*, **16**: 261-267, (2006).
- [50] Çelik, I., Ortaş, İ. Ve Kılıç, S. “Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil” *Soil and Tillage Research* **78**:59-67 (2004).
- [51] Toussaint, J. P., Smith, F. A. ve Smith, S. E. “Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition” *Mycorrhiza*, **17**:291–297, (2007).
- [52] Hu, Y. ve Schmidhalter, U. “Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of Plants” *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **168**:541–549, (2005).
- [53] Romero-Aranda, R., Soria, T., Cuartero, J. “Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions”, *Plant Science*, **160**:265-272, (2001).

- [54] Munns R. "Comparative physiology of salt and water stress", *Plant, Cell and Environment*, **25**:239-250, (2002).
- [55] Buscot, F. ve Varma, A. "Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions", Springer, Berlin, 419 s., (2005).
- [56] Bolat, N. Y. "Doğal ekosistemde bulunan mikoriza türlerinin kültür bitkilerinde adaptasyonun sağlanması" Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, 64 s., (2006).
- [57] Ortaç, I. ve Varma, A. "Field Trials of Bioinoculants", Varma, A., Oelmüller, R. (ed), Advanced Techniques in Soil Microbiology, Springer Berlin Heidelberg, s. 397-413, (2007).
- [58] Cantrell, I.C. ve Linderman, R. G. "Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity" *Plant and Soil*, **233**: 269-281, (2001).
- [59] Füzy, A., Biró, B., Tóth, T., Hildebrandt, U. ve Bothe, H., "Drought, but not salinity, determines the apparent effectiveness of halophytes colonized by arbuscular mycorrhizal fungi" *Journal of Plant Physiology*, **165(11)**: 1181-1192, (2008).
- [60] Mittova, V., Tal, M., Volokita, M., Guy, M. "Salt stress induces up-regulation of an efficient chloroplast antioxidant system in the salt-tolerant wild tomato species *Lycopersicon pennellii* but not in the cultivated species", *Physiologia Plantarum*, **115**:393-400, (2002).
- [61] Møller, I. M., Jensen, P. E. ve Hansson, A., "Oxidative Modifications to Cellular Components in Plants" *Annual Review of Plant Biology*, **58**: 459-481, (2007).
- [62] Shalata, A., Mittova, V., Volokita, M., Guy, M. ve Tal, M. "Response of cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt-dependent oxidative stress: The root antioxidative system", *Physiologia Plantarum*, **112**: 487-494, (2001).
- [63] Smirnoff, N. "Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants", *Journal of Plant Physiology*, **163**: 985-986, (2006).

- [64] Alscher, R. G., Erturk, N. ve Heath, L.S. "Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants", Journal of Experimental Botany, **53(372)**:1331-1341, (2002).
- [65] GlomusTaxonavigation(5Kasım2008)Erişim:<http://species.wikimedia.org/wiki/Glomus> [11 12 2008].
- [66] Koske, R.E. ve Gemma, J.N. "A modified procedure for staining roots to detect vam." Mycological Research, **92**: 486-505, (1989).
- [67] Giovannetti, M. ve Mosse, B. "An Evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhiza in roots." New Phytologist, **84**:489-500, (1980).
- [68] Murphy, Y. ve Riley, J.P. "A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters" Analytica Chimica Acta, **27**: 31-36 (1962).
- [69] Porra, R.J., Thompson, R.A. ve Kriedemann, P.E. "Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvent verification of the concentration of chlorophyll standarts by atomic absorption spectroscopy", Biochimica et Biophysica Acta, **975**:384-394, (1989).
- [70] Keleş, Y. "Bazı Çevresel Streslerin Etkisinde Kalan Buğday (*Triticum aestivum* L. ve *Triticum durum* Desf.) Fidelerinde Çeşitli Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişimlerin İncelenmesi", Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 91 s., (2000).
- [71] Moore, T.C. "Research Experiences in Plant Physiology", Springer-Verlag, New-York, 462 s, (1974).
- [72] Beyer WF., Fridowich, I., "Assaying for superoxide dismutase activity: Some large consequences of minor changes in conditions", Analytical Biochemistry, **161**:559-566, (1987).
- [73] Bonnet M., Camares O., Veisserie P., "Effects of zinc and influence of *Acremonium lolii* on growth parameters, chlorophyll a flurescence and antioxidant enzyme activites of ryegrass", Journal of Experimental Botany, **51**:945-953, (2000).

- [74] Carlberg I., Mannervik B., “Glutation Reductase”, *Methods in Enzymology*, **113**:484-490, (1985).
- [75] Aebi, H.E., Bergmayer J., Grabl, M., “Catalase in: *Methods of enzymatic analysis*”, Eds. Verlag Chemie, Weinheim, **3**: 273-286, (1983).
- [76] Hartree, E.F., “Determination of protein: A Modification of Lowry Metod that Gives a Linear Photometric Response” *Analytical Biochemistry*, **48**: 422-427, (1972).
- [77] Erarslan, A., Kazan, D. ve Öztürk, D.,”Enzimlerin Saflaştırılmasında Temel Yöntemler”, TUBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, (2000).
- [78] Ohkawa, H., Ohishi N. ve Yagi Y., “Assay of lipid peroxides in animal tissue by thiobarbituric acid reaction.” *Analytical Biochemistry*, **95**: 51–358, (1979).
- [79] Aguilera-Gomez, L., Davies, F.T. Jr., Olalde-Portugal, V., Duray, S.A. ve Phavaphutanon, L. “Influence of Phosphorus and Endomycorrhiza (*Glomus intraradices*) on gas exchange and plant growth of Chile Ancho Pepper (*Capsicum annuum* L. cv. San Luis)” *Photosynthetica*, **36(3)**: 441-449, (1999).
- [80] Bagyaraj, D.J. ve Seeramulu, K.R.”Preinocultion with VA-mycorrhizal improves growth and yield of chili transplants in the field and saves phospatic fertilizers”, *Plant and Soil*, **69**:375-381, (1982).
- [81] Eken, M. “Farklı biber (*Capsicum annuum* L.) tiplerinde çinko (Zn) etkinliğinin belirlenmesi” Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 61 s., (2007).
- [82] Sreenivasa, M.N. “Selection of an efficient vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus for chilli (*Capsicum annuum* L.)”, *Scientia Horticulturae*, **50(1-2)** : 53-58, (1992).
- [83] Thanuja, T.V., Hegde, R. V., Sreenivasa, M. N. “Induction of rooting and root growth in black pepper cuttings (*Piper nigrum* L.) with the inoculation of arbuscular mycorrhizae” *Scientia Horticulturae*, **92**: 339-346, (2002).
- [84] Tian, C. Y., Feng, G., Li, X. L. ve Zhang, F. S. “Different effects of arbuscular mycorrhizal fungal isolates from saline or non-saline soil on salinity tolerance of plants”, *Applied Soil Ecology*, **26(2)**:143-148, (2004).

- [85] Zhong Qun, H., Chao Xing, H., Zhi Bin, Z., Zhi Rong, Z. ve Huai Song, W. “Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress” *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **59(2)**:128-133, (2007).
- [86] Sannazzaro, A.I., Ruiz, O. A., Alberto, E. O., Mene´ndez, A. B. “Alleviation of salt stress in *Lotus glaber* by *Glomus intraradices*” *Plant Soil*, **285**:279–287, (2006).
- [87] Copeman, R. H., Martin, C. A., Stutz, J. C. “Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or nonsaline soils” *American Society for Horticultural Science Western Region Annual Meeting, Vancouver, British Columbia*, **31(3)**:322-325, (1996).
- [88] Ghorbanlı, M., Ebrahimzadeh, H. ve Sharifi, M. “Effects of NaCl and mycorrhizal fungi on antioxidative enzymes in soybean” *Biologia Plantarum*, **48(4)**: 575-581, (2004).
- [89] Ruiz-Lozano, J. M., Gomez, M., Azcon, R. “Influence of different *Glomus* species on the time-course of physiological plant responses of lettuce to progressive drought stress periods” *Plant Science*, **110(1)**:37-44, (1995).
- [90] Paranychianakis, N.V., Chartzoulakis, K.S., “Irrigation of Mediterranean crops with saline water: from physiology to management practices” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **106**:171–187, (2005).
- [91] Ruiz-Lozano, J. M., “Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies” *Mycorrhiza*, **13**:309–317, (2003).
- [92] Augé, R.M. “Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis” *Mycorrhiza*, **11**: 3–42, (2001).
- [93] Porcel, R., Ruiz-Lozano, M. “Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress”, *Journal of Experimental Botany*, **55(403)**: 1743-1750, (2004).

- [94] Davies, Jr. F.T., Olalde-Portugal, V., Aguilera-Gomez, L., Alvarado, M.J., Ferrera-Cerrato, R.C., Boutton, T.W. “Alleviation of drought stress of Chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. cv. San Luis) with arbuscular mycorrhiza indigenous to Mexico” *Scientia Horticulturae*, **92**:347-359, (2002).
- [95] Ashraf, M. Y. ve Sarwar, G. “Salt tolerance potential in some members of *Brassicaceae* physiological studies on water relations and mineral contents” *Prospects for Saline Agriculture*, Kluwer Academic Publishers Netherlands, 237-245, (2002).
- [96] Menconi, M., Sgherri, C.L.M., Pinzino, C. ve Navari-Izzo, F. “Activated oxygen production and detoxification in wheat plants subjected to a water deficit programme” *Journal of Experimental Botany*, **46**:1123-1130, (1995).
- [97] Valentine J., Osborne, B. A. ve Mitchell, D. T. “Interactions between phosphorus supply and total nutrient availability on mycorrhizal colonization, growth and photosynthesis of cucumber” *Scientia Horticulturae*, **88(3)**: 177-189, (2001).
- [98] Lambais, M. R., Ríos-Ruiz, W. F. ve Andrade, R. M. “Antioxidant responses in bean (*Phaseolus vulgaris*) roots colonized by arbuscular mycorrhizal fungi” *New Phytologist*, **160(2)**:421 – 428, (2003).
- [99] Demir, S. “Influence of Arbuscular Mycorrhiza on Some Physiological Growth Parameters of Pepper” *Turkish Journal of Biology*, **28**: 85-90, (2004).
- [100] Hildebrandt, U., Janetta, K., Ouziad, F., Renne, B., Nawrath, K. Bothe, H. “Arbuscular mycorrhizal colonization of halophytes in Central European salt marshes” *Mycorrhiza*, **10**:175–183, (2001).
- [101] Varma, A., Hock, B.” *Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology, and Biotechnology*”, Springer, Berlin Heidelberg New York, 704 s.(1999).
- [102] Sweatt, M.R. ve Davies, F.T., “Mycorrhizae, water relations, growth, and nutrient uptake of geranium grown under moderately high phosphorus regimes”, *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **109**:210–213, (1984).

- [103] Caravaca, F., Alguacil, M.M., Hernández, J.A. ve Roldán, A. “Involvement of antioxidant enzyme and nitrate reductase activities during water stress and recovery of mycorrhizal *Myrtus communis* and *Phillyrea angustifolia* plants” *Plant Science*, **169(1)**:191-197, (2005).
- [104] Jones, B.J. “Plant Nutrition Manual” CRC Press, 149 s., (1998).
- [105] Akpınar, Ç. “Farklı mikoriza türleri ve spor sayılarının değişik kültür bitkilerinde mikorizal infeksiyon ve bitki gelişimine etkisi” Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 90 s (2004).
- [106] Lu, C., Vonshok, A. “Effects of salinity stress on photosystem II function in cyanobacterial *Spirulina platensis* cells” *Physiology Plantarum*, **114**: 405-413 (2002).
- [107] Bolat, I, Kaya, C., Almaca, A., Timuçin, S. “Calcium sulfate improves salinity tolerance in rootstocks of plum” *Journal of Plant Nutrition*, 29: 553-564, (2006).
- [108] Çekiç, F.Ö. “Tuz (NaCl) ve ağır metal (kadmiyum) stresine maruz bırakılan domates bitkisinde bazı fizyolojik parametrelerin ve antioksidant savunma sisteminin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 91s., (2004).
- [109] Sultana, N., Ikeda, T. ve Kashem, M.A. “Effect of Seawater on Photosynthesis and Dry Matter Accumulation in Developing Rice Grains” *Photosynthetica*, **40(1)**: 115-119, (2002).
- [110] Kaya, C., Higgs, D. “Supplementary Potassium Nitrate Improves Salt Tolerance in Bell Pepper Plants” *Journal of Plant Nutrition*, **26(7)** :1367 – 1382, (2003).
- [111] Ünyayar, S., Keleş, Y., Çekiç, F.Ö., Antioxidative response of two tomato species with different drought tolerance as a result of drought and cadmium stress combinations, *Plant Soil and Environment*, **51(2)**, 57-64, (2005).
- [112] Subramanian, K. S., Charest, C., “Influence of arbuscular mycorrhizae on the metabolism of maize under drought stress” *Mycorrhiza*, **5**:273-278, (1995).

- [113] Siefertmann-Harms, D., “The light-harvesting and protective functions of carotenoids in photosynthetic membranes”, *Plant Physiology*, **69**:561-568, (1987).
- [114] Halliwell, B. “Oxidative damage, lipid peroxidation and antioxidant protection in chloroplasts”, *Chemistry and Physics of Lipids*, **44**:327-40, (1978).
- [115] Larson, R.A. “The antioxidants of higher plants”, *Phytochemistry*, **27(4)**:969-78, (1988).
- [116] Munné-Bosch, S., Peñuelas, J. “Drought-induced oxidative stress in strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) growing in Mediterranean field conditions”, *Plant Science*, **166**:1105-1110, (2004).
- [117] Choudhury, N.K., Behera, R.K. “Photoinhibition of photosynthesis: role of carotenoids in photoprotection of chloroplasts”, *Photosynthetica*, **39**:481-488, (2001).
- [118] Keleş, Y., Ünyayar, S. “Responses of antioxidant defence system of *Helianthus annuus* to abscisic acid treatment under drought and waterlogging” *Acta Physiologica Plantarum* **26(2)**: 149-156 (2004).
- [119] Güzel, A. “Kuraklık stresine maruz bırakılan domates bitkilerinde bazı fizyolojik ve büyüme parametreleri üzerine absisik asit (ABA) ve kalsiyumun (Ca^{+2}) etkisinin incelenmesi” Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 90 s., (2006).
- [120] Porcel, R., Barea J. M. ve Ruiz- J. M. “Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence” *New Phytologist*, **157(1)**:135 – 143, (2003).
- [121] Asada, K., “Production and action of active oxygen species in photosynthetic tissues” *Zn CH Foyer, PM Mullineaux (ed), Causes of Photooxidative Stress and Amelioration of Defense Systems in Plants*, CRC Press, London, s. 77-104, (1994).
- [122] Benavides, M.P., Marconi, P.L., Gallego, S.M., Comba, M.E., Tomaro, M.L., “Relationship between antioxidant defence systems and salt tolerance in *Solanum tuberosum*.” *Australian Journal of Plant Physiology*, **27**: 273-278, (2000).

- [123] Garratt, L.C., Janagoudar, B.S., Lowe, K.C., “Salinity tolerance and antioxidant status in cotton culture.” *Free Radical Biology and Medicine*, **33**: 502-511, (2002).
- [124] Harinasut, P., Poonsopa, D., Roengmongkol, K., Charoensataporn, R., “Salinity effects on antioxidant enzymes in mulberry cultivar.”, *ScienceAsia*, **29**: 109-113, (2003).
- [125] Alguacila, M. M., Herna' ndez, J. A., Caravaca, F., Portillo, B. ve Rolda' n, A. “Antioxidant enzyme activities in shoots from three mycorrhizal shrub species afforested in a degraded semi-arid soil” *Physiologia Plantarum*, **118**: 562–570, (2003).
- [126] Ruiz-Lozano, J.M., Azcón, R., Palma, J.M., “Superoxide dismutase activity in arbuscular mycorrhizal *Lactuca sativa* plants subjected to drought stress” *New Phytologist*, **134**: 327–333, (1996).
- [127] Martin, J., Garcia-Romera, I., Ocampo, J.A., Palma, J.M. “Superoxide Dismutase and Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Relationship between the Isoenzyme Pattern and the Colonizing Fungus Symbiosis” *Symbiosis*, **24(2)**: 247-258, (1998).
- [128] Blilou, P., Bueno, J.A., Ocampo ve Garcia-Garrido, J. “Induction of catalase and ascorbate peroxidase activities in tobacco roots inoculated with the arbuscular mycorrhizal *Glomus mosseae*” *Mycological Research*, **104**: 722–725, (2000).
- [129] Becana, M., Dalton, D.A., Moran, J.F., Iturbe-Ormaetxe, I., Matamoros, M.A., Rubio, M.C. “Reactive oxygen species and antioxidants in legume nodules” *Physiologia Plantarum*, **109**: 372–381, (2000).
- [130] Marulanda, A., Azcón, R. ve Ruiz-Lozano, J. M. “Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress” *Physiologia Plantarum*, **119(4)**: 526 – 533, (2003).
- [131] Yazici, I., Türkan, I., Sekmen, A. H. ve Demiral, T. “Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation” *Environmental and Experimental Botany*, **61(1)**: 49-57, (2007).

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Mersin’de doğdu. 1996 yılında İçel Anadolu Lisesi (İngilizce)’den mezun oldu. 1997 yılında Hacettepe Üniversitesi Yabancı Diller Yüksekokulu’nda 1 yıl Almanca dil eğitimi gördükten sonra Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Biyoloji Öğretmenliği (Almanca) bölümünden 2002 yılında mezun oldu. Aynı yıl Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2004 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladıktan sonra Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı’nda doktora eğitimine başladı. 2004 yılından bu yana Mersin Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.