



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**TUZ STRESİ ALTINDA YETİŞTİRİLEN ÇİLEK
BİTKİSİNİN (*Fragaria x ananassa* L.) GELİŞİMİ,
BESİN MADDE ALIMI VE VERİMİ ÜZERİNE
DOĞAL ARBUSKÜLER MİKORİZA
FUNGUSLARIN (AMF) ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Deniz İYİGÜNGÖR

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

İzmir

2025

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**TUZ STRESİ ALTINDA YETİŞTİRİLEN ÇİLEK
BİTKİSİNİN (*Fragaria x ananassa* L.) GELİŞİMİ,
BESİN MADDE ALIMI VE VERİMİ ÜZERİNE
DOĞAL ARBUSKÜLER MİKORİZA
FUNGUSLARIN (AMF) ETKİSİ**

Deniz İYİGÜNGÖR

Danışman: Prof. Dr. Nur OKUR

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Toprak Bilimi Yüksek Lisans Programı

İzmir

2025

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Çilek Bitkisinin (*Fragaria x ananassa* L.) Gelişimi, Besin Madde Alımı ve Verimi Üzerine Doğal Arbusküler Mikoriza Fungusların (AMF) Etkisi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

16 / 02 / 2025

Deniz İYİGÜNGÖR

ÖZET**TUZ STRESİ ALTINDA YETİŞTİRİLEN ÇİLEK BİTKİSİNİN
(*Fragaria x ananassa* l.) GELİŞİMİ, BESİN MADDE ALIMI VE
VERİMİ ÜZERİNE DOĞAL ARBUSKÜLER MİKORİZA
FUNGUSLARIN (AMF) ETKİSİ**

İYİGÜNGÖR, Deniz

Yüksek Lisans Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nur OKUR

Şubat 2025, 72 sayfa

Çalışmamız kapsamında mikoriza funguslarının çilek bitkisi köklerine aşılması ile farklı tuzluluk koşullarının bitkinin gelişimi üzerindeki zararlı etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Üç farklı tuzluluk koşulunda bitkilerin verdiği yanıtlara göre arbusküler mikoriza fungusunun (AMF) etkinliği araştırılmıştır. Deneme AMF (*Glomus Intradices* ve *Glomus Proliferum*) varlığı (+AMF) ve yokluğunda (-AMF) dört farklı tuz konsantrasyonu (T0=0, T20=20, T50=50 ve T100= 100 mM/L NaCl) ve üç tekerrür kurgusu ile sera koşullarında tesadüf parselleri deneme desenine göre toplam 24 saksı ile gerçekleştirilmiştir. Deneme boyunca saksılar %50 oranında sulandırılmış Hoagland çözeltisi ile haftada bir kez sulanmış, denemenin 1. ayı sonunda ise bitkiler tuzlu sularla sulanmaya devam edilmiştir. Deneme sonunda toprak ve hasat edilen bitki örneklerinde kimyasal ve mikrobiyolojik analizler yapılmış, elde edilen veriler istatistiksel analiz yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre AMF ve tuz uygulamalarının incelenen parametrelerde anlamlı etkilerine rastlanmıştır. Buna göre AMF'nin hem toprak hem de bitkinin makro ve mikro besin element miktarları üzerine istatistiki olarak anlamlı etkileri olduğu görülmüş, çilek bitkisine yapılan AMF uygulamasının deneme toprağında alınabilir K ve Zn miktarlarını arttırdığı, bitkinin besin madde alınımını %4 ila %34 arasında, toplam biyokütle miktarını %11

oranında ve mikoriza ile doğrudan ilişkili bir enzim olan alkalın fosfotaz aktivitesini ise % 10.5 oranında artırdığı saptanmıştır. Ayrıca yapılan metagenomik analiz sonuçlarına göre toprağımızda baskın tür olduğu bilinen Glomeromycetes sınıfına ait *Glomeraceae* familyasının %32'sinin *Glomus*, % 31'ini *Rhizophagus*, %19'unu *Septoglomus* ve % 17'sini de *Funneliformis* cinslerinin oluşturduğu görülmüştür. Tuzlu topraklarda daha dayanıklı olduğu bilinen bu türlerin enfeksiyon oranı ve spor sayısı, kontrol grubuna oranla tuz uygulaması yapılan topraklarda artmıştır ve en yüksek enfeksiyon oranı ve buna bağlı spor sayısı T20 tuzluluk düzeyinde saptanmıştır. AMF'nin çilek bitkisi üzerinde saptanan olumlu etkilerinin, bitkinin dayanıklılığını arttırıp, tuz stresinin yarattığı zararlı etkilerden korumaya ve besin ögesi bileşimini korumaya ve geliştirmeye faydası olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Arbüsküler mikoriza fungusu, bitki besin maddeleri, çilek bitkisi, metagenomik analiz, tuz stresi,

ABSTRACT**THE EFFECT OF NATURAL ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI (AMF) ON THE GROWTH, NUTRIENT UPTAKE, AND YIELD OF STRAWBERRY PLANTS (*Fragaria x ananassa* L.) GROWN UNDER SALT STRESS**

İYİGÜNGÖR, Deniz

MSc in Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Nur OKUR

February 2025, 72 pages

In this study, the aim is to reduce the harmful effects of different salinity conditions on plant development by inoculating strawberry plant roots with mycorrhizal fungi. The effectiveness of the mycorrhizal fungi was investigated based on the responses of the plants under three different salinity conditions. The experiment was conducted as a pot trial, with two mycorrhiza treatments (-M and +M) and four different salt levels (T0, T20, T50, and T100). The experiment was carried out in greenhouse conditions with 24 pots arranged in a randomized complete block design, with three replications. Throughout the experiment, the pots were irrigated once a week with Hoagland solution diluted to 50% concentration, and at the end of the first month, the plants were irrigated with water containing 0, 20, 50, and 100 mM NaCl. At the end of the experiment, chemical and microbiological analyses were performed on the soil and plant samples, and the obtained data were evaluated using statistical analysis methods.

According to the results of the study, significant effects of AMF and salt applications were observed on the examined parameters. AMF showed statistically significant effects on both the soil and plant macro- and micronutrient levels. The AMF application on strawberry plants increased the available K and Zn levels in the experimental soil, increased the plant's nutrient uptake by 4% to 34%, increased total biomass by 11%, and increased the activity of alkaline phosphatase (an

enzyme directly related to mycorrhiza) by 10.5%. Additionally, according to the metagenomic analysis results, the soil was dominated by the *Glomeraceae* family of the Glomeromycetes class, with species from the genera *Glomus* (32%), *Rhizophagus* (31%), *Septoglomus* (19%), and *Funneliformis* (17%). These species, known to be more resistant in saline soils, showed increased infection rates and spore numbers in the salt-treated soils compared to the control group, with the highest infection rate and associated spore numbers found at the T20 salinity level. The observed positive effects of AMF on strawberry plants are believed to increase the plant's resistance, protect it from the harmful effects of salt stress, and help preserve and improve its nutrient composition.

Keywords: Arbuscular mycorrhiza fungi, metagenomic analysis, plant nutrients, salt stress, strawberry plant

ÖNSÖZ

Beslenme danışmanlığı yaptığım yıllar boyunca karşılaştığım, sıklığı gitgide artan benzer sağlık şikayetleri, insanların sağlıklı, güvenilir gıdaya ve bu konuda doğru bilgiye ulaşmalarındaki zorluklar “sağlıklı beslenme” olgusunu sorgulamama yol açtı. Uygulanan tarım ve gıda politikaları, yaşanan krizler, endüstriyel tarım sistemlerinin yarattığı kimyasal kirlilik ise beni daha fazla toprak üzerine düşünmeye itti. Sağlıklı gıdanın ancak sağlıklı toprakta yetişebileceği düşüncesi ise sağlıklı toprağın nasıl olması gerektiği merakını doğurdu. Bu merak da beni, iyi ki, toprak mikrobiyolojisi ile tanıştırdı.

Topraktaki bu mikroskobik canlıların bizim için ne kadar önemli olduklarını anladıkça ve faydalarına şahit oldukça onları korumak için var gücümüzle çalışacağımıza inanıyorum. Bunun en güvenilir aracının ise kanıta dayalı bilimsel çalışmalar olduğunu düşünüyorum.

Ben, acemi bir merakla, henüz çok yeni dahil olduğum bu koca bilim alanına küçük de olsa bir katkı yapabilmiş olmaktan büyük mutluluk ve tatmin duydum. Öğrendiklerim, okuduklarım ve gözlemlediklerim beni ekolojinin gücüne daha çok inandırdı. Daha öğrenmem gereken çok şey olduğunun da farkına vardım.

Dileğim, toprak bilimine yıllarını vermiş, bilgi hazinesi hocalarımızın sektöre daha çok dahil olabildiği, bilgi ve tecrübelerini daha çok paylaşabildikleri, ekosistemlerin gözetildiği bir tarım ve gıda sisteminin oluşturulmasıdır.

İZMİR

16 / 02 / 2025

Deniz İYİĞÜNGÖR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 İklim Değişikliği, Tarım ve Gıda Güvenliği İlişkisi.....	3
2.2 Toprak Tuzluluğunun Tarımsal Üretim Etkisi.....	6
2.3 Tuzlu Topraklarda Mikoriza Biyoremediasyonu ve İklim Dostu Tarım.....	10
2.4 Tuzlu Toprakların Çilek Verimine Etkisi ve Mikoriza Uygulamaları	13

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1 Materyal	19
3.1.1 Deneme toprağının özellikleri.....	19
3.1.2 Test bitkisinin özellikleri	19
3.1.3 Mikorizal preparat ve özellikleri.....	20
3.1.4 Kimyasal gübre ve özellikleri	20
3.2 Yöntem.....	21
3.2.1 Denemenin kurulması ve yürütülmesi	21
3.2.2 Hasat aşaması.....	23
3.3 Yapılan Ölçüm ve Analiz Yöntemleri	24
3.3.1 Toprakların fiziksel ve kimyasal analiz yöntemleri	24
3.3.2 Toprakların mikrobiyolojik analiz yöntemleri	26
3.3.3 Bitki analiz yöntemleri.....	28
3.3.4 Mikoriza analiz yöntemleri	30
3.4 İstatistiksel Analiz Yöntemi.....	34

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	35
4.1 Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve Tuz (T) Uygulamalarının Deneme Toprağının pH ve Elektriki Geçirgenlik (EC) Düzeyi Üzerine Etkisi	35
4.2 Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve Tuz (T) Uygulamalarının Deneme Toprağının Makro ve Mikro Bitki Besin Element Miktarları Üzerine Etkisi.....	37
4.3 Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve Tuz (T) Uygulamalarının Deneme Toprağının Bazı Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi	41
4.4 Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve Tuz (T) Uygulamalarının Çilek Bitkisinin Makro ve Mikro Besin Element Miktarları Üzerine Etkisi	44
4.5 Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve Tuz (T) Uygulamalarının Çilek Bitkisinin Toplam Biyokütle ve Kök Ağırlığı Üzerine Etkisi	52
4.6 Tuz Uygulamalarının Mikorizal Enfeksiyon Oranı ve Spor Sayısı Üzerine Etkisi.....	54
4.7 Metagenomik Analiz Sonuçları	55
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	59
TEŞEKKÜR	71
ÖZGEÇMİŞ.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. a ve b. Test bitkisi Monterey cinsi çilek bitkisi.....	20
3.2. Deneme saksılarının genel görünümü.	21
3.3. Deneme başlangıcında çilek fidelerinin görünümü.....	22
3.4. Mikorizal enfeksiyon.....	22
3.5. a ve b. Fidelerin sağlıklı büyümesi ardından tuz uygulamasının başlaması.	23
3.6. Deneme sonlandırıldığında her tuz seviyesinde M (+) ve M (-) saksılarının görünümü.	24
3.7. Hasat ve yıkama sonrası kuruyan bitkiler.	24
3.8. M (+) Bir çilek fidesi kökü.....	24
3.9. a ve b. Toprakta nem tayini.....	26
3.10. Toprak reaksiyonu analizi.	26
3.11. Toprakta elektrik iletkenlik analizi.	26
3.12. a, b ve c. Toprak solunumu analizi için yapılan hazırlıklar.	27
3.13. Toprakta dehidrogenaz enzim aktivitesi analizi.....	28
3.14. a ve b Toprakta dehidrogenaz enzim aktivitesi analizi.	28
3.15. Bitkinin yaş ağırlığının saptanması.	29

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.16. Bitki kökünün gövdeden ayrılması.	29
3.17. Kurutulan bitkilerin öğütme öncesi toplam kuru ağırlıklarının hesaplanması.	30
3.18. Enfekte bitki köklerinin sıvı solüsyonda bekletilmesi.	31
3.19. Bitki köklerinin boyama için hazırlanması.	31
3.20. Bitki köklerinin kesilmesi.	31
3.21. Kesilen bitki köklerinin lamellere yerleştirilmesi.	31
3.22. a ve b. Enfekte bitki köklerinde mikorizal görünüm.	32
3.23. a ve b. Çeşitli çap büyüklüğünde eleklerden geçirilen toprak solüsyonu.	33
3.24. a ve b. Toprak solüsyonundan sporların ayrıştırılması için yapılan santrifüj işlemleri.	33
3.25. a ve b. Mikoriza sporlarının petri kaplarına aktarımı ve mikroskop altından spor tayini.	34
4.1. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının pH düzeyi üzerindeki etkisi.	36
4.2. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının EC düzeyi üzerindeki etkisi.	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.3. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamalarının deneme toprağının alınabilir K miktarları üzerindeki etkisi.....	38
4.4. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamalarının deneme toprağının alınabilir Zn miktarları üzerindeki etkisi.	39
4.5. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının alınabilir K miktarları üzerine etkisi.	40
4.6. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının alınabilir Na miktarları üzerine etkisi.	40
4.7. Tuz (T) uygulamalarının toprağın alınabilir Ca miktarları üzerine etkisi.	41
4.8. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamalarının deneme toprağının ALKPA enzim aktivitesi üzerine etkisi.	43
4.9. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının DHA enzim aktivitesi üzerine etkisi.	43
4.10. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının ALKPA enzim aktivitesi üzerine etkisi.	44
4.11. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamasının farklı tuz dozlarında çilek bitkisinin toplam N miktarları üzerine etkisi.....	46
4.12. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamasının farklı tuz dozlarında çilek bitkisinin toplam Fe miktarları üzerine etkisi.	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.13. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamasının farklı tuz dozlarında çilek bitkisinin toplam Zn miktarları üzerine etkisi.....	47
4.14. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamasının bitkilerin makro ve mikro besin maddeleri üzerindeki artış oranları.....	48
4.15. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam N miktarı üzerindeki etkisi.....	49
4.16. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam P miktarı üzerindeki etkisi.....	50
4.17. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam K miktarı üzerindeki etkisi.....	50
4.18. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam Ca miktarı üzerindeki etkisi.....	51
4.19. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam Na miktarı üzerindeki etkisi.....	51
4.20. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam Fe miktarı üzerindeki etkisi.....	52
4.21. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam Cu miktarı üzerindeki etkisi.....	52
4.22. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamasının çilek bitkisinin toplam biyokütle ve yaş kök ağırlığı üzerine etkisi.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)ŞekilSayfa

- 4.23. Farklı tuz düzeylerine sahip topraklarda AMF aşılması yapılmış çilek bitkisi köklerinde saptanan enfeksiyon oranı (%) ve spor sayısı.55
- 4.24. AMF aşılanmış deneme toprağının metagenomik analiz sonucu belirlenen eukaryot çeşitliliğinin Krona görseli.56



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Deneme toprağının bazı fiziko-kimyasal özellikleri.....	19
3.2. Hoagland çözetisinin bileşimi.....	20
4.1. Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının pH ve EC düzeyi üzerine etkisi.....	36
4.2. Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının toplam azot ve alınabilir bitki besin madde miktarları üzerine etkisi	38
4.3. Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının toprak solunumu ve dehidrogenaz (DHA) ile alkalin fosfotaz (ALKPA) aktiviteleri üzerine etkisi	42
4.4. Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve tuz (T) uygulamalarının çilek bitkisinin makro ve mikro besin element miktarları üzerine etkisi.....	45
4.5. Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve tuz (T) uygulamalarının çilek bitkisinin toplam biyokütle ve yaş kök ağırlığı üzerine etkisi	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°C	Santigrat Derece
AMF	Arbusküler Mikorizal Funguslar
Ca	Kalsiyum
CH ₄	Metan
Cl ⁻	Klor
CO ₂	Karbondioksit
DNA	Deoksiribonükleik asit
EC	Elektrik iletkenlik (Electrical Conductivity)
FAO	Food and Agriculture Organization
Fe	Demir
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat iyonu
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
Mn	Manganez
Na	Sodyum

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
NaCl	Sodyum Klorür
NaOH	Sodyum Hidroksit
NO ₃ ⁻	Nitrat
O ₂ ⁻	Oksijen
P	Fosfor
PGPR	Plant Growth Promoting Rhizobacteria
pH	Hidrojen iyonu konsantrasyonu
RNA	Ribonükleik asit
ROS	Reaktif oksijen türleri (species)
SO ₄ ²⁻	Sülfat
Zn	Çinko

1. GİRİŞ

Dünya’da ve Türkiye’de olumsuz etkileri son yıllarda daha çok hissedilen küresel ısınmaya dayalı çevresel ve iklimsel sorunların şiddeti günden güne artmaktadır. Küresel ısınmanın günümüz ve gelecekteki en önemli etkilerinin başında tuzluluk ve kuraklık gelmektedir. Tuzluluk ve kuraklık stresi altındaki topraklarda yetiştirilen bitkilerde hem verim hem de kalite olumsuz etkilenmektedir.

Tuzlu ve sodik topraklar, tarım alanlarının yaklaşık %10’nunu kaplamaktadır. Türkiye’de sulamaya uygun olan 12.5 milyon hektarlık arazinin yaklaşık 1.5 milyon hektarında tuzluluk ve alkalilik, 2.8 milyon hektarında ise drenaj sorunu bulunduğu paylaşılmış ve Türkiye’de sulamaya uygun arazilerin yaklaşık %32.5’inde tuzluluk, alkalilik ve drenaj sorunları olduğu gösterilmiştir (Deliboran ve Savran, 2015). Ülkemizin de içinde bulunduğu kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde düzensiz ve yetersiz yağıştan dolayı suda eriyebilir tuzlar uzaklara taşınmamakta, tuzlu taban suları, kontrolsüz ve plansız yapılan sulamalar ile yükselmektedir. Evaporasyonun yüksek olması nedeniyle de sular, toprak yüzeyinden kaybolurken, beraberinde taşıdıkları tuzları toprak yüzeyine veya yüzeye yakın kısımlara bırakmaktadır.

Tuzluluk, tüm dünyada bitkisel üretimi olumsuz etkileyen başlıca abiyotik faktörlerden biridir. Topraktaki tuz konsantrasyonlarının artması, bitkinin suyu emme yeteneğini azaltır, metabolik süreçleri olumsuz yönde etkiler ve ozmotik dengeyi, besin emilimini, hidrolik iletkenliği, stoma iletkenliğini, net fotosentetik oranı ve hücreler arası CO₂ konsantrasyonlarını etkiler, bunların hepsi bitkinin büyüme ve gelişme yeteneğini olumsuz yönde etkilemektedir (Elhindi et al., 2017).

Tuzun bitkilere verdiği zarar genellikle bitki büyümesini doğrudan azaltabilen ozmotik stres ve bitki sürgünlerinde iyon birikimi ile oluşan iyonik toksite olarak ikiye ayrılır. Genel olarak, bitkiler fizyolojik olarak uyum sağlayarak abiyotik stresle başa çıkabilirler, ancak yüksek tuz koşulları altında bu fizyolojik özellikleri tuzdan korunmaları için yeterli olmaz (Chen, et al. 2022).

Arbusküler mikorizal funguslar (AMF), karasal bitkilerin büyük bir kısmında sembiyotik ilişkiler geliştirebilmekte ve bitkinin stres koşullarına direncini artırabilmektedir. Daha birçok faydası ile öne çıkan mikorizal funguslara özellikle sürdürülebilir tarımda gitgide daha çok başvurulmaktadır.

Tez çalışması kapsamında mikoriza funguslarının çilek bitkisi köklerine aşılması ile farklı tuzluluk koşullarının bitkinin gelişimi üzerindeki zararlı etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Dört farklı tuzluluk koşulunda bitkilerin verdiği yanıtlara göre mikoriza funguslarının etkinliği araştırılmıştır. Ege Bölgesi'nde artan kuraklık ve tuzluluk gözönünde bulundurulduğunda bu amaçların gerçekleştirilmesi ile sıkça tarımı yapılan çilek ve birçok tür için içinde bulunduğumuz koşullara dayanıklı sürdürülebilir, dirençli yetiştirme yöntemlerinin geliştirilmesi, mikoriza funguslarının tarımda daha sık kullanılma olasılığı ortaya çıkacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 İklim Değişikliği, Tarım ve Gıda Güvenliği İlişkisi

İklim değişikliğinin küresel boyutlarda yarattığı zararlı etkiler tarımsal üretimde ve buna bağlı olarak gıda güvenliği konusunda kendini iyiden iyiye göstermekte ve bu etkiler 21. Yüzyılın en önemli konularının başında gelmektedir. FAO verilerine göre dünya nüfusu, artan ve değişen gıda ihtiyaçları gözönünde bulundurulduğunda, gıda üretiminin 2050 yılına kadar yüzde 60 oranında artması gerekmektedir. Halihazırda herkese yetecek kadar gıda üretimi olmasına rağmen dünyada yaklaşık 733 milyon insan yani dünyanın yüzde dokuzu açlıkla başetmektedir (FAO, 2024). Halihazırda gıdanın üretimi ve temininde yaşanan sıkıntıları düşünecek olursak artan dünya nüfusu bu konudaki baskıları iyice arttıracaktır.

Belirli bir bölgede uzun bir süre boyunca gözlenen atmosferik durumlar o bölgenin iklimini oluştururken, bu atmosferik durumlarda ortalamanın üzerinde seyreden uzun süreli değişimler iklim değişikliği olarak adlandırılmaktadır (Ullah et al, 2021) Buna göre iklim değişikliğini oluşturan faktörler atmosferdeki çok yüksek karbondioksit ($CO_2 > 400$ ppm) miktarı, günlük, mevsimsel ve yıllar arasında anlamlı ölçüde değişen ve bozulmuş hava sıcaklıkları, yağışlı ve kuru dönemlerdeki değişimler, sel basmaları, uzayan kuraklık dönemleri, aşırı soğuklar, aşırı sıcaklar ve yangınlar ile tanımlanmaktadır (Corwin, 2020).

Atmosferde yaşanan bu değişimler antropojenik (insan kaynaklı) ve doğal sebepler olarak ikiye ayrılmaktadır ki en büyük etkinin insan kaynaklı olduğu görüşü günümüzde kabul görmektedir (Ullah et al., 2021). Ekonomik büyüme, artan nüfus, tarım yöntemleri gibi sebepler ile sera gazı emisyonları, CO_2 , CH_4 ve nitroz oksitler (N_2O) gibi insan kaynaklı etkileri arttırırken, güneş ışınları, volkanik erüsyonlar ve kayaların kimyasal aşınması gibi doğal etkiler de ortaya çıkmaktadır (Nelson et al., 2006). Sera gazı emisyonlarının oluşmasında ise tarımın, özellikle endüstriyel tarımın etkisi çok yüksektir. FAO'nun belirttiğine göre toplam sera gazı emisyonlarının yüzde yirmisi tarım ve toprak kullanımlarından kaynaklanmaktadır (FAO, 2015). Ciais ve arkadaşlarının (2014) çalışmasında 3 sera gazının iklim

değişikliğinin en baş sebebi olduğundan bahsetmektedir. Bu çalışmada, yalnızca sentetik gübre kullanımının dahi atmosferde N_2O 'nun oluşumunu %80 oranında arttırdığı rapor edilmiştir.

Günümüzde küresel hava sıcaklığı endüstriyelleşme öncesi dönemlere göre 1.5 derece yükselmiş ve atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu 2000'li yıllardan itibaren her on yılda bir 20 mikromol/mol yükselerek bugün 400 mikromol/mol seviyelerinin üzerine çıkmıştır (Corwin, 2020).

İklimsel örüntülerin değişmesinin özellikle yeryüzü sistemlerini, toprak özelliklerini, yüzey sularını ve akarsu akışlarını anlamlı ölçüde değiştirmesi beklenmektedir (Patterson et al., 2013). İklim değişikliği ile ilgili küresel öngörülere bakıldığında karamsar bir tabloyla karşı karşıya kalınmakta, buna en büyük kanıt olarak ise yoğunluğu ve sıklığı gitgide artan ekstrem hava koşulları gösterilmektedir. Bu koşullardan, özellikle kuraklık, sel ve kasırgalar balıkçılık, hayvancılık ve bitkisel tarımda yıkıcı etkiler gösterirken aynı zamanda bu üretimleri destekleyen altyapı sistemlerine de büyük zararlar vermektedir.

Hava sıcaklıklarındaki artışlar ve yağışlardaki düşüşler toprak özelliklerini etkileyebilmektedir. Toprak ısısındaki değişimler toprağın nem içeriğini, su tutma kapasitesini ve partikül büyüklüğünü etkilemektedir. Toprak yüzeyinde ısının artması buharlaşma hızını arttırmakta ve suyun toprak profilinde hareketini kısıtlamaktadır. Su oranındaki düşüşler ise farklı organik bileşiklerin dekompozisyon ve mineralizasyon süreçlerini yavaşlatarak topraktaki organik karbon miktarını etkilemektedir. Yapılan bir çalışmada artan toprak sıcaklığına bağlı olarak azalan kil büyüklüğü ve organik maddenin katyon değişim kapasitesinin azalmasına yol açtığı gösterilmiştir (Gelybó et al., 2018).

İklim değişikliğinin yıkıcı etkileri agroekolojik sistemlere direk olarak yansımakta bu da tarımsal üretimi ve doğal olarak gıda güvenliği ve yaşam alanlarını tehdit ederek ekonomik ve sosyal etkiler yaratmaktadır (Corwin, 2020). Aşırı yağış toprak erozyonuna, yeraltı sularının dengesiz kullanımına, infiltrasyon ve nem kaybına sebep olurken aşırı sıcaklık artışları toprak profilinde terleme ve nemin tükenmesine, deniz seviyesinin artışı ise kıyı bölgelerde deniz suyunun içeri

girmesine sebep olmakta ve bu da tarımda sulamayı sınırlandırmaktadır (Mukhopadhyay et al., 2021). Tarımsal üretimin en yoğun yapıldığı bölgeler aynı zamanda su kıtlığının en yoğun yaşandığı nispeten kurak bölgelerdir. Bunlar içinde Sahra altı bölgeler, Çin'in Hai He, Huang He ve Yangtze havzaları ile Mısır'ın Nil Nehri kıyıları ve Sudan örnek olarak verilebilir (Corwin, 2020).

Yapılan bir çalışmada önümüzdeki 20-30 yıllık süreçte küresel ısınmanın her 10 yılda bir 0.2 derece artacağı, bu ısınmanın ekili alanlarda daha da yüksek olacağı öngörülmüştür (Quiquet et al., 2013). Bir başka çalışma ortalama yüzey sıcaklığının 2046 ile 2065 arasında 1-2 derece artacağı ve buna bağlı olarak sulanan ve sulama yapılmayan tarımsal alanların her ikisinde de toprak neminin daha hızlı bir şekilde azalacağı öngörülmektedir. Toprak neminin yüzeydeki bu hızlı azalışı sulamalı tarımda daha fazla yeraltı suyu talebine yol açarken sulamasız tarımda üretim miktarında düşüşe sebep olacaktır (Corwin, 2020).

Hayvancılık, bahçecilik ve tarım ürünlerindeki verim azalışı geniş ölçekte gerçekleşen tüm iklimsel bozulmalarla doğrudan ilişkilidir (Ullah et al.2021). Yapılan bir modelleme çalışmasında en çok tarımı yapılan dört üründe artan sıcaklıkların verime etkisini incelemek için farklı bir simülasyon modeli geliştirmiş, küresel ölçekte 46 araştırma makalesi ve 48 adet araştırma sitesindeki verime dayalı analiz edilmiştir. Buna göre ortalama küresel sıcaklıktaki her bir derece artış için dünya çapında buğday üretiminde %6, pirinçte %3.2, mısırdaki %7.4 ve soya fasulyesinde %3.1'lik bir düşüş beklenmektedir (Zhao et al., 2017)

Artan sıcaklıklar ve dengesiz yağışların bir diğer tehlikesi de birçok zararlı türün büyümesine ve yayılmasına olanak vermesidir (Ullah et al. 2021). Başlıca tarım ürünlerine saldıran böceklerin ve çeşitli zararlıların yüksek hızdaki proliferasyonu iklim değişikliğinin dolaylı etkilerindedir ve en büyük tahıl üreticisi ülkeler bu zararlı saldırıları sonucu büyük verim kayıplarıyla karşı karşıya kalmaktadır (Corwin, 2020).

2.2 Toprak Tuzluluğunun Tarımsal Üretime Etkisi

İklim değişikliğinin yıkıcı etkileri kendini hızla gösterirken özellikle toprak tuzluluğunun ortaya çıkmasını büyük ölçüde etkilemektedir (Corwin 2020). Toprak tuzluluğu, özellikle kurak, yarı kurak ve tropikal bölgelerde, bitkilerde besin alımını azaltıp ozmotik stresi artırma yoluyla bitki büyümesini ve üretimini kısıtlayan dünya çapında bir sorundur (Abdel-Fattah and Asrar, 2012).

Dünya genelinde 800 milyon hektardan fazla arazi, karasal alanların %7'sinden fazlası (Liu et al.,2016) ve tarım için kullanılan alanın yaklaşık %20'si tuzluluk sorunlarına maruz kalmakta ve tuzlu su ile sulama, sürekli gübre kullanımı ve kıyı arazilerde yapılan yanlış ekim uygulamaları nedeniyle bu oranın artması beklenmektedir (Chen et al., 2022). Tuzdan etkilenmiş topraklar dünyada 954 milyon hektarlık bir alana yayılmış biçimde 120 ülkeyi etkilemekte ve üretim kayıplarının %7-8'lik bir kısmından sorumlu olmaktadır. Asya'da nüfusun %40-50'si, Afrika'da ise %66'sı geçimini tarımdan sağlamakta ve dolayısıyla tarımda yaşanan sorunlar bu bölgeler için büyük yaşamsal tehditler oluşturmaktadır (Mukhopadhyay et al., 2021)

Toprakların tuzluluktan etkilenme oranı ve kapsamı dünya genelinde düzenli olarak artmaktadır ve bu da yılda tahmini 12 milyar ABD dolarına eşdeğer küresel tarımsal kayıplara neden olmaktadır (Estrada et al, 2013). Toprak tuzluluğu kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimi etkileyen en büyük küresel sorunlardan biridir. Her yıl 10 milyon ha arazi tuzluluk etkisiyle elden çıkmaktadır. Son zamanlarda iklim değişikliğinin toprak tuzluluğunun oluşumundaki güçlü etkisi geniş çaplı araştırmalara da konu olmaya başlamıştır.

İklim değişikliği artan deniz seviyelerine bağlı olarak verimli topraklara tuzlu su sızmasını hızlandırmakta ve aşırı miktarda yeraltı suyu kullanımı dünyanın daha kurak bölgelerinde toprağın ve yeraltı suyu kaynaklarının tükenme riskini doğurmaktadır (Dasgupta et al., 2015). Tüm dünyada kıyı bölgelerde yaşayan tahmini 600 milyon kişinin tuzluluktan etkilenebileceği tahmin edilmektedir. (Dasgupta et al., 2015; Mukhopadhyay et al., 2021).

Toprak tuzluluğu toprakta bulunan çözünür tuzların konsantrasyonu ve bileşimiyle karakterizedir ve sınıflandırılması doymuş toprak örneğinin pH, elektriksel iletkenlik (EC), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) temel alınarak yapılmaktadır (Corwin and Yemoto, 2017). Tuzlu topraklar tuzlu, alkali ve tuzlu alkali olarak sınıflandırılmaktadır.

Topraktaki tuzlar 4 ana katyon (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) ve 5 ana anyondan (HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}) oluşmaktadır. Tuzlu toprakların EC'si >4 dS/m, pH'sı < 8.5 ve ESP <15 'tir. CO_3^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+} tuzlarını içermektedirler. Tuzlu-alkali topraklar ise hem tuzlu hem de alkali özellik gösterirler. Bu toprakların pH < 8.5 , EC > 4 dS/m and ESP >15 ile karakterizedir ve Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} and HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} tuzlarının bir karışımını içermektedirler.

Toprak tuzluluğu özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde drenaj eksikliği olan alanlarda görülmektedir. Önlem alınmadığı durumlarda ve yoğun sulama yapılması halinde tuzlanma çok daha hızlı bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Sulama ile toprakta çözünebilir tuzlar, kapilarite ile yukarı taşınmakta ve toprak yüzeyinde veya üst tabakalarda birikmektedir. Sulamanın yanlış uygulanması, yeterli drenajın olmaması veya sulama suyunda yüksek miktarda eriyebilir tuzların bulunması da toprakta tuzlanmanın başlıca nedenlerindedir (Deliboran ve Savran, 2015). Toprakta transpirasyonun sonucu olarak bitki kökleri saf suyu emer ve geride tuzları bırakır. Benzer şekilde de toprak yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma sonucu su atmosfere geçer ve geride tuzlar kalır (Corwin, 2020).

Toprak tuzluluğu, doğal tuzluluk ve ikincil tuzluluk olarak iki şekilde ortaya çıkmaktadır. İklim değişikliğine benzer şekilde doğal sebeplerle ve insan kaynaklı olarak; toprağın ve doğal kaynakların yanlış kullanılması ve yönetilmesi sebebiyle gerçekleşmektedir. Tarım yöntemleri ve şehirleşmenin etkileri burada en üst sırayı almaktadır. Her ne kadar çözünebilir tuzlar toprakta halihazırda varolsa da çeşitli süreçler bu tuzların toprak profilinde birikmesini etkileyebilmektedir. Yer altı sularının ve sentetik gübrelerin artan dünya nüfusunun baskısıyla aşırı kullanımıyla tuz stresi daha belirgin hale gelmektedir (Mukhopadhyay et al., 2021).

Doğal tuzluluk, tuzların toprakta veya yeraltı suyunda uzun süre boyunca birikmesinden kaynaklanır. İkincil tuzluluk, genellikle sulama ve gübreleme gibi çeşitli tarım uygulamalarından kaynaklanmakta ve bu tip tuzluluğun meydana gelme sıklığı giderek artmaktadır. Yoğunlaştırılmış tarım, yüksek oranda gübre uygulamaları ve yüksek sulama oranları, toprakta ikincil tuzluluğun başlıca nedenleridir. Gübrelere gelen çözülmüş tuzlar, bitkiler tarafından nispeten az alınır ve fazlası yeraltı sularına karışırken büyük oranda da toprakta birikir. Özellikle, azot gübrelemesi nedeniyle amonyumun nitratlaşması, ikincil toprak tuzluluğunu arttırabilmektedir. Sık sulama da toprağın tuzlanmasına neden olabilecek bir diğer faktördür (Arıkan, 2023).

Tuzlanmanın yayılımını, boyutunu ve dağılımını belirleyen faktörler; toprak özellikleri (bünye, geçirgenlik, pH ve organik madde), iklimsel özellikler (nispi nemlilik, sıcaklık, yağış), hidrolojik özellikler (yeraltı suyu kalitesi, toprağın derinliği), antropojenik özellikler (yıkamalar, işleme stratejileri), topografik özellikler (yükseklik, eğim, yeryüzü şekilleri) ve biyolojik özellikler (su-toprak-bitki etkileşimleri, toprak solucanları ve mikroorganizmaları) olarak sıralanabilir.

Aşırı tuz konsantrasyonları toprak yapısının bozulmasına yol açar, toprak ozmotik ve matris potansiyelini değiştirir ve toprakta mikrobiyal aktiviteyi azaltır. Aşırı yükselmiş değişebilir sodyum yüzdesi ve yüksek pH, toprak geçirgenliğinin, mevcut su kapasitesinin ve infiltrasyonun azalması nedeniyle kil partüküllerinin flokülasyon ve dispersiyona uğraması sonucunda toprak agregatlarının dağılmasına yol açar. Fotosentez, solunum ve azot fiksasyonu gibi fizyolojik süreçler de tuzlu su koşullarından etkilenir ve mahsul verimliliğinde kayıplara neden olur. Bu nedenle, tuzlu toprak özelliklerinin iyileştirilmesi ve bitki fizyolojik adaptasyonunun yükseltilmesi, bitkinin tuz toleransının artırılması açısından önemlidir (Zhang et al, 2018).

Su miktarının az olması, toprak verimliliğinin nispeten yüksek olduğu durumlarda bile besin maddelerinin miktarına ve bitkiye geçişine etki eder. Rizosferde aşırı tuz birikimi bitkinin büyümesini olumsuz yönde etkiler. Tuzlu toprak çözeltisindeki elektrolitlerin bolluğu, mikroorganizmaların aktivitesini de azaltır ve temel besin maddelerinin dengesizliği, eksikliği veya toksisitesi nedeniyle

substrat kullanımını yavaşlatır. Öte yandan, daha yüksek toprak pH'ı ve karbonat ve bikarbonat varlığı sonucunda da kök gelişimi ve besin alımı etkilenir. Fosforun yararlanılabilirliği azalır (Liu et al., 2016; Chandra et al, 2022). Na ve Cl gibi tuz iyonları bitkiler tarafından kolayca absorbe edilebilir. Özellikle yüksek seviyedeki Na⁺ iyonu birikimi ile meydana gelen iyon toksisitesi, biyokimyasal reaksiyonlar üzerinde bozulmalara neden olmakta ve tohum çimlenmesine engel olmaktadır. Arpa, bezelye, biber, turp, havuç ve ıspanakta tuz stresinin tohum çimlenmesi ve fide gelişiminde ciddi düşüslere neden olduğu bildirilmiştir (Aydın ve Atıcı 2015).

Hem kuraklık hem de tuzluluk, toprakta düşük su potansiyelleri oluşturarak bitkilerde birincil osmotik stres yaratır. Ayrıca, toprakta yüksek tuz konsantrasyonlarının varlığı, bitki dokularında iyonik ve toksik etkilere neden olur. Bitkiler, düşük su potansiyelli topraklara uyum sağlamak için yaprak transpirasyon oranlarını ve su alımını kontrol etmek zorundadır. Yaprak transpirasyonunun ve kök hidrolik iletkenliğinin azalması, bitkilerin su dengesini koruyamamasının ilk belirtilerinden biri olabilir (Aroca et al. 2007).

Bitkilerin tuz ve su stresine karşı göstermiş oldukları tepkiler çevresel ve yapısal özelliklerine göre farklılık göstermekte, bazı bitki tür ve çeşitleri stres faktörlerinden çok az etkilenirken, bazıları ise ölümcül biçimde zarara uğramaktadırlar (Ding et al 2010). Kültür bitkilerinin yetiştirildiği ortamlarda tuz stresi, bitkilerin ölümüne neden olabilmekte, tuz konsantrasyonu ve bitkinin toleransına bağlı olarak büyümesini engelleyebilmekte, yapraklarda yanıklık benzeri hasarlara, klorozlara, dölleme bozukluklarına, meyvelerin normalden küçük olmasına, verim ve kalitesinin azalmasına sebep olabilmektedir (Coşkun ve ark., 2020). Bitkilerde tuz stresi, protein sentezi, lipid metabolizması ve fotosentez gibi kritik fizyolojik süreçleri bozarak bitki hücrelerinde H₂O₂ ve O₂⁻ gibi çeşitli reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimine neden olmaktadır. Bitkiler, ROS'un zararlı etkilerini azaltmak için enzimatik ve enzimatik olmayan mekanizmalar kullanmakta ve artırılmış tuz stresi toleransı, artan antioksidan aktivitesiyle ilişkilendirilmektedir (Haqea and Matsubara, 2018).

Aşırı ROS, bitki hücreleri için toksiktir ve membran lipidlerinin peroksidasyonuna yol açarak, proteinler, DNA molekülleri ve karbonhidratlar

gibi biyolojik moleküllerin bozulmasına neden olmaktadır (Koç, 2015). Bu moleküllerin normal işlevlerinin bozulmasına bağlı olarak hücrelerin normal fizyolojik aktiviteleri engellenmektedir. Daha ileri araştırmalar, ROS metabolizmasındaki dengenin bozulmasının tuz stresinin bitki hücrelerinde aşırı oksidasyon yaralanmasına ve hücre ölümüne yol açan birincil neden olduğunu göstermektedir (Katsuhara and Kawasaki, 1996).

Birçok bölge tarımsal üretkenliğini yıl boyu süren ılıman iklim koşulları, sulama için gerekli olan elverişli yüzey ve/veya yeraltı sularının varlığına borçludur. Bununla birlikte iklim değişikliği, yağış rejimi, miktar ve dağılımını küresel boyutlarda etkileyecektir. Küresel iklim değişikliği modelleme çalışmaları dünyanın daha kuru bölgelerinde yağışların azalacağını öngörmektedir. Bu bölgeler Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz, kuzey ve Güney Afrika, kuzey Sahra, Orta Amerika, Amerikanın güneybatısı ve güney Ant Dağları ile Avustralya'nın güney batı bölgeleri olmaktadır (Collins et al., 2013). Toprak tuzluluğu, dünya genelinde giderek daha yaygın hale gelen önemli bir tarım ve çevre sorunudur.

2.3 Tuzlu Topraklarda Mikoriza Biyoremediasyonu ve İklim Dostu Tarım

Biyoremediasyon çeşitli mikroorganizmaların ve mikrobiyal toplulukların tuzdan etkilenen toprakları iyileştirmek için kullanılmasıdır. Bu toprak mikroorganizmaları, birçok hormon benzeri salgı ve faydalı maddeler üreterek tuzdan etkilenen toprakları iyileştirme kabiliyetleri olan bitki büyümesini teşvik eden kök bakterileri (PGPR), mikorizalar ve siyanobakterilerdir.

PGPR'ler, bu fizyolojik ve biyokimyasal işlemler yoluyla stres toleransını artırabilir. PGPR'ler, rizosferde doğal olarak bulunan, bitki köklerine kolonize olan, bitki büyümesini teşvik eden ve hastalıklara ve zararlılara karşı biyolojik kontrol aktivitesi sergileyen kök bakterileridir. PGPR'ler, azot fiksasyonu, fosfor ve diğer minerallerin çözünmesi, hormon üretimi, kök gelişiminin teşvik edilmesi, su ve besin alımının artırılması ve enzim aktivitesinin geliştirilmesi gibi mekanizmalar aracılığıyla bitki gelişimini destekler ve bu rizobakteriler birçok abiyotik stresin olumsuz etkilerini azaltabilir (Arıkan, 2023)

AMF, bitki kökleriyle karşılıklı yarar sağlayan simbiyotik bir ilişki kurabilen yaygın mikroorganizmalardır. Mikoriza ile enfekte bitkilerin tuzluluk toleransının artması; daha verimli besin alımı, azalan su stresi seviyeleri, azalan hastalık insidansı ve artan fotosentez yeteneğinden kaynaklanabilir. Bu nedenle mikorizal bitkiler, hif yapıları ve artan kök gelişimi nedeniyle tuz stresine karşı toleranslarını artırabilmektedir (Fan et al., 2012).

Mikorizal funguslar, bitkiye karbon karşılığında topraktan su ve mineraller gibi besin maddelerini sağlayarak bitki büyümesine ve gelişmesine yardımcı olan ve karasal besin döngüsüne aracılık eden zorunlu biyotroflardır (Chandra et al., 2022). Mikorizal fungusun miselyum ağları sayesinde toprakta bitkilerce alımı yavaş olan besin elementlerinin, özellikle fosfor alımını, önemli derecede arttırdığı, kontrollü sera denemelerinde de gösterilmiştir (Liu et al., 2016). Mikoriza yalnız fosforun değil aynı zamanda Zn, Cu, Mn, Fe, Ca, K ve N gibi besin maddelerinin de bitkilerce alımında da etkili olmaktadır (Erzurumlu ve Kara, 2014). Bitki kökleri ile mikorizal hifler, bitkinin kök sisteminin erişim alanını arttırmak ve büyümeyi sınırlayan kaynakların translokasyonunu sağlamak ve bitki kökü emici yüzey alanını genişletmek için köklerle yapısal bir ilişki oluşturur. Arbusküler mikorizal fungus (AMF) simbiyozu ayrıca Na^+ alımını ve translokasyonunu azaltarak abiyotik strese karşı da tolerans sağlar (Chandra et al.,2022; Estrada et al., 2013).

AMF, konakçı bitkilerin büyümesini teşvik eder ve çeşitli ürünlerde kuraklık stresi gibi abiyotik streslere karşı direnci artırır, fumigasyon veya solarizasyon sonrası ekilen bitkilerin bodur kalmasını önler, bitki ekim performansını artırır ve erken çıkışı sağlar, şaşırma esnasındaki fide şokunu ve fide ölümlerini en aza indirir, meyve ve ürünlerin üniform olmasını sağlar, patojenlere karşı bitkiyi korur, hastalıklı ve zayıf fide sayısını en aza indirir, kuraklık ve streslere karşı bitkiyi korur ve direncini arttırmaları. Arbusküler mikoriza funguslarının (AMF), domates, mısır ve çemen otu gibi çeşitli bitki türlerinde de tuz toleransını artırdığı ve bu durumun mineral beslenme, fotosentez, su kullanım verimliliği ve antioksidan aktivitelerinin iyileştirilerek sağlandığı gösterilmiştir (Haqea and Matsubara,2018). Bu yararlarının yanı sıra çeşitli sebeplerle kirlenmiş toprakların ıslahında da rol alabilirler (Erzurumlu ve Kara, 2014).

Mikoriza tuzlu şartlar altında bile besin maddelerinin mobilizasyonunu ve çözünmesini sağlayabilmektedir. Yapılan çalışmalar, AMF ile enfekte bitkilerin genellikle mikorizal olmayanlara göre çevresel streslere karşı daha rekabetçi ve daha toleranslı olduğunu göstermektedir (Abdel-Fattah ve Asrar 2012). Bu etki mikorizal fungusların, besin alımını ve iyon dengesini iyileştirerek, enzim aktivitesini koruyarak ve su alımını kolaylaştırarak bitkilerin tuz stresi ile başa çıkma yeteneğini arttırmalarından ileri gelmektedir (Sheng et al, 2008).

Mikorizal fungusların çinko, bakır, fosfor gibi besin öğelerinin mobilitesini ve kullanılabilirliğini arttırdığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Cavagnaro, 2008). AMF genel olarak tuzdan etkilenmiş topraklarda kalsiyum ve magnezyum karbonatlarla çözünmeyen bileşikler oluşturan fosfatın çözünmesine ve bitki kökleri tarafından alınmasına destek olur; (Zhu et al., 2016). Buna ek olarak yüksek K^+/Na^+ oranının yönetilmesi AMF'nin tuzlu topraklarda tuz tolere edici mekanizmalarının göstergesidir. Ayrıca ozmotik stres altında absisik asit birikimini kontrol etmektedir (Augé et al., 2015). AMF, bitkinin kılcal kök ağını artırarak bir yandan besin maddelerinden daha fazla faydalanmalarını sağlarken diğer yandan tuzluluk ve kuraklık, ağır metal toksisitesi ve sıcaklık stresine dayanımını arttırmaktadır. AMF'nin, çeşitli osmotik düzenleyici maddeleri akümüle ederek (Lin et al., 2017), antioksidan enzim aktivitelerini artırarak (Huang et al., 2010) ve besin maddelerinin absorpsiyon ve transferini kolaylaştırarak (Liu et al., 2013) bitkilerin tuzluluğa direncini artırabildiği doğrulanmıştır.

Bitki beslenmesini iyileştirmenin yanı sıra mikorizalar toprak organik madde ayrışması ve toprak agregatının stabilizasyonu için de önemlidir. AMF, hifleri yoluyla toprağı stabilize eden uzun süreli bir bağlayıcı ajan görevi görebilirler (Zhang et al., 2018). Böylece toprak yapısını, gözenekliliğini, gözenek büyüklüğü dağılımını, su kullanım verimliliğini ve faydalı mikroorganizmaların aktivitesini iyileştirmede kritik rol oynarlar (Chandra et al., 2022). Tuzdan etkilenen toprakların iyileştirilmesi milyonlarca ton gıda ürününün üretiminin yapılmasına olanak sağlayabilir. Bununla birlikte tuzdan etkilenmiş toprakların iyileştirilmesinde farklı teknikler birarada kullanılmalıdır. Bu rehabilitasyon yaklaşımlarından bazıları tuzdan etkilenen alanları azaltabilir bu da tarımsal sürdürülebilirlik ve küresel gıda güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunabilir (Mukhopadhyay, 2021) Mikoriza

fungusları son zamanlarda diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de dikkat çekici ve önemli bir konu haline gelmiştir. Moleküler biyoloji, toprak mikrobiyolojisi, rizosfer ve toprak biyoteknolojisi konularındaki ilerlemeler sonucu, ekoloji ve tarımsal konularda bu konu ile ilgili yapılan araştırmalar sayesinde de mikorizanın ekolojide ve tarımda önemi daha iyi anlaşılır hale gelmeye devam etmektedir (Erzurumlu ve Kara, 2014).

2.4 Tuzlu Toprakların Çilek Verimine Etkisi ve Mikoriza Uygulamaları

Çilek (*Fragaria × ananassa Duch*), Rozasea (Gülgiller) familyasına ait, çok yıllık otsu bitkilerin kollektif adıdır (Zhang et al., 2011). Meyveleri kırmızı böğürtlenler şeklindedir, yumuşak, tatlı, kokulu ve sulu olup kendine özgü bir lezzete sahiptir, bu nedenle halk arasında popülerdir (Zhang et al., 2011). Biyolojik özellikleri ve sağlığa olan potansiyel faydaları sebebiyle fonksiyonel gıda kabul edilmekte ve yaygın olarak tüketilmektedir (Siebeneichler et al., 2022). Çilekte yüksek oranda askorbik asit, fenolik bileşikler özellikle kateşin, epikateşin ve antosiyaninler gibi flavonoidler bulunmaktadır. Bu fitokimyasallar, antioksidan, kardiyoprotektif, antikanserojenik, antiinflamatuvar, antidiyabetik, nöroprotektif ve antimikrobiyal aktiviteleriyle insan sağlığı için çok faydalıdır (Afrin et al., 2016). Ekonomik açıdan bakıldığında ise çilekler, dünya genelinde, özellikle kuzey yarımkürede ve ılıman iklim kuşağında yetiştirilen en önemli yumuşak meyvelerdir (Mikiciuk et al., 2019).

Çilek meyvelerinin, polifenolik bileşikler içeriği ile paralel yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu kanıtlanmıştır. Ancak, çilek tuzluluğa duyarlı bir bitkidir (Fan et al., 2012).

Bitki büyümesi ve verimliliği, özellikle meyve ürünleri çevresel stresler tarafından ciddi şekilde sınırlanır. Bunlar arasında, topraktaki yüksek kalsiyum ve tuz en ciddi sorunlar arasında yer alır. Dünyadaki toprakların en az %30'u kalsiyumlu topraklarla kaplıdır. Kalsiyum kaynaklı Fe klorozu, birçok bitki türünde yaygın ve zararlı bir mineral bozukluktur (Wertheim and Webster, 2005; Arıkan et al.’dan 2023). Çilek, şeftali ve armut gibi meyve ürünlerinin genellikle kalsiyum kaynaklı kloroza duyarlı olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte çilek gibi meyve

ürünleri, özellikle Akdeniz çevresindeki ülkelerde kalsiyumlu toprak koşullarında geniş çapta yetiştirilmekte olup bitki gelişimi ve meyve verimliliği ve besin değerleri topraktaki tuzluluk tarafından da önemli ölçüde sınırlanmaktadır.

Bitkiler, topraktaki kalsiyum ve tuz gibi abiyotik streslerle karşılaştıklarında, stomatal düzenleme, membran stabilitesi, klorofil koruma, osmolit sentezi ve antioksidan koruma mekanizmasıyla reaktif oksijen türlerini (ROS) ortadan kaldırma gibi çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal tolerans mekanizmalarını aktive etmektedirler. Bu streslere bağlı oluşan H_2O_2 , O_2^- ve OH^- gibi ROS bileşenleri DNA, RNA, lipidler ve proteinlere oksidatif hasar vererek sonuçta hücre ölümüne sebep olmaktadır. Bu ROS bileşenleri aynı zamanda klorofil tahribatına ve kökte meristem aktivitesinin hasarına yol açmaktadır (Arıkan et al., 2023).

Çilek yetiştiriciliğinde yüksek oranda sulama yapılmakta ve yine yüksek miktarlarda gübre kullanılmaktadır. Çilek tuza hassas bir ürün olarak görülmekte ve tuz stresine bağlı koşulların bitkinin büyümesini ve verimi düşürdüğü birçok çalışmada gösterilmektedir (Karlıdağ et al., 2011; Arıkan et al., 2023). Çilek yetiştiriciliğinde düşük kaliteli su kullanılması da toprakta kademeli olarak tuz birikmesine sebep olan bir faktör olarak belirlenmiştir (Jamalian et al., 2013). Buna göre dünyanın yarı kurak bölgelerinde sulama sularındaki artan tuzluluk çilek yetiştiricilerini endişelendirmektedir. Toprağın doymuş çözeltisindeki elektriksel iletkenlikteki her 1.0 dS/m'lik artış verimde %33'lük bir düşüşle sonuçlanmaktadır (Ferreira et al., 2019)

Dünya'da dokuz milyon tona ulaşan çilek üretimi en fazla Çin, ABD, Meksika, Türkiye ve İspanya'da yapılmaktadır. Son yıllarda çilek tarımı neredeyse Türkiye'nin her bölgesine yayılmıştır. Tarım teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, çilek yetiştirme tesisleri de hızla gelişmiştir. Buna karşın artan çilek üretimiyle birlikte üretimi sınırlayan tuzlanma gibi stres faktörleri ortaya çıkmış, toprağın ikincil tuzlanması, sera tarım sistemini kısıtlayan önemli bir faktör haline gelmiş ve çileklerin verim ve kalitesinin artırılmasını etkilemiştir (Arıkana et al., 2023). Son yıllarda araştırmacılar tuza dayanıklı veya tuz toleransı yüksek türlerin seçilimine odaklanmaktadır. Topraktaki tuzluluk sorununun ortadan kaldırılması güç ve

masraflı olması nedeniyle, son yıllarda tuza toleranslı tür ve çeşitlerinin seçilmesi çok sayıda araştırmacının ilgi odağı olmuştur (Kamar ve ark., 2023).

Sürdürülebilir tarımda kullanımı gitgide artan mikroorganizmaların özellikle mikoriza, kimi zaman da mikoriza ve bakterilerin birlikte kullanılması, tuz stresi altındaki çilek yetiştiriciliğinde öne çıkan uygulama olmuştur. Tuzlu koşullarda mikoriza ve bakterilerin birlikte uygulandığı bir çalışmada bu mikroorganizmaların incelenen çilek meyvelerinin kalite özellikleri üzerine pozitif etkisinin olabileceği gösterilmiştir (Koç, 2015). Bir başka çalışmada da yine tuzluluk gibi stres koşulları altında mikorizal suşların kullanılmasının Monterey çilek türünde bitkinin vejetatif ve generatif büyümesinde anlamlı bir etkisi olduğu belirlenmiştir (Bağ ve Kocaman, 2024).

AMF'lerin tuz toleransını artırmak için kullandığı mekanizmalar; besin alımının artırılması (P, N, Mg ve Ca), $K^+ : Na^+$ oranının korunması, biyokimyasal değişiklikler (prolin, betainler, poliaminler, karbonhidratlar ve antioksidanların birikimi), fizyolojik değişiklikler (fotosentetik verimlilik, görece geçirgenlik, su durumu, absisik asit birikimi, nodülasyon ve azot fiksasyonu), moleküler değişiklikler (gen ifadeleri: PIP, Na^+/H^+ antiportörleri, Lsnced, Lslea ve LsP5CS) ve ultra-yapısal değişikliklerdir (Giri et al., 2003)

Kökler, bitkilerin besin alımı için en önemli organlar olmanın yanı sıra, tuz stresine karşı en hassas bölgelerdir ve bitkinin strese karşı daha güçlü yanıt vermesinde rol oynarlar. Köklerin tuz stresine yanıtı, genellikle büyüme inhibisyonu, ozmotik düzenleme, enzim sisteminin etkili bir şekilde çalışmasını koruma, aktif oksijen metabolizması ve kökteki membran yapısı ve fonksiyonundaki değişiklikler olarak sıralanabilir (Bohra and Doerffling, 1993). Tuz stresinin bitki köklerinde yarattığı etkiyi inceleyen bir çalışmada, bu stres altında sabit karbondioksit salınımı gözlemlenirken bu durumun fotosentetik zincirlerde elektron akışının daha fazla baskılanmasına yol açtığı ve bunun sonucu olarak aşırı süperoksit anyonu, diğer serbest radikaller ve aktif oksijen türleri (H_2O_2 ve O_2^- gibi) oluştuğu gözlemlenmiştir. Her ne kadar antioksidan sistemlerin bitkiyi korumak için gerçekleşen bir mekanizma olduğunun bilinmesine rağmen bu durumun stresin erken aşamalarında geçerli olduğu (Rasool et al.,2013), stres

süresinin uzamasıyla birlikte antioksidan sistemin reaktif türleri temizleme yeteneğinin giderek azaldığı tespit edilmiştir (Zhang et al., 2011). Buna göre AMF'nin, özellikle tuz stresine doğrudan maruz kalan köklerde antioksidan savunmaları artırarak çilek bitkileri üzerindeki tuz stresinin olumsuz etkilerini hafifletmede önemli bir rol oynadığını ileri süren çalışmalar da mevcuttur (Haqea and Matsubara, 2018)

AMF'lerden *Glomus fasciculatum* cinsinin tuz stresi altındaki çilek bitkilerinin antioksidan tepkisi üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışmanın sonuçlarına göre, mikorizal çilek bitkilerinin, mikorizal olmayan bitkilere kıyasla daha yüksek kuru ağırlık, klorofil içeriği ve daha düşük düzeyde sodyum birikimi sergilediği görülmüştür. Buna ek olarak, mikorizal bitkilerde, malondialdehit ve hidrojen peroksit gibi oksidatif stres belirteçlerinin seviyelerinin düştüğü buna karşın antioksidan enzimlerle birlikte glutatyon, askorbik asit ve polifenoller gibi enzimatik olmayan antioksidanların aktivitelerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Splendor, Sabrina ve Fortuna çilek çeşitlerinde AMF inokülasyonunun antosiyanin ve fenolik bileşenlerin konsantrasyonunu arttırdığı (Cecatto et al., 2016), sterilize edilmiş toprakta AMF ve büyüme teşvik edici bakterilerle yapılan inokülasyonun, çileklerin fiziksel ve kimyasal kalite parametrelerini iyileştirdiği, şeker ve antosiyanin konsantrasyonlarını artırırken pH ile malik asit konsantrasyonlarını azalttığı bildirilmiştir (Todeschini et al., 2018; Cordeiro et al., 2019). Bir diğer çalışma, AMF aşılamasından on iki hafta sonra, AMF ile aşılamanın bitkilerin kolonizasyon oranlarında tuzlu ve tuzsuz koşullarda anlamlı bir fark görülmezken (%58 ve %55) her iki koşulda da mikoriza ile aşılamanın, mikorizasız bitkilere kıyasla çilek bitkilerinin sürgün ve kök kuru ağırlıklarını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Mikorizasız bitkilerde tuz stresi klorofil içeriğini azaltmış, ancak aşırı tuz mikorizalı bitkilerde klorofil içeriğini etkilememiştir. Tuz muamelesinin hem mikorizalı ve hem mikorizasız bitkilerin yaprak ve köklerinde Na^+ konsantrasyonunu arttırdığı, bununla birlikte mikorizalı bitkilerin, tuz stresi altında mikorizasız bitkilere göre daha az Na^+ biriktirdiği görülmüştür (Haqea and Matsubara, 2018). AMF ile enfekte edilen bitkilerin kuru ağırlıklarının tuzlu koşullarda anlamlı derecede yükseldiği yine çalışmalarla desteklenmiştir (Fan et al., 2012). Brezilya'nın güneyinde, referans bir bölgeden alınan toprak örnekleriyle

yapılan bir çalışmada ise sekiz AMF topluluğu ve bir kontrol (mikorizasız bitkiler) kullanılmış ve İncelenen alanlarda en sık bulunan türler *Claroideoglossum aff. luteum*, *C. claroideum*, *C. etunicatum*, *Funneliformis mosseae* ve *Glomus sp2* olarak tespit edilmiştir. Çilek bitkileri bu AMF toplulukları ile inoküle edildiğinde iyileşme gözlenmiş, bu bitkilerin daha yoğun bir kök sistemi geliştirdiği ve meyve antosiyanin içeriğinin arttığı tespit edilmiştir (Chiomento et al., 2019).

Benzer tasarlanmış bir başka sera deneyinde ise AMF (*Gigaspora margarita*) ile yapılan uygulamanın tuzluluk stresini (200 mM NaCl) hafiflettiği gözlemlenmiştir. AMF ile inoküle edilen bitkiler, tuzluluk stresi altında kontrol grubuna kıyasla daha yüksek kuru ağırlık, aynı düzeyde klorofil içeriği ve azalmış yaprak kararmasına sahip olmuştur. Na⁺ konsantrasyonu ve Na⁺/K⁺ oranının, mikoriza bitkilerinde ana kökler ve yan köklerde kontrol grubuna göre daha düşük olduğu, ana kök dokularında fazla Na'nın hem kontrol hem de mikoriza bitkilerinin yaşlı petiyollerinin ve ana köklerinin kenarlarında lokalize olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, mikoriza ile enfekte bitkilerin köklerden Na emiliminin baskılanmasının tuzluluk stresini hafifletme mekanizması olabileceğini önermektedir. Mikoriza köklerinde daha yüksek selüloz ve lignin içeriklerinin, apoplastik bir bariyer olarak görev yaparak Na girişini potansiyel olarak azaltabileceği düşünülmektedir (Haqea and Matsubara, 2018)

AMF ve rizosfer bakterilerinin (PGRP bakteri türleri) toprağın mikrobiyolojik özellikleri, köklerin mikoriza fungusları tarafından kolonizasyon derecesi, seçilmiş fizyolojik parametreler, meyve kalitesi ve çilek bitkilerinin verimi üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği bir başka çalışmada, bu mikroorganizmaların, özellikle çalışmanın ikinci yılında, çilek meyvesinin verim ve ortalama meyve ağırlığını artırdığı saptanmıştır. Çalışma bulguları aynı zamanda bu uygulamaların üretimin erken safhalarında, tercihen fide üretimi sırasında yapılmasının gerekliliğini de önermektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, mikroorganizmaların (AMF ve PGPR) sadece stresin etkilerini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda bitkilerin fotosentetik aktivitesini artırarak verimlerini de artırdığını göstermektedir (Mikiciuk et al., 2019).

Mikorizal yapıların oluşumu ve köklerde kolonileşme gücü, çeşitli AMF türlerinin kök kolonizasyon etkinliği (Boyer et al., 2015) türü ve hangi mikroorganizmalarla kombine edildiğine aynı zamanda toprağın içinde bulunduğu koşullara göre de değişebilmektedir. Yapılan bir çalışmada mikrobiyal uygulamaların, bitki verimi ve direncinin artmasına ek olarak toprakta toplam bakteri ve fungus sayısı gibi bazı mikroorganizma gruplarının sayısını da artırdığı gösterilmiştir. Bu çalışmaya göre vejetatif dönemlerde fungusların, aktinomisetler veya *Azotobacter* popülasyonları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. *Bacillus velezensis* ve *Rhizophagus intraradices* ile kombine edilmiş şekilde aşılanan bitkilerden alınan çilek köklerinin, yalnızca *R. intraradices* ile muamele edilen köklere göre daha fazla kolonize olduğu bulunmuştur. *Glomus* cinsine ait türlerle yapılan mikorizasyonun ise özellikle daha kurak koşullarda yetişen bitkilerde bir kolonizasyon artışı gösterdiği farkedilmiştir (Mikiciuk et al., 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Deneme toprağının özellikleri

Saksı denemesinde kullanılan toprak Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi kampüs alanındaki tarla toprağından 0-20 cm derinlikten alınmıştır. Deneme toprağının fiziko-kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme toprağının bazı fiziko-kimyasal özellikleri

pH _{satüre}	7.69
Toplam Tuz, %	0.032
Kireç, %	18.29
Kum, %	37.84
Mil, %	29.28
Kil, %	32.88
Bünye	Killi Tın
Organik Madde, %	1.21
Toplam N, %	0.118
Alınabilir P, mg kg ⁻¹	22.25
Alınabilir K, mg kg ⁻¹	453.20

pH bakımından hafif alkali reaksiyona sahip deneme toprağı, tuzsuz, çok kireçli ve killi tın bir bünyeye sahiptir. Organik madde içeriğı düşük olan deneme toprağının toplam N içeriğı bakımından yeterli, alınabilir P bakımından yüksek ve alınabilir K bakımından ise çok yüksek seviyede olduğı belirlenmiştir.

3.1.2 Test bitkisinin özellikleri

Deneme Monterey cinsi çilek test bitkisi ile yürütülmüştür (Şekil 3.1a ve 3.1b). Çilekler Çiltar Firması’ndan temin edilmiştir. Monterey çeşidi orta derecede bir nötr gün çeşididir. Albion x Cal 97.85-6 melezidir. Asit derecesinin düşük olmasından dolayı çok tatlı olan bu çeşit, iri ve yumuşak meyvelere sahiptir. Güçlü bir bitki yapısına sahip ve mildiyöye karşı hassastır (Karaca, 2022).



Şekil 3.1. a ve b. Test bitkisi Monterey cinsii çilek bitkisi.

3.1.3 Mikorizal preparat ve özellikleri

AMF enfeksiyonu için *Glomus* türlerini içeren Shubhodaya markalı, ticari preparat tercih edilmiştir. Preparat *Glomus Intradices*, *Glomus Proliferum* mikorizal fungus türlerini içermektedir.

3.1.4 Kimyasal gübre ve özellikleri

Denemede bitkilere %50 oranında sulandırılmış Hoagland çözeltisi uygulanmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Hoagland çözeltisinin bileşimi

Element kaynağı	Konsantrasyon
KNO ₃	2.5 mM
KH ₂ PO ₄	0,5 mM
Ca(NO ₃) ₂	2,5mM
MgSO ₄	1mM
H ₃ BO ₃	23 µM
MnCl ₂	5 µM
ZnSO ₄	0.3 µM
CuSO ₄	0.2 µM
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	0.01 µM
EDTA-Fe	90 µM

3.2 Yöntem

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında 5 Eylül 2023 tarihinde başlanan deneme 17 Ocak 2024 tarihinde sonlandırılmıştır.



Şekil 3.2. Deneme saksılarının genel görünümü.

3.2.1 Denemenin kurulması ve yürütülmesi

Hava kuru hale getirildikten sonra 2 mm'lik elekten elenen topraklar deneme öncesi 24 saat ara ile 2 kez otoklavda 121 °C ve 1 Atmosfer basınç altında 1'er saat sterilize edilmiştir. Daha sonra topraklar 3 hafta süre ile mikrobiyal aktivitenin gelişmesi için bekletilmiş ve 5 L'lik saksılara aktarılarak fide dikimine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.3. Deneme başlangıcında çilek fidelerinin görünümü.



Şekil 3.4. Mikorizal enfeksiyon.

Deneme AMF varlığı (+AMF) ve yokluğunda (-AMF) dört farklı tuz konsantrasyonu (T0=0, T20=20, T50=50 ve T100= 100 mM/L NaCl) ve üç tekerrür kurgusu ile sera koşullarında tesadüf parselleri deneme desenine göre toplam 24 saksı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). AMF uygulaması dikimin hemen öncesinde gerçekleştirilmiş, fideler hazırlanan preparata 30 saniye süresince daldırılmış böylece bitki köklerinin AMF ile enfekte edilmesi sağlanmıştır (Şekil 3.4). Deneme boyunca saksılar %50 oranında sulandırılmış Hoagland çözeltisi ile haftada bir kez sulanmıştır.

Denemeye 5 Eylül 2023 tarihinde başlanmış, fidelerin sağlıklı büyümeleri takip edildikten sonra 19 Ekim 2023 tarihinde tuz uygulamasına geçilmiş ve bitkiler 200 ml'lik porsiyonlar halinde 0, 20, 50 ve 100 mM NaCl içeren tuzlu sularla sulanmıştır. Bitkinin gelişim durumu takip edilerek gerekli görüldüğünde Hoagland çözeltisi uygulamasına devam edilmiştir.



Şekil 3.5. a ve b. Fidelerin sağlıklı büyümesi ardından tuz uygulamasının başlaması.

3.2.2 Hasat aşaması

Deneme 17 Ocak 2024 tarihinde sonlandırılmıştır (Şekil 3.6). Hasat edilen bitkilerin kökleri suyla dikkatlice yıkanarak toprak kalıntılarından ayrıştırılmış, kuruması için kurutma kağıtları üzerine serilmiş, gruplarına göre numaralandırılmıştır (Şekil 3.7). Sonrasında toplam biyokütle ve kök ağırlıkları saptanmış, ayrıca bitki yapraklarında ve saksı topraklarında aşağıda belirtilen analizler yapılmıştır.



Şekil 3.6. Deneme sonlandırıldığında her tuz seviyesinde M (+) ve M (-) saksılarının görünümü.



Şekil 3.7. Hasat ve yıkama sonrası kuruyan bitkiler.



Şekil 3.8. M (+) Bir çilek fidesi kökü.

3.3 Yapılan Ölçüm ve Analiz Yöntemleri

3.3.1 Toprakların fiziksel ve kimyasal analiz yöntemleri

Hava kurusu hale getirildikten sonra 2 mm'lik elekten elenen topraklarda aşağıda yer alan analizler gerçekleştirilmiştir.

Toprakta Nem Tayini: Belirli bir miktardaki toprak örneği 105°C'de etüvde sabit ağırlığa gelene kadar uçurulan nemin hesabına göre yapılmıştır (U.S. Soil Survey Staff, 1951) (Şekil 3.9a ve 3.9b).

Toprak bünyesi: Toprakların dane büyüklüğü dağılımı hidrometre yöntemi uygulanarak belirlenmiştir (Bouyoucos, 1962). Her fraksiyon için bulunan veriler bünye üçgenine uygulanarak toprak örneklerinin bünyeleri saptanmıştır (Black, 1965).

Toprak reaksiyonu (pH): Saf su ile 1:2.5 oranında sulandırılmış örneklerde pH-Metre Cihazı ile belirlenmiştir (McLean, 1982) (Şekil 3.10).

Elektriki Geçirgenlik (EC): Saturasyon ekstraktında Konduktivimetre cihazı ile belirlenmiştir (McLean, 1982) (Şekil 3.11).

Kireç (CaCO₃): Scheibler kalsimetresi ile 1/3 HCl çözeltisi kullanılarak belirlenmiştir (Schlichting ve Blume, 1966).

Organik madde: Walkley-Black Yöntemi ile belirlenmiştir (Jackson, 1962).

Toplam N: Dumas metodu ile belirlenmiştir (McGeehan ve Naylor, 1988).

Alınabilir P: Olsen ve ark. (1954) tarafından bildirildiği şekilde örnekler 0.5 M NaHCO₃ (pH: 8.5) ile ekstrakte edilip elde edilen süzükte Askorbik Asit Yöntemi ile belirlenmiştir (Kacar, 1995).

Alınabilir K, Ca, Mg: Örnekler 1 Normal Amonyum Asetat (pH: 7) ile ekstrakte edildikten sonra elde edilen süzükte ICP-OES Cihazı ile belirlenmiştir (Carson, 1980).

Alınabilir Fe, Cu, Mn, Zn: Örnekler DTPA (pH: 7.3) ile ekstrakte edildikten sonra elde edilen süzükte ICP-OES Cihazı ile belirlenmiştir (Lindsay ve Norvell, 1978).



Şekil 3.9. a ve b. Toprakta nem tayini.



Şekil 3.10. Toprak reaksiyonu analizi.



Şekil 3.11. Toprakta elektrik iletkenlik analizi.

3.3.2 Toprakların mikrobiyolojik analiz yöntemleri

Hasat sonunda alınan ve aynı gün 2 mm'lik elekten elendikten sonra +4 °C'de muhafaza edilen toprak örneklerinde aşağıda yer alan mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiştir.

Toprak Solunumu: Her saksıdan 50 gr alınan toprak örnekleri ile 0,1 N NaOH çözeltisi kullanılarak, 25 °C ve 24 saatlik inkübasyon süresi sonucunda ölçüm yapılmıştır (Isermeyer, 1952; Jäggi, 1976) (Şekil 3.12a, 3.12b, 3.12c).

Dehidrogenaz enzim aktivitesi: Toprak bünyesi ve organik madde miktarına göre farklı konsantrasyonlarda TTC (Trifenil tetrazolium klorür) çözeltisi verilen toprak örneklerinin 16 saat 25 °C’de inkübasyonundan sonra oluşan TPF (trifenil formazan)’ın 546 nm dalga boyunda fotometrik ölçümü ile belirlenmiştir (Thalman, 1968). (Şekil 3.13a, 3.13b, 3.13c)

Alkalin fosfotaz aktivitesi: Tamponlanmış p-nitrofenil fosfat çözeltisi ilaveli toprakların 1 saat 37 °C’de inkübasyonundan sonra ortaya çıkan fosfomonoesterazların NaOH ile renklendirilmesi sonucu 400 nm’de fotometrik olarak ölçülmesi ile saptanmıştır (Tabatabai ve Bremner, 1969; Eivazi ve Tabatabai, 1977).



Şekil 3.12. a, b ve c. Toprak solunumu analizi için yapılan hazırlıklar.



Şekil 3.13. Toprakta dehidrogenaz enzim aktivitesi analizi.



Şekil 3.14. a ve b Toprakta dehidrogenaz enzim aktivitesi analizi.

3.3.3 Bitki analiz yöntemleri

3.3.3.1 Bitki toplam yaş biyokütlesi

Sökülen bitkilerin yaprak, gövde ve kök kısımları saf suyla yıkandıktan sonra kurutma kağıdında bekletilip suyu alınmıştır. Daha sonra yaş ağırlıkları g cinsinden belirlenmiştir.

3.3.3.2 Bitki yaş kök ağırlığı

Sökülen çilek bitkilerinin kök ve gövdeleri ayrılarak kök kısmı saf suyla yıkandıktan sonra kurutma kağıdında bekletilip suyu alınmıştır (Şekil 8). Daha sonra yaş ağırlıkları g cinsinden belirlenmiştir (Şekil 3.15 ve 3.16).



Şekil 3.15. Bitkinin yaş ağırlığının saptanması.

Şekil 3.16. Bitki kökünün gövdeden ayrılması.

3.3.3.3 Bitki örneklerinin analizinde uygulanan yöntemler

Bitkinin tüm aksamı (Kök+gövde+yaprak) hava sirkülasyonlu kurutma dolabında 65 °C'de 48 saat (sabit ağırlığa gelinceye kadar) kurutulmuş, bitki değirmeninde öğütülmüş ve analize hazır hale getirilmiştir (Kacar, 1972) (Şekil 3.17). Bitki yapraklarında toplam azot analizi modifiye edilmiş Kjeldahl metoduna göre; toplam P, K, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, Zn ve Mn miktarları Kaçar ve İnal (2008)' e göre analize hazır hale getirilmiş örneklerinde yaş yakma yöntemi uygulanarak; fosfor vanada-molibdo fosforik sarı renk yöntemine göre kolorimetrede okunarak (Lott et al., 1956); K, Na, ve Ca miktarları flame fotometrede; Mg, Fe (Demir), Cu (Bakır), Zn (Çinko) ve Mn (Mangan) miktarları ise Atomik Absorbsiyon spektrofotometrede okunarak saptanmıştır (Kaçar ve İnal, 2008).



Şekil 3.17. Kurutulmuş bitkilerin öğütme öncesi toplam kuru ağırlıklarının hesaplanması.

3.3.4 Mikoriza analiz yöntemleri

3.3.4.1 Mikorizal enfeksiyon yüzdesi

Saksı topraklarından alınan bitki kök örneklerinde mikorizal enfeksiyon yüzdeleri Koske ve Gemma (1989)'a göre belirlenmiştir. Haşlanmış, temizlenmiş ve boyanmış kökler mikroskop slâytlarının üzerine taşınarak mikroskop altında 40-60 kat büyütmeyle Giovenetti ve Mosse (1980) yöntemine göre belirlenmiştir. Bunun için bitki kökleri topraktan arındırmak için suyla yıkandıktan sonra test kafeslerine yerleştirildi. Kökleri aşacak kadar köklerin üzerine %10'luk KOH ilave edildi ve 65 °C de etüvde 25 dk bekletildi (Şekil 3.18). Beherden alınan örnekler önce süzüldü, sonra saf su ile yıkandı ve %1 lik HCl ilave edildi. Örnekler 65 °C lik etüvde 45 dk bekletildikten sonra asitin ortamdan uzaklaşması sağlandı. Asit ortamından uzaklaştırılan köklerin üzerine 0.5 g lık trypanblue döküldü ve homojen olması sağlandı. 65 °C de etüvde 60 dk bekletildikten sonra Trypanblue dökülerek kökler süzüldü ve köklerin üzerine laktik asit ilave edilerek kökler okumaya hazırlanmaya kadar bekletildi. Örnekler lam ve lamel arasında dizilerek, kökler arasındaki enfeksiyonlu kökler tayin edildi. (Şekil 3.20, 3.21, 3.22a ve 3.22b).



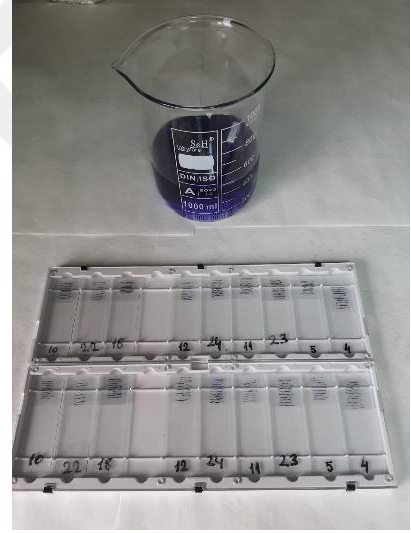
Şekil 3.18. Enfekte bitki köklerinin sıvı solüsyonda bekletilmesi.



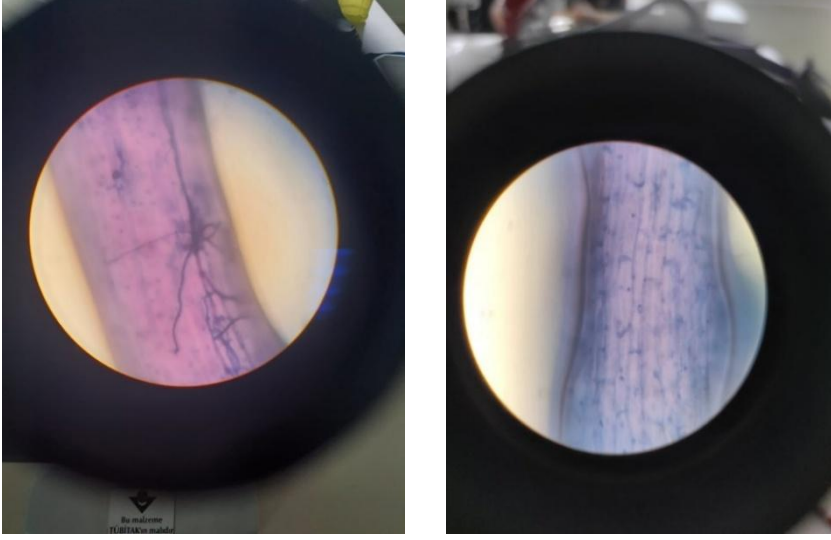
Şekil 3.19. Bitki köklerinin boyama için hazırlanması.



Şekil 3.20. Bitki köklerinin kesilmesi.



Şekil 3.21. Kesilen bitki köklerinin lamellere yerleştirilmesi.



Şekil 3.22. a ve b. Enfekte bitki köklerinde mikorizal görünüm.

3.3.4.2 Mikorizal sporların izolasyonu ve sayımı

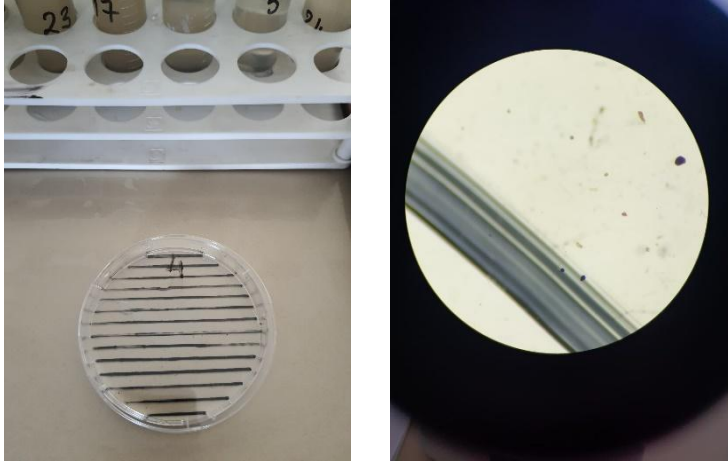
Spor sayılarının belirlenmesinde ıslak eleme yöntemi kullanılmıştır (Gerdeman ve Nicolson,1963). 100 g kuru toprak 500 ml'lik bir behere aktarıldıktan sonra üzerine yeterli miktarda su ilave edilerek yaklaşık 30 dakika beklenmiştir. Toprak su süspansiyonu iyice karıştırıldıktan sonra 710 ve 38 μm çapındaki elek takımından geçirilmiş ve bu işlem su berraklaşana kadar devam etmiştir (şekil 3.23a ve 3.23b). Eleklerin üzerinde tutulan sporlar ve toprak materyali 100 ml hacmindeki tüplere piset yardımıyla aktarılmış ve 5 dakika 2000 devir/dk hızla santrifüj edilmiştir (Şekil 3.24a, 3.24b). Tüplerdeki üst çözelti kısmı ortamdaki uzaklaştırılmış ve tüplerin dibindeki toprak, spor ve diğer maddeler %50'lik şeker çözeltisi ile yeniden süspanse edilerek yine 2000 devir/dk hızda 1 dakika süre ile santrifüj edilmiştir. Üst fazdaki şekeri uzaklaştırmak için yeniden 50 μm 'lik elekten geçirilmiş ve filtre kâğıdı üzerine alınan sporlar 25-40 büyütme ile mikroskop altında sayılmıştır (Şekil 3.25a, 3.25b).



Şekil 3.23. a ve b. Çeşitli çap büyüklüğünde eleklerden geçirilen toprak solüsyonu.



Şekil 3.24. a ve b. Toprak solüsyonundan sporların ayrıştırılması için yapılan santrifüj işlemleri.



Şekil 3.25. a ve b. Mikoriza sporlarının petri kaplarına aktarımı ve mikroskop altından spor tayini.

3.3.4.3 Metagenomik analiz yöntemi

Deneme toprağının içinde bulunan AMF sporlarının moleküler yöntemlerle tanımlanması için toprak örneklerinde fungus DNA izolasyon kitleri (Eurx Gene Matrix) kullanılarak kit protokolüne göre izolasyonları ve elde edilen DNA örnekleri yeni nesil sekans (Illumina seq) işlemleri BM Labosis firması (Ankara) tarafından yapılmıştır. Gelen ham verilerin incelenmesi ve Bio-informatik çalışmaları Galaxy Use yazılımı kullanılarak yapılmış ve elde edilen baskın sekanslar (> %10) NCBI ve Marjaa veri bankaları kullanılarak tanımlamalar yapılmıştır. %98 üzerindeki benzerlik oranı dikkate alınarak türler belirlenmiştir.

3.4 İstatistiksel Analiz Yöntemi

Araştırma sonuçları üç tekerrürün ortalaması şeklinde verilmiştir. Tüm veriler SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) programı kullanılarak ANOVA analizine tabii tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir ($P < 0.05$).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve Tuz (T) Uygulamalarının Deneme Toprağının pH ve Elektriki Geçirgenlik (EC) Düzeyi Üzerine Etkisi

Toprağa yapılan farklı tuz uygulamaları deneme toprağının pH ve EC'si üzerinde istatistiki anlamda ($P < 0.05$) önemli etkiler yapmıştır. AMF uygulamalarının ise istatistiki anlamda bir etkisi ortaya çıkmamıştır (Çizelge 4.1). En yüksek pH düzeyleri T0 ve T20 uygulamalarında, en düşük pH düzeyleri ise T50 ve T100 uygulamalarında saptanmıştır (Şekil 4.1). Artan tuz uygulamalarına bağlı olarak deneme toprağının pH düzeyindeki azalma, toprak çözeltisinde bulunan katyonların katı fazda kolloidler tarafından adsorbe edilen hidrojen iyonları ile yer değiştirmesi sonucu toprak çözeltisi içerisindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunun artmasından kaynaklanmıştır.

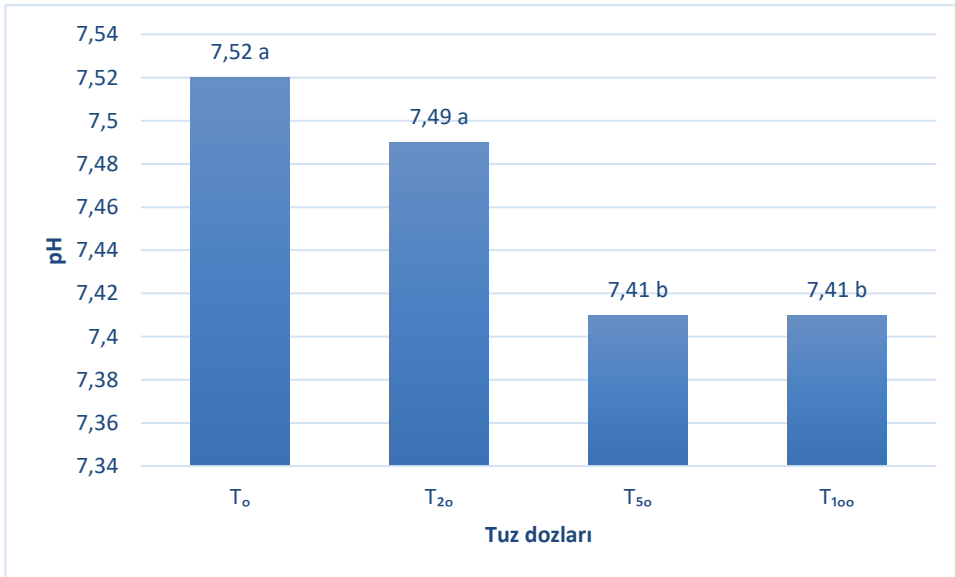
Deneme topraklarında saptanan en yüksek EC düzeyi (5.328 dS/m) T100 uygulamalarında, en düşük EC düzeyleri ise T0 ve T20 (2.113, 2.543 dS/m) uygulamalarında ortaya çıkmıştır (Şekil 4.2). Topraktaki tuz miktarı arttıkça toprağın elektriksel geçirgenliği de artmaktadır. T100 uygulamalarında topraklarda tuzluluk sınır değeri olan 4 dS/m'i geçildiği anlaşılmaktadır.

Çilek bitkisi köklerinin AMF ile aşılmasının toprağın EC düzeyi üzerine herhangi bir etkisi ortaya çıkmazken tam tersi veriler elde eden çalışmalar da mevcuttur. Giri et al., (2003) *A. auriculiformis*'in mikorizal aşılması ile toprağın elektriksel iletkenliğinin önemli ölçüde düştüğünü saptamışlardır. Buwalda'ya (1983) göre bu etki, mikorizal hifler tarafından iyonların doğrudan alınması, taşınması ve konak bitkiye aktarılmasından kaynaklanabilirken, Rosendahl and Rosendahl (1991) da AMF'lerin topraktaki iyonik denge üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görüşünü desteklemektedir (Giri et al., 2003).

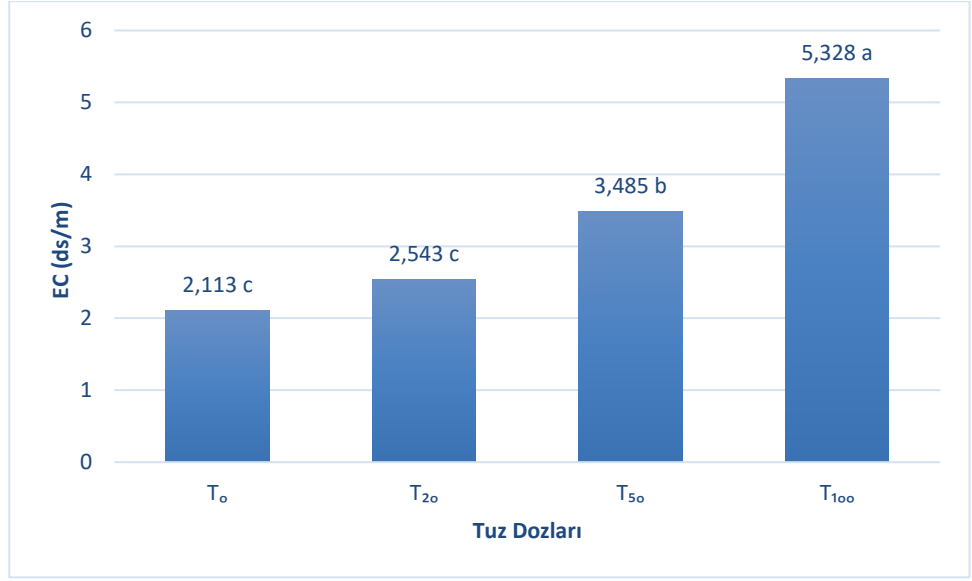
Çizelge 4.1. Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının pH ve EC düzeyi üzerine etkisi

Uygulamalar		pH	EC (ds/m)
AMF (+)	T ₀	7.52	2.193
	T ₂₀	7.48	2.603
	T ₅₀	7.42	3.547
	T ₁₀₀	7.43	5.363
AMF (-)	T ₀	7.51	2.033
	T ₂₀	7.50	2.483
	T ₅₀	7.40	3.423
	T ₁₀₀	7.38	5.293
AMF (+)		7.46	3.426
AMF (-)		7.45	3.308
T ₀		7.52 a*	2.113 c
T ₂₀		7.49 a	2.543 c
T ₅₀		7.41 b	3.485 b
T ₁₀₀		7.41 b	5.328 a

*: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre ($P < 0.05$) birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir.



Şekil 4.1. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının pH düzeyi üzerindeki etkisi.



Şekil 4.2. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının EC düzeyi üzerindeki etkisi.

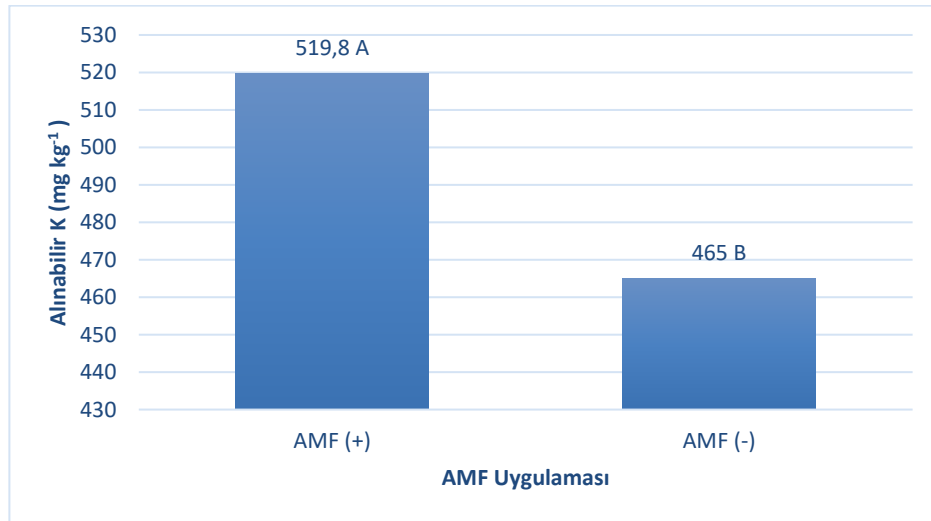
4.2 Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve Tuz (T) Uygulamalarının Deneme Toprağının Makro ve Mikro Bitki Besin Element Miktarları Üzerine Etkisi

Toprağa yapılan AMF uygulaması toprağın alınabilir K ve Zn miktarları üzerinde, tuz uygulamaları ise toprağın alınabilir K, Na ve Ca miktarları üzerinde istatistiki anlamda ($P < 0.05$) önemli etkiler yapmıştır (Çizelge 4.2). AMF uygulaması yapılan topraklardaki alınabilir K miktarları, AMF uygulaması yapılmayan topraklara oranla %12 daha yüksektir. Alınabilir Zn oranı ise AMF uygulaması yapılmayan topraklara oranla %26 daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.3 ve 4.4).

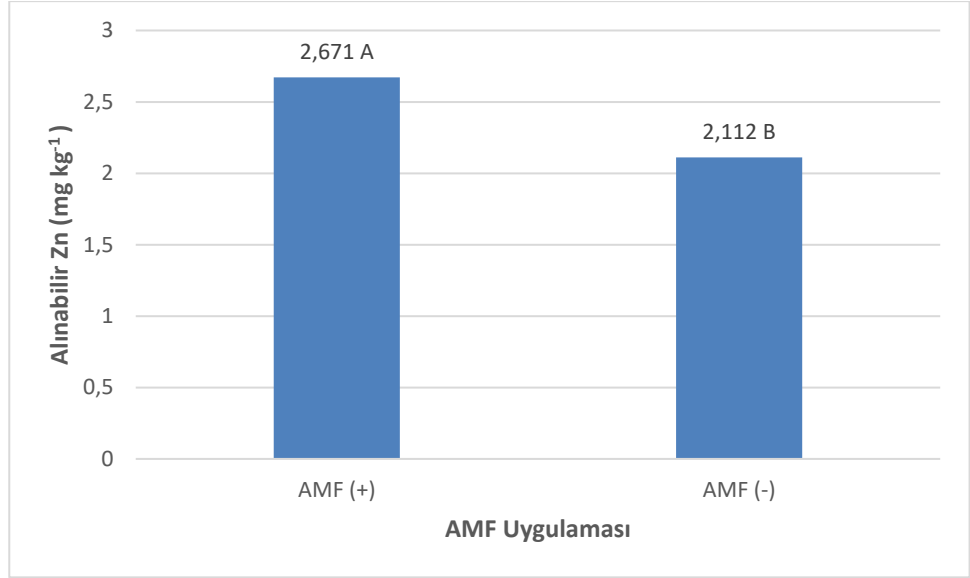
Çizelge 4.2. Arbusküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının toplam azot ve alınabilir bitki besin madde miktarları üzerine etkisi

Uygulamalar	Toplam N (%)	Alınabilir (mg kg ⁻¹)								
		P	K	Na	Ca	Fe	Zn	Cu	Mn	
AMF(+)	T ₀	0.118	28.53	549.33	230.56	6309.36	1.797	2.560	0.957	2.897
	T ₂₀	0.125	18.66	506.26	411.30	6177.26	1.377	1.663	0.867	1.747
	T ₅₀	0.117	19.86	437.90	695.36	5516.56	1.790	2.307	1.050	2.197
	T ₁₀₀	0.108	21.86	585.83	2488.90	7432.50	2.080	4.183	1.277	3.127
AMF(-)	T ₀	0.118	22.40	459.43	155.20	6144.20	2.083	2.113	1.073	3.343
	T ₂₀	0.121	25.33	500.33	400.50	6342.40	2.203	2.343	1.093	3.323
	T ₅₀	0.120	20.93	405.10	557.20	5252.36	2.020	1.927	1.133	3.033
	T ₁₀₀	0.074	24.26	495.26	2309.93	6474.63	1.770	2.090	1.067	2.620
AMF (+)	0.117	22.23	519.8 A*	956.5	6358.9	1.760	2.671 A	1.032	2.491	
AMF (-)	0.108	23.23	465.0 B	855.7	6053.4	2.010	2.112 B	1.091	3.080	
T ₀	0.118	25.46	504.3 b*	192.8 c	6226.7 c	1.940	2.336	1.493	3.121	
T ₂₀	0.123	21.99	503.3 b	405.9 bc	6259.8 c	1.790	2.003	0.980	2.535	
T ₅₀	0.118	20.39	421.5 c	626.3 b	5384.4 b	1.905	2.117	1.091	2.615	
T ₁₀₀	0.091	23.06	540.5 a	2399.4 a	6953.5 a	1.925	3.136	1.172	2.873	

*: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre ($P<0.05$) birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir.



Şekil 4.3. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamalarının deneme toprağının alınabilir K miktarları üzerindeki etkisi.

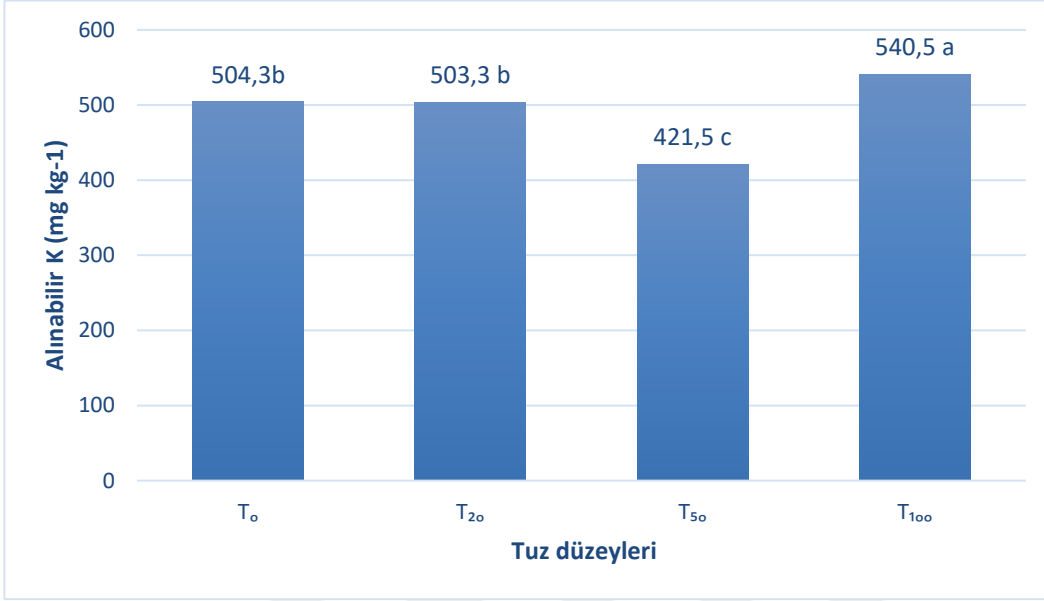


Şekil 4.4. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamalarının deneme toprağının alınabilir Zn miktarları üzerindeki etkisi.

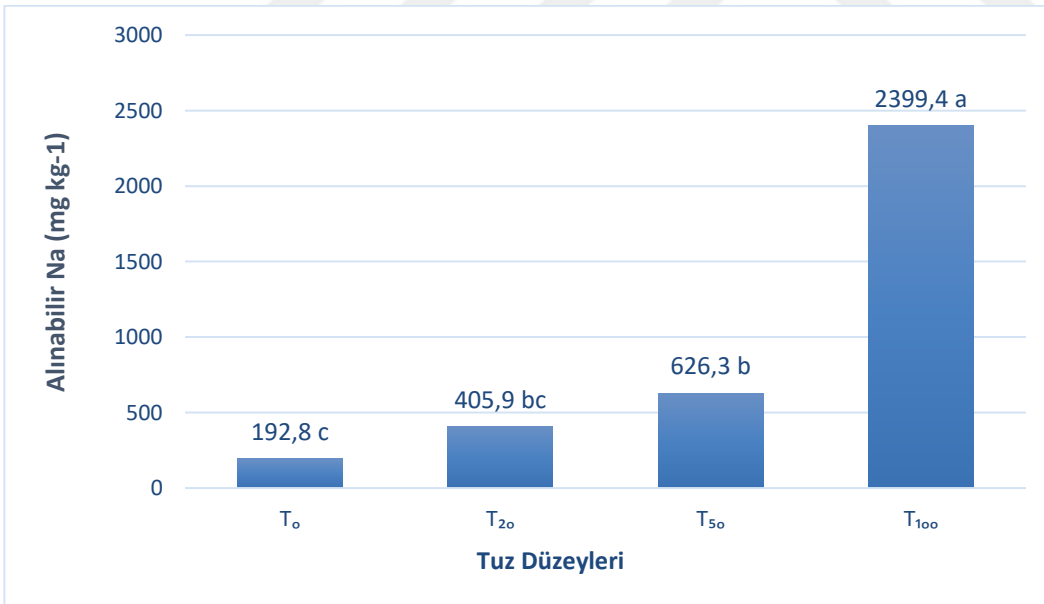
Mikorizal fungusların, özellikle besin maddesi yetersizliği olan topraklarda başta fosfor (P) olmak üzere, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe gibi besin öğelerinin bitkiler tarafından alınımını arttırdığı bilinmektedir (Bolan 1991; Clark and Zeto 2000). Veresoglou et al., (2011) AMF'lerin, hidrojen iyonları ile karbondioksit veya sitrat, malat ve oksalat gibi organik asit anyonlarını serbest bırakarak potasyumun (K) mineral formlarının topraktaki çözünürlüğünü arttırabileceğini ve bu durumun aynı zamanda bitki yaprak ve meyvelerindeki N, K, Ca ve Fe miktarını da arttırdığını belirtmişlerdir (Meena et al., 2016). AMF'lerin hifleri aracılığıyla toprakta mobilitesi düşük olan Zn mineralinin toprakta yararlılığını arttırdığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Marschner and Dell 1994; Cavagnaro 2008). Mikorizal simbiyozun bu faydalı etkisinin Zn yetersizliği olan toprak koşullarında mısır bitkisinin fizyolojik fonksiyonlarındaki artışa neden olduğu ileri sürülmüştür (Saboor et al. 2021).

Çalışmada tuzluluğun etkisine bakıldığında ise en yüksek alınabilir K, Na ve Ca miktarları, uygulanan en yüksek tuz düzeyi olan T100'de saptanmıştır. Kontrole oranla bu artışlar K, Na ve Ca için sırasıyla %7, %1145 ve %12 olarak gerçekleşmiştir. (Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7). Denemede tuz uygulaması NaCl olarak verildiğinden dolayı artan tuz dozlarına bağlı olarak toprakların alınabilir Na

miktarları da artmıştır. Diğer element miktarlarındaki artışların ise toprağın pH'sındaki azalmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.5. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının alınabilir K miktarları üzerine etkisi.



Şekil 4.6. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının alınabilir Na miktarları üzerine etkisi.



Şekil 4.7. Tuz (T) uygulamalarının toprağın alınabilir Ca miktarları üzerine etkisi.

4.3 Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve Tuz (T) Uygulamalarının Deneme Toprağının Bazı Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi

Toprağa yapılan AMF uygulaması toprağın sadece alkalin fosfotaz aktivitesi (ALKPA) üzerinde, tuz uygulamaları ise toprağın dehidrogenaz (DHA) ve alkalin fosfotaz aktiviteleri üzerinde istatistiki anlamda ($P < 0.05$) önemli etkiler yapmıştır (Çizelge 4.3). AMF uygulaması ile toprağın ALKPA aktivitesi, T₀'da %15, T₂₀'de %4, T₅₀'de %4 ve T₁₀₀'de %21 oranında artmıştır (ortalama %11) (Şekil 4.8). Dodd et al (1987) soğan ve buğdayda 3 farklı Glomus türü aşılması ile rizosferde ALKPA aktivitesinin arttığını saptamışlardır. Benzer sonuçlar Tarafdar and Marschner (1994) ile Joner and Johansen (2000) tarafından da bulunmuştur.

Sonuçlar tuz uygulamalarına bağlı olarak değerlendirildiğinde; gerek DHA ve gerekse ALKPA aktivitelerini olumsuz etkileyen dozun T₅₀ olduğu, diğer tuz uygulamalarının ise aynı istatistiki grup içerisinde yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.9 ve 4.10). Toprak solunumunda da istatistiki olarak anlamlı olmasa da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu veriler denemede uygulanan en yüksek tuz uygulamasının topraktaki mikrobiyolojik aktiviteyi olumsuz etkilemediğini göstermektedir. Topraklara tuz uygulamalarının toprak solunumu ve enzim aktivitesi üzerinde farklı etkilere neden olabildiği ileri sürülmüştür. Saviozzi et al (2011); 4 dS/m'e kadar olan EC değerlerinin toprak solunumunu artırdığını, bunun

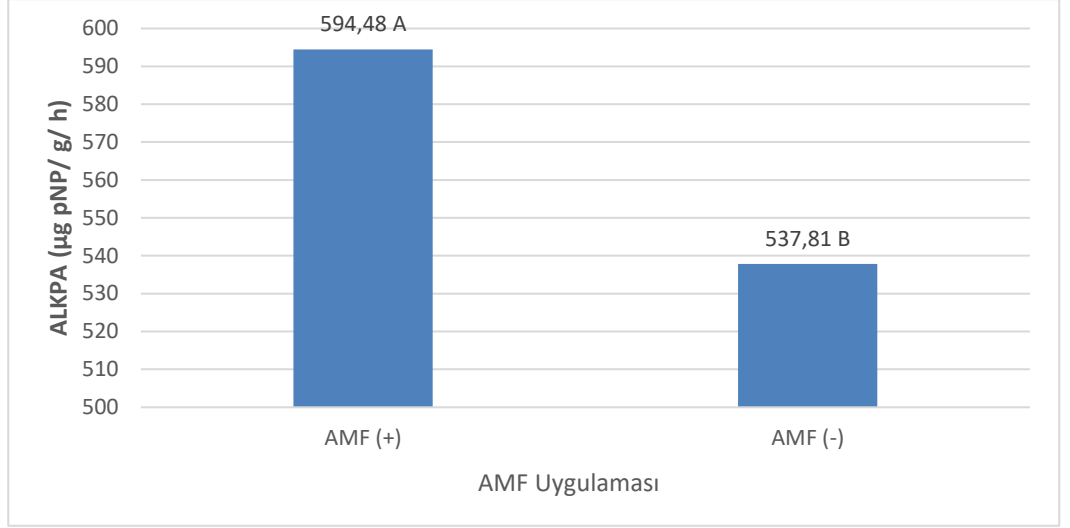
nedenin de stres altındaki mikrobiyal topluluğun fizyolojik olarak daha aktif olduğunu ve substratı daha az etkili bir şekilde kullanmasından kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. Aynı çalışmada benzer sonuçlar DHA ve ALKPA için de bulunmuştur.

Farklı çalışmalar da yine tuzlu koşullar altında mikorizal kolonilerin ALKPA aktivitesini arttırdığını göstermektedir. Buna göre tuzun yarattığı iyon toksisitesi ve artan ozmotik basınca bağlı azalan su yararlanımının mikrobiyal aktivite ile toprak solunumu ve fosfotaz aktivitesi üzerindeki olumsuz etkisi mikorizal funguslar sayesinde bertaraf edilebilmektedir (Bořivoj Šarapatka et al., 2003). Benzer bir çalışma da hiflerin yoğun olduğu bölgelerde alkalın fosfataz artışını göstermektedir (Joner and Jakobsen, 1995). Darı bitkisiyle yapılan bir çalışma NaCl'ün P dahil besin maddelerinin topraktan alımına engel olduğunu fakat hücrel fosfataz aktivitesinin artışıyla çözünmeyen fosfat formunun çözünürlüğünün arttığını ve ozmotik dengenin kurulmasına yardımcı olduğunu göstermektedir (Fincher 1989; Jainet al., 2004; Aberi H et al' dan 2014).

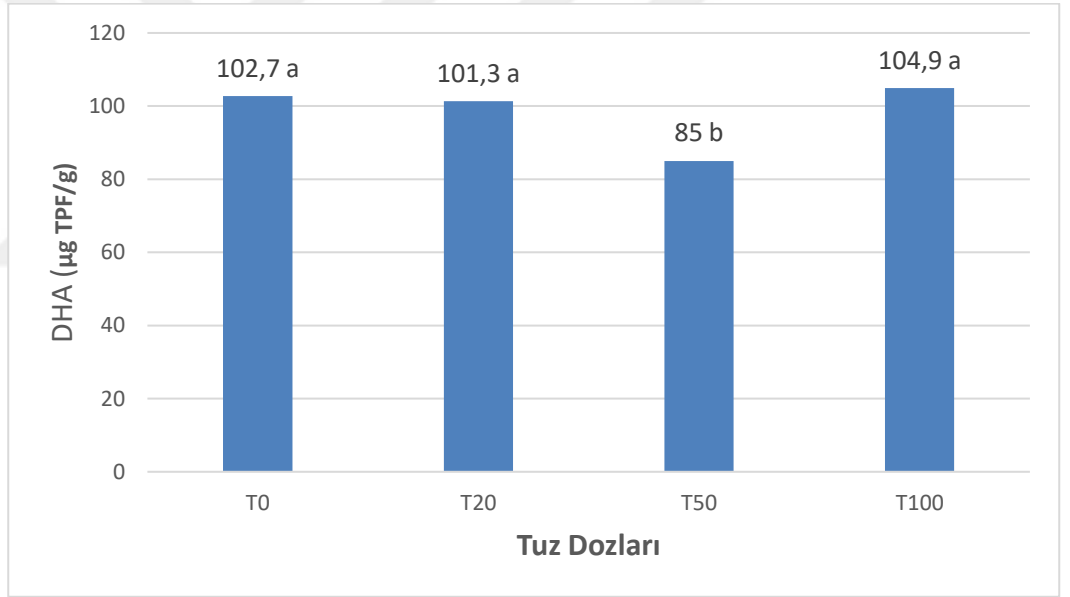
Çizelge 4.3. Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının toprak solunumu ve dehidrogenaz (DHA) ile alkalın fosfotaz (ALKPA) aktiviteleri üzerine etkisi

Uygulamalar		Toprak Solunumu (mg CO ₂ -C/100 gr)	DHA (µg TPF/g)	ALKPA (µg pNP/ g/ h)
AMF (+)	T ₀	10.35	105.03	639.84
	T ₂₀	9.16	106.17	560.70
	T ₅₀	9.16	80.31	522.07
	T ₁₀₀	10.23	104.97	667.29
AMF (-)	T ₀	9.28	100.33	555.66
	T ₂₀	9.49	96.42	541.57
	T ₅₀	9.23	89.74	504.30
	T ₁₀₀	9.93	104.98	549.69
AMF (+)		9.73	99.12	594.48 A*
AMF (-)		9.49	97.87	537.81 B
T ₀		9.81	102.69 a*	597.76 a
T ₂₀		9.32	101.30 a	551.14 ab
T ₅₀		9.19	85.03 b	513.19 b
T ₁₀₀		10.13	104.98 a	608.50 a

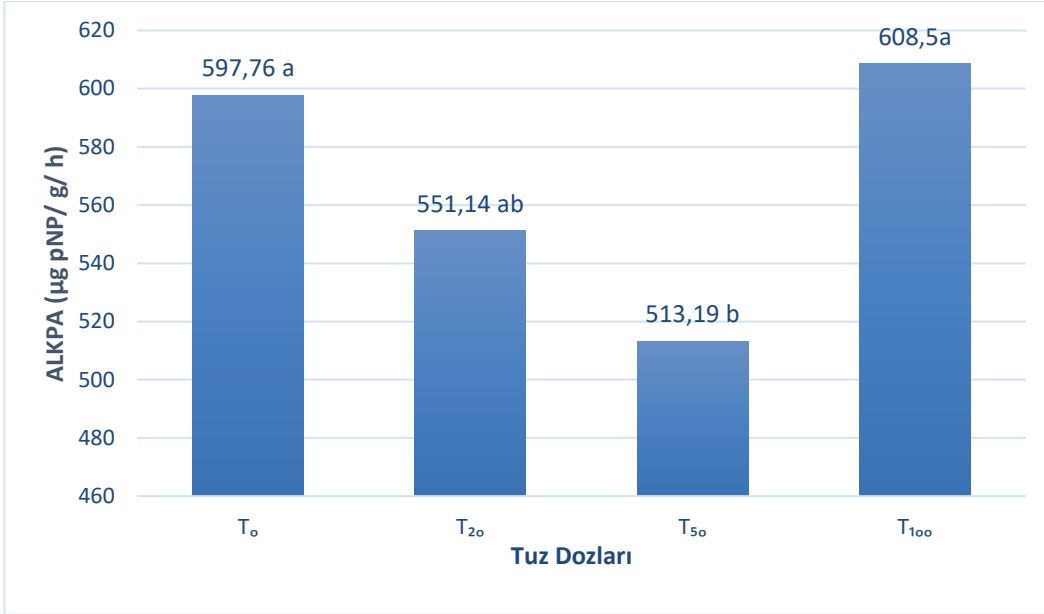
*: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre ($P < 0.05$) birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir.



Şekil 4.8. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamalarının deneme toprağının ALKPA enzim aktivitesi üzerine etkisi.



Şekil 4.9. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının DHA enzim aktivitesi üzerine etkisi.



Şekil 4.10. Tuz (T) uygulamalarının deneme toprağının ALKPA enzim aktivitesi üzerine etkisi.

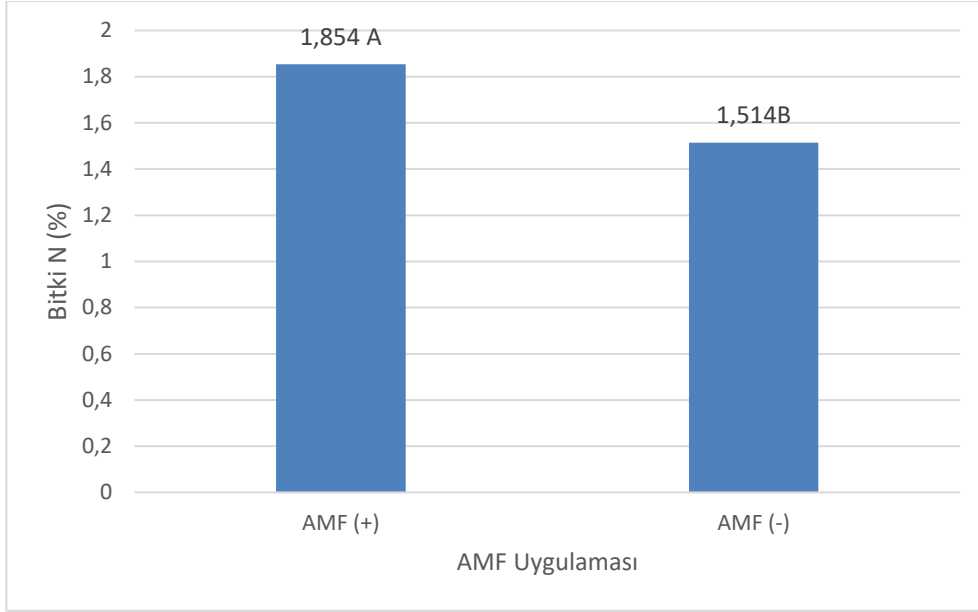
4.4 Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve Tuz (T) Uygulamalarının Çilek Bitkisinin Makro ve Mikro Besin Element Miktarları Üzerine Etkisi

Toprağa yapılan AMF uygulaması çilek bitkisinin toplam N, Fe ve Zn miktarları üzerinde istatistiki anlamda ($p < 0.05$) önemli etkiler yapmıştır (Çizelge 4.4). Buna göre AMF uygulaması ile birlikte çilek bitkisinin N içeriği AMF uygulanmamış bitkilere oranla %22, Fe içeriği %27 ve Zn içeriği %34 oranında artmıştır.

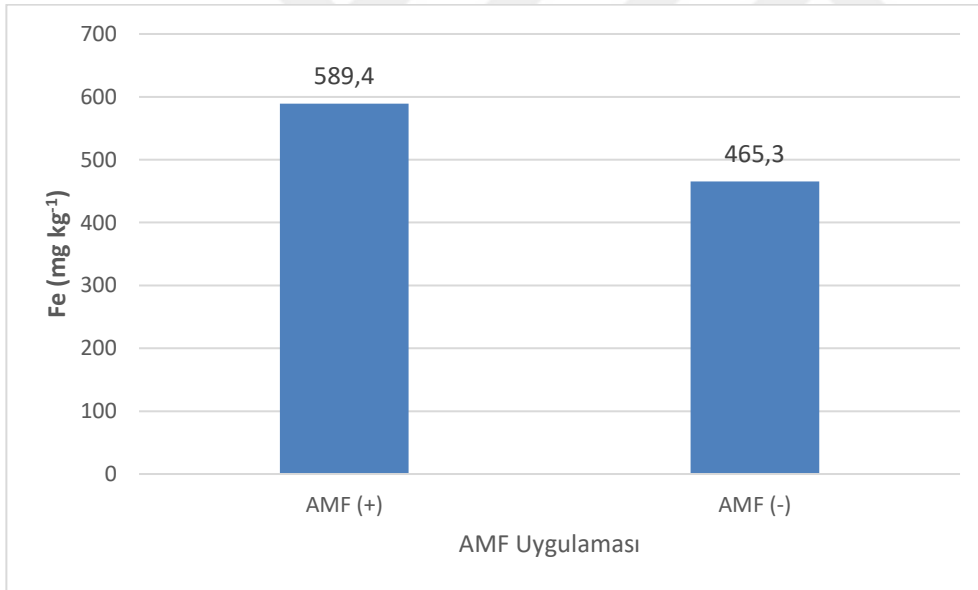
Çizelge 4.4. Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve tuz (T) uygulamalarının çilek bitkisinin makro ve mikro besin element miktarları üzerine etkisi

Uygulamalar		Toplam								
		N	P	K	Ca	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
		(%)				(mg kg ⁻¹)				
AMF (+)	T ₀	1.990	0.141	1.257	2.303	2376.9	462.6	132.6	158.3	121.6
	T ₂₀	1.587	0.158	1.530	2.770	2127.6	626.3	236.6	160.6	167.3
	T ₅₀	1.890	0.151	1.843	2.653	2830.4	519.0	251.0	194.3	175.0
	T ₁₀₀	1.950	0.123	1.877	3.433	6078.9	749.6	146.3	134.0	157.0
AMF (-)	T ₀	1.830	0.139	1.207	2.290	458.4	343.6	94.3	147.0	69.0
	T ₂₀	1.217	0.120	1.527	2.800	1178.6	475.0	181.0	149.6	134.3
	T ₅₀	1.403	0.131	1.553	2.793	4525.8	457.3	237.3	175.3	160.6
	T ₁₀₀	1.607	0.123	1.890	2.843	6688.8	585.3	133.6	138.0	99.6
AMF (+)		1.854 A*	0.143	1.626	2.790	3353.4	589.4 A	191.6	161.8	155.2 A
AMF (-)		1.514 B	0.128	1.544	2.681	3212.9	465.3 B	161.6	152.5	115.9 B
T ₀		1.910 a*	0.140	1.232 b	2.297 b	1417.6 c	403.1 b	113.5 b	152.6	95.3
T ₂₀		1.402 b	0.139	1.528 ab	2.785 ab	1653.1 c	488.2 ab	208.8 ab	155.1	150.8
T ₅₀		1.647 ab	0.141	1.698 a	2.723 ab	3678.1 b	550.6 ab	244.1 a	184.8	167.8
T ₁₀₀		1.778 a	0.123	1.883 a	3.138 a	6383.8 a	667.5 a	140.0 ab	136.0	128.3

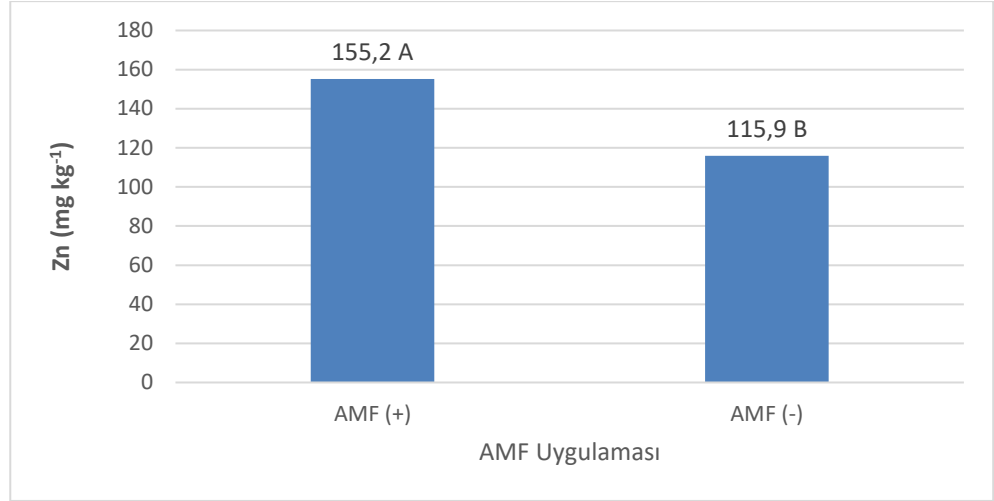
*: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre ($P<0.05$) birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir.



Şekil 4.11. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamasının farklı tuz dozlarında çilek bitkisinin toplam N miktarları üzerine etkisi.



Şekil 4.12. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamasının farklı tuz dozlarında çilek bitkisinin toplam Fe miktarları üzerine etkisi.



Şekil 4.13. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamasının farklı tuz dozlarında çilek bitkisinin toplam Zn miktarları üzerine etkisi.

İstatistiki anlamda bir etki yaratmamasına karşın AMF uygulanmış bitkilerin toplam P içeriği %12, K içeriği %5, Ca içeriği %4, Na içeriği %4, Cu içeriği %11 ve Mn içeriği %6 oranında artmıştır (Şekil 4.14). AMF uygulamaları ile çilek bitkisinin toplam N, P, Fe, Cu ve Zn içeriğinin %10'un üzerinde artışlar göstermesi dikkat çekicidir. AMF uygulaması ile bitkilerin artan absorptif kök yapılarından dolayı besin madde alımlarındaki artışlar diğer araştırmacılar tarafından da saptanmıştır (George et al., 1995; Bücking et al., 2012; Miransari, 2011).

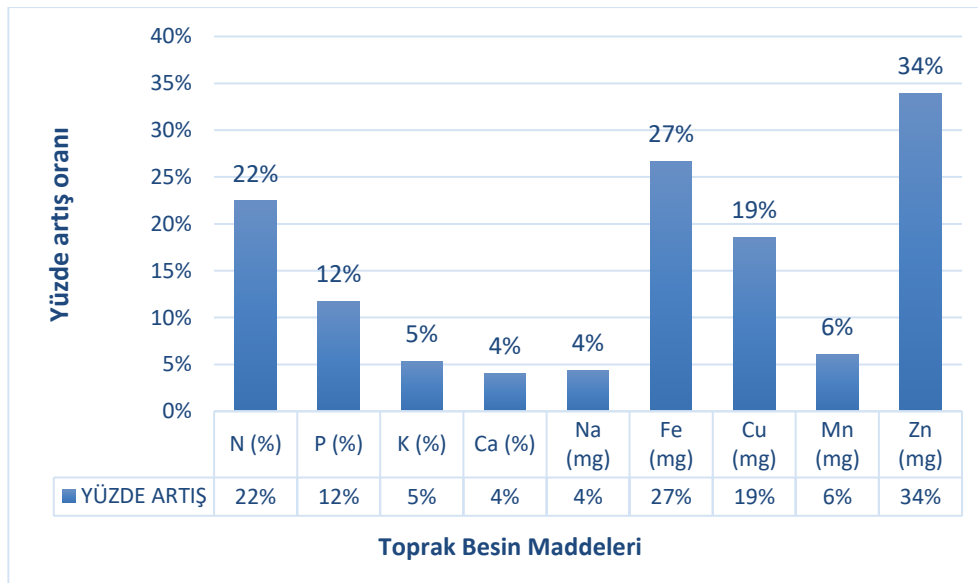
Smith et al. (2004), AMF'lerin özellikle bitkinin P alımı üzerinde çok fazla etkili olduğu, bitkinin neredeyse tüm P ihtiyacının mikorizal yollardan sağlanabildiğini ileri sürülmektedir (Cavagnaro, 2008). AMFlerin diğer minerallerin alımlarını da arttırdığını gösteren farklı çalışmalar mevcuttur Cavagnaro,2008. Araştırmalar özellikle toprakta hareketliliği az olan P, Cu ve Zn gibi mineraller üzerinde AMFlerin önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bitkinin Cu ihtiyacının %60'ını, N'un ve Zn'nun %25'ini ve K'un %10'unu AMF hifleri yoluyla sağlanabildiğini göstermiştir. (Marschner and Dell, 1994; Al-Karaki and Clark 1998).

Kireçli bir toprakta yetiştirilen *G.mossea* ile enfekte mısır bitkisindeki artan P ve Zn konsantrasyonlarının en önemli nedeni olarak mikorizal hiflerin olduğu ileri sürülmüştür. Bitkinin besin maddesi alımında minimum hif katkısının fosforda

%13-20, çinkoda ise %16-25 arasında değiştiği belirlenmiştir (Kothari et al., 1991). Kireç içeriği açısından benzer nitelikteki bir toprakta kısıtlı kök yapısı geliştiren beyaz yonca bitkisinde ise hifsel yollarla bakır yararlanımı %52 ila 62 aralığına ulaşmıştır (Li et al., 1991).

AMFlerin bitkilerde Zn mineralinin alımını düzenlemede kompleks bir etki gösterdiği anlaşılmaktadır. Düşük Zn konsantrasyonlarında bitkinin Zn alımını arttırırken yüksek Zn konsantrasyonlarında ise bitki köklerinde kolonileşen AMF'lerin bitki dokularında Zn birikimini azalttığı ve bu durumun diğer metaller için de geçerli olduğu belirlenmiştir (Christie et al. 2004; Zhu et al. 2001).

Al-Karaki (2000), orta (4.7 dSm^{-1}) ve yüksek (7.4 dSm^{-1}) tuz seviyelerinde yetiştirilen sera domatesinin toplam Fe, Cu ve Zn içeriğini tüm tuzluluk seviyelerinde AMF aşılı (*Glomus mosseae*) bitkilerde aşılı olmayanlara göre daha yüksek konsantrasyonlarda saptamışlardır. Bununla beraber bu farklıklar yüksek tuz seviyesinde anlamlı bulunmamıştır. Aynı çalışmada sodyum konsantrasyonlarının hem mikorizalı hem mikorizasız bitkilerde arttığı fakat orta ve yüksek tuzluluk düzeylerinde mikorizalı bitkilerde daha düşük konsantrasyonlarda Na konsantrasyonları saptanmıştır. Aynı durum kontrol saksılara ait bitkilerde ise görülmemiştir.

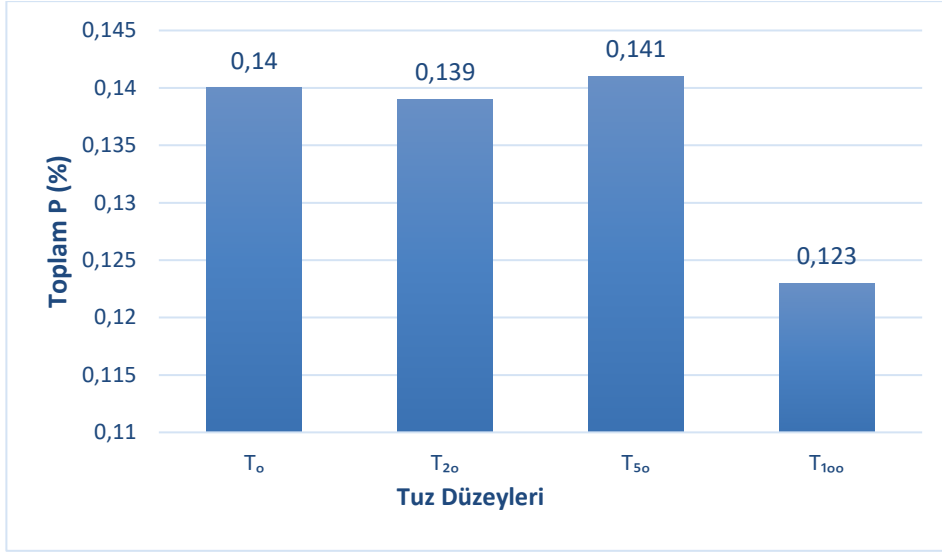


Şekil 4.14. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamasının bitkilerin makro ve mikro besin maddeleri üzerindeki artış oranları.

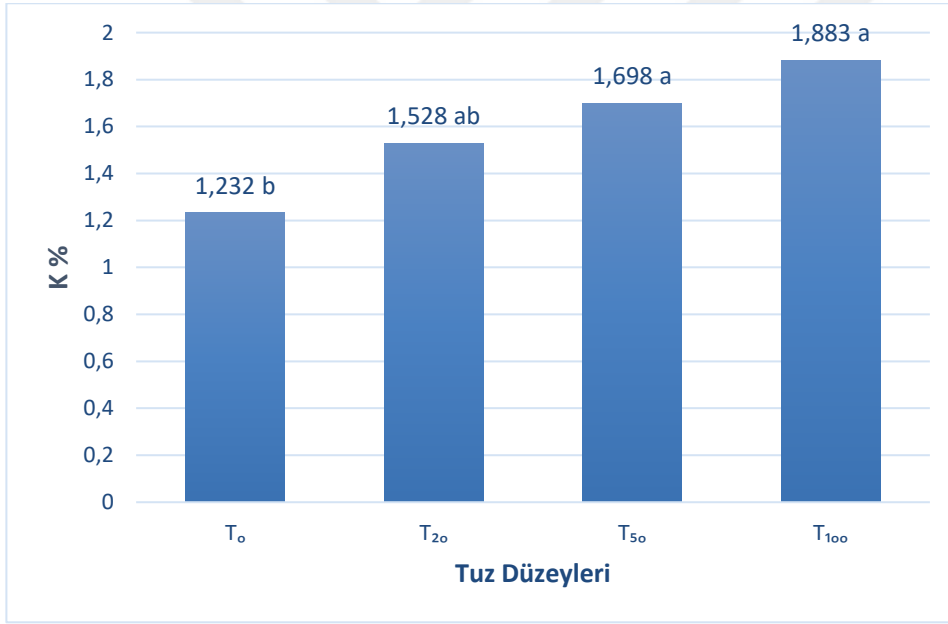
Denemede yapılan tuz uygulamaları bitkinin N, K, Ca, Na, Fe ve Cu miktarları üzerinde istatistiki anlamda ($P < 0.05$) önemli etkiler yapmıştır (Çizelge 4.3.). Tuz konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak K, Ca, Na, Fe ve Cu elementlerinin bitki tarafından alımı da artmıştır. Bu durumun artan tuz düzeylerine bağlı olarak söz konusu elementlerin toprak çözeltisindeki alınabilir miktarlarının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 4.2). Çilek bitkisinin en yüksek azot alımı kontrolde (T_0) ortaya çıkmış, T_{20} tuz düzeyinde ise en düşük azot alımı gerçekleşmiştir. Tuzlu topraklarda iyon dengesinin bozulması nedeni ile bazı elementlerin alımı artarken bazılarının azalabilir. Bu durum tuz iyonlarının besin elemntleri ile rekabetinden dolayı ortaya çıkabilir (Ashraf vd., 1992; Ashraf ve Sarwar, 2002). Abdelgadir et al., (2005) bitkinin kök ve üst dokularındaki klor ve nitrat iyonları arasında negatif bir ilişki saptarlarken, Flowers and Flowers (2005) nitrat alımındaki azalmayı tuzlu toprakların yüksek klor içeriğine ve antagonistik etkisine bağlamışlardır. Tuz konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak çilek bitkisinin toplam N, P, K, Ca, Na, Fe ve Cu miktarlarındaki değişimler sırası ile Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21’de verilmiştir.



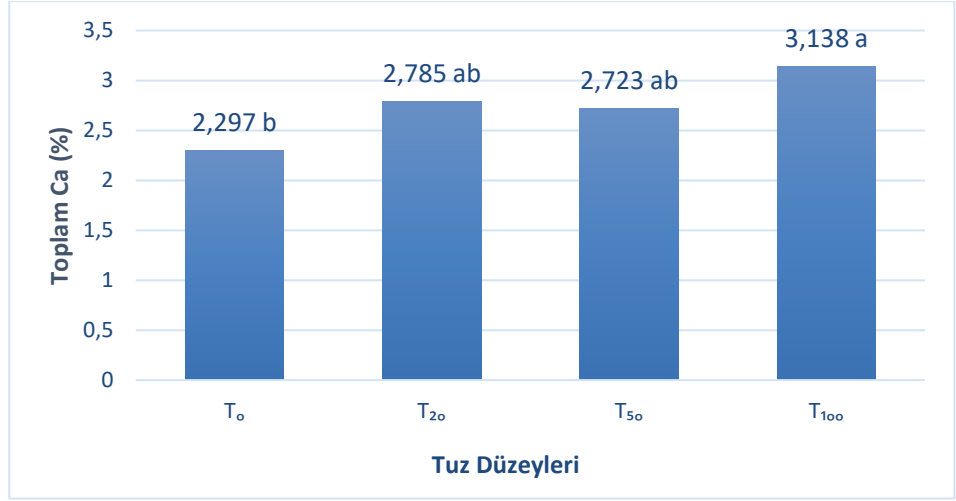
Şekil 4.15. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam N miktarı üzerindeki etkisi.



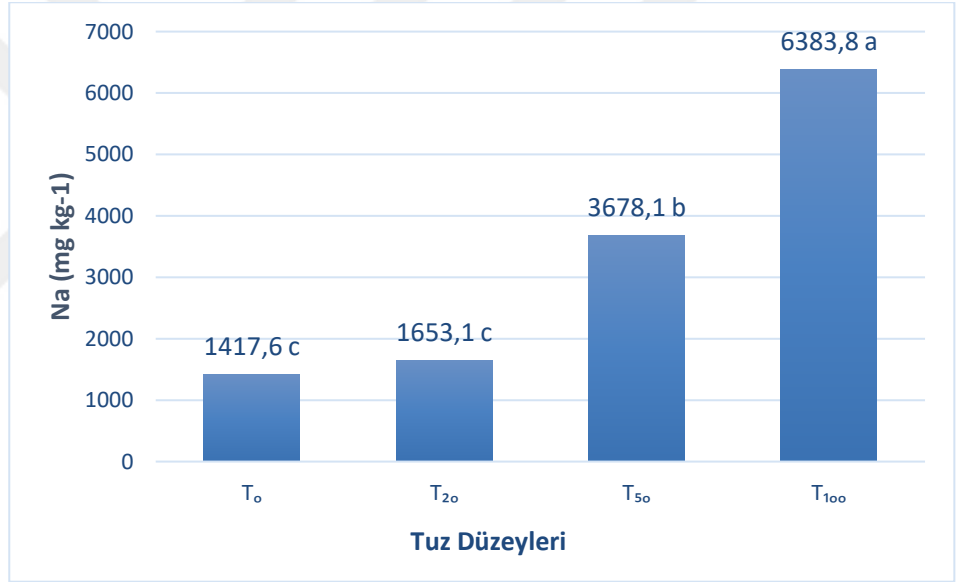
Şekil 4.16. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam P miktarı üzerindeki etkisi.



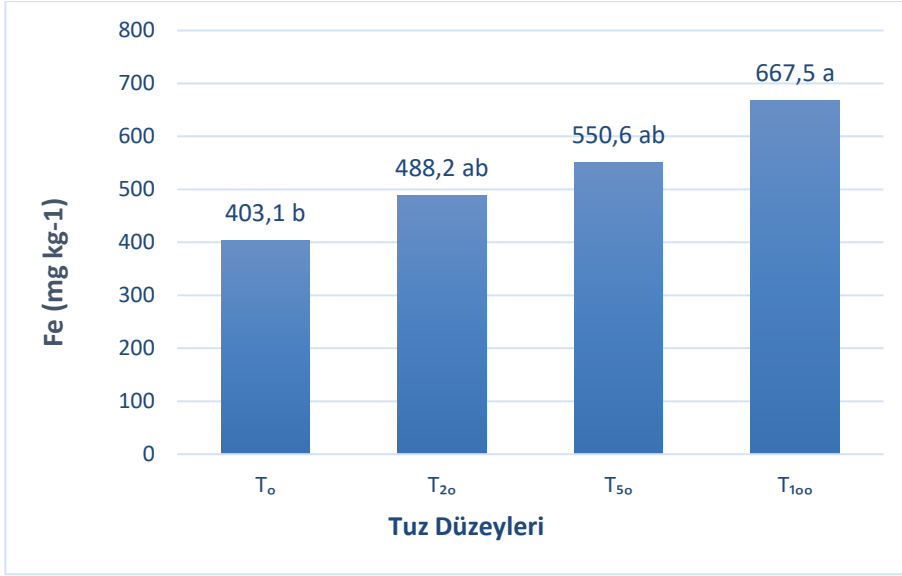
Şekil 4.17. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam K miktarı üzerindeki etkisi.



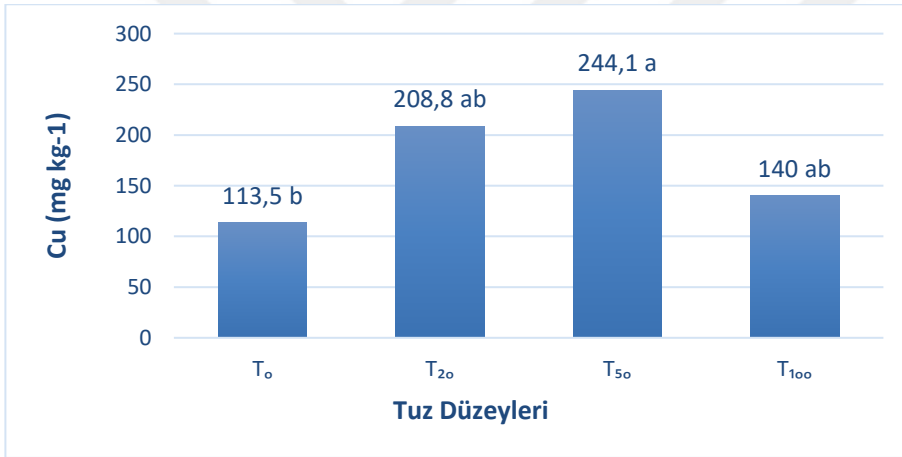
Şekil 4.18. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam Ca miktarı üzerindeki etkisi.



Şekil 4.19. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam Na miktarı üzerindeki etkisi.



Şekil 4.20. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam Fe miktarı üzerindeki etkisi.



Şekil 4.21. Tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam Cu miktarı üzerindeki etkisi.

4.5 Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve Tuz (T) Uygulamalarının Çilek Bitkisinin Toplam Biyokütle ve Kök Ağırlığı Üzerine Etkisi

Toprağa yapılan AMF ve tuz uygulamalarının çilek bitkisinin toplam biyokütle ve kök ağırlığı üzerine istatistiki anlamda farklılık yaratacak bir etkisi ortaya çıkmamıştır (Çizelge 4.5). Bununla beraber AMF aşılınmış çilek bitkisindeki toplam biyokütle ve kök yaş ağırlıkları AMF uygulanmayan çilek bitkisine oranla sırasıyla % 11 ve % 3 oranlarında daha fazla tespit edilmiştir (Şekil 4.22). Bu durumun AMF uygulamasının bitkinin yüksek tuz düzeylerinde dayanıklılığını artırıp toplam biyokütle ve yaş kök ağırlığı üzerinde etkili olduğunu

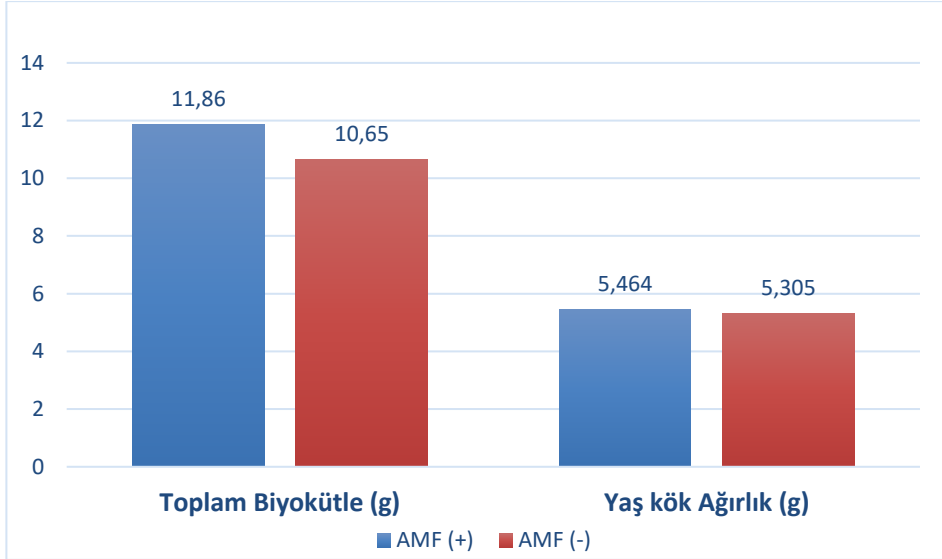
göstermektedir. Haque and Matsubara (2018) tuzlu toprak koşullarında AMF uygulaması yapılan bitkilerin kuru ağırlığında, Giri ve et al. (2003) ise AMF ile inoküle bitkilerin kök ve bitki ağırlığında artış saptamıştır.

Tuza hassas domates bitkisiyle yapılan bir çalışmada kök ve gövde+yaprak kuru madde ağırlığı ile yaprak yüzey alanı mikorizal domateslerde olmayanlara oranla daha yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte yüksek tuzluluk düzeyinde (7.4 dS m⁻¹) iki grup arasında bitkisel parametreler açısından anlamlı bir fark görülmemiştir. Tuzluluk arttıkça toplam kuru madde ve kök ağırlığı azalmıştır (Al-Karaki, 2000; Giri and Mukerji, 2004).

Giri ve Mukerji (2004), Tuzlu topraklarda ekimi yapılan *S. aegyptiaca* and *S. grandiflora* bitkilerinde 30 ve 60. gününde yapılan gözlemlerinde mikorizal fidelerin kök ve bitki ağırlıklarında mikorizasız olanlara nazaran anlamlı artışlar olduğu görülmüştür. Bu da stres koşulları altında mikoriza ile inoküle edilen bitkilerin mikorizasız olanlara göre daha iyi geliştiğini, bu durumun daha yüksek besin alımına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.5. Arbüsküler Mikoriza Fungusu (AMF) ve tuz (T) uygulamalarının çilek bitkisinin toplam biyokütle ve yaş kök ağırlığı üzerine etkisi

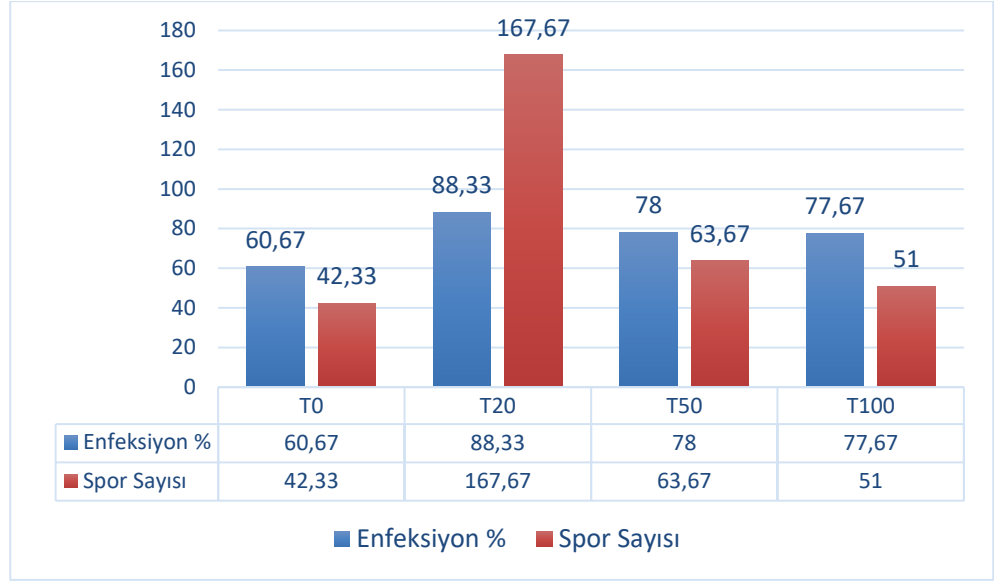
Uygulamalar		Toplam Biyokütle (g)	Yaş Kök Ağırlığı (g)
AMF (+)	T ₀	13.683	5.850
	T ₂₀	11.460	4.827
	T ₅₀	12.033	5.393
	T ₁₀₀	10.263	5.787
AMF (-)	T ₀	9.223	3.907
	T ₂₀	12.773	5.377
	T ₅₀	10.457	4.665
	T ₁₀₀	10.147	5.503
AMF (+)		11.86	5.464
AMF (-)		10.65	5.305
T ₀		11.453	4.878
T ₂₀		12.116	5.102
T ₅₀		11.245	5.029
T ₁₀₀		10.205	5.645



Şekil 4.22. Arbusküler Mikoriza Fungus (AMF) uygulamasının çilek bitkisinin toplam biyokütle ve yaş kök ağırlığı üzerine etkisi.

4.6 Tuz Uygulamalarının Mikorizal Enfeksiyon Oranı ve Spor Sayısı Üzerine Etkisi

Farklı tuz düzeylerine sahip topraklarda AMF aşılması yapılmış çilek bitkisi köklerinde saptanan enfeksiyon oranı ve spor sayısı sırasıyla Şekil 4.23'de gösterilmiştir. Buna göre en yüksek enfeksiyon oranı ve buna bağlı spor sayısı T20 tuzluluk düzeyinde saptanırken en düşük enfeksiyon oranı ve spor sayısı T0 tuzluluk düzeyinde karşımıza çıkmıştır. Mikorizal enfeksiyon oranının kontrol grubuna göre daha yüksek tuzluluk düzeylerinde artması, AMF'nin stres koşullarında daha iyi çalıştığını göstermektedir.



Şekil 4.23. Farklı tuz düzeylerine sahip topraklarda AMF aşılması yapılmış çilek bitkisi köklerinde saptanan enfeksiyon oranı (%) ve spor sayısı.

Deneme topraklarımızda *Glomeraceae* familyasına ait mikoriza grubu baskın tür olarak ortaya çıkmıştır. (Şekil 4.24) Genel olarak bakıldığında abiyotik strese maruz kalan topraklarda AMF çeşitliliğinin daha iyi koşullara sahip olan topraklara nazaran azaldığı görülse de Lenoir et al. (2016), *Glomus* türlerinin yarı kurak Akdeniz ekosistemlerinde tipik olarak görüldüğünü ve yüksek tuzlulukta gelişebildiklerini göstermiştir.

4.7 Metagenomik Analiz Sonuçları

Amplikon Metagenom Dizileme analizi sonucunda AMF aşılması yapılan deneme toprağındaki Eukaryotların %71'ini *Glomeromycetes* sınıfına ait fungusların oluşturduğu belirlenmiştir. Arbüsküler mikorizaların yer aldığı bu sınıf, fungusların 8 sınıfından birisini oluşturmaktadır. *Glomeromycetes* sınıfının %60'ını *Glomerales* ordosu, bu ordonun %97'sini ise *Glomeraceae* familyası oluşturmuştur. Bu familyanın %32'sinin *Glomus*, %31'ini *Rhizophagus*, %19'unu *Septoglomus* ve %17'sini de *Funneliformis* cinsleri oluşturmuştur. Bu cinsler içinde en yüksek oranı ise *Glomus* türleri oluşturmuştur (Şekil 4.24).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında tuza hassas çilek bitkisi (*Fragaria x ananassa Duch*) yetiştirilmiş ve 4 farklı tuzluluk seviyesinde (T₀, T₂₀, T₅₀, T₁₀₀) Glomus türü arbusküler mikorizal fungusların (AMF) varlığı ve yokluğunun çeşitli toprak ve bitki parametreleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Buna göre, toprağın bazı kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri ile çilek bitkisinin makro ve mikro besin element analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bitkinin yaş kök ve toplam biyokütle ağırlıkları ile AMF ile enfekte köklerdeki mikoriza spor sayısı ve mikoriza enfeksiyon oranı belirlenmiştir. Araştırma sonucunda birçok parametre üzerinde AMF'lerin istatistiksel olarak anlamlı etkilerine rastlanmıştır.

AMF aşılması toprağın alınabilir K ve Zn miktarlarını anlamlı derecede artırmıştır. Buna göre alınabilir K oranı, AMF uygulaması yapılmayan topraklara oranla %12, alınabilir Zn oranı ise %26 daha yüksek bulunmuştur.

Çalışmada hem AMF hem de tuz uygulamalarının toprağın mikrobiyolojik özellikleri üzerinde anlamlı etkileri ortaya çıkmıştır. Tuz uygulamaları özellikle T50 düzeyinde hem DHA hem ALKPA aktivitesini olumsuz etkilerken, AMF uygulanmasının alkalik fosfataz enzim aktivitesinde tuzluluk stresinin etkisinin azaltılmasında rol oynadığı gösterilmiştir. Toprakta ALKPA aktivitesi kontrole nazaran her tuzluluk düzeyinde artmıştır (T₀'da %15, T₂₀'de %4, T₅₀'de %4 ve T₁₀₀'de %21).

AMF ve tuz uygulamalarının çilek bitkisinin makro ve mikro element içeriklerine de anlamlı etkileri olmuştur. AMF uygulanmış toprakta yetişen bitkilerin toplam N (%22), Fe (%27) ve Zn (%34) miktarları anlamlı olarak artmıştır. Tuz uygulamaları da bitkinin besin elementi alımları üzerine anlamlı etkiler yapmış ve tuz konsantrasyonuna bağlı olarak K, Ca, Na, Fe ve Cu elementlerinin bitki tarafından alımı artmıştır. Bu durumun tuz iyonlarının besin elementleri ile rekabetinden dolayı ortaya çıkabileceği ve tuzlu topraklarda iyon dengesinin bozulması nedeni ile bazı elementlerin alımı artarken bazılarının azalmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Amplikon Metagenom Dizileme analizi sonucunda AMF aşılması yapılan deneme toprağındaki AMF'lerin Glomeraceae familyasına ait olduğu belirlenmiştir. Bu familyanın %32'sini Glomus, %31'ini Rhizophagus, %19'unu Septoglomus ve %17'sini de Funneliformus cinsleri oluşturmuştur.

AMF aşılması yapılmış ve farklı tuzluluk düzeylerine sahip deneme topraklarında yetiştirilen çilek bitkisi köklerinde de enfeksiyon oranı ve spor sayısı tuzlu toprakta kontrole nazaran daha yüksek bulunmuştur. En yüksek enfeksiyon oranı ve spor sayısı ise T20 tuzluluk düzeyinde saptanmıştır.

Bunun yanında istatistiksel olarak anlamlı çıkmasa da AMF varlığında çilek bitkisinin besin maddelerinde, kök ve gövde ağırlığında artışlar görülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlar ümit vadedicidir. Nispeten kısa sürede ve sınırlı koşullarda yapılan bu denemede dahi elde edilen veriler daha büyük boyutlu çözümler için bir ipucu sunmaktadır.

Doğa her soruna karşı kendi çözümünü üreten sınırsız bir kaynaktır. Agroekolojik uygulamalar ise doğanın temel işleyişlerini baz alarak bunları bir sistem dahilinde uygulamamızı sağlayan, belki de kendi yarattığımız sorunları yine kendimizin çözmesine olanak sağlayacak bir yöntemler bütünüdür. Toprakta mikrobiyolojik yaşamın korunması ve desteklenmesi, varolan kirlenmenin önüne geçilebileceği gibi ekosistemi destekleyen, daha dirençli bir tarım ve gıda sisteminin inşa edilmesine de ön ayak olacaktır. Bu durumu bilimsel olarak kanıtlayan yapılmış ve yapılmakta olan çok sayıda çalışma bulunmakta, bununla birlikte etkin ve güçlü çözümler için çalışmaların çeşitlenmesi, spesifik türlerle yapılan denemelerin artması gerekmektedir. Bizim çalışmamızın da bu alanda yapılan diğer denemeler için bir destek ve araştırmacılar için fayda sağlamasını umar, çalışmaların daha geniş çapta ve boyutlarda uygulanmasını temenni ederiz.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdel-Fattah, G. and Asrar, A.**, 2012, Arbuscular mycorrhizal fungal application to improve growth and tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in saline soil, *Acta Physiologiae Plantarum*, 34, 267-277pp.
- Abdelgadir, E., Ka, M. A. and Fujiyama, H.**, 2005, Nitrogen nutrition of rice plants under salinity, *Biologia Plantarum*, 49: 99–104p.
- Afrin, S., Gasparrini, M., Tamara, Y., Forbes-Hernandez, Reboredo-Rodriguez, P., Bruno, M., Varela-López, A., Giampieri, F. and Battino M.**, 2016, Promising Health Benefits of the Strawberry: A Focus on Clinical Studies, *Journal of agricultural and food chemistry*, 64, 4435–4449pp.
- Al-Karaki, G.N. and Clark, R.B.**, 1998, Growth, mineral acquisition, and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress, *Journal of Plant Nutrition*, 21, 263–276pp.
- Al-Karaki, G.N.**, 2000, Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress, *Mycorrhiza*, 10 :51–54pp.
- Arıkan, Ş., İpek, M., Pırlak, L., Eşitken, A. and Şahin, M.**, 2023, The Effect of Mycorrhiza Applications on Growth and Yield in Some Strawberry Cultivars under Calcareous Soil Conditions, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 37(2), 326-336pp.
- Aroca, R., Porcel, R. and Ruiz-Lozano, J.M.**, 2007, How does arbuscular mycorrhizal symbiosis regulate root hydraulic properties and plasma membrane aquaporins in *Phaseolus vulgaris* under drought, cold or salinity stresses?, *New Phytologist*, 173: 808–816pp.
- Ashraf, M. Y., Khan, A.H. and Azmi, A.R.**, 1992, Cell membrane stability and its relation with some physiological processes in wheat, *Acta Agronomy Hungary* 41: 183–191.
- Ashraf, M. Y. and Sarwar, G.**, 2002, Salt tolerance potential in some membrane of Brassicaceae: Physiological studies on water relations and minerals contents, *Prospects for Saline Agriculture*, eds. Ahmad, R. and Malik, K.A. pp. 237–245. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publisher.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Augé, R.M., Toler, H.D. and Saxton, A.M.,** 2015, Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis, *Mycorrhiza*, 25:13–24pp.
- Aydın, İ. ve Atıcı, Ö.,** 2015, Tuz Stresinin Bazı Kültür Bitkilerinde Çimlenme ve Fide Gelişimi Üzerine Etkileri, *Muş Alparslan University Journal of Sciences* (3): 2.
- Bağ, E. and Kocaman, B.,** 2024, Effects of mycorrhizal fungi application on some growth parameters of Monterey strawberry cultivars under different, *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences* , 158-168pp.
- Black, C.A.,** 1965, Methods of Soil Analysis, Part 1-2., American Society of Agronomy, Inc., Publisher. Madison Wisconsin USA
- Bohra, J. S. and Doerffling, K.,** 1993, Potassium nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under NaCl salinity, *Plant and Soil*, 152: 299-303pp.
- Bolan, N.S.,** 1991, A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants, *Plant Soil*, 134:187-207pp.
- Bouyoucos, G.J.,** 1962, Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analysis of Soil. *Agronomy Journal*. 54, 5p.
- Boyer, L.R., Brain, P., Xu, X. and Jeffries, P.,** 2015, Inoculation of drought-stressed strawberry with a mixed inoculum of two arbuscular mycorrhizal fungi: effects on population dynamics of fungal species in roots and consequential plant tolerance to water deficiency, *Mycorrhiza*, 25:215–227pp.
- Bücking, H., Liepold, E. and Ambilwade, P.,** 2012, The role of the mycorrhizal symbiosis in nutrient uptake of plants and the regulatory mechanisms underlying these transport processes, *Plant Science*, 4: 108-132pp.
- Carson, P. L.,** 1980, Recommended potassium test, 2-13. Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region, North Central Region Publication 221 (revised), N.D. Agric. Exp. Stn., Fargo, N.D.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cavagnaro, T.R.**, 2008, The role of arbuscular mycorrhizas in improving plant zinc nutrition under low soil zinc concentrations: a review, *Plant Soil*, 304:315–325pp.
- Cecatto, A. P., Ruiz, F.M., Calvete, E.O., Martínez, J. and Palencia, P.**, 2016, Mycorrhizal inoculation affects the phytochemical content in strawberry fruits, *Acta Scientiarum, Agronomy*, (38):2.
- Chandra, P., Singh, A., Prajapat, K., Rai, A.K. and Chandra Y.K.**, 2022, Native arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, biomass yield, and phosphorus nutrition of sorghum in saline and sodic soils of the semi-arid region, *Environmental and Experimental Botany*, 201p.
- Chen, Q., Deng X., Elzenga, J. T. M. and Elsas, J. D.**, 2022, Effect of soil bacteriomes on mycorrhizal colonization by *Rhizophagus irregularis* interactive effects on maize (*Zea mays* L.) growth under salt stress, *Biology and Fertility of Soils*, 58: 515-525pp.
- Chiomento, J.L.T., Costa, R.C., Nardi, F.S., Trentin, N.S., Nienow, A.A. and Calvet, E.O.**, 2019, Arbuscular mycorrhizal fungi communities improve the phytochemical quality of strawberry, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94 (5): 653–663pp.
- Christie, P., Li, X.L. and Chen, B.D.**, 2004, Arbuscular mycorrhiza can depress translocation of zinc to shoots of host plants in soils moderately polluted with zinc, *Plant Soil*, 261:209–217pp.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V. and House, J. I.**, 2014, Carbon and other biogeochemical cycles in Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, *Cambridge University Press*, 465–570pp.
- Clark, R.B. and Zeto, S.K.**, 2000, Mineral Acquisition by ArbuscularMycorrhizal Plants, *Journal of Plant Nutrition*, 23(7), 867-902pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.-L., Fichet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W.J., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A.J. and Wehner, M., 2013,** Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility, New York, NY: *Cambridge University Press*, 1029– 1136pp.
- Cordeiro, E. C. N., Resende, J. T. V. D., Córdova, K. R. V., Nascimento, D. A., Saggin, O. J., Zeist, A. R. and Favaro, R., 2019,** Arbuscular mycorrhizal fungi action on the quality of strawberry fruits, *Horticultura Brasileira* 37: 437-444pp.
- Corwin, D.L. and Yemoto, K., 2017,** Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids, *Methods of Soil Analysis*, 2, 1-16pp.
- Corwin, D.L., 2020,** Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas, *European Journal of Soil Science.*,72:842–862pp.
- Coşkun, Y., Taş, İ., Akçura, M., Oral, A., Tütenocaklı, T. ve Yeter, T., 2020,** Farklı Sulama Suyu Tuzluluk Düzeylerinin Mısırın Fide Gelişimine Etkileri, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 7(4): 1139–1147s.
- Dasgupta, S., Hossain, M., Huq, M. and Wheeler, D., 2015,** Climate change and soil salinity: The case of coastal Bangladesh, *Ambio*, 44:815–826pp.
- Deliboran, A. ve Savran, Ş., 2015,** Toprak Tuzluluğu ve Tuzluluğa Bitkilerin Dayanım Mekanizmaları, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 8 (1): 57-61s.
- Ding, M., Hou, P., Shen, X., Wang, M., Deng, S., Sun, J., Xiao, F., Wang, R., Zhou, X., Lu, C., Zhang, D., Zheng, X., Hu, Z. and Chen, S., 2010,** Salt-induced expression of genes related to Na⁺ /K⁺ and ROS homeostasis in leaves of salt-resistant and salt-sensitive poplar species, *Plant Molecular Biology*, 73:252pp.
- Dodd, J. C., Burton, C. C., Burns, R. G. and Jeffries, P., 1987,** Phosphatase activity associated with the roots and the rhizosphere of plants infected with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, *New Phytologist*, 107(1), 163-172pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Eivazi, F. and Tabatabai, M. A.**, 1977, Phosphatases in soils. *Soil biology and biochemistry*, 9(3):167-172pp.
- Erzurumlu, G.S. ve Kara, E.E.**, 2014, Mikoriza Konusunda Türkiye’de Yapılan Çalışmalar, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 7 (2): 55-65s.
- Estrada, B., Aroca, R., Barea, J.M. and Ruiz-Lozano, J.M.**, 2013, Native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from a saline habitat improved maize antioxidant systems and plant tolerance to salinity, *Plant Science*, 201–202pp.
- Fan, L., Fang, C., Dubé, C., Deschênes, M., Dalpé, Y., Tao, S. and Khanizadeh, S.**, 2012, Arbuscular Mycorrhiza Alleviates Salinity Stress of Strawberry Cultivars under Salinity Condition, *Acta Horti*, 926:491–496pp.
- FAO**, 2015, Climate change and food security: risks and responses
- FAO**, 2024, The state of food security and nutrition in the world
- Ferreira, J.F.S, Liu, X. and Suarez, D.L.**, 2019, Yield and survival of five commercial strawberry cultivars under field cultivation and salinity stress, *Scientia Horticulturae*, (243):401–410.
- Flowers, T. J. and Flowers, S.A.**, 2005, Why does salinity pose such a different problem for plant breeder, *Agricultural Water Management*, 78: 15–24.
- Gelybó, G., Toth, E., Farkas, C., Horel, A., Kása, I. and Bakacsi, Z.**, 2018, Potential impacts of climate change on soil properties, *Agrochemistry and Soil Science*, (67), 121-141pp.
- George, E., Marschner, H. and Jakobsen, I.**, 1995, Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil, *Critical reviews in biotechnology*, 15(3-4), 257-270pp.
- Gerdemann, J.W. and Nicolson, T.H.**, 1963, Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting, *Transactions of the British Mycological Society*, 46, 235-244pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, K.G.**, 2003, Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*, *Biology and Fertility of Soils*, 38:170–175pp.
- Giri, B. and Mukerji, K.G.**, 2004, Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake, *Mycorrhiza*, 14:307–312pp.
- Haqea, S.I. and Matsubara Y.**, 2018, Salinity Tolerance and Sodium Localization in Mycorrhizal Strawberry Plants, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, (49):22, 2782–2792pp.
- Huang, Z., He, C.X. He, Z.Q., Zou, Z.R. and Zhang, Z.B.**, 2010, The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxyradical scavenging system of tomato under salt tolerance, *Agricultural Sciences in China*, 9: 1150-1159pp.
- Isermeyer, H.**, 1952, Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 56(1-3), 26-38.
- Jackson, M. L.**, 1962, Soil Chemical Analysis. International Institute for Tropical Agriculture (IITA), Manual Series No.1, 70.
- Jäggi, W.**, 1976, Die Bestimmung der CO₂ildung als Maß der bodenbiologischen Aktivität. *Schw Landw Forschung*, 15:371–380pp.
- Jamalian, S., Gholami, M. and Esna-Ashari, M.**, 2013, Abscisic acid-mediated leaf phenolic compounds, plant growth and yield is strawberry under different salt stress regimes, *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25: 291-299pp.
- Joner, E. J. and Johansen, A.**, 2000, Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi, *Mycological Research*, 104(1), 81-86pp.
- Joner, E.J. and Jakobsen, I.**, 1995, Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter, *Soil Biology*, (27). No. 9. 1153-1 159pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kacar, B.**, 1972, Bitki ve toprağın kimyasal analizleri. II. Bitki analizleri. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 453, 1-646.
- Kacar, B.**, 1995, Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III, Toprak Analizleri, *A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları*, No: 3, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 217-254s.
- Kacar, B. ve İnal, A.**, 2008, Bitki Analizleri, Nobel Yayın, Ankara, No:1241
- Kamar, R., Sarıdaş M.A. ve Paydaş, S.**, 2023, Çileklerde Farklı Tuz Konsantrasyonlarının Verim ve Pomolojik Özellikler Üzerine Etkileri, *Çukurova J. Agric. Food Sci.* 38(1):40-56s.
- Karaca N. F.**, 2022, Bazı çilek çeşitlerinin (*Fragaria x ananassa* duch.) Ereğli-Konya ekolojik şartlarında verim ve kalite özellikleri, Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı.
- Karlıdağ, H., Esitken, A., Yildirim, E., Donmez, M.F. and Turan, M.**, 2011, Effects of plant growth promoting bacteria on yield, growth, leaf water content, membrane permeability and ionic composition of strawberry undersaline conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 34:34–45pp.
- Katsuhara, M. and Kawasaki, T.**, 1996, Salt Stress Induced Nuclear and DNA Degradation in Meristematic Cells of Barley Roots, *Plant Cell Physiology*, 37(2): 169-173pp.
- Elhindi, K.M., El-Din, A.S. and Elgorban, A.M.**, 2017, The impact of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.), *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24, 170–179.
- Koç A.**, 2015, Effect of plant growth-promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on lipid peroxidation and total phenolics of lipid peroxidation and total phenolics of strawberry (*Fragaria × ananassa* 'San Andreas') under salt stress, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39: 992-998pp.
- Koske, R. E. and Gemma, J. N.**, 1989, A modified procedure for staining roots to detect VA Mycological Research, (92):4, 486-488pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kothari, S.K., Marschner, H. and Römheld, V.**, 1991, Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil, *Plant and Soil*, 131: 177-185pp.
- Lenoir, I., Fontaine, J. and Sahraoui, A.L.**, 2016, Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review, *Phytochemistry*, 123:4–15pp.
- Li, X., Marschner, H. and George, E.**, 1991, Acquisition of phosphorus and copper by VA-mycorrhizal hyphae and root-to-shoot transport in white clover, *Plant and Soil*, 136: 49pp.
- Lin, J. X., Wang, Y. N., Sun, S.N., Mu, C.S. and Yan X.F.**, 2017, Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, photosynthesis and photosynthetic pigments of *Leymus chinensis* seedlings under salt-alkali stress and nitrogen deposition, *Science of The Total Environment*, 576: 234-241.
- Lindsay, W. L. and Norwell, W. A.**, 1978, Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper, *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428pp.
- Liu, S., Guo, X., Feng, G., Maimaitiaili, B., Fan, J. and He, X.**, 2016, Indigenous arbuscular mycorrhizal fungi can alleviate salt stress and promote growth of cotton and maize in saline fields, *Plant Soil*, 398:195–206pp.
- Liu, Z. L., Li, Y.J., Hou, H.Y., Zhu, X.C., Rai, V., He, X.Y. and Tian, C.J.**, 2013, Differences in the arbuscular mycorrhizal fungi-improved rice resistance to low temperature at two N levels: Aspects of N and C metabolism on the plant side, *Plant Physiol. Biochem*, 71: 87-95pp.
- Lott, L, Nery, J.P., Gello, J.R. and Medcaff, J.C.**, 1956, Leaf Analysis Technique in Coffee Research. IBEC. Res. Inst. II. 9: 21-24.
- Marschner H. and Dell B.**, 1994, Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, *Plant and Soil*, 159: 89-102pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- McGeehan, S. L. and Naylor, D. V.**, 1988, Automated Instrumental Analysis of Carbon and Nitrogen in Plant and Soil Samples, *Journal of Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19 (4), 493-505pp.
- Mclean, E. O.**, 1982, Soil pH and Lime Requirement in Methods of Soil Analysis., *American Society of Agronomy Inc. Wisconsin, U.S.A.*, 199-224pp.
- Meena, V.S., Bahadur, I., Maurya, B.R., Kumar, A., Meena, R.K. Meena, S.K. and Verma, J.P.**, 2016, Potassium-Solubilizing Microorganism in Evergreen Agriculture: An Overview, *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture*, Springer India, 10p.
- Mikiciuk, G., Sas-Paszt, L., Mikiciuk, M., Derkowska, E., Trzciński, P., Gluszek, S., Lisek, A., Wera-Bryl, S. and Rudnicka, J.**, 2019, Mycorrhizal frequency, physiological parameters, and yield of strawberry plants inoculated with endomycorrhizal fungi and rhizosphere bacteria, *Mycorrhiza*, 29:489–501.
- Miransari, M.**, 2011, Arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen uptake, *Archives of microbiology*, 193(2), 77-81.
- Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H.S., Sharma, P.C. and Bolan, N.S.**, 2021, Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security, *Journal of Environmental Management*, 280p.
- Nelson, G.C., Bennett, E., Berhe, A.A., Cassman, K., DeFries, R., Dietz, T., Dobermann, A., Dobson, A., Janetos, A., Levy, M., Marco, D., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Norgaard, R. Petschel-Held, G., Ojima, D., Pingali, P., Watson, R. and Zurek, M.**, 2006, Anthropogenic Drivers of Ecosystem Change: an Overview, *Ecology and Society*, 11(2): 29.
- Patterson, L.A., Lutz, B. and Doyle, W.M.**, 2013, Climate and direct human contributions to changes in mean annual streamflow in the South Atlantic, usa, *Water resources research*, (49): 7278–7291pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Plouznikoff, K., Declerck, S. and Calonnes-Salmon, M.,** 2016, Mitigating Abiotic Stresses in Crop Plants by Arbuscular Mycorrhizal Fungi, *Belowground Defence Strategies in Plants, Signaling and Communication in Plants*, Bonn, Germany, 401p.
- Quiquet, A., Ritz, C., Punge, H.J. and Salas, y Melia, D.,** 2013, Greenland ice sheet contribution to sea level rise during the last interglacial period: a modelling study driven and constrained by ice core data, *Clim. Past*, (9): 353–366pp.
- Rasool, S., Ahmad, A., Siddiqi, T.O. and Ahva, P.,** 2013, Changes in growth, lipid peroxidation and some key antioxidant enzymes in chickpea genotypes under salt stress, *Acta Physiol Plant* 35:1039–1050.
- Rosendahl, C.N. and Rosendahl, S.,** 1991, Influence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* sp.) on the response of cucumber (*Cucumis sativus*) to salt stress., *Environ Exp Bot* 31:313–318pp.
- Saboore, A., Ali M. A., Danish S., Ahmed N., Fahad S., Datta R., Ansari M.J, Nasif O., Rahman M.H. and Glick B.R.,** 2021, Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the physiological functioning of maize under zinc-deficient soils, *Scientific Reports*, 11:18468, 1-7pp.
- Šarapatka, B.,** 2003, Phosphatase activities (ACP, ALP) in agroecosystem soils, Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala.
- Saviozzi, A., Cardelli, R. and Di Puccio, R.,** 2011, Impact of salinity on soil biological activities: a laboratory experiment, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(3), 358-367pp.
- Schlichting, E. and Blume, H.P.,** 1966, *Bodenkundliches Praktikum*. Verlag Paul Parey. Hamburg und Berlin.
- Sheng, M., Tang, M., Chan, H. Yang, B., Zhang, F. and Huang, Y.,** 2008, Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress, *Mycorrhiza*, 18:287–296pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Siebeneichler, T.J., Crizel, R.L., Reisser, P.L., Perin, E.C., Messias, R., Rombaldi, C.V. and Galli, V.,** 2022, Changes in the abscisic acid, phenylpropanoids and ascorbic acid metabolism during strawberry fruit growth and ripening, *Journal of Food Composition and Analysis*, 1-10pp.
- Tabatabai, M. A. and Bremner, J. M.,** 1969, Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity, *Soil Biology & Biochemistry*, (1): 301-307pp.
- Tarafdar, J. C. and Marschner, H.,** 1994, Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus, *Soil Biology and Biochemistry*, 26(3), 387-395pp.
- Thalman, A.,** 1968, Zur methodik der bestimmung der dehydrogenaseaktivitaet im boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC), *Landwirtschaft Forschung*, (21): 249-258pp.
- Todeschini, V., Lahmidi, N. A., Mazzucco, E., Marsano, F., Gosetti, F., Robotti, E., Bona, E., Massa, N., Bonneau, L., Marengo, E., Wipf, D., Berta, G. and Lingua, G.,** 2018, Impact of Beneficial Microorganisms on Strawberry Growth, Fruit Production, Nutritional Quality, and Volatilome, *Front. Plant Sci.*, 9:1611.
- Ullah, A., Bano, A. and Khan, N.,** 2021, Climate Change and Salinity Effects on Crops and Chemical Communication Between Plants and Plant Growth-Promoting Microorganisms Under Stress, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, (5), 2, 8p.
- US Soil Survey Staff.,** 1951, Soil Survey Manual. U.S. Department Agriculture Handbook, U.S Government Printing Office Washington, No:18.
- Zhang, J., Wang, X., Yu, O., Tang, J., Gu, X., Wan, X. and Fang, C.,** 2011, Metabolic profiling of strawberry (*Fragaria3ananassa* Duch.) during fruit development and maturation, *Journal of Experimental Botany*, 62:3,1103–1118pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Zhang, W., Wang, C., Lu, T. and Zheng, Y.,** 2018, Cooperation between arbuscular mycorrhizal fungi and earthworms promotes the physiological adaptation of maize under a high salt stress, *Plant Soil*, 423:125-128pp.
- Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wanga, X., Lobelli, D.B., Huang, Y., Huang, M. Yao Y., Bassu, S., Ciais, P., Durand, J., Elliott, J., Ewert F, Janssens, I.A., Lis, T., Lint, E., Liua, Q., Martreu, P., Müller C., Penga, S., Peñuelas, J., Ruane, A.C., Wallach, D., Wang T., Wu, D., Liu, Z., Zhu, Y., Zhu, Z. and Asseng, S.,** 2017, Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates, *Proceedings of the National Academy of sciences*, 114(35), 9326-9331.
- Zhu, X., Song, F., Liu, S. and Liu, F.,** 2016, Role of Arbuscular Mycorrhiza in Alleviating Salinity Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grown Under Ambient and Elevated CO₂, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 486-496.
- Zhu, Y.G, Smith, S.E. and Smith, F.A,** 2001, Zinc (Zn)-phosphorus (P) interactions in two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in P uptake efficiency, *Ann Bot* 88:941–945pp.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan, beni her zaman destekleyen ve yüreklendiren, bilgisi, tecrübesi ve sabrıyla tüm süreçte yanımda olan, ufkumu zenginleştiren değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Nur OKUR'a, kimyasal analizlerimin yapılmasında yardımcı olan Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme öğretim üyesi Sayın Dr. Öğretim Üyesi Bülent YAĞMUR'a, tuzlu topraklar konusunu merak etmemi sağlayan ve bu konuda ufkumu açan sayın Prof. Dr. Bülent OKUR'a, tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan, denememin kurulmasından, izlenmesine, laboratuvar analizlerinin her aşamasında sabrı ve iyi niyetiyle bana destek olan sevgili arkadaşım ve öğretim üyesi Ziraat Yüksek Mühendisi Marius HOUNDONUGBO'ya, tüm güzel enerjisi ve çalışkanlığı ile denemenin en meşakatli aşamalarında bana yardımını esirgemeyen sevgili arkadaşım Ziraat Mühendisi Selin TAŞYONAR'a, mikorizal analizlerin yapılmasındaki özverili yardım ve çalışmanın yanısıra bu konuda bilgi ve tecrübeme sağladığı destek dolayısıyla sevgili arkadaşım Ziraat Yüksek Mühendisi Sedef ÖZDEN'e, ayrıca biyoistatistik analizleri yapmamda yoğun programına rağmen yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşım Doç. Dr. İrem Kaya Çebioğlu'na ve tabii ki tüm bu süreçte yanımda olan, varlıklarından güç bulduğum sevgili eşim Can'a ve canım oğlum Aren'e sabırları ve destekleri için çok teşekkür ederim.

16 / 02 / 2025

Deniz İYİGÜNGÖR

ÖZGEÇMİŞ

Deniz İYİGÜNGÖR, orta okul ve lise öğrenimini İzmir Saint Joseph Koleji'nde tamamlamıştır. Lisans eğitimi öncesi bir yıl Rotary Exchange Programı ile bir yıl Kanada, Montréal'de değişim öğrencisi olarak yaşamış, bir yıl daha lise öğrenimine devam etmiştir. Lisans öğrenimini 2006 yılında Ankara'da Hacettepe Üniversitesi Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı'nda, Yüksek lisans öğrenimini 2009 yılında Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, "Klinik Beslenme" programında tamamlamıştır. Yüksek Lisans eğitimi süresince bir ERASMUS Programı ile İngiltere Oxford Brooks Üniversitesi'nde bir sömestre öğrenim görmüştür. 2008-2010 yılları arasında kişisel beslenme danışmanlığını yürütmüş, 2010-2015 yılları arasında Osman Müftüoğlu Yaşasın Hayat Kliniği'nde beslenme danışmanlığı yapmıştır. Sağlıklı besinlerin sağlıklı toprakla mümkün olduğu inancıyla 2016 yılı itibariyle ekolojik farkındalık, sürdürülebilir tarım konularında çeşitli eğitim ve çalışmalara katılmış, Permakültür, toprak mikrobiyolojisi konusunda eğitimler almıştır ve bu konuda araştırmaya devam etmektedir. 2016-2020 yılları arasında Medipoint Kliniği bünyesinde beslenme danışmanlığı vermeye devam etmiştir. 2022 yılında Ege Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Toprak Mikrobiyolojisi Programı'nda Yüksek Lisans'a başlamıştır. 2020 itibariyle bağımsız olarak beslenme danışmanlığını sürdürmekte, Yeditepe Üniversitesi'nde sözleşmeli öğretim görevlisi olarak çalışmakta "Çevreye Duyarlı Beslenme" dersini vermektedir. Çeşitli sivil toplum örgütleri ve derneklerle gönüllü çalışmaktadır. İstanbul'da yaşamakta olup evli ve bir çocuk annesidir.