T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİKORİZA VE SİLİSYUM UYGULAMALARININ KISITLI SULAMA KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN BİBERİN VERİM VE BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

Fulya DEMİR

BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 6
2.1. Mikoriza ile İlgili Çalışmalar 6
2.2. Silisyum ile İlgili Çalışmalar 8
3. MATERYAL ve YÖNTEM 11
3.1. Materyal 11
3.1.1. Bitkisel materyal 11
3.1.2. Mikoriza 11
3.1.3. Silisyum 12
3.1.4. Yetiştirme ortamı 12
3.2. Yöntem 14
3.2.1. Vegetatif büyüme parametreleri 16
3.2.1.1. Bitki boyu (cm) 16
3.2.1.2. Gövde çapı (mm) 16
3.2.1.3. Yaprak sayısı (adet bitki^{-1}) 17
3.2.1.4. Yaprak taze ağırlığı (g bitki^{-1}) 17
3.2.1.5. Yaprak kuru ağırlığı (g bitki^{-1}) 17
3.2.1.6. Gövde taze ağırlığı (g bitki^{-1}) 17
3.2.1.7. Gövde kuru ağırlığı (g bitki^{-1}) 18
3.2.1.8. Kök uzunluğu (cm) 18
3.2.1.9. Kök taze ağırlığı (g bitki^{-1}) 19
3.2.1.10. Kök kuru ağırlığı (g bitki^{-1}) 19
3.2.2. Verim ve meyve özellikleri 19
3.2.2.1. Bitki başına verim (g bitki^{-1}) 19
3.2.2.2. Bitki başına meyve sayısı (adet bitki^{-1}) 19
3.2.2.3. Ortalama meyve ağırlığı (g) 19
3.2.2.4. Meyve çapı (mm) 20
3.2.2.5. Meyve uzunluğu (mm) 20
3.2.2.6. Meyve eti kalınlığı (mm) 21
3.2.2.7. Meyve suyunda pH 22
3.2.3. Fizyolojik ve biyokimyasal parametreler 22
3.2.3.1. Klorofil indeksi 22
3.2.3.2. Membran geçirgenliği (%) 22
3.2.3.3. Prolin içeriği (mmol g^{-1} taze ağırlık) 23
3.2.4. İstatistik analiz 23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 24
4.1. Vegetatif Büyüme Parametreleri 24
4.1.1.Bitki boyu (cm) 24
4.1.2. Gövde çapı (mm) 26
4.1.3. Yaprak sayısı (adet bitki^{-1}) 28
4.1.4. Yaprak taze ağırlığı (g bitki^{-1}) 30
4.1.5. Yaprak kuru ağırlığı (g bitki^{-1}) 31
4.1.6. Gövde taze ağırlığı (g bitki^{-1}) 33
4.1.7. Gövde kuru ağırlığı (g bitki^{-1}) 34
4.1.8. Kök uzunluğu (cm) 36
4.1.9. Kök taze ağırlığı (g bitki^{-1}) 38
4.1.10. Kök kuru ağırlığı (g bitki^{-1}) 40

4.2. Verim ve Meyve Özellikleri 42
4.2.1. Bitki başına verim (g bitki^{-1}) 42
4.2.2. Bitki başına meyve sayısı (adet) 43
4.2.3. Ortalama meyve ağırlığı (g bitki^{-1}) 45
4.2.4. Meyve çapı (mm) 47
4.2.5. Meyve uzunluğu (cm) 48
4.2.6. Meyve eti kalınlığı (mm) 50
4.2.7. Meyve suyunun pH değeri 51
4.3. Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametreler 53
4.3.1. Klorofil indeksi 53
4.3.2. Membran geçirgenliği 54
4.3.3.Prolin içeriği 56
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 59
5.1. Sonuçlar 59
5.2 Öneriler 65
KAYNAKLAR 67
ÖZGEÇMİŞ 73

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİKORİZA ve SİLİSYUM UYGULAMALARININ KISITLI SULAMA KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN BİBERİN VERİM ve BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

Fulya DEMİR

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selçuk SÖYLEMEZ
Yıl: 2023, Sayfa: 73

Subtropik iklimlerde tek yıllık olarak yetiştirilen ve *Solanaceae* familyasının bir üyesi olan biber, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çok yaygın ve fazla miktarda üretilen ve tüketilen bir sebzedir. Biberin verimini ve bitki gelişimini kısıtlayan birçok biyotik ve abiyotik stres faktörleri mevcuttur. En yaygın streslerden birisi, su stresidir. Kuraklık ve su stresi, bitkilerdeki metabolik savunmayı olumsuz yönde etkilemektedir. Su stresi ile karşı karşıya kalan bitki, bazı savunma mekanizmaları geliştirerek kurak koşullara adapte olmaya çalışmaktadır. Topraklarda mevcut olan mikoriza mantarları bitkiler ile simbiyotik yaşam sürerek bitkilerin kök sistemine olumlu katkı yapmaktadır. Bu bağlamda mantarların oluşturduğu hifler, kökün yüzey alanını genişleterek, kökün uzağında bulunan ve bitkinin alamayacağı formdaki besin maddelerini ve suyu hifleri aracılığıyla alabilir ve böylece bitkilerin su stresine girmelerini önleyebilir. Bitkinin stres şartlarına karşı dayanımını arttırmada bazı mineraller de görev alabilir. Bu minerallerden biri, silisyumdur. Özellikle uygun olmayan iklim koşullarında kullanılan silisyum, kuraklık ve sıcaklık stresi, mineral toksisitesi gibi abiyotik; zararlı ve bitki hastalıkları gibi biyotik streslere karşı bitkileri koruyan ve gelişimini artıran bir iz elementtir. Bu çalışmada kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen biber bitkisinin kök yapısının daha aktif olabilmesi adına mikoriza (Mi) ve stres şartlarına dayanıklılığı arttırma adına ise silisyum (Si) kullanılarak bitkilerin strese karşı dirençlerini arttırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla, biberde meydana gelen bazı fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal parametreler incelenmiştir. Çalışmada, tam (%100) ve kısıtlı (%50) sulama koşulları, mikorizalı (M+) ve mikorizasız (M-) yetiştirme ortamları ve 2 farklı silisyum dozu (0 ve 2 mM) ve bunların kombinasyonları denenmiştir. Araştırma, 2021 yılı ilkbahar üretim döneminde, Mardin Derik Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesine ait, 400 m^2'lik polikarbon örtülü, ısıtmasız serada ve topraksız üretim şeklinde yürütülmüştür. Çalışma, Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre planlanmış ve 4 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen verilerin varyans analizleri, TARİST istatistik programında yapılmıştır. Tam sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin membran geçirgenliği ve prolin içeriği azalırken, incelenen diğer parametrelerin önemli oranda arttığı belirlenmiştir. Mikoriza uygulaması ile bitki boyu, gövde çapı, kök uzunluğu, ortalama meyve ağırlığı, meyve eti kalınlığı ve membran geçirgenlik değerlerinin arttığı; gövde kuru ağırlığı, toplam meyve sayısı ve meyve uzunluğu değerlerinin ise azaldığı saptanmıştır. Silisyum uygulamaları ile bitki başına meyve sayısı, bitki başına verim, meyve uzunluğu ve membran geçirgenliğinin arttığı; kök uzunluğunun ise azaldığı belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre kısıtlı sulama koşullarında mikoriza ve silisyumun birlikte uygulanması ile daha yüksek verim alınabileceği belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: *Capsicum annuum L.*, Su stresi, Silisyum, Verim, Mikoriza

ABSTRACT

MSc Thesis

THE EFFECT of MYCORIZA and SILICON APPLICATIONS on PRODUCTION and PLANT DEVELOPMENT of PEPPER GROWN UNDER LIMITED IRRIGATION CONDITIONS

Fulya DEMIR
Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Advisor: Assoc. Prof. Selçuk SÖYLEMEZ
Year: 2023, Page:73

Pepper, a member of the Solanaceae family grown as an annual in subtropical climates, is a very common and widely produced and consumed vegetable in our country as well as all over the world. There are many biotic and abiotic stress factors that limit the yield and plant growth of pepper. Water stress is one of the most common stresses. Drought and water stress also negatively effect metabolic defenses in plants. In case of water stress, the plant tries to adapt to arid conditions by developing some defense mechanisms. Mycorrhizal fungi present in soils contribute positively to the root system of plants by maintaining a symbiotic life with plants. In this context, the surface area of the root expands by the fungi hyphae and plant can take the nutrients and water in the form and amount that the plant cannot get from the soil, which are far away from the root so, can prevent the plants from water stress. Some minerals can also play a role in increasing the resistance of the plant against stress conditions. One of these minerals is silicon. Silicon is a trace element that has potential effects that protect the plant against abiotic and biotic stresses such as extreme heat and drought stress, mineral toxicity, plant diseases and insect pests, and increase its development, especially in unsuitable climatic conditions. In this study, it was aimed to increase the resistance of the plants against limited irrigation by using mycorrhiza (Mi) in order to make more active the root structure of the pepper plant grown under limited irrigation conditions and silicon (Si) in order to increase the resistance to stress conditions. For this purpose, some physiological, morphological and biochemical parameters occurring in pepper were investigated. In the study, full (100%) and restricted (50%) irrigation conditions, mycorrhizal (M+) and non-mycorrhizal (M-) growing media and 2 different silicon doses (0 and 2 mM) and their combinations were tested. The study was carried out in the spring production period of 2021, in a 400 m^2 polycarbonate covered, unheated greenhouse belonging to Mardin Derik Vocational and Technical Anatolian High School and as soilless production. The research was planned according to the Random Blocks Trial Design and was carried out with 4 replications. The variance analyzes of the data obtained from the study were made in the TARIST statistical program. It was determined that while the membrane permeability and proline content of the plants grown under full irrigation conditions decreased, the other parameters significantly increased. Mycorrhiza application increased plant height, stem diameter, root length, average fruit weight, fruit flesh thickness and membrane permeability values; on the other hand, it was determined that the stem dry weight, total fruit number and fruit length values decreased. Silicon applications increased yield per plant, number of fruits per plant, fruit length and membrane permeability, while decreasing root length. According to the results of the study, it was determined that higher yields could be obtained by applying mycorrhiza and silicon together under limited irrigation conditions.

KEYWORDS: *Capsicum annum* L., Water stress, Silicon, Yield, Mycorrhiza

TEŞEKKÜR

Öncelikle büyük bir zevkle ve heyecanla çalıştığım konumu seçmeme yardımcı olan, yüksek lisans hayatım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle yol gösterici ve bu yolda ışık olan, çalışmam boyunca bilgi, tecrübe ve önerileriyle hayalini kurduğum akademik hayattaki hedeflerime ilerlerken nasıl bir yol izleyeceğime, adımlarımı nasıl atacağıma dair ayna olan ve desteklerini esirgemeyen, bilimsel vizyonunu örnek aldığım, rol model olarak gördüğüm, öğrencisi olmaktan gurur ve onur duyduğum ve duyacağım çok değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Selçuk SÖYLEMEZ'e sonsuz minnetle teşekkürlerimi sunuyorum.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1.Bitki yetiştirme ortamının hazırlanması 13
Şekil 3.2. Polikarbon örtülü ısıtmasız serada yetiştirilen biber fidelerine ait görseller 13
Şekil 3.3. Torf ve perlit karışımında yetiştirilen biber bitkisi ve kök yapısı 14
Şekil 3.4. Deneme sürecince fidelere uygulanan bakım koşulları, kontrol sürecine ait görseller 15
Şekil 3.5. Bitki boyunun ölçümüne ait görsel 16
Şekil 3.6. Gövde çapı ölçümlerine ait görseller 17
Şekil 3.7. Gövde kuru ağırlığına ait görsel 18
Şekil 3.8. Kök uzunluğu ait görseller 18
Şekil 3.9. Meyve çapına ait görsel 20
Şekil 3.10. Meyve uzunluğuna ait görseller 21
Şekil 3.11. Meyve eti kalınlığına ait görsel 21
Şekil 3.12. Meyve suyundaki pH ölçümüne ait görsel 22

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Dünya 2021 yılı biber üretim miktarı, üretim alanı ve m^2'ye düşen verim (FAO, 2022)... 2
Çizelge 1.2. Türkiye'nin 5 yıllık biber üretim miktarı (ton) (TÜİK, 2022) 2
Çizelge 3.1. Denemede yer alan uygulamalar 23
Çizelge 4.1. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının bitki boyu üzerine etkileri..... 25
Çizelge 4.2. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun bitki boyu üzerine etkileri 26
Çizelge 4.3. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının gövde çapı üzerine etkileri..... 27
Çizelge 4.4. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun gövde çapı üzerine etkisi 27
Çizelge 4.5. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının yaprak sayısı üzerine etkileri 29
Çizelge 4.6. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun yaprak sayısı üzerine etkileri..... 29
Çizelge 4.7. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının yaprak taze ağırlığı üzerine etkileri 30
Çizelge 4.8. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun yaprak taze ağırlığı üzerine etkisi..... 31
Çizelge 4.9. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının yaprak kuru ağırlığı üzerine etkileri 32
Çizelge 4.10. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun yaprak kuru ağırlığı üzerine etkisi..... 32
Çizelge 4.11. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının gövde taze ağırlığı üzerine etkileri 33
Çizelge 4.12. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun gövde taze ağırlığı üzerine etkisi..... 34
Çizelge 4.13. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının gövde kuru ağırlığı üzerine etkileri.... 35
Çizelge 4.14. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun gövde kuru ağırlığına etkisi..... 36
Çizelge 4.15. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkileri 37
Çizelge 4.16. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun kök uzunluğu üzerine etkisi..... 38
Çizelge 4.17. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının kök taze ağırlığı üzerine etkileri 39
Çizelge 4.18. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun kök taze ağırlığı üzerine etkisi 39
Çizelge 4.19. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkileri 40
Çizelge 4.20. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun kök kuru ağırlığı etkisi 41
Çizelge 4.21. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının bitki başına verim üzerine etkisi 42
Çizelge 4.22. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun bitki başına verim üzerine etkisi..... 43
Çizelge 4.23. Sulama düzeyi, Mi ve Si uygulamalarının bitki başına meyve sayısı üzerine etkileri ... 44
Çizelge 4.24. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun bitki başına meyve sayısı üzerine etkisi 45
Çizelge 4.25. Sulama düzeyi, Mi ve Si uygulamalarının ortalama meyve ağırlığı üzerine etkileri 46
Çizelge 4.26. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun ortalama meyve ağırlığı üzerine etkisi 46
Çizelge 4.27. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının meyve çapı üzerine etkileri..... 47
Çizelge 4.28. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun meyve çapı üzerine etkisi 48
Çizelge 4.29. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının meyve uzunluğu üzerine etkileri..... 49
Çizelge 4.30. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun meyve uzunluğu üzerine etkisi 49
Çizelge 4.31. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının meyve eti kalınlığı üzerine etkileri 50
Çizelge 4.32. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun meyve eti kalınlığı üzerine etkisi..... 51
Çizelge 4.33. Sulama düzeyi, mikoriza ve silisyum uygulamalarının pH üzerine etkisi..... 52
Çizelge 4.34. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun pH üzerine etkisi 52
Çizelge 4.35. Sulama düzeyi, mikoriza ve silisyum uygulamalarının klorofil indeksi üzerine etkileri 53
Çizelge 4. 36. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun klorofil indeksi üzerine etkisi..... 54
Çizelge 4.37. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının membran geçirgenliği üzerine etkileri 55
Çizelge 4.38. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun membran geçirgenliği üzerine etkisi 55
Çizelge 4.39. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının prolin içeriği üzerine etkileri 57
Çizelge 4. 40. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun prolin içeriği üzerine etkisi..... 57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AMF	Arbüsküler mikoriza
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Cu	Bakır
ERS	Endo Roots Soluble
Fe	Demir
G	Gram
K	Potasyum
L	Litre
LSD	En küçük önemli farklılık
Mg	Miligram
Mi	Mikoriza
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mM	Milimol
Mn	Mangan
N	Azot
Na	Sodyum
nm	Nonometre
öd	Önemli değil
P	Fosfor
Sd	Sulama düzeyi
Si	Silisyum
Zn	Çinko
%	Yüzde

1. GİRİŞ

Domates ile aynı familyada yer alan biberin anavatanı, Tropikal Amerika'dır. Kristof Colomb, Amerika'yı keşfederken Şili, Brezilya, Peru ve Meksika'daki yerlilerin biber bitkisini yetiştirdiklerini gördüğü söylenmektedir. (Şalk ve ark., 2008). 1493 yılında İspanya'ya geçtiği söylenen biber, 16. Asırda İstanbul'a giriş yapmıştır (Sevgican, 2002).

Biber, patlıcangiller familyasına (Solanaceae) ait olup, saçaklı kökleri ve otsu sapları ile narin bir yapıya sahiptir. Bitkinin meyveleri, yetiştirilen çeşide göre uzun, koni biçimli, çan biçimli, kiraz veya domates şeklindedir. Meyve etinin rengi sarıdan yeşile kadar değişebilir. Biberler için ideal sıcaklık aralığı 18-26 °C'dir ve büyüme mevsimi boyunca daha yüksek sıcaklık gereksinimleri vardır. Hava sıcaklığının 15 °C'nin altına düşmesi bitki verimini azaltırken, 35 °C'nin üzerine çıkması büyüme ve gelişmeyi yavaşlatır (Şalk ve ark., 2008).

Biberler, tarlada açık koşullarda veya örtü altında (serada) yetiştirilebilir. Biber üretiminde, doğrudan tohum ekimi veya fide ile yetiştiricilik yapılabilir. Ancak fide üretimi yapan özel firma sayısının artması ve fide ile üretimin bazı avantajları nedeniyle son zamanlarda fide ile yetiştiricilik oldukça artmıştır (Alma ve Söylemez, 2022). Biber fideleri soğuklara karşı hassas olduğundan dolayı don riskinin olmadığı bir dönemde dikilmelidir. Biberler, 2-3 yılda bir baklagiller, lahana veya şemsiyegillerle dönüşümlü olacak şekilde bir serada yetiştirilmelidir (Özen ve Onay, 2007).

FAO, 2021 yılı biber üretim miktarı ülkeler bazında incelendiğinde ilk sırayı 16 749 719 tonluk üretimle Çin almaktadır (Çizelge 1.1.). Hemen arkasından ikinci sırada 3 091 295 tonluk bir üretimle Türkiye ve 2 747 018 tonluk bir üretimle üçüncü sırada Endonezya yer almaktadır (FAO, 2022). Türkiye'nin ortalama biber verimi metre kareye 3.85 kg'dır. Dünyada, 2021 yılında 2 055 310 hektarlık bir alandan 36 286 644 tonluk bir biber üretimi yapılmış ve metrekare başına ortalama 1.77

kilogram verim elde edilmiştir. Dünya toplam biber üretimi içerisinde Türkiye önemli bir yere sahiptir.

Çizelge 1.1. Dünya 2021 yılı biber üretim miktarı, üretim alanı ve m^2'ye düşen verim (FAO, 2022)

Ülkeler	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Verim (kg m^2)
Çin	16 749 719	754 718	2.22
Türkiye	3 091 295	80 239	3.85
Endonezya	2 747 018	321 923	0.85
Meksika	2 584 144	147 808	1.75
İspanya	1 511 560	22 240	6.80
Mısır	862 127	47 892	1.80
Nijerya	759 134	101 335	0.75
ABD	531 202	16 916	3.14
Hollanda	440 000	1 630	26.99
Tunus	430 000	18 996	2.26

Türkiye'nin 2018-2022 yılları arasında biber üretim miktarlarına bakıldığında biber üretim miktarlarının dört başlık şeklinde incelendiği görülmektedir (Çizelge 1.2.). TÜİK verilerine göre 2022 yılında 1 481 612 ton salçalık kapya, 404 459 tonluk dolmalık biber, 979 180 tonluk sivri biber ve 153 524 tonluk çarliston biber üretimi yapılmıştır (TÜİK, 2022).

Çizelge 1.2. Türkiye'nin 5 yıllık biber üretim miktarı (ton) (TÜİK, 2022)

Yıllar	Salçalık (Kapya)	Dolmalık	Sivri	Çarliston	Toplam
2022	1 481 612	404 459	979 180	153 524	3 018 775
2021	1 445 275	420 918	1 064 633	160 469	3 091 295
2020	1 291 091	389 957	838 890	116 967	2 636 905
2019	1 234 423	371 918	902 203	117 125	2 625 669
2018	1 128 060	397 175	930 349	99 390	2 554 974

Ekstrem iklim koşullarının artışı ve küresel iklim değişiminin devam etmesiyle Dünya'nın birçok yerinde bitkisel üretim üzerine çevresel streslerin negatif etkisinin artacağı belirtilmektedir (Denby ve Gehring, 2005). Doğada meydana gelen çeşitli abiyotik ve biyotik stres etmenleri, bitkilerin strese girmesine sebep olur. Böylece stres, bitkide önemli fizyolojik ve metabolik değişikliklere yol açarak, bitkilerin büyümesini ve gelişmesini olumsuz yönde etkiler.

Stres faktörleri kökenlerine göre abiyotik ve biyotik stresörler olarak iki grupta ele alınabilir. (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Canlı organizmalar biyotik strese neden olurken, tuzluluk, kuraklık, düşük veya yüksek sıcaklıklar, ağır metal, radyasyon, beslenme eksikliği, oksidatif stres, vb. çevresel faktörlere bağlı olan stresler, abiyotik stres içerisinde yer alırlar. Tarımsal üretimin azalması üzerine etkileri incelendiğinde, abiyotik stres faktörleri %71 oranında, diğer stres faktörleri ise %29 oranında etkilidirler (Boyer, 1982).

Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde bazı morfolojik, fizyolojik, anatomik ve biyokimyasal değişiklikler meydana gelir (Du ve ark., 1998). Kuraklık, bitkinin gelişimini ve verimini etkileyen ve sınırlandıran faktörlerden birini oluşturur (Yazdani ve ark., 2007). Kuraklık, stomaların kapanmasına neden olarak CO2'in alınabilirliğini ve karbon fiksasyonunu azaltır. Ayrıca bitki yapraklarında oksijen radikalleri oluşumuna neden olarak, bitkinin zararlanmasına sebebiyet verir (Islam ve ark., 2011). Kuraklık stresi, bitkideki klorofil içeriğinin azalmasına da neden olur (Manivannan ve ark., 2008; Nazarlı ve Zardashti, 2010; Jalilian ve Mohsennia, 2013).

Toprak içerisinde yaşayan ve bitkilerin gelişimleri üzerinde önemli etkilerde bulunan birçok mikroskobik canlı türü bulunmaktadır. Bu canlılardan biri de toprakta bitki kökleri ile ortak yaşayan bir fungus türü olan mikorizalardır. Doğada yaşayan bitki türlerinin %95'inden fazlasının kök sistemi mikoriza mantarlarıyla simbiyotiktir (Bagyaraj, 1991; Ortas, 1997 ve Ortas ve ark., 1999). Bu simbiyotik yaşam içerisinde mikoriza, ihtiyaç duyduğu enerji kaynağını bitkiden aldığı karbonlu bileşikler ve karbonhidratlardan sağlarken, bitkinini ihtiyaç duyduğu mineral besinler ve su, mantarlar tarafından sağlanır (Smith ve Read, 1997). Mikoriza mantarları bitkilere sadece besin ve su sağlamakla kalmaz, aynı zamanda su stresi toleransını, hastalık ve haşere direncini ve bitki kök gelişimini de geliştirir (Borde ve ark., 2017). Ek olarak, son araştırmalar mikorizaların atmosferik karbonu toprağa bağladığını göstermiştir (Giri ve Saxena, 2017).

Literatürde mikoriza funguslarının bitki verimini ve gelişimini arttırdığına dair birçok çalışma bulunmaktadır. Al-Karaki ve ark. (2004), mikoriza aşılaması ile bitkinin kuru madde veriminin, tane veriminin arttırdığını göstermiştir. Türkiye gibi kurak ve yarı kurak bölgelerde yetiştirilen bitki ürünlerinin su ve besin madde yararlanma oranını artırmak için mikoriza mantarları kullanılabilmektedir (Al-Karaki, 1998).

Mikorizaların bitkinin beslenmesine yardımcı olduğu ve iyi beslenme sağlayarak, bitkileri diğer patojenlerden koruduğu bildirilmektedir (Dehne ve Schanbeck, 1979). Bununla birlikte, bitkileri ağır metal toksisitesi ve tuzluluk gibi çevresel faktörlerin neden olduğu streslerden koruduğu ve bitki direncini arttırdığı bildirilmiştir (Harley ve Smith, 1983). Ayrıca, mikoriza ile enfeksiyon, kirlenmiş toprağın bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilir. Mikoriza, bitkilerin kuraklık toleransını da artırabilir. Bu artış, ya doğrudan hif yoluyla ya da mikorizaların bitkinin morfolojisi ve fizyolojisinde yaptığı değişiklikler yoluyla kökün büyümesini veya kılcal kökün oluşumunu arttırmasıyla ilişkilidir (Davies ve ark., 1992).

Bazı besin elementlerinin ortamda bulunması bitki gelişiminde pozitif etkilere neden olabilir. Bu elementlerden birisi de silisyumdur. Silisyumun bitki gelişimi ve işlevi üzerindeki doğrudan veya dolaylı olumlu etkilerinden dolayı, son yıllarda silisyuma olan ilgi artmıştır. Özellikle olumsuz iklim koşullarında aşırı sıcaklık ve kuraklık stresine, mineral toksisitesine karşı direnç sağladığı bildirilmektedir. Bitkileri biyolojik stresten korumada ve gelişimlerini desteklemede potansiyel etkileri olduğu bildirilmiştir (Sistani ve ark., 1997; Ma, 2004). Tüm karasal bitki dokuları, kuru ağırlık bazında %0.1-10 silisyum içerir (Ma ve Takahashi, 2002). Çeltik tarlaları ve çayırlar gibi bazı bitkilerin dokularında %1-5'ten daha fazla silisyum biriktirir ve akümülatör olduğu kabul edilir. Mısır, salatalık, domates, arpa ve soya fasulyesi gibi bazı bitkilerin dokularında %1'den daha az silisyum biriktirdiği bildirilmiştir. Bu bitkiler silisyumdan dolaylı olarak etkilenirler. Toprakta yeterli silisyum varsa stresli koşullar altında bile bitkiler işlev bozukluğu göstermezler (Takahashi ve ark., 1990; Savant ve ark., 1999).

Bazı bitkiler (pirinç, şeker kamışı gibi bazı su bitkileri) için silisyum kesinlikle gereklidir. Bazı bitkiler için esansiyel bir besin maddesi olabilmesine rağmen fonksiyonel ve faydalı bir besin maddesidir ve bitki beslemedeki yeri tam olarak anlaşılamamıştır (Takahashi ve ark., 1990; Singh ve ark., 2005).

Silisyum bitkide hareketsiz olduğundan bitkinin üst yapraklarına terleme ile taşınır. Emilen silikon özellikle yaprak kütikülü altında yoğunlaşarak yaprakları daha dik hale getirir, fotosentetik aktiviteyi arttırır ve terlemeyi iyileştirir. Ek olarak, bitki sapı stabilitesini ve ekimden sonra kardeş sayısını arttırır (Liang ve ark., 2005).

Fauteux ve ark. (2005) bitki hastalıklarının ortaya çıkma sıklığı ve şiddeti üzerine silisyumun faydalı etkilerinden bahsetmiştir. Ancak bunun etki mekanizması şimdiye kadar tam olarak anlaşılamamıştır (Currie ve Perry, 2007). Silisyum uygulamaları ile bazı bitkilerde meydana gelen fungal hastalıkların oluşumunun azaldığı bildirilmiştir. Gülde, hıyarda, buğdaylarda, mısırda, çeltikte, ve arpada sırasıyla *Diplocarpen rosae, Colletotrichum orbiculare, Septoria nodorum, Pythium aphanidermatum ve Fusarium moniliforme, Magnoporte grisea, Alternaria* spp. örnek olarak verilebilir (Kunoh ve Ishiazaki, 1975; Sun ve ark., 1994; Seebol ve ark., 2000; Sun ve ark., 2002; Gillman ve ark., 2003; Rodgers-Gray ve Shaw, 2004).

Silisyumun ortamda bulunması; manganez, tuz stresi ve kuraklığa karşı bitkinin toleransını arttırdığı, bitki büyümesi üzerinde olumlu etkisinin olduğu birçok araştırma sonucu göstermiştir (Datnoff, 2005;Krantev ve ark., 2008; Coşkun ve ark., 2016).

Kuraklık, bitki gelişimini ve verimliliğini kısıtlayan en önemli çevresel stres faktörlerinden biridir ve kuraklık ile mücadele etmek için yeni stratejiler geliştirilmelidir (Söylemez, 2021). Bu çalışmanın amacı kısıtlı sulama koşullarında silisyum ve mikoriza uygulamalarının biber bitkilerinin morfolojik, fizyolojik ve bazı biyokimyasal parametreler üzerine etkilerini belirlemek ve kısıtlı sulama koşullarına karşı yeni stratejiler belirlemektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Mikoriza ile İlgili Çalışmalar

Toprakta yaşayan ve bitki ile simbiyotik yaşam süren mikoriza mantarlarının bitki gelişimi üzerine etkileriyle ilgili çeşitli bitki türlerinde yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Bitkilerin topraktan daha fazla besin maddesi alması mikoriza mantarları sayesinde sağlanabilir. Mikoriza mantarların, su emilimini artırdığı (Farahani ve ark., 2008; Maboko ve ark., 2013), tuzlu topraklarda bile bitki verimini ve kalitesini artırdığı bildirilmiştir (Muok ve Ishii, 2006; Satir ve ark., 2016). Mikoriza mantarlarının patojenlere (alternaria gibi) karşı direnci de arttırdığı rapor edilmiştir (Fritz ve ark., 2006; Demir ve ark., 2007).

Türkmen ve ark. (2008), orta derecede tuz stresi ortamında yetiştirilen biber fidelerinin besin kapsamı ve gelişmesi üzerine farklı arbüsküler mikoriza (AMF) türlerinin etkilerini incelemişlerdir. Tuz stresli kültür ortamında (75 ppm NaCl) iki farklı mikoriza türü (*Glomus intraradices* ve *Gigaspora margarita*) üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Çalışmada, P, K, Ca ve Na gibi besin elementleri ile gövde uzunluğu, gövde çapı, kök uzunluğu, kök kuru ağırlığı ve taze ağırlığı gibi bitki büyüme parametrelerini incelemişlerdir. Fidelerin tuzlu koşullardan olumsuz etkilendiğini belirtmişlerdir. Araştırıcılar, AMF türlerinin bitki büyüme parametrelerini ve besin seviyelerini arttırdığını belirtmişlerdir. Tuzlu su ortamlarında, AMF türlerinin, tuzun zararlı etkilerine karşı koymada yararlı olduğunu saptamışlardır.

Palta ve ark. (2010), mikoriza mantarlarını barındıran bitkilerde köklerin içinde ve dışında oluşan ilişkiler nedeniyle mikoriza mantarların ekolojik açıdan büyük öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Genel olarak AMF mantarlarının, dış hifleri sayesinde bitki kök yüzey alanını artırarak, bitkilerin topraktan daha fazla yararlandığını ve bitkilerin tuzluluk, kuraklık ve ağır metal streslerine karşı

dayanımını artırdığını bildirmişlerdir. Mikoriza mantarların, bitkileri kök patojenlerine karşı koruduğu ve bitki büyümesini sağlayan hormonların üretimini teşvik ettiği bildirilmiştir. AMF'nin otlak ve mera bitkilerinin fizyolojisini ve morfolojisini de olumlu etkileyebileceğini ve bileşik gübre kullanımını azaltarak ekosistemlere katkı sağlayabileceğini öne sürmüşler ve bu mantarların otlak ve mera ıslah çalışmalarında kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Demirbaş (2012), farklı gübreleme zamanlarının (sulama başına gübre, 2 sulama başına gübre, 3 sulama başına gübre) ve mikoriza uygulamasının Çukurova koşullarında domates ve biberde verim ve besin maddelerini iyileştirdiğini bildirmiştir. Araştırıcı çalışmasında, mikoriza olarak *Glomus caledonium* türünü kullanmıştır. Araştırıcılar, domates ve biber bitkilerinin verimi ile yaprak ve kök enfeksiyonlarını, N, P, K, Fe, Cu, Mn ve Zn içeriklerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre domateste ve biberde fosforsuz uygulama, mikoriza aşılama, her sulamada tek gübreleme ve her iki sulamada tek gübrelemenin verimde en fazla artış sağladığını belirtmişlerdir. Her sulamada gübre uygulaması domates ve biber bitkilerinde fosfor içeriğini en çok artıran uygulama olarak bulunmuştur. Ayrıca mikoriza mantarları ile aşılanan bitkilerin verim ve besin düzeyinin, mikoriza mantarları ile aşılanmayan bitkilerden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Altuntaş ve ark. (2015), farklı AMF türlerinin (*Glomus clarum ve Glomus caledonium*) biber bitkileri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırıcılar, AMF'nin sera kültür ortamına eklenmesinin bitki büyümesi ve verimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Verimin kontrole göre bir uygulamada yaklaşık %16, iki uygulamada ise yaklaşık %29 arttığı bildirilmiştir. Bitki büyümesi ve beslenmesi üzerindeki etkileri için benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Canbolat (2016), mikoriza, elementel kükürt ve fosforun domatesin verimi ve meyvedeki likopen içeriği üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamıştır. Bu amaçla, kök, sürgün ve meyve verimlerini, kök kuru maddesinin sürgün kuru maddesine oranını, kök mikoriza enfeksiyon oranını, 0-30 cm toprak derinliğinde ve bitki

dokusunda makro besin ve mikro besin maddelerini araştırmıştır. Araştırıcı, mikoriza uygulaması yapılan bitkilerin beta karoten ve likopen içeriklerinin, meyve veriminin, kök ve sürgün ağırlıklarının daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Bayraktar ve ark. (2017), mikorizaların tarımın birçok farklı alanında, özellikle toprak iyileştirme, toprak verimliliği, bitki büyümesi ve bitki hastalığı ile ilgili etkisi ve önemi hakkında bilgi vermiş, mikorizalar arasındaki etkileşimler yoluyla her iki organizmanın da birbirinden fayda sağlayacağını öngörmüştür.

2.2. Silisyum ile İlgili Çalışmalar

Silisyum üzerine yapılan ilk çalışma 1840 yılında Justus Von Liebig tarafından başlatılmıştır. Çeşitli bitkilerde sera ve açık alanlarda yapılan birçok çalışmada silisyumun bitkilere fayda sağladığı görülmüştür (Savant ve ark., 1996; Epstein, 1999; Matichenkov ve ark., 1999).

Miyake ve Takahashi (1983), hıyar üzerinde yaptıkları bir çalışmada, çözeltiye Si eklenmesinin bitki büyümesini ve verimi artırdığını bulmuşlardır.

Yapraktan ve topraktan potasyum silikat uygulamasının bitki aşınma hasarını %20 oranında azalttığı bildirilmiştir (Takahashi ve ark., 1990).

İngiliz hıyarları (*Cucumis sativus* L. cv. Corona) üzerinde yapılan bir araştırmada, silisyum içeren solüsyonda yetiştirilen bitkilerin *Pythium aphanidermatum* kök hastalığına karşı daha dirençli olduğunu ve bunun sonucunda da daha yüksek pazarlanabilir verim sağlandığını ve bitki ağırlığının önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir (Cherif ve ark., 1992).

Hıyar, gül ve kabak üzerinde yapılan topraksız tarım çalışmalarında, kök bölgesindeki artan Si konsantrasyonunun yararlı etkilere sahip olduğu ve toplam verimi artırdığı bildirilmiştir (Voogt ve Sonneveld, 2001).

Si ile gübrelenen otların, gübrelenmemiş otlara göre yaprak kalitesini ve rengini iyileştirdiği, kuraklık stresine daha iyi dayandığı ve yaprak yoğunluğunda %23.5'lik bir artışa sahip olduğu bildirilmiştir (Trenholm ve ark., 2004).

Silisyumun, bitkilerin hücre duvarlarında polisakkaritlere ve lignin polimerlerine bağlanıp, kütikülde depolanarak yaprakların ve gövdelerin dayanıklılığını arttırdığı bildirilmiştir (Hull, 2004).

Silisyumun, bitki antioksidan enzimlerinin aktivitesini arttırdığı, plazma membran geçirgenliğini ve membran lipid peroksidasyonunu azalttığı, membran fonksiyonunu ve bütünlüğünü koruduğu ve tuzlu koşullarda bitki büyümesini ve verimini arttırdığı, tuz stresinin olumsuz etkilerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Zhu ve ark., 2004; Romero-Aranda ve ark., 2005). Silikonun ayrıca Na alımını azalttığı, kloroplastlarda reaktif oksijen radikallerinin varlığını arttırdığı ve tuz stresi altında kloroplast zarlarındaki hasarı azaltarak, bitkileri tuz stresine karşı daha az duyarlı hale getirdiği bildirilmektedir.

Liang ve ark. (2005), serada yetiştirdikleri mısır bitkilerine 20-40 ppm kadmiyum ve 400 ppm silisyum uygulaması sonucunda toprak pH'sının yükselmesi ile kadmiyumun immobilize olduğunu ve bitkide Cd-detoksifikasyonu meydana getirerek biomas gelişiminin devam ettiğini belirtmişlerdir.

Datnoff (2005), silisyumlu gübrelemenin sadece bitki büyümesini ve çeşitli çim türlerinin gelişimini teşvik etmekle kalmayıp, aynı zamanda abiyotik stresleri (kuraklık stresi, ısı stresi, mineral toksisitesi, aşınma direnci) azalttığını bildirmiştir.

Zhu ve Gong (2014), silisyumun köklerden su alınımını arttırdığını, yapraklardaki su kaybını azalttığını ve besin dengesini sağlayarak fotosentezin hızını arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca antioksidan enzimlerin aktivitesini ve antioksidan olmayan enzimlerin içeriklerini yükselterek, tuzun olumsuz etkisinden bitkiyi koruduğunu bildirmişlerdir. Silisyumun osmotik düzenlemeye katkıda bulunarak fotosentetik enzimlerin aktivitelerini yükselttiği bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca

silikon uygulamasının kök ve gövdelerde sodyum birikimini azalttığını belirtmişlerdir.

Coşkun ve ark. (2016), silisyumun bitkiler için mutlak gerekli bir element olmadığını, ancak kuraklık ve tuzluluk gibi stres koşullarında bitki büyümesi için yararlı bir element olduğunu ve tuzdan kaynaklanan oksidatif stresi hafifleterek, terlemeyi azalttığını saptamışlardır.

Doğan (2018), çileğin bitki gelişimi ve mineral madde kapsamı üzerine silisyum, hümik asit ve kadmiyumun etkilerini incelemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Araştırıcı, kadmiyum stresi uygulanan bitkilerde silikon ve hümik asit uygulamalarının bitki taze ve kuru ağırlığı, yaprak sayısı, yaprak alanı, yaprak oransal su kapsamı, klorofil miktarı, stoma iletkenliği ile yaprak ve kökteki azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriklerinde değişik seviyelerde artışlar olduğunu belirtmiştir.

Korkmaz (2018), su stresi altındaki çilek bitkilerinin gelişimi üzerine silisyum ve hümik asit uygulamalarının etkisini incelemiştir. Su stresi altındaki bitkilerde yaprak alanı, taze ve kuru bitki ağırlığı, yaprakların oransal su kapsamı, klorofil içeriği, stoma iletkenliği, yaprak N, P, K, Ca ve Mg içeriklerinde değişik seviyelerde azalmalar olduğunu saptamıştır. Diğer taraftan, artan su stresine paralel olarak hücre zarı geçirgenliği, lipid peroksidasyonunu ve prolin seviyeleri ile yaprak sıcaklığı değerlerinin arttığını bildirmiştir. Araştırıcı, su stresinin bitki üzerinde oluşturduğu olumsuz etkinin hümik asit ve silisyum uygulamalarıyla azaldığını belirtmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Deneme 2021 yılı ilkbahar üretim döneminde Mardin Derik Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesine ait 400 m^2'lik polikarbon örtülü ısıtmasız serada, topraksız üretim şeklinde yürütülmüştür. Araştırmada, kısıtlı sulama koşullarında silisyum ve mikoriza uygulamalarının biber bitkilerinin morfolojik, fizyolojik ve bazı biyokimyasal parametreler üzerine etkilerini belirlemek ve kısıtlı sulama koşullarına karşı yeni stratejiler belirlenmesi amaçlanmıştır.

3.1. Materyal

Çalışma, oluk altı yüksekliği 2.5 m ve tepe yüksekliği 4-4.5 m olan ısıtmasız polikarbonat örtülü serada, 8 litre hacme sahip saksılarda yürütülmüştür. Denemede kullanılan bitkisel materyal, mikoriza, silisyum ve ortamla ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Bitkisel materyal

Çalışmada bitkisel materyal olarak Alev F1 biber çeşidi kullanılmıştır. Alev F1 biber çeşidi, yüksek verimli, acılık oranı oldukça yüksek ve mükemmel koyu kırmızı parlak meyve rengine sahiptir. Meyve uzunluğu 16- 18 cm ve çapı 5cm civarındadır. Alev F1 çeşidi hem açıkta hem de örtü altında yetiştiriciliğe uygun bir eşittir.

3.1.2. Mikoriza

Ticari ismi Endo Roots Soluble (ERS) olan mikoriza mantarları, kök yüzeyi alanını genişleterek köklerin su ve besin maddelerine çok daha kolay ulaşmasını sağlayan bir üründür. Bitkinin su ve besin alım kapasitesinin artmasına yardımcı olur. Yüksek pH'dan dolayı topraktan çok zor alınabilen fosforun bitki kökleri tarafından kullanabilmesi sayesinde, fosforlu gübre kullanımında tasarruf sağlanır. Fosfordan optimum düzeyde yararlanmasından dolayı, fosforun bitkiye sağladığı tüm avantajlardan maksimum düzeyde yararlanmasına yardımcı olur. Faydalı kök mantarı

olarak bilinen mikoriza toprak ekosisteminde bulunan bitkilerle besin alışverişi yaparak beslenen, faydalı bir mantar türüdür. Bitkinin besin alımında zorlandığı durumlarda mikoriza hızlı gelişerek besin ve su alımını kolaylaştırır. Mikorizalı kökler hızlı büyür ve esnek yapıdadır. Bitkinin kuraklık ve tuzluluk gibi olumsuz koşullara karşı dayanım sağlamasına yardımcı olur (Almaca, 2014).

3.1.3. Silisyum

Silisyum kaynağı olarak sodyum silikat kullanılmıştır. Sodyum silikat sulama suyuna 2 mM eklenerek 15 günde bir silisyumlu parsellere uygulama yapılmıştır. Silisyumun bitkilerin hücre duvarını güçlendirmede rol oynadığı ve dolayısıyla bitkinin hastalık ve zararlılara karşı direncini arttırdığı bilinmektedir. Bunun yanı sıra kuraklık ve ağır metallere dayanıklılığın artmasına, ürün kalitesine ve verime katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Silikon, bitkide meydana gelen tuz stresi, metal toksisitesi, kuraklık ve hastalıklara karşı direnç sağlamaktadır (Horuz, 2018).

3.1.4. Yetiştirme ortamı

Denemede yetiştirme ortamı olarak 3:2 oranında torf ve perlit karışımı kullanılmıştır. Şekil 3.1.'de yetiştirme ortamı olarak kullanılan torf ve perlit karışımının hazırlanmasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.1.Bitki yetiştirme ortamının hazırlanması

Şekil 3.2.'de polikarbon örtülü ısıtmasız serada yetiştirilen biber fidelerine ait deneme alanı verilmiştir.



Şekil 3.2. Polikarbon örtülü ısıtmasız serada yetiştirilen biber fidelerine ait görseller

3.2. Yöntem

Denemede kullanılan fideler, fide firmasından temin edilmiştir. Fide dikimi yapılmadan önce saksılar, 1/10 oranında hazırlanan HCL çözeltisinde yıkanmış, daha sonra saf sudan geçirilerek durulanmıştır. Yetiştirme materyali olarak kullanılan torf ve perlit karışımları dezenfekte edilen 8 litrelik saksılar içine doldurulduktan sonra, her saksıya 1 adet fide dikimi yapılmıştır. 56 adet fideye 100 gr mikoriza ERS'nin 2 litre saf suyla karıştırılmasıyla elde edilen karışım uygulanmıştır. Bu fidelerin kökleri dikimden önce bu karışıma daldırılmış, ardından dikim işlemi gerçekleştirilmiştir. Arta kalan karışım saksılara eşit şekilde verilmiştir. Geriye kalan 56 adet fide ise mikoriza aşılaması yapılmadan dikilmiştir. Fideler sera içerisine 06.03.2021 tarihinde dikilmiştir. Dikimden sonra 1 ay boyunca fidelere eşit bakım koşulları uygulanmıştır. Bu dönemin sonunda, bitkilere aşağıdaki tabloda verilen konular uygulanmıştır. Bitkilere sulama suyuna 15 günde 1 Si kaynağı olarak 2 mM sodyum silikat uygulanmıştır (Miyake ve Takahashi, 1983).

Şekil 3.3.'de torf ve perlit karışımında yetiştirilen biber bitkisi ve kök yapısına ait görseller verilmiştir.



Şekil 3.3. Torf ve perlit karışımında yetiştirilen biber bitkisi ve kök yapısı

Deneme süresince hastalık, zararlı ve yabancı otlarla gerek mekanik gerekse kimyasal yollarla savaşılmıştır.

Sulama suyu miktarını belirlemek amacıyla tam sulama uygulamasından iki saksı belirlenmiş ve bu saksılar tarla kapasitesine getirilip ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonraki tam sulama uygulamalarında bu saksılar tartılmış ve eksilen su miktarı tamamlanmış ve kısıtlı su uygulaması yapılan parsellere tam sulama uygulamasında belirlenen suyun %50'si uygulanmıştır. Deneme açık besleme yöntemine göre yürütülmüş olup, drene olan solüsyon tekrar kullanılmamıştır. Denemede Çokuysal ve ark. (2019)'nın biber için önerdiği besin içeriği kullanılmıştır. Besin solüsyonunun EC'si 2.25 dS m^{-1}'e, pH'sı ise 5.8-6.5 arasında tutulmaya çalışılmıştır. Sulamalar beher yardımıyla yapılmıştır.

Şekil 3.4.'te deneme sürecince fidelere uygulanan bakım koşulları, kontrol sürecine ait görseller verilmiştir.



Şekil 3.4. Deneme sürecince fidelere uygulanan bakım koşulları, kontrol sürecine ait görseller

3.2.1. Vegetatif büyüme parametreleri

3.2.1.1. Bitki boyu (cm)

Bitki boylarını tespit etmek amacıyla her parselden dört bitkinin boy ölçümü perlit yüzeyinden büyüme ucuna kadar olan kısımları, şerit kullanılarak ölçülmüştür (Söylemez, 2014). Şekil 3.5.'de bitki boyunun ölçümüne ait görseller veriliştir.



Şekil 3.5. Bitki boyunun ölçümüne ait görsel

3.2.1.2. Gövde çapı (mm)

Her parselden dört bitkide, bitkilerin perlit seviyelerinin 1-2 cm yukarısından, dijital kumpas kullanılarak gövde çapı belirlenmiştir (Söylemez, 2014). Şekil 3.6.'da gövde çapı ölçümlerine ait görseller verilmiştir.



Şekil 3.6. Gövde çapı ölçümlerine ait görseller

3.2.1.3. Yaprak sayısı (adet bitki^{-1})

Söküm zamanı her parselden seçilen 4 bitkinin üzerindeki tüm yapraklar sayılarak belirlenmiştir (Söylemez, 2014)).

3.2.1.4. Yaprak taze ağırlığı (g bitki^{-1})

Söküm zamanı bitki üzerindeki tüm yapraklar koparılmış ve hassas terazide tartılarak yaprak taze ağırlığı belirlenmiştir.

3.2.1.5. Yaprak kuru ağırlığı (g bitki^{-1})

Taze ağırlığı alınan yaprakların, 65 ^{0}C sıcaklıktaki etüv içerisinde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulması ve daha sonra hassas terazide tartılması ile yaprak kuru ağırlık değerleri belirlenmiştir.

3.2.1.6. Gövde taze ağırlığı (g bitki^{-1})

Söküm zamanı bitki üzerindeki tüm yapraklar koparıldıktan sonra, bitkinin gövde ve dalları hassas terazide tartılarak gövde taze ağırlığı belirlenmiştir.

3.2.1.7. Gövde kuru ağırlığı (g bitki^{-1})

Taze gövde ve dalların ağırlığı tartıldıktan sonra, 65 ^{0}C sıcaklıktaki etüv içerisinde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan örnekler hassas terazide tartılarak, gövde kuru ağırlığı saptanmıştır. Şekil 3.7.' de gövde kuru ağırlığına ait görseller verilmiştir.



Şekil 3.7. Gövde kuru ağırlığına ait görsel

3.2.1.8. Kök uzunluğu (cm)

Köklerin ortam içerisinde ne kadar uzayabildiğini saptamak amacıyla bitkiler ortamlarından dikkatli bir şekilde ayrılmış ve en uzun kökün uzunluğu cetvel yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 3.8.' de kök uzunluğuna ait görseller verilmiştir.



Şekil 3.8. Kök uzunluğu ait görseller

3.2.1.9. Kök taze ağırlığı (g bitki^{-1})

Bitkilerin toprak üstü aksamı kesildikten sonra, kök kısmı tel elek üzerinde elenmiş ve daha sonra su altında yıkanmış ve ortamdan arındırılmıştır. Köklerin suyu süzüldükten sonra, köklerin üzerinde kalan su partiküllerini uzaklaştırmak amacıyla kurutma kâğıdı ile kurulanmış ve ardından hassas terazide tartılmıştır.

3.2.1.10. Kök kuru ağırlığı (g bitki^{-1})

Ortamdan yıkanarak ayrılmış olan kökler, 65^{0}C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuş, ardından hassas terazide tartılıp, kök kuru ağırlığı belirlenmiştir.

3.2.2. Verim ve meyve özellikleri

3.2.2.1. Bitki başına verim (g bitki^{-1})

Deneme süresince bitkilerden elde edilen tüm meyveler hasat edilip tartılmış ve bitki başına verim tespit edilmiştir.

3.2.2.2. Bitki başına meyve sayısı (adet bitki^{-1})

Deneme süresince bitkilerden hasat edilen tüm meyveler sayılarak bitki başına meyve sayısı belirlenmiştir.

3.2.2.3. Ortalama meyve ağırlığı (g)

Ortalama meyve ağırlığı üzerine, farklı zamanlarda uygulanan mikoriza, Sİ ve kısıntılı su seviyelerinin etkilerini tespit etmek amacıyla, tüm hasatlardan elde edilen meyvelerin toplam ağırlığı, toplam meyve sayısına bölünerek hesaplanmıştır.

3.2.2.4. Meyve çapı (mm)

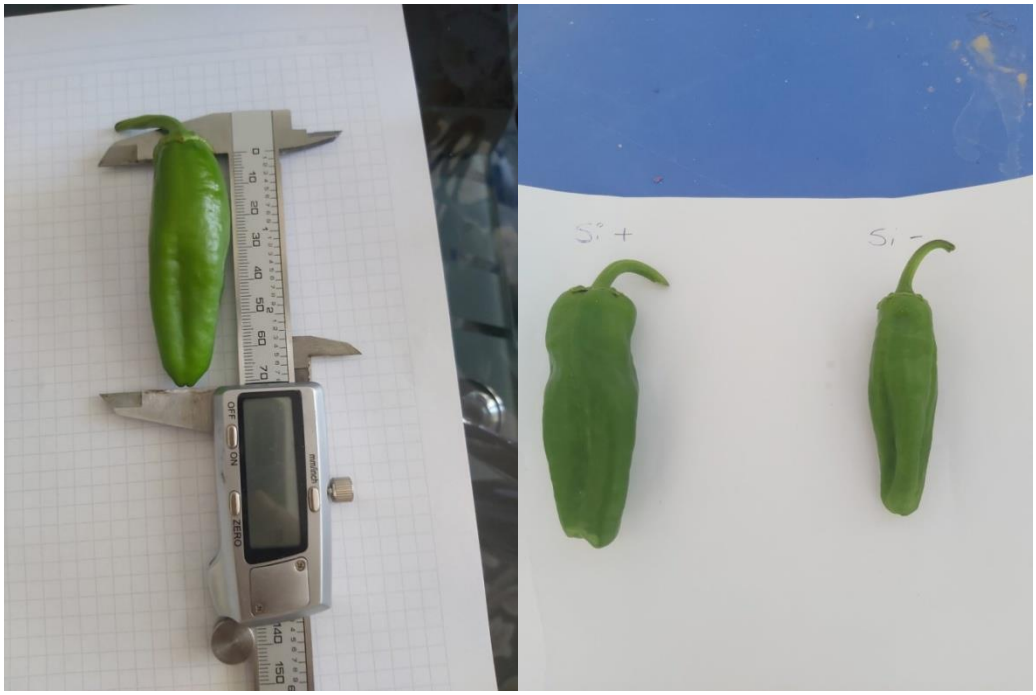
Meyve çapı üzerine uygulamaların etkisini belirlemek amacıyla her yinelemeden 10 meyvenin en geniş yerlerinden dijital kumpast yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 3.9.'da meyve çapına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.9. Meyve çapına ait görsel

3.2.2.5. Meyve uzunluğu (mm)

Meyve uzunluğu değeri, her yinelemeden alınmış olan 10 adet meyvede, meyvelerin çiçek ucundan sap kısmına kadarki uzunluk, dijital kumpas yardımıyla ölçülerek, belirlenmiştir. Şekil 3.10.'da meyve uzunluğuna ait görseller verilmiştir.



Şekil 3.10. Meyve uzunluğuna ait görseller

3.2.2.6. Meyve eti kalınlığı (mm)

Mikoriza, Sİ ve kısıntılı su seviyelerinin meyve etinin kalınlığına etkilerini belirlemek amacıyla her tekerrürden alınmış olan 5 meyve, ekvatoral çapından yatay olarak ikiye bölünmüş ve üç ayrı lobdan dijital kumpas ile ölçüm alınarak ortalama meyve eti kalınlığı belirlenmiştir. Şekil 3.11.'de meyve eti kalınlığına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.11. Meyve eti kalınlığına ait görsel

3.2.2.7. Meyve suyunda pH

Meyve örnekleri blender ile parçalamış, daha sonra meyve suyu süzülmüştür. Elde edilen meyve suyunun pH'sı, pH metre (Adwa ECO 200) ile ölçülmüştür (Liang ve ark., 2005). Meyve suyunun pH ölçümüne ait görsel Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Meyve suyundaki pH ölçümüne ait görsel

3.2.3. Fizyolojik ve biyokimyasal parametreler

3.2.3.1. Klorofil indeksi

Yaprakların klorofil içeriği değeri taşınabilir klorofil metre cihazı (Minolta SPAD-502) ile ölçüm yapılmıştır (Martinez ve ark., 2017).

3.2.3.2. Membran geçirgenliği (%)

Bitkilerin membran stabilitesi Premchandra ve ark., (1990)'na göre belirlenmiştir. 0.5 g alınan yaprak örnekleri 20 ml saf su içerisinde 40 ^{o}C de 30 dakika bekletilmiştir. Daha sonra çözeltinin EC_1 değeri ölçülmüş ve ardından 100 ^{o}C de 10 dakika daha bekletilmiştir. Bekletilen çözelti soğuduktan sonra EC_2 değeri ölçülmüş ve bitkilerin membran geçirgenlik değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Eşitlik 3.1.).

$$(EC_1/EC_2 \text{ X } 100) \qquad (3.1.)$$

3.2.3.3. Prolin içeriği (mmol g^{-1} taze ağırlık)

Prolin içeriğinin belirlenmesi Bates ve ark., (1973)'na göre yapılmıştır. Renk maddesi olarak asit-ninhidrin karışımı kullanılmıştır. Bu amaçla 1.25 gr ninhidrin 30 ml glasial asetik asit ve 20 ml 6 M fosforik asit içerisinde çözündürülmüştür. 10 ml %3 lük sülfo salisilik asit içinde 0.5 gr ağırlığındaki yapraklar homojenize edilmiştir. Homojenize edilen yaprak örnekleri Whatman No: 2 filtre kağıdından süzdürülmüş, sonra 2 ml süzdürülmüş örnek, 2 ml asit ninhidrin ve 2 ml glasiyal asetik asit karışımı eklenerek, 1 saat 100 °C'de kaynatılmış ve reaksiyon buz içerisinde sonlandırılmıştır. Daha sonra üzerine 4 ml tolüen eklenerek ve Absorbansı 515 nm'de tolüene karşı okunmuştur. Standart olarak önceden hazırlanmış olan L-Prolin solüsyonu kullanılmıştır.

3.2.4. İstatistik analiz

Araştırma, Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüş ve her tekerrürde 3 bitki kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen verilerin varyans analizleri TARİST istatistik paket programında yapılmış, ortalamaların karşılaştırılması amacıyla LSD testi kullanılmıştır. Denemede yer alan uygulamalar ve kombinasyonları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Denemede yer alan uygulamalar

Sulama düzeyi	Mikoriza	Silisyum
%100 Tam sulama	Mi-	Si 0 Mm
		Si 2 mM
	Mi+	Si 0 mM
		Si 2 mM
%50 Kısıtlı sulama	Mi-	Si 0 mM
		Si 2 mM
	Mi+	Si 0 mM
		Si 2 mM

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Biberin verimini ve bitki gelişimini kısıtlayan birçok biyotik ve abiyotik stres faktörleri mevcuttur. Bunların içinde su stresi ilk sıralarda yer almaktadır. Su kaynaklarının sınırlı olması ve küresel ısınma nedeniyle artan sulama suyu ihtiyacının günümüz koşullarında büyük boyutlara ulaşması, su kaynaklarının daha etkin kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bitkilerin kuraklığa dayanımlarını arttırmak için kök sisteminin iyi gelişmesi gerekir. Topraklarda mevcut olan mikoriza mantarları bitkiler ile simbiyotik yaşam sürerek bitkilerin kök sistemine olumlu katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda mantarların oluşturduğu hifler, kökün yüzey alanını genişleterek, kökün uzağında bulunan ve bitkinin alamayacağı formdaki besin maddelerini ve suyu hifleri aracılığıyla alabilir ve böylece bitkilerin su stresine girmelerini önleyebilir. Bitkinin stres şartlarına karşı dayanımını arttırmada bazı mineraller de görev alabilir. Bu minerallerden biri, silisyumdur. Özellikle uygun olmayan iklim koşullarında kullanılan silisyum, kuraklık ve sıcaklık stresi, mineral toksisitesi gibi abiyotik; zararlı ve bitki hastalıkları gibi biyotik streslere karşı bitkileri koruyan ve gelişimini artıran bir iz elementtir.

Yapılan bu çalışmada kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen biber bitkisinin kök yapısının daha aktif olabilmesi adına mikoriza ve stres şartlarına dayanıklılığı arttırma adına silisyumun birlikte kullanılarak bitkilerin kısıtlı sulamalara karşı dirençlerini arttırmak amaçlanmıştır. Çalışmada incelenen özelliklere ait sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

4.1. Vegetatif Büyüme Parametreleri

4.1.1.Bitki boyu (cm)

Sulama düzeyi (Sd), mikoriza (Mi) ve silisyum (Si) uygulamalarının bitki boyu üzerine etkilerine ait sonuçlar Çizelge 4.1 de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere sulama düzeyi ve mikoriza uygulamalarının bitki boyu üzerine etkileri önemli, silisyumun etkisi ise önemsiz bulunmuştur.

Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin boyları 57.65 cm iken, tam sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin boyları 75.63 cm olmuştur. Kısıtlı sulama koşulları kontrole göre bitki boylarını yaklaşık %23.77 oranında azalttığı saptanmıştır. Mikoriza uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi incelendiğinde mikoriza uygulanan bitkilerde bitki boyunda bir artış gözlemlenmiştir. Mikoriza uygulanmayan bitkilerde bitki boyu 65.23 cm iken, mikorizalı bitkilerde bitki boyu %4.31 oranında artış göstererek, 68.04 cm olmuştur. Silisyum uygulamaları kendi aralarında karşılaştırıldıklarında bitki boyu bakımından büyük bir fark gözlemlenmemiştir. Silisyum uygulanmayan bitkilerin boyu 66.52 cm ölçülürken, Si uygulanan bitkilerin boyları 66.75 cm ölçülmüştür.

Çizelge 4.1. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının bitki boyu üzerine etkileri

		Bitki boyu (cm)
Sulama	%50	57.65 b
	%100	75.63 a
	LSD	**3.409****
Mikoriza	M^-	65.23 b
	M^+	68.04 a
	LSD	**2.505***
Silisyum	0 mM	66.52
	2 mM	66.75
	LSD	**Öd**

*: % 5 düzeyinde önemli (0.01<p<0.05); **:%1 düzeyinde önemli (p<0.01);öd: önemli değil (p>0.05)

Sulama düzeyi*mikoriza*Si interaksiyonunun bitki boyu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.2). Çizelgede görüldüğü gibi uygulamalar arasında en uzun bitki boyu 82.25 cm ile %100 sulama koşullarında Mi^+ ve Si 0 mM uygulamasından elde edilmiştir. Bunun aksine en kısa bitki boyu 53.08 cm ile %50 sulama koşullarında Mi^- ve Si 0 mM uygulamasından ölçülmüştür. %100 sulama düzeyinde Mi ve Si'un ayrı ayrı uygulanması bitki boyunu arttırırken, ikisinin birlikte uygulanması bitki boyunu kısaltmıştır. Ancak, su stresi (%50) altında yetiştirilen bitkilerde Mi ve Si'un hem ayrı ayrı hem de birlikte uygulanması bitki boylarını önemli oranda arttırmıştır.

Çizelge 4.2. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun bitki boyu üzerine etkileri

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Bitki boyu (cm)
%100	-	0 mM	73.08
		2 mM	78.58
	+	0 mM	82.25
		2 mM	68.58
%50	-	0 mM	53.08
		2 mM	56.17
	+	0 mM	57.67
		2 mM	63.67
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Farklı tuz seviyelerinde yetiştirilen biber bitkilerine mikoriza ve bakteri aşılaması yapılan bir çalışmada mikoriza uygulamaları ile bitki boylarının artış gösterdiği bildirilmiştir (Altunlu, 2020). Özbucak ve ark. (2020) domateste yaptıkları çalışmada mikoriza uygulamalarının bitki boyunu arttırdığını belirlemişlerdir. Ulukapı ve ark. (2020) mikoriza ve su kısıtı uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada, sulama miktarı azaldıkça bitki boyarının azaldığını, mikoriza uygulamaları ile bitki boylarının artış gösterdiğini saptamışlardır.

4.1.2. Gövde çapı (mm)

Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının gövde çapı üzerine etkileri incelendiğinde sulama düzeyi ve mikoriza uygulamalarının etkisi önemli, silisyumun etkisinin ise önemsiz olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.3.).

Tam sulama uygulamasındaki bitkilerin gövde çapı değerleri, kısıtlı sulama yapılan bitkilerden daha kalın olduğu saptanmıştır. Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin gövde çapı kalınlığı 12.37 mm ölçülürken, tam sulama uygulamasında 14.81 mm olarak ölçülmüştür. Kısıtlı sulama uygulamasındaki bitkilerin gövde çapı değerleri tam sulamadaki bitkilere göre yaklaşık %16.48 oranında daha düşük bulunmuştur. Gövde çapı üzerine mikorizanın etkisi incelendiğinde, mikoriza uygulanan bitkilerin gövde çaplarının (14.41 mm) mikoriza uygulanmayan bitkilerden (12.77 mm) daha kalın olduğu görülmüştür. Mikoriza uygulaması gövde çapı kalınlığını yaklaşık %12.84 oranında arttırmıştır. Silisyum

uygulanan ve uygulanmayan bitkilerin gövde çapları birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Silisyum uygulanmayan bitkilerin gövde çapı 13.87 mm ölçülürken, silisyum uygulanan bitkilerin gövde çapları 13.31 mm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.3. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının gövde çapı üzerine etkileri

	.	Gövde çapı (mm)
Sulama	%50	12.37 b
	%100	14.81 a
	LSD	**1.025****
Mikoriza	M^-	12.77 b
	M^+	14.41 a
	LSD	**1.025****
Silisyum	0 Mm	13.87
	2 mM	13.31
	LSD	**Öd**

**:%1 düzeyinde önemli (p<0.01);öd: önemli değil (p>0.05)

Çizelge 4.4.'de Sd*Mi*Si interaksiyonunun gövde çapı üzerine etkileri verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere gövde çapı açısından uygulamalar arasında önemli farklılıklar tespit edilmemiştir. Gövde çapı bakımından en iyi sonuç 16.40 mm ile % 100 sulama düzeyinde Mi^+ ve Si 2 mM interaksiyonunda ölçülmüştür. Bunun aksine en küçük gövde çapı değeri 10.58 mm ile % 50 sulama düzeyindeki Mi^- ve Si 2 mM uygulamasında saptanmıştır. %100 sulama düzeyinde mikoriza ve silisyumun gerek tek başına gerekse de birlikte kullanılmaları gövde çapını arttırırken, %50 sulama düzeyinde mikorizasız ortamda Si uygulaması gövde çapını azaltırken, mikorizalı ortamda Si uygulanması gövde çapının artmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.4. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun gövde çapı üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Gövde çapı (mm)
%100	-	0 mM	12.95
		2 mM	13.97
	+	0 mM	15.92
		2 mM	16.40
%50	-	0 mM	13.57
		2 mM	10.58
	+	0 mM	13.05
		2 mM	12.27
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Üç farklı tuz düzeyinde yetiştirilen biber bitkilerine mikoriza ve bakteri uygulaması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda tuz uygulamaları ile gövde çapı değerlerinin azaldığı, ancak mikoriza uygulamaları ile gövde çapı değerlerinin arttığı bildirilmiştir (Altunlu, 2020). Ulukapı ve ark. (2020) biber bitkilerini su kısıtı uygulayarak yetiştirmiş ve mikoriza uygulamaları yapmışlardır. Araştırıcılar su kısıtı ile gövde çapının azaldığını, mikoriza uygulamaları ile gövde çapının arttığını belirtmişlerdir.

4.1.3. Yaprak sayısı (adet bitki^{-1})

Kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve Si uygulamalarının yaprak sayısı üzerine etkileri incelendiğinde, sulama uygulamalarının etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.5.). Yaprak sayısı bakımından uygulamalar incelendiğinde mikoriza, silisyum ve sulamanın farklı seviyelerinin uygulandığı bitkilerde yaprak sayısına ait değerlerde farklılıklar gözlemlenmiştir. Farklı 2 şekilde (%50, %100) sulama yapılan bitkilerde yaprak sayısı bakımından uygulamalar incelendiğinde, yaprak sayısının %100 sulama uygulamasında arttığı görülmüştür. Bunun yanında %50 sulama yapılan uygulamadaki yaprak sayısı (127.06 adet bitki^{-1}), kontrol uygulamasına (200.52 adet bitki^{-1}) göre %36.63 oranında daha düşük bir değer elde edilmiştir. Mikoriza uygulamalarının yaprak sayısı üzerine etkisi incelendiğinde mikoriza uygulanan bitkilerin yaprak sayısının 154.13 adet bitki^{-1} olduğu, mikoriza uygulanmayan bitkilerin yaprak sayılarının ise 173. 45 adet bitki^{-1} olduğu görülmüştür. Mikoriza uygulanan bitkilerin yaprak sayısının mikoriza uygulanmayan bitkilerin yaprak sayısından %11.14 oranında daha düşük olduğu belirlenmiştir. Silisyum uygulanan bitkilerin yaprak sayısı, mikoriza uygulamalarına benzer şekilde silisyum uygulanan bitkilerde yaprak sayısı %10.90 oranında daha düşük bulunmuştur. Ancak bu farklılık istatistiksel açıdan önemsiz olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.5. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının yaprak sayısı üzerine etkileri

		Yaprak sayısı (adet bitki^{-1}))
Sulama	%50	127.06
	%100	200.52
	LSD	**39.861****
Mikoriza	M^-	173.45
	M^+	154.13
	LSD	**Öd**
Silisyum	0 Mm	173.23
	2 mM	154.35
	LSD	**Öd**

**:%1 düzeyinde önemli (p<0.01);öd: önemli değil (p>0.05)

Sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun yaprak sayısı üzerine etkisi Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Çizelge de görüldüğü gibi en yüksek yaprak sayısı 222.33 adet bitki^{-1} ile kontrol uygulamasında saptanmıştır. En düşük yaprak sayısı ise 109.50 adet bitki^{-1} ile kısıtlı sulama koşullarında M+ ve Si 0 mM uygulamasında görülmüştür. Genel olarak kısıtlı sulama, mikoriza ve silisyum uygulamalarının yaprak sayısı üzerine etkisi olumsuz olmuştur.

Çizelge 4.6. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun yaprak sayısı üzerine etkileri

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Yaprak sayısı (adet bitki^{-1})
%100	-	0 mM	222.33
		2 mM	193.75
	+	0 mM	212.75
		2 mM	173.25
%50	-	0 mM	148.33
		2 mM	129.40
	+	0 mM	109.50
		2 mM	121.00
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Ulukapı ve ark. (2020) biber bitkilerini mikorizalı ve mikorizasız ortamda farklı kısıtlı sulama seviyelerinde yetiştirerek yaprak sayıları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırıcılar, yüksek su düzeyinin ve mikoriza uygulamalarının yaprak sayısının arttığını bildirmişlerdir. Kabir ve ark. (2021) farklı sulama düzeylerinin biber bitkisinin büyümesi ve bazı fizyolojik özellikleri üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, sulama düzeyleri arttıkça yaprak sayılarının artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

4.1.4. Yaprak taze ağırlığı (g bitki^{-1})

Kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve Si uygulamalarının yaprak taze ağırlığı üzerine etkileri ile ilgili bilgiler Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde görüldüğü üzere sulama düzeylerinin yaprak taze ağırlığı üzerine etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkisi ise önemsiz olmuştur. Sulama düzeyleri içerisinde en yüksek yaprak taze ağırlığı 150.68 g ile tam sulama düzeyinden, en düşük yaprak taze ağırlığı ise 45.19 g ile kısıtlı sulama uygulamasından elde edilmiştir. Kısıtlı sulama düzeyindeki bitkilerin yaprak taze ağırlıkları, tam sulama uygulamasındaki bitkilerin yaprak taze ağırlığından yaklaşık %70.01 oranında daha düşük olduğu saptanmıştır. Yaprak taze ağırlığı mikoriza uygulanan bitkilerde 90.86 g iken, mikoriza uygulanmayan bitkilerde 105.00 g bulunmuştur. Mikoriza uygulamalarının yaprak taze ağırlığını %13.47 oranında azalttığı görülmüştür. Silisyum uygulanan bitkilerde yaprak taze ağırlığı silisyum uygulanmayanlardan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Silisyum uygulanan bitkilerde yaprak taze ağırlığı 91.50 g iken, silisyum uygulanmayan bitkilerde 104.36 g bulunmuştur. Si uygulamaları yaprak taze ağırlığını yaklaşık %12.32 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Ancak bu azalma istatistiksel olarak önemsiz olduğu saptanmıştır

Çizelge 4.7. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının yaprak taze ağırlığı üzerine etkileri

		Yaprak taze ağırlığı(g bitki^{-1})
Sulama	%50	45.19 b
	%100	150.68 a
	LSD	**35.438****
Mikoriza	M^-	105.00
	M^+	90.86
	LSD	**Öd**
Silisyum	0 Mm	104.36
	2 mM	91.50
	LSD	**Öd**

**:%1 düzeyinde önemli ($p<0.01$); öd: önemli değil ($p>0.05$)

Yaprak taze ağırlığı bakımından interaksiyonlar incelendiğinde; en iyi sonuç 179 g ile tam sulama koşullarındaki Mi^- ve Si 0 mM uygulamasından, en düşük yaprak taze ağırlığı 42.25 g ile kısıtlı sulama koşullarındaki Mi^+ ve Si 0 mM

interaksiyonunda saptanmıştır (Çizelge 4.8.). Sulama düzeyinin kısıtlanması, yaprak taze ağırlığında ciddi bir azalma meydana getirdiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.8. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun yaprak taze ağırlığı üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Yaprak taze ağırlığı(g bitki^{-1})
%100	-	0 mM	179.00
		2 mM	146.50
	+	0 mM	146.21
		2 mM	131.00
%50	-	0 mM	50.00
		2 mM	44.50
	+	0 mM	42.25
		2 mM	44.00
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Kurak koşullarda bitkiler su kaybını azaltmak amacıyla stomalarını kapatırlar. Stomaların kapanması bitkinin gaz değişimini azaltarak, fotosentez oranının düşmesine ve sonuçta bitki gelişmesinin ve veriminin azalmasına neden olduğu bildirilmiştir (Söylemez, 2021).

4.1.5. Yaprak kuru ağırlığı (g bitki^{-1})

Kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve Si uygulamalarının yaprak kuru ağırlığı üzerine etkileri ile ilgili sonuçlar incelendiğinde sulama düzeylerinin etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Çizelge 4.9.'da görüldüğü gibi en yüksek yaprak kuru ağırlığı 21.85 g ile tam sulama uygulamasında belirlenirken, en düşük yaprak kuru ağırlığı 6.68 g ile kısıtlı sulama uygulamasından belirlenmiştir. Kısıtlı sulama koşulları yaprak kuru ağırlığının kontrole göre %69.43 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Mikoriza uygulanan bitkilerde yaprak kuru ağırlığı 13.05 g olarak belirlenirken, mikoriza uygulanmayan bitkilerde 15.48 g olarak belirlenmiştir. Mikoriza uygulamaları yaprak kuru ağırlığını yaklaşık %15.70 oranında azalttığı, ancak bu azalmanın istatistiksel bir öneme sahip olmadığı belirlenmiştir. Silisyumun uygulanan bitkilerin yaprak kuru ağırlığı 13.28 g, silisyum uygulanmayan bitkilerin yaprak kuru ağırlığı 15.25 g tartılmıştır. Silisyum uygulamaları yaprak kuru ağırlığını yaklaşık %12.92 oranında azalttığı, ancak bu azalmanın istatistiksel olarak önemsiz olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.9. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının yaprak kuru ağırlığı üzerine etkileri

		Yaprak kuru ağırlığı (g bitki^{-1})
Sulama	%50	6.68
	%100	21.85
	LSD	**4.769****
Mikoriza	M^-	15.48
	M^+	13.05
	LSD	**Öd**
Silisyum	0 Mm	15.25
	2 mM	13.28
	LSD	**Öd**

**:%1 düzeyinde önemli (p<0.01);öd: önemli değil (p>0.05)

Çizelge 4.10.'da yaprak kuru ağırlığı üzerine sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun etkisi verilmiştir. Uygulamalar arasında en yüksek yaprak kuru ağırlığı 25.92 g ile tam sulama konusunda Mi- ve Si 0 mM (kontrol) uygulamasında belirlenirken, en düşük yaprak kuru ağırlığı 6.27 g ile kısıtlı sulama koşullarındaki Mi+ ve Si 0 mM uygulamasında belirlenmiştir.

Çizelge 4.10. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun yaprak kuru ağırlığı üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Yaprak kuru ağırlığı (g bitki^{-1})
%100	-	0 mM	25.92
		2 mM	22.07
	+	0 mM	21.57
		2 mM	17.85
%50	-	0 mM	7.22
		2 mM	6.71
	+	0 mM	6.27
		2 mM	6.50
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Bitki kuraklıkla baş edebilmek amacıyla yaprak alanını azaltır. Bu da fotosentez için gerekli olan ışığı yeterince absorbe edememesine ve sonuçta kuru madde üretimi ve verimin azalmasına neden olur. Vermikompost ve mikoriza uygulamasının biber bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülen bir çalışmada vermikompost ve mikorizanın birlikte veya ayrı ayrı uygulanmasının biber bitkisinin kuru ağırlığını arttırdığı bildirilmiştir (Küçükyumuk ve ark., 2014a). Öte yandan aynı araştırıcılar leonardit ve mikoriza uygulamalarının biber bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisini incelemek amacıyla yürüttükleri bir

başka çalışmada mikoriza uygulamalarının bitki kuru ağırlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir (Küçükyumuk ve ark., 2014b).

4.1.6. Gövde taze ağırlığı (g bitki^{-1})

Gövde taze ağırlığı üzerine sulama düzeylerinin etkisi önemli bulunurken, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkileri istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.11.). Tam sulama uygulamasındaki bitkilerin gövde taze ağırlığı değerleri, kısıtlı sulama yapılan bitkilerden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin gövde taze ağırlığı 139.15 g tartılırken, tam sulama uygulamasında 222.79 g olarak tartılmıştır. Kısıtlı sulama uygulamasındaki bitkilerin gövde taze ağırlığı değerleri tam sulamadaki bitkilere göre yaklaşık %37.54 oranında daha düşük bulunmuştur. Gövde taze ağırlığı üzerine mikorizanın etkisi incelendiğinde, mikoriza uygulanan bitkilerin gövde taze ağırlığı (181.35 g) mikoriza uygulanmayan bitkilerden (180.58 g) önemsiz bir şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Silisyum uygulanmayan bitkilerin gövde taze ağırlıkları 174.69 g tartılırken, silisyum uygulanan bitkilerin gövde taze ağırlıkları 187.25 g olarak tartılmıştır. Silisyum uygulanan bitkilerin gövde taze ağırlığı silisyum uygulanmayan bitkilerden %7.19 oranında daha yüksek, fakat aynı istatistiksel grup içerisinde yer almıştır.

Çizelge 4.11. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının gövde taze ağırlığı üzerine etkileri

		Gövde taze ağırlığı (g bitki^{-1})
Sulama	%50	139.15
	%100	222.79
	LSD	**19.858****
Mikoriza	M^-	180.58
	M^+	181.35
	LSD	**Öd**
Silisyum	0 Mm	174.69
	2 mM	187.25
	LSD	**Öd**

**: %1 düzeyinde önemli ($p<0.01$);öd: önemli değil ($p>0.05$)

Çizelge 4.12.'de sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun gövde taze ağırlığı üzerine etkileri verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere gövde taze

ağırlığı açısından uygulamalar arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Gövde taze ağırlığı bakımından en iyi sonuç 249.25 g ile % 100 sulama düzeyinde Mi^- ve Si 2 mM interaksiyonunda görülmüştür. Bunun aksine en küçük gövde taze ağırlığı değeri 130.50 g ile % 50 sulama düzeyindeki Mi^+ ve Si 0 mM uygulamasında saptanmıştır. %100 sulama düzeyinde mikoriza uygulaması yapılmayan bitkilere silisyum uygulanması gövde taze ağırlığını arttırırken, mikoriza uygulaması yapılan bitkilere silisyum uygulaması gövde taze ağırlığını azaltmıştır. %50 sulama düzeyinde mikorizasız ortamda yetiştirilen bitkilere Si uygulaması gövde taze ağırlığını azaltırken, mikorizalı ortamda Si uygulanması gövde taze ağırlığının artmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.12. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun gövde taze ağırlığı üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Gövde taze ağırlığı (g bitki^{-1})
%100	-	0 mM	199.25 b
		2 mM	249.25 a
	+	0 mM	227.50 ab
		2 mM	215.00 ab
%50	-	0 mM	139.25 c
		2 mM	135.25 c
	+	0 mM	130.50 c
		2 mM	150.25 c
LSD			39,71**

**: %1 düzeyinde önemli ($p<0.01$)

Altunlu (2020), biberde yaptığı bir çalışmada 3 tuz düzeyi, mikoriza ve bakteri uygulamalarının gövde taze ağırlığı üzerine etkisini incelediği çalışmada, mikoriza uygulamaları ile gövde taze ağırlığının arttığını bildirmiştir. Ulukapı ve ark. (2020) sürgün taze ağırlığı üzerine sulama düzeyi ve mikorizanın etkisinin önemli olduğunu saptamışlardır. Araştırıcılar sulama düzeyi arttıkça sürgün taze ağırlığının arttığını bu artışın mikorizalı ortamda daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

4.1.7. Gövde kuru ağırlığı (g bitki^{-1})

Kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve silisyum uygulamalarının gövde kuru ağırlığı üzerine etkileri incelendiğinde, sulama düzeyi ve mikoriza uygulamalarının etkisi önemli, silisyum uygulamasının etkisi ise önemsiz olduğu görülmüştür

(Çizelge 4.13.). Tam sulama uygulamasında gövde kuru ağırlığı 59.69 g bulunurken, kısıtlı sulama uygulamasındaki bitkilerin gövde kuru ağırlıkları 29.63 g bulunmuştur. Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin gövde kuru ağırlıkları kontrole oranla yaklaşık %50.36 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Mikoriza uygulaması yapılan bitkilerin gövde kuru ağırlıkları mikoriza uygulaması yapılmayanlardan daha düşük bulunmuştur. Mikoriza uygulaması gövde kuru ağırlığının yaklaşık %9.55 oranında azalmasına neden olmuştur. Mikoriza uygulaması yapılan bitkilerin gövde kuru ağırlığı 42.42 g iken, mikoriza uygulanmayan bitkilerin kuru ağırlıkları 46.90 g olarak saptanmıştır. Silisyum uygulanan bitkilerin gövde kuru ağırlıkları 43.94 g bulunurken, silisyum uygulanmayan bitkilerin gövde kuru ağırlıkları 45.38 g bulunmuştur. Silisyum uygulamasının gövde kuru ağırlığını kontrole göre yaklaşık %3.17 oranında önemsiz bir şekilde azalttığı görülmüştür.

Çizelge 4.13. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının gövde kuru ağırlığı üzerine etkileri

		Gövde kuru ağırlığı (g bitki^{-1})
Sulama	%50	29.63 b
	%100	59.69 a
	LSD	**4.629****
Mikoriza	M^-	46.90 a
	M^+	42.42 b
	LSD	**3.402***
Silisyum	0 Mm	45.38
	2 mM	43.94
	LSD	**öd**

*: % 5 düzeyinde önemli (0.01<p<0.05); **:%1 düzeyinde önemli (p<0.01);öd: önemli değil (p>0.05)

Sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. En yüksek gövde kuru ağırlığı 68.25 g ile %100 sulama düzeyinde M- ve Si 2 mM uygulamasından elde edilirken, en düşük gövde kuru ağırlığı 26.75 g ile %50 sulama düzeyindeki M+ ve Si 0 mM uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.14.). Tam sulama düzeyindeki mikorizasız ortamlarda silisyum uygulaması gövde kuru ağırlığını arttırırken, mikorizalı ortamda silisyum uygulamaları gövde kuru ağırlığının azalmasına sebep olmuştur. Kısıtlı sulama düzeyinde ise mikorizasız ortamda silisyum uygulaması gövde kuru ağırlığını azaltırken, mikorizalı ortamda silisyum uygulaması gövde kuru ağırlığını arttırmıştır.

Çizelge 4.14. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun gövde kuru ağırlığına etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Gövde kuru ağırlığı (g bitki^{-1})
%100	-	0 mM	57.50
		2 mM	68.25
	+	0 mM	62.50
		2 mM	50.75
%50	-	0 mM	34.00
		2 mM	28.25
	+	0 mM	26.75
		2 mM	29.75
LSD			**öd**

öd: önemli değil ($p>0.05$)

Altunlu (2020), tuzlu koşullarda yetiştirdiği biberlere mikoriza ve bakteri aşılaması yapmış ve mikoriza uygulamaları ile gövde kuru ağırlığının arttığını belirtmiştir. Benzer şekilde Küçükyumuk ve ark. (2014a) vermikompost ve mikorizanın biber bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisini belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırıcılar vermikompost ve mikorizanın birlikte veya ayrı ayrı uygulanmasının biber bitkisinin kuru ağırlığını arttırdığını belirtmişlerdir. Öte yandan Küçükyumuk ve ark. (2014b) leonardit ve mikoriza uygulamalarının biber bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkisini incelemek amacıyla yürüttükleri bir başka çalışmada mikoriza uygulamalarının bitki kuru ağırlığı üzerine önemli bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Sensoy ve ark. (2007) farklı biber çeşitlerine farklı mikoriza türleri aşılamışlardır. Araştırıcılar, sürgün kuru ağırlığı üzerine mikorizanın biber çeşitleri üzerine farklı etkilerinin olduğunu, bazı çeşitlerde mikoriza olumlu etki yaparken, bazı çeşitlerde olumsuz etki yaptığını saptamışlardır. Oral ve ark. (2020) tuzlu koşullarda yetiştirdikleri fasulye bitkilerine farklı dozlarda silisyum uygulaması yapmışlardır. Araştırıcılar, uyguladıkları silisyum dozunun 50 ve 100 ppm olması durumunda gövde kuru ağırlığı üzerine bir etkisinin olmadığını, silisyum dozunun 200 ppm olmasıyla birlikte gövde kuru ağırlığının arttığını saptamışlardır.

4.1.8. Kök uzunluğu (cm)

Kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve Si uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkileri incelendiğinde mikoriza, silisyum ve sulama uygulamalarının etkisi önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.15.). Farklı düzeyde (%50, %100) sulama yapılan

bitkilerde kök uzunluğu bakımından uygulamalar incelendiğinde, %100 sulama uygulamasında kök uzunluğu gelişiminin arttığı saptanmıştır. Kısıtlı (%50) sulama yapılan uygulamadaki kök uzunluğu (25.54 cm), kontrol uygulamasına (40.13 cm) göre %36.36 oranında daha düşük olduğu belirlenmiştir. Mikoriza uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkisi incelendiğinde mikoriza uygulanan bitkilerin kök uzunluğu 36.31 cm olduğu, mikoriza uygulanmayan bitkilerin kök uzunluklarının ise 29.35 cm olduğu görülmüştür. Mikoriza uygulanan bitkilerin kök uzunluğunun mikoriza uygulanmayan bitkilerin kök uzunluklarından %23.71 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Silisyum uygulanan bitkilerin kök uzunluğu (31.60 cm), silisyum uygulanmayan bitkilerin (34.06 cm) kök uzunluklarından daha kısa bulunmuştur. Silisyum uygulanan bitkilerin kök uzunluğu silisyum uygulanmayan bitkilere göre %7.22 oranında daha düşük olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.15. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkileri

		Kök uzunluğu (cm)
Sulama	%50	25.54 b
	%100	40.13 a
	LSD	**2.537****
Mikoriza	M^-	29.35 b
	M^+	36.31 a
	LSD	**2.537****
Silisyum	0 Mm	34.06 a
	2 mM	31.60 b
	LSD	**1.865***

*: % 5 düzeyinde önemli (0.01<p<0.05); **:%1 düzeyinde önemli (p<0.01)

Sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun kök uzunluğu üzerine etkisi Çizelge 4.16.'da verilmiştir. Çizelge de görüldüğü gibi en yüksek kök uzunluğu 45.25 cm ile %100 sulama koşullarında yetiştirilen M+ ve Si 0 mM uygulamasından ölçülmüştür. En düşük kök uzunluğu ise 20.42 cm ile kısıtlı sulama koşullarında M- ve Si 2 mM uygulamasından elde edilmiştir. Genel olarak kısıtlı sulama ve silisyum uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkisi olumsuz olurken, mikoriza uygulamalarının etkisi olumlu olmuştur.

Çizelge 4.16. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun kök uzunluğu üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Kök uzunluğu (cm)
%100	-	0 mM	38.50
		2 mM	36.50
	+	0 mM	45.25
		2 mM	40.25
%50	-	0 mM	22.00
		2 mM	20.42
	+	0 mM	30.50
		2 mM	29.25
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Oral ve ark. (2020) fasulyede yürüttükleri tuzluluk çalışmasında ortama ilave edilen silisyumun dozu arttıkça, kök uzunluk değerinin önemli oranda arttığını bildirmişlerdir.

4.1.9. Kök taze ağırlığı (g bitki^{-1})

Çizelge 4.17.'de kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve Si uygulamalarının kök taze ağırlığı üzerine etkileri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Çizelge incelendiğinde görüldüğü üzere sulama düzeylerinin kök taze ağırlığı üzerine etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkisinin ise önemsiz olduğu saptanmıştır. Sulama düzeyleri içerisinde en yüksek kök taze ağırlığı 140.04 g ile tam sulama düzeyinden, en düşük kök taze ağırlığı ise 78.40 g ile kısıtlı sulama uygulamasından elde edilmiştir. Kısıtlı sulama düzeyindeki bitkilerin kök taze ağırlıkları, tam sulama uygulamasındaki bitkilerin kök taze ağırlığından yaklaşık %44.02 oranında daha düşük belirlenmiştir. Kök taze ağırlığı mikoriza uygulanan bitkilerde 105.00 g iken, mikoriza uygulanmayan bitkilerde 113.44 g bulunmuştur. Mikoriza uygulamalarının kök taze ağırlığını %7.44 oranında önemsiz bir şekilde azalttığı görülmüştür. Silisyum uygulanan bitkilerde kök taze ağırlığı silisyum uygulanmayanlardan daha düşük olduğu saptanmıştır. Silisyum uygulanan bitkilerde kök taze ağırlığı 104.33 g iken, silisyum uygulanmayan bitkilerde 114.10 g bulunmuştur. Si uygulamaları kök taze ağırlığını yaklaşık %8.56 oranında azalttığı belirlenmiştir. Ancak, bu azalmanın istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.17. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının kök taze ağırlığı üzerine etkileri

		Kök taze ağırlığı (g bitki^{-1})
Sulama	%50	78.40 b
	%100	140.04 a
	LSD	**15.856****
Mikoriza	M^-	113.44
	M^+	105.00
	LSD	**öd**
Silisyum	0 Mm	114.10
	2 mM	104.33
	LSD	**öd**

**:%1 düzeyinde önemli (p<0.01);öd: önemli değil (p>0.05)

Kök taze ağırlığı bakımından interaksiyonların etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.18.). Çizelge incelendiğinde, en iyi sonuç 150.50 g ile tam sulama koşullarındaki Mi^- ve Si 0 mM uygulamasından, en düşük kök taze ağırlığı 69.25 g ile kısıtlı sulama koşullarındaki Mi^- ve Si 0 mM interaksiyonunda saptanmıştır. Sulama düzeyinin kısıtlanması, kök taze ağırlığında ciddi bir azalma meydana getirdiği gözlenmiştir. Tam sulama uygulamasında M+ ve Si 2 mM'ın birlikte uygulanması kök taze ağırlığını azaltmıştır. Kısıtlı sulama koşullarında mikorizasız ve silisyumsuz ortamdaki bitkilerin kök taze ağırlıkları diğer ortamlardan daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.18. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun kök taze ağırlığı üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Kök taze ağırlığı (g bitki^{-1})
%100	-	0 mM	150.50
		2 mM	150.00
	+	0 mM	148.67
		2 mM	111.00
%50	-	0 mM	69.25
		2 mM	84.00
	+	0 mM	88.00
		2 mM	72.33
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Biberde tuz, mikoriza ve bakteri uygulamasının kök taze ağırlığı üzerine etkisini inceleyen Altunlu (2020), mikoriza uygulaması ile kök taze ağırlığının artış gösterdiğini bildirmiştir. Ulukapı ve ark. (2020) kısıtlı sulama ve mikorizanın biber bitkisinin kök taze ağırlığı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğunu

rapor etmişlerdir. Oral ve ark. (2020) tuzlu koşullarda fasulyede yaptıkları çalışmada 50 ppm silisyum dozunun kök taze ağırlığını etkilemediğini, 100 ppm ve üzerindeki dozların kök kuru ağırlık değerlerini arttığını saptamışlardır.

4.1.10. Kök kuru ağırlığı (g bitki^{-1})

Kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve Si uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkileri ile ilgili sonuçlar incelendiğinde sulama düzeylerinin etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkisinin ise önemsiz olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.19.'da görüldüğü gibi en yüksek kök kuru ağırlığı 31.50 g ile tam sulama uygulamasında belirlenirken, en düşük kök kuru ağırlığı 11.69 g ile kısıtlı sulama uygulamasından belirlenmiştir. Kısıtlı sulama koşulları kök kuru ağırlığını kontrole göre %62.89 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Mikoriza uygulanan bitkilerde kök kuru ağırlığı 17.75 g olarak belirlenirken, mikoriza uygulanmayan bitkilerde 25.44 g tartılmıştır. Mikoriza uygulamaları kök kuru ağırlığını yaklaşık %30.23 oranında azalttığı belirlenmiştir. Silisyum uygulanan bitkilerin kök kuru ağırlığı 19.56 g, silisyum uygulanmayan bitkilerin kök kuru ağırlığı 23.63 g tartılmıştır. Silisyum uygulamaları kök kuru ağırlığını yaklaşık %17.22 oranında azalttığı, ancak bu azalmanın istatistiksel olarak önemsiz düzeyde olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.19. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkileri

		Kök kuru ağırlığı (g bitki^{-1})
Sulama	%50	11.69
	%100	31.50
	LSD	**11.489****
Mikoriza	M^-	25.44
	M^+	17.75
	LSD	**öd**
Silisyum	0 Mm	23.63
	2 mM	19.56
	LSD	**öd**

**:%1 düzeyinde önemli ($p<0.01$);öd: önemli değil ($p>0.05$)

Çizelge 4.20.'de kök kuru ağırlığı üzerine sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun etkisinin önemsiz olduğu görülmektedir. Uygulamalar arasında en yüksek kök kuru ağırlığı 39.50 g ile tam sulama konusunda mikorizasız ortamda

silisyum uygulanan ve uygulanmayan bitkilerde belirlenirken, en düşük kök kuru ağırlığı 10.50 g ile kısıtlı sulama koşullarındaki Mi+ ve Si 2 mM uygulamasında belirlenmiştir.

Çizelge 4.20. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun kök kuru ağırlığı etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Kök kuru ağırlığı (g bitki^{-1})
%100	-	0 mM	39.50
		2 mM	39.50
	+	0 mM	30.00
		2 mM	17.00
%50	-	0 mM	11.50
		2 mM	11.25
	+	0 mM	13.50
		2 mM	10.50
LSD			**öd**

öd: önemli değil ($p>0.05$)

Altunlu (2020), tuz, mikoriza ve bakteri uygulamasının biber bitkisinin kök kuru ağırlığı üzerine etkisini incelemek amacıyla yürüttüğü çalışmada, mikoriza uygulaması ile kök kuru ağırlığının artış gösterdiğini saptamıştır. Sensoy ve ark. (2007) farklı biber çeşitlerine farklı mikoriza türleri aşılamışlardır. Araştırıcılar, kök kuru ağırlığının çeşitlere ve mikoriza türlerine göre değişmekle birlikte, mikorizanın bazı çeşitlerde olumlu etki yaptığını, bazı çeşitlerde ise etkisinin olumsuz olduğunu söylemişlerdir. Tuna ve Eroğlu (2017) bazı organik ve inorganik maddelerin tuzlu koşullarda yetiştirilen biber bitkisinin kök gelişimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırıcılar tuz stresi ile kök kuru ağırlığının azaldığını, ortama Si ilavesi ile kök kuru ağırlığının arttığını gözlemlemişlerdir. Oral ve ark. (2020) tuzlu koşullarda fasulye üzerine yürüttükleri çalışmada ortama 50 ppm silisyum ilavesinin kök kuru ağırlığını etkilemediğini, 100 ppm ve üzerindeki dozların kök kuru ağırlık değerlerini arttığını belirtmişlerdir.

4.2. Verim ve Meyve Özellikleri

4.2.1. Bitki başına verim (g bitki^{-1})

Bitki başına verim üzerine sulama düzeyi, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkisi Çizelge 4.21'de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere sulama düzeyi ve silisyum uygulamalarının toplam verim üzerine etkisi önemli, mikoriza uygulamasının etkisinin ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Sulama düzeylerinin ortalama bitki başına verim üzerine etkisi incelendiğinde tam sulama uygulamasındaki bitkilerin bitki başına verimi 899.96 g, kısıtlı sulama uygulamasında ise 387.02 g bulunmuştur. Mikoriza uygulanan bitkilerde toplam verim 618.56 g bulunurken, mikoriza uygulanmayan bitkilerde 668.42 g bulunmuştur. Mikoriza uygulaması toplam verimi kontrole oranla %7.46 oranında azalttığı belirlenmiştir. Ancak bu azalmanın istatistiksel olarak önemsiz olduğu saptanmıştır. Si uygulamalarının bitki başına verim üzerine etkileri incelendiğinde, silisyum uygulamalarının bitki başına verimi arttırdığı görülmüştür. Silisyum uygulaması yapılan bitkilerin bitki başına verimi 710.15 g bulunurken, Si uygulanmayan bitkilerin bitki başına toplam verimi 576.83 g olarak belirlenmiştir. Si uygulaması bitki başına toplam verimi kontrole göre %23.11 oranında arttırmıştır.

Çizelge 4.21. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının bitki başına verim üzerine etkisi

		Bitki başına verim (g bitki^{-1})
Sulama	%50	387.02 b
	%100	899.96 a
	LSD	**74.184****
Mikoriza	M^-	668.42
	M^+	618.56
	LSD	**öd**
Silisyum	0 Mm	576.83 b
	2 mM	710.15 a
	LSD	**74.184****

**:%1 düzeyinde önemli ($p<0.01$);öd: önemli değil ($p>0.05$)

Sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun bitki başına verim üzerine etkisi önemsiz bulunmuş olup, sonuçlar Çizelge 4.22'de gösterilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere en yüksek bitki başına verim 1094.58 g ile %100 sulama düzeyindeki M- ve Si 2 mM uygulamasından alınmıştır. En düşük bitki başına verim

ise 347.50 g ile %50 sulama düzeyindeki M+ ve Si 0 mM uygulamasından elde edilmiştir. Mikoriza uygulamaları bitki başına verim üzerinde belirgin bir farklılık meydana getirmemiştir. Hem tam sulama hem de kısıtlı sulama koşullarında Si uygulamaları bitki başına toplam verimde önemli oranda artışa neden olmuştur.

Çizelge 4.22. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun bitki başına verim üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Bitki başına verim (g bitki^{-1})
%100	-	0 mM	767.17
		2 mM	1094.58
	+	0 mM	821.58
		2 mM	916.50
%50	-	0 mM	371.08
		2 mM	440.83
	+	0 mM	347.50
		2 mM	767.17
LSD			**öd**

öd: önemli değil ($p>0.05$)

Kuraklık stresi, bitkinin büyüme parametrelerini azaltarak, veriminin azalmasına neden olur (Sayyari ve Ghanbari 2012). Akpınar (2022) biberde yaptığı bir çalışmada fosfor ve mikoriza uygulamasının verim üzerine etkisini incelemiştir. Araştırıcı mikoriza ve fosfor uygulamasının verim üzerine önemli bir etkisinin olmadığını ve bu durumun topraktaki doğal mikorizadan kaynaklanmış olabileceğini bildirmiştir.

4.2.2. Bitki başına meyve sayısı (adet)

Kısıtlı sulama koşulları, Mi ve Si uygulamalarının bitki başına meyve sayısı üzerine etkileri ile ilgili bilgiler Çizelge 4.23.'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde görüldüğü üzere sulama düzeyleri, mikoriza ve silisyum uygulamalarının bitki başına meyve sayısı üzerine etkisi önemli bulunmuştur. Sulama düzeyleri içerisinde en yüksek bitki başına meyve sayısı 34.60 adet ile tam sulama düzeyinden, en düşük meyve sayısı ise 15.43 adet ile kısıtlı sulama uygulamasından elde edilmiştir. Kısıtlı sulama düzeyindeki bitkilerin bitki başına meyve sayısı, tam sulama uygulamasındaki bitkilerin toplam meyve sayısından yaklaşık %55.38 oranında daha düşük olduğu saptanmıştır. Bitki başına meyve sayısı mikoriza uygulanan bitkilerde

22.79 adet iken, mikoriza uygulanmayan bitkilerde 27.25 adet bulunmuştur. Mikoriza uygulamalarının bitki başına meyve sayısını %16.37 oranında azalttığı görülmüştür. Silisyum uygulanan bitkilerde bitki başına meyve sayısı silisyum uygulanmayanlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Silisyum uygulanan bitkilerde bitki başına meyve sayısı 26.58 adet iken, silisyum uygulanmayan bitkilerde 23.46 adet olduğu tespit edilmiştir. Si uygulamaları bitki başına meyve sayısını yaklaşık %13.30 oranında arttırdığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.23. Sulama düzeyi, Mi ve Si uygulamalarının bitki başına meyve sayısı üzerine etkileri

		Bitki başına meyve sayısı(adet bitki^{-1})
Sulama	%50	15.43 b
	%100	34.60 a
	LSD	**2.134****
Mikoriza	M^-	27.25 a
	M^+	22.79 b
	LSD	**2.134****
Silisyum	0 Mm	23.45 b
	2 mM	26.58 a
	LSD	**2.134****

**:%1 düzeyinde önemli ($p<0.01$)

Bitki başına meyve sayısı bakımından sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun etkisi incelendiğinde en iyi sonuç 39.33 adet ile tam sulama koşullarındaki Mi^- ve Si 2 mM uygulamasından, en düşük bitki başına meyve sayısı 12.33 adet ile kısıtlı sulama koşullarındaki Mi^+ ve Si 0 mM interaksiyonunda saptanmıştır (Çizelge 4.24.). Sulama düzeyinin kısıtlanması, bitki başına toplam meyve sayısında ciddi bir azalma meydana getirdiği gözlenmiştir. Her iki sulama düzeyinde de mikoriza uygulaması toplam meyve sayısında hafif bir azalmayı beraberinde getirmiştir. Gerek tam sulama gerekse de kısıtlı sulama koşullarında silisyum uygulamaları toplam meyve sayısında artışa neden olmuştur.

Çizelge 4.24. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun bitki başına meyve sayısı üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Bitki başına meyve sayısı (adet bitki^{-1})
%100	-	0 mM	33.33
		2 mM	39.33
	+	0 mM	31.16
		2 mM	34.58
%50	-	0 mM	17.00
		2 mM	19.33
	+	0 mM	12.33
		2 mM	13.08
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Miyake ve Takahashi ‘in (1983) hıyarda yaptıkları bir çalışmanın sonucunda çözeltiye Si ilavesinin bitki gelişimini ve verimini artırdığını belirlemişlerdir. Biçer ve ark. (2020), farklı sulama düzeylerinde yetiştirilen hıyarlarda arbüsküler fungus ve kök bakteri aşılamasının bitki başına meyve sayısı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, mikoriza uygulamalarının meyve sayısını önemli oranda arttırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca sulama düzeylerindeki artış ile bitki başına verimin artış gösterdiğini, en yüksek meyve sayısının %100 sulama düzeyinden alındığını belirtmişlerdir.

4.2.3. Ortalama meyve ağırlığı (g bitki^{-1})

Ortalama meyve ağırlığı üzerine sulama düzeyi, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkisi Çizelge 4.25 de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere sulama düzeyinin ortalama meyve ağırlığı üzerine etkisi önemsiz bulunurken, mikorizanın ve silisyumun etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Sulama düzeylerinin ortalama meyve ağırlığı üzerine etkisi incelendiğinde çizelgede görüldüğü gibi tam sulama uygulamasındaki bitkilerin ortalama meyve ağırlığı 25.92 g, kısıtlı sulama uygulamasında ise 25.64 g bulunmuştur. Mikoriza ve Si uygulamalarının ortalama meyve ağırlığı üzerine etkileri incelendiğinde Her iki uygulamanın da ortalama meyve ağırlığını arttırdığı görülmüştür. Mikoriza uygulanan bitkilerde ortalama meyve ağırlığı 27.73 g tartılırken, mikoriza uygulanmayan bitkilerde 23.83 g tartılmıştır. Mikoriza uygulamasının ortalama meyve ağırlığını kontrole oranla %16.37 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Silisyum uygulaması yapılan bitkilerin ortalama meyve ağırlığı 26.67 g, Si uygulanmayan bitkilerin ortalama meyve ağırlığı

ise 24.89 g olduğu saptanmıştır. Si uygulaması ortalama meyve ağırlığını kontrole göre %7.15 oranında arttırmıştır.

Çizelge 4.25. Sulama düzeyi, Mi ve Si uygulamalarının ortalama meyve ağırlığı üzerine etkileri

		Ortalama meyve ağırlığı (g)
Sulama	%50	25.64
	%100	25.92
	LSD	**öd**
Mikoriza	M^-	23.83 b
	M^+	27.73 a
	LSD	**1.966****
Silisyum	0 Mm	24.89 b
	2 mM	26.67 a
	LSD	**1.445***

*: % 5 düzeyinde önemli (0.01<p<0.05); **:%1 düzeyinde önemli (p<0.01);öd: önemli değil (p>0.05)

Sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun ortalama meyve ağırlığı üzerine etkisi önemsiz bulunmuş olup sonuçlar Çizelgede 4.26'da gösterilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere en yüksek ortalama meyve ağırlığı 29.85 g ile %50 sulama düzeyindeki M+ ve Si 2 mM uygulamasından elde edilmiştir. En düşük ortalama meyve ağırlığı ise 21.82 g ile %50 sulama düzeyindeki M- ve Si 0 mM uygulamasından tartılmıştır. Mikoriza uygulamaları tam sulama uygulamalarında belirgin bir farklılık meydana getirmemiş olmasına rağmen, kısıtlı sulama koşullarında mikoriza uygulaması önemli düzeyde bir artışa neden olmuştur. Hem tam sulama hem de kısıtlı sulama koşullarında Si uygulamaları ortalama meyve ağırlığında artışa neden olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.26. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun ortalama meyve ağırlığı üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Ortalama meyve ağırlığı (g)
%100	-	0 mM	23.08
		2 mM	27.80
	+	0 mM	26.38
		2 mM	26.41
	-	0 mM	21.82
		2 mM	22.62
	+	0 mM	28.26
		2 mM	29.85
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Biçer ve ark. (2020), farklı sulama düzeylerinde yetiştirilen hıyarlarda arbüsküler fungus ve kök bakteri aşılamasının ortalama meyve ağırlığını etkilemediğini bildirmişlerdir.

4.2.4. Meyve çapı (mm)

Sulama düzeyi, mikoriza ve silisyum uygulamalarının meyve çapı üzerine etkisi ile ilgili sonuçlar Çizelge 4.27 de verilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre meyve çapı üzerine sulama düzeylerinin etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkisi ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Tam sulama uygulamasındaki meyve çapı değeri 22.87 mm ölçülürken, kısıtlı sulama koşulundaki meyvelerin çapları 19.74 mm olarak ölçülmüştür. Kısıtlı sulama koşulları meyve çapını kontrole oranla %13.69 oranında azalttığı belirlenmiştir. Mikoriza uygulamalarının meyve çapı üzerine önemli bir etkisi bulunmamış olup, mikoriza uygulanan bitkilerde 21.31 mm ölçülürken, mikoriza uygulanmayan bitkilerde 21.30 mm ölçülmüştür. Silisyum uygulamalarının meyve çapı üzerine etkisi önemsiz olduğu saptanmıştır. Silisyum uygulaması yapılan bitkilerde meyve çapı 21.26 mm ölçülürken, silisyum uygulanmayan bitkilerde 21.34 mm ölçülmüştür.

Çizelge 4.27. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının meyve çapı üzerine etkileri

		Meyve çapı(mm)
Sulama	%50	19.74 b
	%100	22.87 a
	LSD	**1.189****
Mikoriza	M^-	21.30
	M^+	21.31
	LSD	**öd**
Silisyum	0 Mm	21.34
	2 mM	21.26
	LSD	**öd**

**:%1 düzeyinde önemli ($p<0.01$);öd: önemli değil ($p>0.05$)

Sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun meyve çapı üzerine etkisi önemli bulunmuş olup, sonuçlar Çizelge 4.28 de verilmiştir. En yüksek meyve çapı değeri 23.47 mm ile tam sulama düzeyindeki M- ve Si 0 mM uygulamasından elde edilirken, en düşük meyve çapı değeri 18.71 mm ile kısıtlı sulama düzeyindeki Mi-

ve Si 0 mM uygulamasından elde edilmiştir. Genel olarak sulama düzeyinin azalması, meyve çaplarının azalmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.28. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun meyve çapı üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Meyve çapı (mm)
%100	-	0 mM	23.47 a
		2 mM	23.17 a
	+	0 mM	21.93 ab
		2 mM	22.92 a
%50	-	0 mM	18.71 d
		2 mM	19.85 cd
	+	0 mM	21.13 bc
		2 mM	19.26 d
LSD			**1.603***

*: % 5 düzeyinde önemli (0.01<p<0.05)

Ulukapı ve ark. (2020) kısıtlı sulama ve mikoriza uygulamalarının meyve çapı üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda sulama düzeylerinin meyve çapına etkisini önemli bulurken, mikoriza uygulamalarının etkisinin önemsiz olduğunu saptamışlardır.

4.2.5. Meyve uzunluğu (cm)

Sulama düzeyi (Sd), mikoriza (Mi) ve silisyum (Si) uygulamalarının meyve uzunluğu üzerine etkilerine ait sonuçlar Çizelge 4.29'da verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının meyve uzunluğu üzerine etkileri önemli bulunmuştur.

Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin meyve uzunluğu 49.65 mm iken, tam sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin meyve uzunluğu 62.61 mm olmuştur. Kısıtlı sulama koşulları meyve uzunluğunu kontrole göre yaklaşık %20.70 oranında azalttığı saptanmıştır. Mikoriza uygulamalarının meyve uzunluğu üzerine etkisi incelendiğinde, mikoriza uygulanan bitkilerde meyve uzunluğu bir azalma olduğu belirlenmiştir. Mikoriza uygulanmayan bitkilerde meyve uzunluğu 57.62 mm iken, mikorizalı bitkilerde meyve uzunluğu %5.17 oranında azalma göstererek, 54.64 mm olmuştur. Silisyum uygulamaları kendi aralarında karşılaştırıldıklarında meyve uzunluğu bakımından önemli bir farklılık gözlenmiştir. Silisyum uygulanmayan

bitkilerin meyve uzunluğu 54.01 mm ölçülürken, Si uygulanan bitkilerin meyve uzunluğu 58.25 mm ölçülmüştür. Silisyum uygulamaları meyve uzunluğunu yaklaşık %7.85 oranında arttırdığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.29. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının meyve uzunluğu üzerine etkileri

		Meyve uzunluğu(mm)
Sulama	%50	49.65 b
	%100	62.61 a
	LSD	**3.951****
Mikoriza	M^-	57.62 a
	M^+	54.64 b
	LSD	**2.904***
Silisyum	0 Mm	54.01b
	2 mM	58.25a
	LSD	**3.951****

*: % 5 düzeyinde önemli (0.01<p<0.05); **:%1 düzeyinde önemli (p<0.01)

Sulama düzeyi*mikoriza*Si interaksiyonunun meyve uzunluğu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.30). Çizelgede görüldüğü gibi uygulamalar arasında en büyük meyve uzunluğu 70.50 mm ile %100 sulama koşullarında Mi^- ve Si 2 mM uygulamasından elde edilmiştir. Bunun aksine en kısa meyve uzunluğu 45.57 mm ile %50 sulama koşullarında Mi^- ve Si 0 mM uygulamasından ölçülmüştür. %100 ve %50 sulama düzeylerinde mikorizasız ortamlarda silisyumun meyve uzunluğu üzerine etkisi daha belirgin olarak görülmüştür. Su stresi (%50) altında yetiştirilen bitkilerde Mi ve Si'un hem ayrı ayrı hem de birlikte uygulanması meyve uzunluğu değerlerini Mi- ve Si 0 mM uygulamasından daha yüksek değerler elde edilmesine neden olmuştur.

Çizelge 4.30. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun meyve uzunluğu üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Meyve uzunluğu (mm)
%100	-	0 mM	60.06
		2 mM	70.50
	+	0 mM	58.83
		2 mM	61.07
%50	-	0 mM	45.57
		2 mM	54.37
	+	0 mM	51.56
		2 mM	47.08
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Ulukapı ve ark. (2020) mikoriza ve kısıtlı sulama uygulamalarının meyve uzunluğu üzerine etkisini araştırdıkları çalışma sonucunda, sulama düzeylerinin meyve uzunluğuna etkisinin önemli, mikoriza uygulamalarının etkisinin ise önemsiz olduğunu bildirmişlerdir.

4.2.6. Meyve eti kalınlığı (mm)

Sulama düzeyleri ve mikoriza uygulamalarının meyve eti kalınlığı üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli, silisyum uygulamasının etkisinin ise önemsiz olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.31.). Sulama düzeylerinin meyve eti kalınlığı üzerine etkileri incelendiğinde kısıtlı sulama uygulamasında yetiştirilen bitkilerin meyve eti kalınlığı (1.60 mm), tam sulama uygulamasından (2.06 mm) yaklaşık %22.33 daha ince bulunmuştur. Mikoriza uygulanan bitkilerin meyve eti kalınlıkları 1.98 mm ölçülürken, mikoriza uygulanmayan bitkilerin meyve etki kalınlıkları 1.68 mm ölçülmüştür. Mikoriza uygulamaları meyve eti kalınlığını kontrole oranla yaklaşık %17.86 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Silisyum uygulamaları da meyve eti kalınlığının artmasına yardımcı olmuştur. Silisyum uygulanan bitkilerde meyve eti kalınlıkları 1.88 mm iken, silisyum uygulanmayan bitkilerde 1.78 mm olarak ölçülmüştür. Silisyum uygulamalarının meyve eti kalınlığını %5.62 oranında arttırdığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.31. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının meyve eti kalınlığı üzerine etkileri

		Meyve eti kalınlığı(mm)
Sulama	%50	1.60 b
	%100	2.06 a
	LSD	**0.226****
Mikoriza	M^-	1.68 b
	M^+	1.98 a
	LSD	**0.226****
Silisyum	0 Mm	1.78
	2 mM	1.88
	LSD	**Öd**

**:%1 düzeyinde önemli (p<0.01);öd: önemli değil (p>0.05)

Çizelge 4.32'deki veriler incelendiğinde görüldüğü gibi sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun meyve eti kalınlığı üzerine etkisi

önemsiz bulunmuştur. En yüksek meyve eti kalınlığı 2.25 mm ile % 100 sulama düzeyindeki Mi+ ve Si 2 mM uygulamasından elde edilirken, en düşük meyve eti kalınlığı 1.41 mm ile %50 sulama düzeyindeki Mi- ve Si 2 mM uygulamasından elde edilmiştir. Tam sulama konusunda mikoriza uygulamaları meyve eti kalınlığını daha belirgin bir şekilde arttırmıştır. Kısıtlı sulama uygulamasında Mi+ ve silisyumun birlikte uygulanması meyve eti kalınlığını arttırmıştır.

Çizelge 4.32. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun meyve eti kalınlığı üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Meyve eti kalınlığı (mm)
%100	-	0 mM	1.88
		2 mM	1.93
	+	0 mM	2.18
		2 mM	2.25
%50	-	0 mM	1.52
		2 mM	1.41
	+	0 mM	1.53
		2 mM	1.94
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

4.2.7. Meyve suyunun pH değeri

Kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve silisyum uygulamalarının meyve suyunun pH değeri üzerine etkileri incelendiğinde sulama düzeylerinin etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkilerinin ise önemsiz olduğu görülmüştür. Tam sulama uygulamasında meyve suyunun pH değeri 5.97 bulunurken, kısıtlı sulama uygulamasındaki bitkilerin meyve suyunun pH değeri 5.83 ölçülmüştür (Çizelge 4.33.). Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin meyve suyunun pH değeri kontrole oranla yaklaşık %2.40 oranında daha yüksek bulunmuştur. Mikoriza uygulaması yapılan bitkilerin meyve suyunun pH değeri mikoriza uygulaması yapılmayanlardan daha düşük çıkmıştır. Mikoriza uygulaması meyve suyunun pH değerini yaklaşık %2.01 oranında azalmasına neden olmuştur. Mikoriza uygulaması yapılan bitkilerin meyve suyunun pH değeri 5.84 iken, mikoriza uygulanmayan bitkilerin meyve suyunun pH değeri 5.96 ölçülmüştür. Silisyum uygulanan bitkilerin meyve suyunun pH değeri 5.95 bulunurken, silisyum uygulanmayan bitkilerin meyve

suyunun pH değeri 5.85 olduğu görülmüştür. Silisyum uygulamasının meyve suyunun pH değerini kontrole göre yaklaşık %1.71 oranında arttırdığı görülmüştür.

Çizelge 4.33. Sulama düzeyi, mikoriza ve silisyum uygulamalarının pH üzerine etkisi

		pH
Sulama	%50	5.83 b
	%100	5.97 a
	LSD	**0.111***
Mikoriza	M^-	5.96
	M^+	5.84
	LSD	**öd**
Silisyum	0 Mm	5.85
	2 mM	5.95
	LSD	**öd**

*: % 5 düzeyinde önemli (0.01<p<0.05); öd: önemli değil (p>0.05)

Sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun meyve suyunun pH değeri üzerine etkisi önemsiz olduğu saptanmıştır. En yüksek meyve suyunun pH değeri 6.13 ile %50 sulama düzeyinde M- ve Si 2 mM uygulamasından elde edilirken, en düşük meyve suyunun pH değeri 5.74 ile %50 sulama düzeyindeki M+ ve Si 2 mM uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.34.). Kısıtlı sulama düzeyinde silisyum uygulamaları meyve suyunun pH değerini arttırdığı görülmüştür.

Çizelge 4.34. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun pH üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	pH
%100	-	0 mM	6.00
		2 mM	5.96
	+	0 mM	5.96
		2 mM	5.97
%50	-	0 mM	5.76
		2 mM	6.13
	+	0 mM	5.69
		2 mM	5.74
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Ulukapı ve ark. (2020), kısıtlı sulama ve mikorizanın meyve suyunun pH değeri üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırıcılar sulama düzeyi ve mikorizanın pH değeri üzerine etkisinin önemsiz olduğunu belirtmişlerdir.

4.3. Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametreler

4.3.1. Klorofil indeksi

Sulama düzeyi, mikoriza ve silisyum uygulamalarının klorofil indeksi üzerine etkilerine ait sonuçlar Çizelge 4.35. de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere sulama düzeyinin klorofil indeksi üzerine etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkisi ise önemsiz olduğu bulunmuştur.

Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin klorofil indeks değeri 24.08 iken, tam sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin klorofil indeks değeri 34.04 olmuştur. Kısıtlı sulama koşullarındaki klorofil indeks değeri, kontrol bitkilerine göre yaklaşık %29.32 oranında daha düşük ölçülmüştür. Mikoriza uygulamalarının klorofil indeks değeri üzerine etkisi incelendiğinde, mikoriza uygulanan bitkilerin klorofil indeks değerinde hafif bir artış gözlemlenmiştir. Mikoriza uygulanmayan bitkilerde klorofil indeks değeri 28.88 iken, mikorizalı bitkilerde klorofil indeks değeri %1.39 oranında artış göstererek, 29.82 olmuştur. Silisyum uygulamaları kendi aralarında karşılaştırıldıklarında klorofil indeks değeri bakımından büyük bir fark görülmemiştir. Silisyum uygulanmayan bitkilerin klorofil indeks değeri 29.00 ölçülürken, Si uygulanan bitkilerin klorofil indeks değeri 29.15 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.35. Sulama düzeyi, mikoriza ve silisyum uygulamalarının klorofil indeksi üzerine etkileri

		Klorofil indeksi
Sulama	%50	24.08 b
	%100	34.07 a
	LSD	**4.222****
Mikoriza	M^-	28.88
	M^+	29.28
	LSD	**öd**
Silisyum	0 Mm	29.00
	2 mM	29.15
	LSD	**öd**

**:%1 düzeyinde önemli ($p<0.01$);öd: önemli değil ($p>0.05$)

Çizelge 4.36'da sunulan veriler incelendiğinde klorofil indeksi açısından interaksiyonlar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmemiştir. En yüksek klorofil indeksi değeri 36.77 ile %100 sulama düzeyindeki M+ ve Si 2

mM uygulamasından elde edilirken, en düşük klorofil indeks değeri 21.23 ile kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen M- ve Si 2 mM uygulamasından ölçülmüştür. Genel olarak sulama düzeyinin azaltılması klorofil oluşumunu da azaltmıştır. %100 sulama koşullarında Si ve M+ uygulamaları klorofil indeks değerini arttırırken, kısıtlı sulama koşullarında Si ve M+ uygulamaları klorofil indeks değerlerinin azalmasına neden olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4. 36. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun klorofil indeksi üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Klorofil indeksi
%100	-	0 mM	30.26
		2 mM	36.50
	+	0 mM	32.76
		2 mM	36.77
%50	-	0 mM	27.52
		2 mM	21.23
	+	0 mM	25.46
		2 mM	22.12
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Altunlu (2020), biberlerde yaptığı bir çalışmada tuz uygulamaları, mikoriza ve bakteri uygulamalarının klorofil içeriği üzerine etkisini incelemiştir. Araştırıcı mikoriza uygulamasıyla klorofil içeriğinin arttığını rapor etmiştir. Ulukapı ve ark. (2020) sulama düzeylerinin ve mikoriza uygulamalarının klorofil içeriğine etkisinin önemsiz olduğunu saptamışlardır.

4.3.2. Membran geçirgenliği

Kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve Si uygulamalarının membran geçirgenliği üzerine etkileri ile ilgili sonuçlar incelendiğinde sulama ve silisyum uygulamalarının etkisi önemli, mikoriza uygulamasının etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Çizelge 4.37.'de görüldüğü gibi en yüksek membran geçirgenliği %64.33 ile kısıtlı sulama uygulamasında belirlenirken, en düşük membran geçirgenliği %36.70 ile tam sulama uygulamasından belirlenmiştir. Kısıtlı sulama koşulları membran geçirgenliğini kontrole göre %75.29 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Mikoriza uygulanan bitkilerde membran geçirgenliği %49.58 olarak belirlenirken, mikoriza uygulanmayan bitkilerde %51.45 olarak saptanmıştır. Mikoriza uygulamaları

membran geçirgenliğini yaklaşık %3.63 oranında azalttığı görülmüştür. Silisyumun uygulanan bitkilerin membran geçirgenliği %55.14, silisyum uygulanmayan bitkilerin membran geçirgenliği ise %45.90 olarak belirlenmiştir. Silisyum uygulamaları membran geçirgenliğini %20.13 oranında arttırdığı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.37. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının membran geçirgenliği üzerine etkileri

		Membran geçirgenliği (%)
Sulama	%50	64.33 a
	%100	36.70 b
	LSD	**9.590****
Mikoriza	M^-	51.45
	M^+	49.58
	LSD	**öd**
Silisyum	0 Mm	45.90 b
	2 mM	55.14 a
	LSD	**7.048***

*: % 5 düzeyinde önemli (0.01<p<0.05); **:%1 düzeyinde önemli (p<0.01);öd: önemli değil (p>0.05)

Sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun membran geçirgenliği üzerine etkisi Çizelge 4.38.'de verilmiştir. Uygulamalar arasında en yüksek membran geçirgenliği %73.60 ile kısıtlı sulama konusunda mikorizasız ortamda silisyum 2 mM uygulanan bitkilerde belirlenirken, en düşük membran geçirgenliği %30.39 ile tam sulama koşullarındaki Mi- ve Si 0 mM uygulamasında belirlenmiştir. Kısıtlı sulama koşulları membran geçirgenliğinin artmasına neden olmuştur. Kısıtlı sulama koşullarında mikoriza uygulaması membran geçirgenliğini hafif bir şekilde azaltırken, silisyum uygulamaları membran geçirgenliğini hafif bir şekilde arttırmıştır.

Çizelge 4.38. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun membran geçirgenliği üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Membran geçirgenliği (%)
%100	-	0 mM	30.39
		2 mM	41.34
	+	0 mM	37.62
		2 mM	37.46
%50	-	0 mM	60.48
		2 mM	73.60
	+	0 mM	55.10
		2 mM	68.15
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Oral ve ark. (2020), tuzlu koşullarda fasulyede yürüttükleri çalışmada silisyum uygulamalarının membran geçirgenliğine etkisinin önemsiz olduğunu bulmuşlardır. Tuz stresi altında yetiştirilen biber bitkilerine mikoriza ve bakteri uygulaması yapılan bir çalışmada mikoriza uygulamalarının membran geçirgenliğini azalttığını belirtmiştir (Altunlu, 2020).

4.3.3.Prolin içeriği

Kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve silisyum uygulamalarının prolin içeriği üzerine etkileri incelendiğinde sulama düzeyinin etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkilerinin ise önemsiz olduğu görülmüştür (Çizelge 4.39.). Tam sulama uygulamasında prolin içeriği 36.97 µmol g^{-1} taze ağırlık bulunurken, kısıtlı sulama uygulamasındaki yaprakların prolin içeriği 44.85 µmol g^{-1} taze ağırlık bulunmuştur. Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin yaprak prolin içeriği kontrole oranla yaklaşık %23.25 oranında daha yüksek olduğu saptanmıştır. Mikoriza uygulaması yapılan bitkilerin prolin içeriği mikoriza uygulaması yapılmayanlardan hafif bir şekilde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Mikoriza uygulaması prolin içeriğini yaklaşık %3.76 oranında artmasına neden olmuştur. Mikoriza uygulaması yapılan bitkilerin prolin içeriği 41.66 µmol g^{-1} taze ağırlık iken, mikoriza uygulanmayan bitkilerin prolin içeriği 40.15 µmol g^{-1} taze ağırlık olduğu saptanmıştır. Silisyum uygulanan bitkilerin prolin içeriği 41.06 µmol g^{-1} taze ağırlık bulunurken, silisyum uygulanmayan bitkilerin prolin içeriği 40.76 µmol g^{-1} taze ağırlık bulunmuştur. Silisyum uygulamasının prolin içeriğini kontrole göre yaklaşık %0.74 oranında arttırdığı görülmüştür.

Çizelge 4.39. Sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının prolin içeriği üzerine etkileri

		Prolin içeriği (µmol g^{-1} taze ağırlık)
Sulama	%50	44.85 a
	%100	36.97 b
	LSD	**6.946****
Mikoriza	M^-	40.15
	M^+	41.66
	LSD	**öd**
Silisyum	0 Mm	40.76
	2 mM	41.06
	LSD	**öd**

**:%1 düzeyinde önemli (p<0.01);öd: önemli değil (p>0.05)

Sulama düzeyi*mikoriza*silisyum interaksiyonunun prolin içeriğine üzerine etkisinin önemsiz olduğu bulunmuştur. En yüksek prolin içeriği 48.64 µmol g^{-1} taze ağırlık ile %50 sulama düzeyinde M+ ve Si 0 mM uygulamasından elde edilirken, en düşük prolin içeriği 35.44 µmol g^{-1} taze ağırlık ile %100 sulama düzeyindeki M+ ve Si 0 mM uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.40.). Kısıtlı sulama düzeyinde silisyum uygulamaları prolin içeriğini arttırdığı görülmüştür. Tam sulama düzeyinde mikorizasız ortamda silisyum uygulaması prolin içeriğini azaltırken, mikorizalı ortamda arttırmıştır. Kısıtlı sulama düzeyinde ise mikorizalı ortamda silisyum uygulaması prolin içeriğini arttırırken, mikorizalı ortamda azalmasına neden olmuştur.

Çizelge 4. 40. Sulama düzeyi*Mi*Si interaksiyonunun prolin içeriği üzerine etkisi

Sulama	Mikoriza	Silisyum	Prolin içeriği (µmol g^{-1} taze ağırlık)
%100	-	0 mM	38.11
		2 mM	35.82
	+	0 mM	35.44
		2 mM	38.47
%50	-	0 mM	40.83
		2 mM	45.83
	+	0 mM	48.64
		2 mM	44.11
LSD			**öd**

öd: önemli değil (p>0.05)

Prolin içeriği üzerine biberde yürütülen bir çalışmada tuz stresinin prolin içeriğini arttırdığı, ancak mikoriza uygulamasıyla prolin içeriğinin azaldığı belirtilmiştir (Altunlu, 2020). Tuna ve Eroğlu (2017), yaptıkları tuzluluk

çalışmasında bazı organik ve inorganik maddelerin biberde prolin içeriği üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırıcılar, tuz uygulaması ile prolin içeriğinin arttığını, tuz ile birlikte uygulanan silisyumun prolin içeriğini diğer maddelere göre daha etkin bir şekilde azalttığını bulmuşlardır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Subtropik iklimlerde tek yıllık olarak yetiştirilen *Solanaceae* familyasının bir üyesi olan biber, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çok yaygın ve fazla miktarda üretilen ve tüketilen bir sebzedir. Biberin verimini ve bitki gelişimini kısıtlayan birçok biyotik ve abiyotik stres faktörleri mevcuttur. Bunların içinde su stresi ilk sıralarda yer almaktadır. Kuraklık ve su stresi bitkilerin metabolik savunmasını olumsuz etkilemektedir. Su stresi durumunda bitki bir takım savunma mekanizmaları geliştirerek kurak koşullara adapte olmaya çalışmaktadır. Bunların başında yaprak alanını küçültme, kütikula kalınlığını arttırma, tüylenme, stoma sayısını ve boyutunu küçültme, osmotik basıncı arttırma gibi mekanizmalar gelmektedir. Bitkilerin kuraklığa dayanımlarını arttırmak için kök sisteminin iyi gelişmesi gerekir. Topraklarda mevcut olan mikoriza mantarları bitkiler ile simbiyotik yaşam sürerek bitkilerin kök sistemine olumlu katkı yapmaktadır. Bu bağlamla mantarların oluşturduğu hifler kökün yüzey alanını genişleterek kökün uzağında bulunan ve bitkinin topraktan rahatça alamayacağı formdaki ve miktardaki besin maddelerini ve suyu hifleri aracılığıyla alıp bitkilerin su stresine girmelerinin önlemektedir. Özellikle uygun olmayan iklim koşullarında kullanılan silisyum, kuraklık ve sıcaklık stresi, mineral toksisitesi gibi abiyotik; zararlı ve bitki hastalıkları gibi biyotik streslere karşı bitkileri koruyan ve gelişimini artıran bir iz elementtir.

Çalışma, 2021 yılı ilkbahar döneminde ısıtmasız serada topraksız kültürde yürütülmüştür. Yapılan çalışmada; tam (%100) ve kısıtlı (%50) sulama koşulları, mikorizalı (M+) ve mikorizasız (M-) yetiştirme ortamları ve 2 farklı silisyum dozu (0 ve 2 mM) ve bunların kombinasyonları denenmiştir. Bu çalışmanın amacı, kısıtlı sulama koşullarında yetiştiriciliği yapılan biber bitkisinin, bazı fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal parametreleri üzerine kök bölgesine uygulanan mikoriza mantarının ve silisyumun etkilerini incelemektir. Bu amaçla, kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen biber bitkisinin kök yapısının daha aktif olabilmesi adına mikoriza (Mi+) ve stres şartlarına dayanıklılığı arttırma adına ise silisyum(Si) kullanılarak bitkilerin

kısıtlı sulamalara karşı dirençlerini arttırmak amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen verilerin varyans analizleri, TARİST istatistik programında yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Yapılan çalışma sonucunda sulamanın %100 olduğu bitkilerde bitki boyu bakımından ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Bunun aksine sulamanın %50 kısıtlı uygulandığı bitkilerde bitki boyu daha kısa kalmıştır. Mikoriza uygulanan bitkilerde bitki boyunda artış gözlemlenirken, uygulanmayan bitkilerde bitki boyu değerleri daha düşük kalmıştır. Bunun sonucunda mikorizanın bitki boyu üzerine olumlu etkisi olduğu kanısına varılmıştır. Silisyum uygulanan ve uygulanmayan bitkilerdeki bitki boyu değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Mikoriza ve silisyumun birlikte uygulanması %100 sulama düzeyinde bitki boyunu olumsuz etkilerken, %50 sulama düzeyinde yetiştirilen bitkilerin boylarını arttırmıştır. Bunun sonucu olarak sulamanın yeterli olmadığı durumlarda mikoriza ve silisyumun birlikte uygulanması bitki boyunu olumlu yönde etkileyecektir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; sulamanın %100 uygulandığı bitkilerde gövde çapı bakımından bir artış sağlanırken, sulamanın %50 uygulanması durumunda gövde çapı değerleri daha düşük kalmıştır. Mikoriza uygulanan bitkilerin gövde çapında bir miktar artış gözlemlenirken, uygulanmayan bitkilerin gövde çaplarının daha düşük olduğu saptanmıştır. Bunun sonucunda mikorizanın gövde çapı üzerine olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir. Silisyum uygulanan ve uygulanmayan bitkilerin gövde çapı değerleri birbirine yakın bulunmuştur.

Tam sulama yapılan bitkilerin yaprak sayısı, kısıtlı sulama uygulamasından daha yüksek bulunmuştur. Mikoriza uygulanan bitkilerin yaprak sayısında azalma gözlemlenirken, uygulanmayan bitkilerin yaprak sayısı daha yüksek olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, silisyum uygulanan bitkilerin yaprak sayısında da azalma olduğu saptanmıştır.

Yaprak taze ağırlığı, tam sulama uygulamasındaki bitkilerde artış göstermiştir. Bunun aksine sulamanın %50 yapıldığı bitkilerde yaprak taze ağırlığı daha düşük

kalmıştır. Mikoriza uygulanan bitkilerde yaprak taze ağırlığında azalma gözlemlenirken uygulanmayan bitkilerde yaprak taze ağırlığı daha yüksek bulunmuştur. Silisyum uygulanan bitkilerin yaprak taze ağırlığında azalma görülürken, silisyum uygulanmayan bitkilerin yaprak taze ağırlıklarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda yaprak kuru ağırlığı üzerine uygulamaların etkilerine bakıldığında kısıtlı sulama düzeyi, mikoriza ve Si uygulamalarının etkisi olumsuz yönde olmuş ancak, mikoriza ve silisyumun etkisi istatistiksel olarak önemsiz olduğu saptanmıştır.

Gövde taze ağırlığı üzerine sulama düzeylerinin etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkileri ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Tam sulama uygulamasındaki bitkilerin gövde taze ağırlığı, kısıtlı sulama uygulamasındaki bitkilerden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Kısıtlı sulama uygulamasındaki bitkilerin gövde taze ağırlığı değerleri tam sulamadaki bitkilerden yaklaşık %37.54 oranında daha düşük bulunmuştur. Mikoriza uygulanan bitkilerin gövde taze ağırlığı, mikoriza uygulanmayan bitkilerden önemsiz bir şekilde daha yüksek olduğu saptanmıştır. Silisyum uygulanan bitkilerin gövde taze ağırlığı silisyum uygulanmayan bitkilerden %7.19 oranında daha yüksek, fakat aynı istatistiksel grup içerisinde yer aldığı belirlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda sulamanın %100 yapıldığı bitkilerde gövde kuru ağırlığı bakımından artış olduğu saptanmıştır. Bunun yanında mikoriza uygulanan bitkilerin gövde kuru ağırlıklarında azalma gözlemlenirken, uygulanmayan bitkilerin gövde kuru ağırlıkları daha yüksek bulunmuştur. Bunun sonucunda mikorizanın gövde kuru ağırlığı üzerine olumsuz etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde silisyum uygulanan bitkilerin gövde kuru ağırlığında azalma görülürken, uygulanmayan bitkilerde gövde kuru ağırlığı daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Tam sulama düzeyindeki mikorizasız ortamlarda silisyum uygulaması gövde kuru ağırlığını arttırırken, mikorizalı ortamda silisyum uygulamaları gövde kuru ağırlığının azalmasına sebep olmuştur. Kısıtlı sulama düzeyinde ise mikorizasız

ortamda silisyum uygulaması gövde kuru ağırlığını azaltırken, mikorizalı ortamda silisyum uygulaması gövde kuru ağırlığını arttırmıştır.

Kök uzunluğu bakımından uygulamalar incelendiğinde mikoriza, silisyum ve sulamanın farklı seviyelerinin uygulandığı kök uzunluğuna ait değerlerde farklılıklar gözlemlenmiştir. Tam sulama uygulamasında kök uzunluğu gelişiminin arttığı saptanmıştır. Mikoriza uygulanan bitkilerin kök uzunluğunun mikoriza uygulanmayan bitkilerin kök uzunluklarından %23.71 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Silisyum uygulamaları kök uzunluğunu azaltmıştır. Silisyum uygulanan bitkilerin kök uzunluğu, silisyum uygulanmayan bitkilerin kök uzunluklarından daha kısa bulunmuştur.

Tam sulama uygulamasındaki bitkilerde kök taze ağırlığı bakımından artış gözlemlenmiştir. Bunun aksine sulamanın %50 uygulandığı bitkilerde kök taze ağırlığı daha düşük olmuştur. Mikoriza uygulanan bitkilerde kök taze ağırlığında azalma gözlemlenirken, uygulanmayan bitkilerde kök taze ağırlığı daha yüksek bulunmuştur. Silisyum uygulanan bitkilerin kök taze ağırlığında azalma görülürken, silisyum uygulanmayan bitkilerin kök taze ağırlıklarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bu bulgular doğrultusunda kök kuru ağırlığı üzerine uygulamaların etkilerine bakıldığında, kısıtlı sulama düzeyinin etkisi negatif yönde önemli bulunurken, mikoriza ve Si uygulamalarının etkisi olumsuz yönde ancak, istatistiksel olarak önemsiz olduğu saptanmıştır.

Sulama düzeyi ve silisyum uygulamalarının toplam verim üzerine etkisi önemli, mikoriza uygulamasının etkisinin ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Kısıtlı sulama düzeylerinin ortalama bitki başına toplam verimi önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Mikoriza uygulamasının toplam verimi kontrole oranla hafif bir şekilde azaltmış, ancak bu azalma istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Si uygulamalarının bitki başına verim üzerine etkileri incelendiğinde, silisyum

uygulamalarının bitki başına verimi arttırdığı görülmüştür. Si uygulaması bitki başına toplam verimi kontrole göre %23.11 oranında arttırdığı belirlenmiştir.

Sulama düzeyinin kısıtlanması, bitki başına toplam meyve sayısında ciddi bir azalma meydana getirdiği gözlenmiştir. Her iki sulama düzeyinde de mikoriza uygulaması toplam meyve sayısında önemsiz bir azalmaya neden olmuştur. Gerek tam sulama gerekse de kısıtlı sulama koşullarında silisyum uygulamalarının toplam meyve sayısını arttırdığı belirlenmiştir.

Sulama düzeyinin ortalama meyve ağırlığı üzerine etkisi önemsiz bulunurken, mikoriza ve silisyumun etkisi önemli bulunmuştur. Mikoriza uygulaması ortalama meyve ağırlığını kontrole oranla %16.37 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Mikoriza uygulamaları tam sulama uygulamalarında belirgin bir farklılık meydana getirmemiş olmasına rağmen, kısıtlı sulama koşullarında mikoriza uygulaması önemli düzeyde bir artış meydana getirmiştir. Hem tam sulama hem de kısıtlı sulama koşullarında Si uygulamaları ortalama meyve ağırlığında bir artışa neden olmuştur.

Yapılan analiz sonuçlarına göre meyve çapı üzerine sulama düzeylerinin etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Kısıtlı sulama koşulları, meyve çapını kontrole oranla %13.69 oranında azalttığı belirlenmiştir.

Kısıtlı sulama koşulları meyve uzunluğunu kontrole göre yaklaşık %20.70 oranında azalttığı saptanmıştır. Mikoriza uygulamalarının meyve uzunluğu üzerine etkisi incelendiğinde, mikoriza uygulanan bitkilerde meyve uzunluğu bir azalma görülmüştür. Silisyum uygulamaları kendi aralarında karşılaştırıldıklarında meyve uzunluğu bakımından bir farklılık gözlemlenmiştir. %100 ve %50 sulama düzeylerinde mikorizasız ortamlarda silisyumun meyve uzunluğu üzerine etkisi daha belirgin olmuştur. Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerde Mi ve Si'un hem ayrı ayrı hem de birlikte uygulanması meyve uzunluğu değerlerini kontrole göre arttırmıştır.

Sulama düzeyleri ve mikoriza uygulamalarının meyve eti kalınlığı üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli, silisyum uygulamasının etkisi ise önemsiz olduğu saptanmıştır. Sulama düzeylerinin meyve eti kalınlığı üzerine etkileri incelendiğinde kısıtlı sulama uygulamasında yetiştirilen bitkilerin meyve eti kalınlığı, tam sulama uygulamasından yaklaşık %22.33 oranında daha ince bulunmuştur. Mikoriza uygulamaları meyve eti kalınlığını kontrole oranla yaklaşık %17.86 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Silisyum uygulamaları da meyve eti kalınlığının artmasına yardımcı olmuştur. Tam sulama konusunda mikoriza uygulamaları meyve eti kalınlığını daha belirgin bir şekilde arttırmıştır. Kısıtlı sulama uygulamasında Mi+ ve silisyumun birlikte uygulanması, meyve eti kalınlığında bir artışa neden olmuştur.

Sulama düzeylerinin meyve suyunun pH değeri üzerine etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkilerinin ise önemsiz olduğu belirlenmiştir. Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin meyve suyunun pH değeri kontrole oranla yaklaşık %2.40 oranında daha yüksek bulunmuştur. Mikoriza uygulaması yapılan bitkilerin meyve suyunun pH değeri mikoriza uygulaması yapılmayanlardan daha düşük olduğu saptanmıştır. Silisyum uygulamasının meyve suyunun pH değerini kontrole göre önemsiz oranda arttırdığı görülmüştür.

Sulama düzeylerinin klorofil indeksinin üzerine etkisi incelendiğinde klorofil indeksi değerinin %100 sulama uygulamasında arttığı görülmüştür. Bunun yanında %50 sulama yapılan uygulamada klorofil indeksi değeri daha düşük olmuştur. Sonuç olarak, sulamanın %100 uygulanması klorofil indeksi değerine olumlu etki yaparken %50 uygulaması olumsuz etki yapmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde mikoriza uygulanan bitkilerin klorofil indeksinde hafif bir artış gözlemlenirken uygulanmayan bitkilerde klorofil indeksi daha düşük kalmıştır. Bunun sonucunda mikorizanın klorofil indeksi üzerine olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca silisyum uygulanan ve uygulanmayan bitkilerin klorofil indeksi değeri bakımından bir fark görülmemiştir.

Sulama düzeyi ve silisyum uygulamalarının membran geçirgenliği üzerine etkisi önemli, mikoriza uygulamasının etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Kısıtlı sulama

koşulları membran geçirgenliğini kontrole göre %75.29 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Mikoriza uygulamaları membran geçirgenliğini önemsiz bir düzeyde azalttığı belirlenmiştir. Silisyum uygulamalarının membran geçirgenliği önemli oranında arttırdığı belirlenmiştir.

Kısıtlı sulama koşulları, mikoriza ve silisyum uygulamalarının prolin içeriği üzerine etkileri incelendiğinde sulama düzeyinin etkisi önemli, mikoriza ve silisyum uygulamalarının etkilerinin ise önemsiz olduğu saptanmıştır. Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin yaprak prolin içeriği kontrole oranla yaklaşık %23.25 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Mikoriza ve silisyum uygulaması yapılan bitkilerin prolin içeriği uygulama yapılmayanlardan hafif bir şekilde daha yüksek bulunmuştur. Kısıtlı sulama düzeyinde silisyum uygulamaları prolin içeriğini arttırdığı görülmüştür. Tam sulama düzeyinde mikorizasız ortamda silisyum uygulaması prolin içeriğini azaltırken, mikorizalı ortamda arttırmıştır. Kısıtlı sulama düzeyinde ise mikorizalı ortamda silisyum uygulaması prolin içeriğini arttırırken, mikorizalı ortamda azalmasına neden olmuştur.

Çalışmanın sonucunda bütün parametreler ve uygulamalar incelendiğinde, kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen bitkilerin membran geçirgenliği ve prolin içeriği artarken, incelenen diğer parametrelerin önemli oranda azaldığı görülmüştür. Mikoriza uygulaması gövde çapı, bitki boyu, kök uzunluğu, ortalama meyve ağırlığı, meyve eti kalınlığı ve membran geçirgenlik değerlerini arttırırken, gövde kuru ağırlığı, toplam meyve sayısı ve meyve uzunluğu değerlerinin azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Mikoriza uygulamasının diğer parametrelere etkisinin önemsiz olduğu belirlenmiştir. Silisyum uygulamaları bitki başına meyve sayısı, bitki başına verim, meyve uzunluğu ve membran geçirgenliğini arttırırken, kök uzunluğunu azaltmıştır. Silisyum uygulamalarının incelenen diğer özellikler üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur.

5.2 Öneriler

Kısıtlı sulama koşulları, bitki gelişimini ve verimini önemli oranda azaltmaktadır. Yapılan bu çalışma neticesinde kısıtlı sulama koşullarında mikoriza ve

silisyumun birlikte uygulanması ile verim arışı sağlanmıştır. Bu nedenle kısıtlı sulama koşullarında mikoriza ve silisyumun birlikte uygulanması önerilebilir.

Yapılan bu çalışmada yetiştirme ortamı olarak perlit ve torf karışımı kullanılmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda daha farklı organik ve inorganik yetiştirme ortamları denenebilir.

Çalışmadan çıkarılan bir başka sonuç ise, silisyum uygulanan bitkiler, uygulanmayan bitkilere oranla yaprak biti zararlısından etkilenmediği görülmüştür. Bunun, silisyumun bitkilerin kütikula tabakasını güçlendirdiğinden ileri geldiği düşünülmektedir. Bu nedenle silisyumun bitkinin hastalık ve zararlılara karşı direncinin artmasına vesile olmasıyla beraber, bitki verimi ile meyve kalitesinin ve meyve albenisinin daha fazla olduğu, meyve etinin de daha gevrek olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

AKPINAR, Ç., 2022. İki Farklı Yetiştirme Döneminde Mikoriza ve Fosfor Uygulamalarının Dolmalık Biber Bitkisinin Gelişimi ve Besin Elementleri Alımına Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(3): 1781-1790.

AL-KARAKI, G., MCMICHAEL, B. and ZAK, J., 2004. Field Response of Wheat to Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Drought Stress. Mycorrhiza 14: 263-269.

AL-KARAKI, G.N., 1998. Benefit, Cost and Water-Use Efficiency of Arbuscular Mycorrhizal Durum Wheat Grown under Drought Stress. Mycorrhiza 8: 41-45.

ALMA, Z., and SÖYLEMEZ, S., 2022. The Effect of Olive Pomace and Seaweed Extract on the Growth of Pepper Seedling. GSC Biological and Pharmaceutical Sciences, 19(2), 246-257.

ALMACA, A., 2014. Tarımsal Üretimde Mikorizanın Önemi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, *18*(2): 56-65.

ALTUNLU, H., 2020. Tuz Stresi Altındaki Biberde (*Capsicum annuum* L.) Mikoriza ve Rizobakteri Uygulamasının Bitki Gelişimi ve Bazı Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 57(4): 501-510.

ALTUNTAŞ, Ö., ABAK, K., ve DAŞGAN, H.Y., 2015. Serada Biber Yetiştiriciliğinde Arbusküler Mikorhizal Fungus Kullanımının Bitki Gelişimi ve Verime Etkileri. Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi, 2(2): 144-151.

ARANDA, M.R.R., OLIVA, J. and CUARTENO, J., 2005. Silicon Alleviates The Deleterious Salt Effect on Tomato Plant Growth by Improving Plant Water Status. Journal of Plant Physiology, 5:10.

ROMERO-ARANDA, M.R., JURADO, O., and CUARTERO, J., 2006. Silicon Alleviates the Deleterious Salt Effect on Tomato Plant Growth by Improving Plant Water Status. Journal of Plant Physiology, 163(8), 847-855.

BAGYARAJ, D.J., 1992. 19 Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza: Application in Agriculture. In: Methods in Microbiology. Academic Press, (24): 359-373.

BİÇER, Ş., ERDİNÇ, Ç., ve ÇÖMLEKÇİOĞLU, N., 2020. Hıyarda Kök Bakterisi (PGPR) ve Arbusküler Mikorizal Fungus (AMF) Aşılamalarının Farklı Sulama Seviyelerinde Bitki Gelişimi ve Verim Özelliklerine Etkileri. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 6(1): 8-20.

BORDE, M., DUDHANE, M., and KULKARNI, M., 2017. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Salinity Tolerance and Growth Response in Plants under Salt Stress Conditions. Mycorrhiza-Eco-Physiology, Secondary Metabolites, Nanomaterials, 71-86.

BOYER, J.S., 1982. Plant Productivity and Environment. Science, 218(4571): 443-448.

CANPOLAT, Ş., 2016. Niğde İlinden Toplanan Trüf Mantarlarının Moleküler Olarak Tanımlanması ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

CHERIEF, M., BENHAMOU, N., MENZIES, J.G., and BELANGER, R.R., 1992. Studies of Silicon Distribution in Wounded and Pythium Ultimum Infected Cucumber Plants. Physiological and Molecular Plant Pathology, 41:371-385.

CURRIE, H.A., and PERRY, C.C., 2007. Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies. Annals of Botany, 100(7): 1383-1389.

ÇOKUYSAL, B., ANAÇ, D., ERYÜCE, N., ÇOLAK ESETLİLİ, B., ÖZKAN, C.F., TEPECİK, M., 2016. Topraksız Tarım ve Bitki Besleme Teknikleri. Editor: Dilek ANAÇ. Nobel Yayıncılık, Yayın No:0391, Ankara

DATNOFF, L.E., 2005. Plant Management Network. Silicon in The Life and Performance of Turfgrass. Online. Applied Turfgrass Science doi:10.1094/ATS2005-0914-01-RV.

DAVIES JR, F.T., POTTER, J. R., and LINDERMAN, R.G., 1992. Mycorrhiza and Repeated Drought Exposure Affect Drought Resistance and Exraradical Hyphae Development of Paper Plants Independent of Plant Size and Nutrient Content. Journal of Plant Physiology, 139(3): 289-294.

DEHNE, H.W., and SCHONBECK, F., 1979. Untersuchungen Zum Einfluss Der Endotrophen Mykorrhiza Auf Pflanzenkrankheiten. II. Phenolstoffwechsel Und Lignifizierung. Phytopathol. Z.95: 210- 216.

DEMİR S, 2007. Bazı Kültür Bitkilerinde Vesiküler-Arbusküler Mikorhiza (VAM) Oluşumu ve Bunun Bitki Gelişimi ve Dayanıklılıktaki Rolü Üzerinde Araştırmalar. PhD, Ege University, İzmir, Turkey (in Turkish).

DEMİR, S., 1998. Bazı Kültür Bitkilerinde Vesiküler-Arbusküler Mikorrhiza (VAM) Oluşumu ve Bunun Bitki Gelişimi ve Dayanıklılıktaki Rolü Üzerinde Araştırmalar. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki koruma Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir.

DEMİRBAŞ, A., 2012. Fertigasyon ve Mikoriza Uygulamalarının Domates ve Biber Bitkilerinin Verimine ve Besin Elementleri Alımına Etkileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dokrora Tezi Adana, 157s.

DENBY, K., and GEHRING, C., 2005. Engineering Drought and Salinity Tolerance in Plants: Lessons From Genome-Wide Expression Profiling in Arabidopsis. Trends in Biotechnology, 23(11): 547-552.

DOĞAN M, 2018. Çilekte Kadminyum Toksitesi Altındaki Bitkiler Üzerine Hümik Asit ve Silikonun Etkilerinin İncelenmesi.

DU, Y.C., NOSE, A., WASANO, K. and UCHIDA, Y., 1998. Responses to Water Stress of Enzyme Activities and Metabolite Levels in Relation to Sucrose and Starch Synthesis, the Calvin Cycle and the C4 Pathway in Sugarcane and (Saccharum sp.) Leaves. Functional Plant Biology, 25(2), 253-260.

EPSTEIN, E., 1999. Silicon, Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 641–664.

FAO, 2021. https://www.fao.org/faostat/en/#data Erişim Tarihi: 20.03.2023

FAO, 2022. https://www.fao.org/faostat/en/#data Erişim Tarihi: 20.03.2023

FARAHANI, S.M., CHAICHI, M.R., MAZAHERI, D.R., AFSHARI, T., and SAVAGHEBI, G.H., 2011. Barley Grain Mineral Analysis as Affected by Different Fertilizing Systems and By Drought Stress. Journal of Agricultural Science and Technology, 13: 315-326.

FAUTEUX, F., RÉMUS-BOREL, W., MENZIES, J., and BÉLANGER, R., 2005. Silicon and Plant Disease Resistance Against Pathogenic Fungi. FEMS Microbiol. Letters, 249(1): 1-6.

FRITZ, M., JAKOBSEN, I., LYNGKJÆR, M.F., THORDAL-CHRISTENSEN, H., and PONS-KÜHNEMANN, J., 2006. Arbuscular Mycorrhiza Reduces Susceptibility of Tomato to *Alternaria solani*. Mycorrhiza, 16(6), 413-419.

SAXENA, B., SHUKLA, K., and GIRI, B., 2017. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Tolerance of Salt Stress in Plants. In: Wu, QS. (eds) Arbuscular Mycorrhizas

and Stress Tolerance of Plants. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0_4.

GILLMAN, J., ZLESAK, D., and SMITH, J., 2003. Applications of Potassium Silicate Decrease Black Spot Infection of Rosa Hybrida 'Meilpelta'(Fuschia Meidiland™). HortScience 38(6): 1144-1147.

HARLEY, J.L., SMITH, S.E., 1983. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London New York

HE, Y.K., TANG, R.H., YI, H., STEVENS, R.D., COOK, C.W., AHN, S.M., JING, L., YANG, Z., CHEN, L., GUO, F., FIORANI, F., JACKSON, R.B., CRAWFORD, N.M. and PEI, Z.M., 2004. Nitric Oxide Represses The Arabidopsis Floral Transition. Science Journal, 305(5692):1968–1971.

HORIGUCHI, T., 1988. Mechanism of Manganese Toxicity and Tolerance of Plants. IV. Effect of Silicon on Alleviation of Manganese Toxicity of Rice Plants. Soil Science and Plant Nutrition, 34:63-73.

HORUZ, A., 2018. Silisyumun Bitki Gelişimine Olan Etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, *6*(2), 151-163.

HULL, R.J., 2004. Scientists Start to Recognize Silicon's Benefical Effects. Turtgrass Trends 8: 69-73.

ISLAM, M.R., XUE, X,. MAO, S., REN, C., ENEJI, A.E., AND HU, Y., 2011. Effects of Water-Saving Super Absorbent Polymer on Antioxidant Enzyme Activities and Lipid Peroxidation in Oat (*Avena sativa* L.) Under Drought Stress. Journal of the Science of Food and Agriculture, 91(4), 680-686.

JALILIAN, J., and MOHSENNIA, O., 2013. Effects of Superabsorbent and Irrigation Regime on Seedling Growth Characteristics of Barley (*Hordeum vulgare* L.). Cercetări Agronomice în Moldova, Vol. XLVI, 3(155): 11-19.

KABIR, M.Y., NAMBEESAN, S.U., BAUTISTA, J., and DÍAZ-PÉREZ, J. C., 2021. Effect of Irrigation Level on Plant Growth, Physiology and Fruit Yield and Quality in Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.). Scientia Horticulturae, 281, 109902.

KALEFETOĞLU, T., and EKMEKÇİ, Y., 2005. The Effects on Drought on Plants and Tolerance Mechanisms. Gazi University Journal of Science, 18(4): 723-740.

KAYA, C., SÖNMEZ, O., ASHRAF, M., POLAT, T., TUNA, L. and AYDEMİR, S., 2015. Exogenous Application of Nitric Oxide and Thiourea Regulates on Growth and Some Key Physiological Processes in Maize (*Zea mays* L.) Plants Under Saline Stress. Soil-Water Journal, Special Issue: 61-66.

KAYA, C, TUNA, L and HIGGS, D., 2006. Effect of Silicon on Plant Growth and Mineral Nutrition of Maize Grown Under Water-Stress Condition. Journal of Plant Nutrition, 29(8): 1469-1480.

KRANTEV, A., YORDANOVAA, R., JANDA, T., SZALAI, G., and POPOVA, L., 2008. Treatment with Salicylic Acid Decreases The Effect of Cadmium on Photosynthesis in Maize Plants. Journal of Plant Physiology, 165(9): 920-931.

KUNOH, H., and ISHZIAKI, H., 1975. Silicon Levels Near Penetration Sites of Fungi on Wheat, Barley, Cucumber and Morning Glory Leaves. Physiological Plant Pathology, 5(3): 283-287.

KORKMAZ, K., 2018. Çilekte Su Stresi Altındaki Bitkiler Üzerine Hümik Asit ve Silikonun Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Şanlıurfa.

KÜÇÜKYUMRUK, Z., GÜLTEKİN, M. ve ERDAL, İ. 2014a. Vermikompost ve Mikorizanın Biber Bitkisinin Gelişimi ile Mineral Beslenmesi Üzerine Etkisi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(1): 51-58.

KÜÇÜKYUMUK, Z., DEMİREKİN, H., ALMAZ, M., ve ERDAL, İ., 2014b. Leonardit ve Mikorizanın Biber Bitkisinin Gelişimi ve Besin Elementi Konsantrasyonu Üzerine Etkisi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(2): 42-48.

LIANG, Y., WONG, J.W., and WEI, L., 2005. Silicon-Mediated Enhancement of Cadmium Tolerance in Maize (*Zea mays* L.) Grown in Cadmium Contaminated Soil. Chemosphere 58(4): 475-83.

MA, J.F., and TAKAHASHI, E., 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier Science, Amsterdam

MA, J.F., 2004. Role of Silicon In Enhancing The Resistance of Plants to Biotic and Abiotic Stresses. Soil Science and Plant Nutrition, 50(1):11-18.

MABOKO, M.M., BERTLING, I., and DU PLOOY, C.P., 2013. Arbuscular Mycorrhiza has Limited Effects on Yield and Quality of Tomatoes Grown Under Soilless Cultivation. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil & Plant Science, 63(3): 261-270.

MANIVANNAN, P., JALEEL, C.A., CHANG-XING, Z., SOMASUNDARAM, R., AZOOZ, M.M., and PANNEERSELVAM, R., 2008. Variations in Growth and Pigment Composition of Sunflower Varieties under Early Season Drought Stress. Global Journal of Molecular Sciences, 3(2): 50-56.

MATICHENKOV, V.V., CALVERT, D.V., and SNYDER, G.H., 1999. Silicon Fertilizers For Citrus In Florida. Proceedings of The Florida State Horticultural Society, 112: 5–8.

MIYAKE, Y. and TAKAHASKI, E., 1983. Effect of Silicon on The Growth of Solution Cultured Cucumber Plant. Plant Nutrition, 29(1): 71-83.

MUOK, B.O., and ISHII, T., 2006. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Tree Growth and Nutrient Uptake of *Sclerocarya birrea* under Water Stress, Salt Stress and Flooding. J. Japan. Soc. Hort. Sci., *75*(1): 26-31.

NAZARLI, H., and ZARDASHTI, M.R., 2010. The Effect of Drought Stress and Super Absorbent Polymer (A200) on Agronomical Traits of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Under Field Condition. Cercetări Agronomice în Moldova Vol. XLIII , No. 3 (143):5-14.

ORAL, E., TUNÇTÜRK, R., TUNÇTÜRK, M., ve KULAZ, H., 2020. Silisyumun Fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) Tuz (NaCl) Stresini Azaltmadaki Etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(6): 1616-1625.

ORTAS, 1997. Determination of the Extent of Rhizosphere Soil. Communication Soil Science and Plant Analysis, 28(19- 20) 1767-1776.

ORTAŞ, İ., ERGÜN, B., ORTAKÇI, D., ERCAN, S. ve KÖSE, Ö., 1999. Mikoriza Sporlarının Üretilmesi ve Tarımda Kullanım Olanaklarının İrdelenmesi. Doğa Dergisi, 4: 959-968.

ORTAŞ, İ., KAYA, Z., SARI, N., GÖK, M., ÇAKMAK, İ., ALMACA, A. ve BOLAT, H., 2000. Doğal Bir Gübre Olan Mikoriza Uygulamasının Bitkisel Verim ve Mineral Gübre Tasarrufundaki Rolü ve Mikorizaya Bağımlılık Duyan Kültür Bitkilerinin Seleksiyonu. DPT Proje, (96K), 120-580.

ÖZBUCAK, T., KABUL, D., ve AKÇİN, Ö.E., 2020. Mikoriza ve Fungusit Uygulamalarının Domates Bitkisinin Bazı Büyüme ve Gelişim Parametreleri

Üzerine Etkisi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(1): 529-543.

ÖZEN, H. Ç., ve ONAY, A., 2007. Bitki Fizyolojisi, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

BAYRAKTAR, Ö.V., ÖZTÜRK, G., ve ARSLAN, D., 2017. Türkiye'de Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Üretimi ve Pazarlamasındaki Gelişmelerin Değerlendirilmesi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 26(2): 216-229.

PALTA, Ş., DEMİR, S., ŞENGÖNÜL, K., KARA, Ö., ve ŞENSOY, G.H., 2010. Arbüsküler Mikorizal Funguslar (AMF), Bitki ve Toprakla İlişkileri, Mera Islahındaki Önemleri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Cilt: 12

RODGERS-GRAY, B., and SHAW, M., 2004. Effects of Straw and Silicon Soil Amendments on Some Foliar and Stem-base Diseases In Pot-grown Winter Wheat. Plant Pathol. 53(6): 733-740.

SATIR, N.Y., ORTAS, I. ve SATIR, O., 2016, The Influence of Mycorrhizal Species on Sour Orange (*Citrus aurantium* L.) Growth Under Saline Soil Conditions, Pakistan Journal of Agricultural Research, 53 (2): 399-406.

SAVANT, N.K., KORNDORFER, G.H., DATNOFF, L.E., and SNYDER, G.H., 1999. Silicon Nutrition and Sugarcane Production: A Review. Journal of Plant Nutrition 22 (12):1853-1903.

SAVANT, N.K., SNYDER, G.H., and DATNOFF, L.E., 1996. Silicon Management and Sustainable Rice Production. Advances in Agronomy, 58: 151-199.

SEEBOLD, K.W., DATNOFF, L.E., CORREA-VICTORIA, F.J., KUCHAREK, T.A., ve SNYDER, G.H., 2000. Effect of Silicon Rate and Host Resistance on Blast, Scald, and Yield of Upland Rice. Plant Disease, 84(8): 871-876.

SENSOY, S., DEMIR, S., TURKMEN, O., ERDINC, C., and SAVUR, O.B., 2007. Responses of Some Different Pepper (*Capsicum annuum* L.) Genotypes to Inoculation with Two Different Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Scientia Horticulturae, 113(1): 92-95.

SEVGİCAN, A., 1999. Örtüaltı sebzeciliği, Ege Üniversitesi Yayınları, Cilt:1, s. 305.

SMITH, S.E., and READ, D.J., 1997. Mycorrhizal Symbiosis 2nd ed. Academic Press, London. 605 pp.

SINGH, K.K., SINGH, K., SINGHL, R.S., SINGH, R., and CHANDEL, R.S., 2005. Silicon Nutrition In Rice - A Review. Agric. Rev., 26 (3): 223 - 228.

SISTANI, K.R., SAVANT, N.K., and REDYY, K.C., 1997. Effect of Rice Hull Ash Silicon On Rice Seedling Growth. Journal of Plant Nutrition 20(1): 195 –201.

SÖYLEMEZ, S., 2021. The Impact of Waterpad and Different Irrigation Levels on The Yield, Plant Development and Some Quality Features of the Pepper. Fresenius Environmental Bulletin, 30(4): 3134-3140.

SUN, W., LIANG, Y., and YANG, Y., 2002. Influences If Silicon and Inoculation With *Colletotrichum lagenarium* on Peroxidase Activity In Leaves of Cucumber and Their Relation to Resistance to Anthracnose. Sci. Agric. Sin. 35: 1560-1564.

ŞALK, A., ARIN, L., DEVECİ, M., 2008. Özel Sebze Yetiştiriciliği. Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, ISBN: 978-9944-0786-0-3

TAKAHASKI, E, MA J.F., and MIYAKE, Y., 1990. The Possibility of Silicon As An Essential Element For Higher Plants. Comments on Agricultural and Food Chemistry 2(2): 99-122.

TRENHOLM, L.E., DATNOFF, L.E., and NAGATA, R.T., 2004. Influence of Silicon on Drought and Shade Tolerance of St. Augustinegrass. HortTechnology, 14(4): 487-490.

TÜİK, 2022. https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111 (Erişim tarihi: 27.03. 2023).

TURKMEN, O., SENSOY, S., DEMİR, S., and ERDİNC, C., 2008. Effects of Two Different AMF Species on Growth and Nutrient Content of Pepper Seedlings Grown under Moderate Salt Stress. African Journal of Biotechnology, 7(4):392-396.

TUNA, A.L., ve EROĞLU, B., 2017. Tuz Stresi Altındaki Biber (*Capsicum annuum* L.) Bitkisinde Bazı Organik ve İnorganik Bileşiklerin Antioksidatif Sisteme Etkileri. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 32(1): 121-131.

ULUKAPI, K., KURT, Z., and SENER, S., 2020. The Effects of Mycorrhiza Application on Vegetative and Generative Growth in Pepper (*Capsicum annuum* L.) Plants under Water Deficiency Conditions. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 8(4): 927-931.

VOOGT, W., and SONNEVELD, C., 2001. Silicon In Horticultural Crops Grown In Soilless Culture. In: Datnoff L. E., Snyder G. H., Korndorfer G. H. (Eds). Silicon In Agriculture. Elsevier, Amsterdam: 115-131.

YAZDANI, F., ALLAHDADI, I., and AKBARI, G.A., 2007. Impact of Superabsorbent Polymer on Yield and Growth Analysis of Soybean (*Glycine max* L.) Under Drought Condition. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10(23): 4190-4196.

YEO, A.R., FLOWERS, S.A., RAO, G., WELFARE, K., Senanayake, V. and FLOWERS, T.J., 1999. Silicon Reduces Sodium Uptake In Rice In Saline Conditions and This Is Accounted For By A Reduction In The Transpiration By Pass Flow. Plant, Cell & Environment, 22(5): 559-565.

QIAN, Q.Q., ZAI, W.S., ZHU, Z.J., and YU, J.Q., 2006. Effects of Exogenoussilicon On Activeoxygen Scavenging Systems In Chloroplastsof Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Seedlings Under Salt Stress. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 32(1): 107- 112.

ZHU, Z., WEI, G., LI, J., QIAN, Q. and YU, J., 2004. Silicon Alleviates Salt Stress and Increases Antioxidant Enzymes Activity In Leaves of Salt-Stressed Cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant Science, 167(3): 527-533.

ZHU, Y., and GONG, H., 2014. Beneficial Effects of Silicon on Salt and Drought Tolerance in Plants. Agronomy for Sustainable Development, 34: 455-472.