



**TUZ STRESİNİN BİBERDE BİTKİ
GELİŞİMİ, FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL
ÖZELLİKLER, DNA METİLASYONU
İLE TOHUM ÇİMLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Mostafakamal SHAMS

Doktora Tezi

**Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı
Sebze Yetiştirme ve Islahı Bilim Dalı
Prof. Dr. Ertan YILDIRIM**

2019

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**TUZ STRESİNİN BİBERDE BİTKİ GELİŞİMİ, FİZYOLOJİK VE
BİOKİMYASAL ÖZELLİKLER, DNA METİLASYONU İLE
TOHUM ÇİMLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Mostafakamal SHAMS

**BAHÇE BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI
Sebze Yetiştirme ve Islahı Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**TUZ STRESİNİN BİBERDE BİTKİ GELİŞİMİ, FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL
ÖZELLİKLER, DNA METİLASYONU İLE TOHUM ÇİMLENMESİ ÜZERİNE
ETKİSİ**

Prof. Dr. Ertan YILDIRIM danışmanlığında, Mostafakamal SHAMS tarafından hazırlanan bu çalışma 01/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı – Sebze Yetiştirme ve Islahı Bilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak **oybirliği (5/5)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. İbrahim DEMİR

Üye: Prof. Dr. Ertan YILDIRIM

Üye: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Üye: Prof. Dr. Levent ARIN

Üye: Prof. Dr. Atilla DURSUN

İmza:

İmza:

İmza:

İmza:

İmza:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu...14.../02.../2019...tarih ve. 08.../...22... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat

ÖZET

Doktora Tezi

TUZ STRESİNİN BİBERDE BİTKİ GELİŞİMİ, FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLER, DNA METİLASYONU İLE TOHUM ÇİMLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Mostafakamal SHAMS

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı
Sebze Yetiştirme ve Islahı Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ertan YILDIRIM

Tuzluluk, dünyada özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda en önemli tarımsal problemlerden biridir. Tuz stresi, epigenetik modifikasyonları tetikler ve bitkilerin büyümesini engeller. Bu çalışma, farklı tuz seviyelerinde [kontrol (0.7), 3.5 ve 7.0 dS/m] yetiştirilen üç biber çeşidinde (Dolmalık, Çarliston ve Maraş), DNA metilasyon modeli, bitki büyümesi, enzim aktivitesi, prolin, toplam amino asitler, hormonlar, mineral madde, H₂O₂ ve MDA içeriği, fotosentez aktivitesi ve tohum çimlenmesi üzerine etkisini belirlemek amacıyla 2016-2017 yıllarında yürütülmüştür. Sonuçlar, üç biber çeşidinin tuz stresine karşı farklı tepki modeline sahip olduğunu göstermiştir. Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde, tuzlu koşullardaki tohum çimlenmesi tuz seviyesindeki artışa paralel olarak bariz azalmalar göstermiştir. Maraş çeşidinde ise söz konusu düşüşün daha az seviyede olduğu gözlenmiştir. Tuz stresi şartlarının Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde DNA tam metilasyon oranını ve H₂O₂ içeriğini artırdığı, bununla birlikte enzim aktivitesi, bitki büyümesi, prolin, hormon, K⁺ ve Ca²⁺ içeriği ile fotosentetik parametrelerde düşüş tespit edilmiştir. Maraş çeşidinde ise DNA demetilasyonu meydana gelmiş ve enzim aktivitesi, prolin, hormonlar, K⁺ ve Ca²⁺ içeriğinde artış saptanmıştır. Bu nedenle, Maraş çeşidinde bu biyokimyasal ve moleküler tepkilerle tuz stresini tolere etme yeteneğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlara göre Maraş çeşidinin çalışmada kullanılan diğer iki çeşide göre tuzlu koşullara daha toleranslı olduğu söylenebilir.

2019, 139 sayfa

Anahtar Kelimeler: DNA metilasyonu, enzim aktivitesi, fotosentez aktivitesi, biber, bitki büyümesi, tuz stresi, tohum çimlenmesi

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

EFFECT OF SALT STRESS ON PLANT GROWTH, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS, DNA METYLATION AND SEED GERMINATION OF PEPPER CULTIVARS

Mostafakamal SHAMS

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Horticulture
Vegetable Physiology and Breeding

Supervisor: Prof. Dr. Ertan YILDIRIM

Salinity is one of the most important agricultural problems worldwide, especially in arid and semi-arid areas. Salinity induces epigenetic modifications and hinders the growth of plants. Differential methylation patterns have been studied in different crops under salinity conditions. However, no research has been done on DNA methylation pattern in pepper cultivars under saline conditions. Hence, the current study was aimed to evaluate the effect of different salinity levels [control (0.7), 3.5 and 7 dS/m] on the DNA methylation pattern, plant growth, enzyme activity, amino acids, hormones, mineral matter, H₂O₂ and MDA content, photosynthetic activity, and seed germination of three pepper cultivars (Dolmalık, Çarliston and Maraş) which are commonly consumed in Turkey. The results showed that the three cultivars had different response patterns to salinity. Seed germination parametrs in Dolmalık and Çarliston cultivars were markdely decreased when salinity level increased but the decrease was less in Maraş cultivar. It was highlighted that salinity increased DNA full methylation ratio and H₂O₂ content in Dolmalık and Çarliston cultivars, which was accompanied by a decline in plant growth, photosynthetic parameters, enzyme activity, proline, hormones, K⁺ and Ca²⁺ content. However, DNA demethylation was occured in Maraş cultivar and it was coincided with an increase in enzyme activity, proline, hormones, K⁺ and Ca²⁺ content. Maraş cultivar showed the ability to withstand salt stress with the help of these biochemical and molecular responses. Therefore, it can be concluded that Maraş cultivar is more tolerant to salinity conditions than Dolmalık and Çarliston cultivars.

2019, 139 pages

Keywords: DNA methylation, enzym activity, pepper, photosynthetic activity, plant growth, salinity stress, seed germination

TEŞEKKÜR

İlk aşamada bilimi öğrenmeye izin verdiği için Allah'ma çok şükrederim. Dört yıl boyunca yaşadığım ve bilimsel olarak kendimi geliştirdiği bu güzel ülkenin güzel insanlarına minnettarım.

Çalışmalarım sırasında bilimsel katkıları ile bana yardımcı olan, çalışmalarım süresince bilgi, öneri, deneyim ve görüşlerini her zaman benimle paylaşan, bilimsel vizyonumun oluşmasında büyük emeklerini gördüğüm, değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ertan YILDIRIM'a teşekkür ve saygılarımı sunarım. Tez izleme jürisinde de bulunan bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayarak gösterdiği yardım ve katkıları ile bilgi ve tecrübelerini paylaşan Bahçe Bitkileri Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Atilla DURSUN ve Sayın Prof. Dr. Üstün ŞAHİN'e teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında gerekli imkân ve desteği sağlayan Sayın Prof. Dr. Guleray AGAR ve Sayın Prof. Dr. Metin TURAN'a, ayrıca çalışmalarım sırasında desteklerini gördüğüm Sayın Doç. Dr. Melek EKİNCİ, Sayın Doç. Dr. Murat Aydın, Sayın Doç. Dr. Serkan YILDIRIM, Dr. Esra ARSLAN ve Arş. Gör. Raziye KUL'a teşekkür ederim. Ayrıca eğitim imkânı sağlayan Atatürk Üniversitesi Rektörlüğü ve Fen Bilimleri Enstitüsü yetkilerine teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca beni her konuda destekleyen, sabrını ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen ve ilgilerini eksik etmeyen aileme sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Mostafakamal SHAMS

Şubat, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	5
2.1. Tuzluluğun Bitkilerde Bitki Gelişimi ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi.....	5
2.2. Tuz Stresine Karşı Bitkide Meydana Gelen Mekanizmalar	9
2.2.1. İyon dengesi ve SOS sinyal iletim yolu	10
2.2.2. Antioksidan enzim aktivitesi	11
2.2.3. Karbonhidrat.....	13
2.2.4. Polioller	14
2.2.5. Amino asitler ve amidler	15
2.2.6. Hormonlar	16
2.2.7. DNA metilasyon.....	18
2.2.8. Sekonder metabolitler.....	19
2.2.8.a. Kapsaisinoidler	20
2.2.8.b. Kapsiat.....	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	22
3.1. Materyal.....	22
3.2. Yöntem	23
3.2.1. Denemenin kurulması.....	23
3.2.2. Hoagland solüsyonun hazırlanması.....	27
3.2.3. Sulama uygulamaları	29
3.3. Ölçüm ve Analizler	31
3.3.1. Toprak üstü taze ve kuru ağırlık, kök kuru ve taze ağırlığı.....	31

3.3.2. Yaprak alanı	32
3.3.3. Doku elektrik iletkenliği (DEİ)	32
3.3.4. Doku oransal su içeriği (DOSİ).....	33
3.3.5. Klorofil a ve b.....	34
3.3.6. Stoma İletkenliği, CO ₂ akışı, terleme hızı ve fotosentez aktivitesi	35
3.3.7. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) analizi	36
3.3.8. Lipid peroksidasyon (Malondialdehid -MDA) analizi	37
3.3.9. Prolin miktarı.....	37
3.3.10. Sakkaroz analizi	37
3.3.11. Bitki besin maddesi (N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Si) analizleri	38
3.3.12. Antioksidant enzimlerin (CAT, APX, POD ve SOD) ekstraksiyonu.....	38
3.3.13. Katalaz (CAT- EC: 1.11.1.6) aktivitesinin belirlenmesi	39
3.3.14. Peroksidaz (POD- EC: 1.11.1.7) aktivitesinin belirlenmesi.....	39
3.3.15. Süperoksid dismutaz (SOD – EC: 1.15.1.1) aktivitesinin belirlenmesi	39
3.3.16. Askorbat peroksidaz (APX - EC: 1.11.1.11) enzim aktivitesi	40
3.3.17. Glisin betain konsantrasyonunun belirlenmesi.....	40
3.3.18. Total amino asit konsantrasyonlarının belirlenmesi.....	41
3.3.19. Hormonlar (Sitokininler , gibberellik asit ve absisik asit) analizi	41
3.3.20. CKx analizi.....	43
3.3.21. Kapsaisin ve kapsaite tayini	43
3.4. Genomik DNA Ekstraksiyonu.....	43
3.4.1. CRED-RA analizi.....	44
3.4.2. PCR aşamaları	45
3.5. Tohum Çimlenmesi	45
3.6. İstatiksel Analiz.....	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	47
4.1. Tuz Stresinin Biberde Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi	47
4.1.1. Toprak üstü taze ve kuru ağırlık (g)	47
4.1.2. Kök taze ve kuru ağırlık (g)	48
4.1.3. Yaprak sayısı ve yaprak alanı.....	50

4.2. Tuz Stresinin Biberde Doku Elektrik İletkenliği (DEİ) ve Doku Oransal Su İçeriği (DOSİ) Üzerine Etkisi	52
4.3. Tuz Stresinin Biberde Klorofil <i>a</i> ve <i>b</i> Üzerine Etkisi (mg/g)	54
4.4. Tuz Stresinin Biberde Fotosentez Kapasitesi Üzerine Etkisi	56
4.4.1. Fotosentetik aktivite (Pn) ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ve CO ₂ içeriği (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	56
4.4.2. Stoma iletkenliği (gs) ve transpirasyon oranı (Tr)	58
4.5. Tuz Stresinin Biberde Bitki Besin Element İçeriği Üzerine Etkisi	60
4.5.1. Azot (N) içeriği (%)	60
4.5.2. Fosfor (P) ve potasyum (K) içeriği (mg/kg).....	61
4.5.3. Magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) içeriği (mg/kg)	63
4.5.4. Sodyum (Na) ve klor (Cl) içeriği (mg/kg).....	65
4.5.5. K^+/Na^+ , $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ ve $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$	66
4.5.6. Demir (Fe) ve bakır (Cu) içeriği (mg/kg).....	67
4.5.7. Bor (B) ve silisyum (Si) içeriği (mg/kg)	69
4.6. Tuz Stresinin Biberde Lipit Peroksidasyon (Malondialdehid -MDA) ve Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) İçeriği Üzerine Etkisi	71
4.7. Tuz Stresinin Biberde Katalaz (CAT) ve Peroksidaz (POD) Aktivitesi Üzerine Etkisi.....	73
4.8. Tuz Stresinin Biberde Süperoksit Dismutaz (SOD) ve Ascorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi Üzerine Etkisi	75
4.9. Tuz Stresinin Biberde Prolin ve Sakkaroz İçeriği Üzerine Etkisi	77
4.10. Tuz Stresinin Biberde Glisin Betain ve Toplam Amino Asit İçeriği Üzerine Etkisi	79
4.11. Tuz Stresinin Biberde Absisik Asit (ABA) ve Giberellin (GA ₃) İçeriği Üzerine Etkisi.....	81
4.12. Tuz Stresinin Biberde Sitokinin (CKs) ve Sitokinin Oksidaz (Ckx) İçeriği Üzerine Etkisi.....	82
4.13. Tuz Stresinin Biberde Kapsaisin İçeriği Üzerine Etkisi.....	85
4.14. Tuz Stresinin Biberde Kapsitat İçeriği Üzerine Etkisi	86
4.15. Tuz Stresinin Biberde DNA Metilasyonu Üzerine Etkisi	88
4.16. Tuz Stresinin Biberde Bazı Tohum ve Çimlenme Özellikleri Üzerine Etkisi...	93
4.16.1. Bin tane ağırlığı ve tohum sayısı	93

4.16.2. Tohum çimlenme oranı ve çimlenme hızı	94
4.16.3. Fide gücü ve fide ağırlığı indeksi	97
5. SONUÇ ve TARTIŞMA.....	99
5.1. Bitki Büyüme Parametreleri	99
5.2. Doku Elektrik İletkenliği (DEI) ve Doku Oransal Su İçeriği (DOSİ).....	101
5.3. Klorofil a ve b.....	103
5.4. Pn, Ci, gs ve Tr	104
5.5. Yaprak Mineral Madde İçeriği	105
5.6. H ₂ O ₂ ve MDA	109
5.7. Antioksidan Enzim Aktivitesi	110
5.8. Prolin ve Sakkaroz.....	113
5.9. Glisin Betain ve Toplam Amino Asit.....	114
5.10. Hormonlar	115
5.11. Kapsaisin ve Kapsitat	118
5.12. DNA Metilasyonu	119
5.13. Tohum Çimlenmesi	121
5.14. Sonuç ve Öneriler	122
KAYNAKÇA.....	125
ÖZGEÇMİŞ	139

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Derece santigrad
μmol/g	Mikromol/gram
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
cm	Santimetre
DNA	Deoksiribo Nükleik asit
dS/m	Desisimens / metre
h	Saat
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
KCl	Potasyum klorür
kg	Kilogram
m	Metre
M	Molar
m ²	Metre kare
mg	Miligram
mg/kg	Miligram /kilogram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mM	Milimolar
mmol	Milimol
ng/μl	Nanogram /mikrolitre
nM	Nanometre
P	Önemlilik
pH	Asitlik derecesi
ppm	Milyonda bir
U	Enzim ünitesi
μl	Mikrolitre
μmol	Mikromol

Kısaltmalar

APX	Askorbat Peroksidaz
ATP	Adenozin trifosfat
CAT	Katalaz
dak.	Dakika
EDTA	Etilendiamintetra asetikasit
POD	Peroksidaz
ROS	aktif oksijen türlerinin
rpm	Revolutions per minute
S.D.	Serbestlik derecesi
SAR	Sodium Avalaible Ratio
SOD	Süperoksitdismutaz
TBA	Thiobarbütrik asit
TCA	Trikloroasetik asit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Maraş çeşidi	22
Şekil 3.2. Çarliston çeşidi	23
Şekil 3.3. Kandil Dolma çeşidi	23
Şekil 3.4. Yeni çıkış yapan biber fidelerinin görünümü	24
Şekil 3.5. Denemeden genel bir görünüm.....	25
Şekil 3.6. Meyve olum zamanında denemeye ait bir görünüm.....	26
Şekil 3.7. 2016 ve 2017 yıllarında seradaki aylık ortalama minimum ve maksimum sıcaklık değerleri.....	27
Şekil 3.8. Stok çözelti hazırlığı.....	29
Şekil 3.9. Topraktaki tuz konsantrasyonunu ölçmeye yarayan cihaz	30
Şekil 3.10. Topraktaki tuz konsantrasyonunu ölçmeye yarayan cihaz	31
Şekil 3.11. Yaprak alanı ölçülmesine ait bir görünüm	32
Şekil 3.12. Doku Elektrik İletkenliği ölçülmesine ait bir görünüm	33
Şekil 3.13. Doku Oransal Su İçeriği ölçülmesine ait bir görünüm	34
Şekil 3.14. Klorofil belirlenmesine ait bir görünüm	35
Şekil 3.15. Çalışmada kullanılan LI-6400XT (LI-COR, USA) portatif fotosentez ölçer.....	36
Şekil 3.16. PCR ürünleri jel elektroforezi cihazı ile yürütülmesi	44
Şekil 3.17. Tohum çimlenmesine ait bir görünüm.....	46
Şekil 4.1. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde genomik DNA'sının CRED-RA bantları	91
Şekil 4.2. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde genomik DNA'sının CRED-RA bantları	92
Şekil 4.3. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde genomik DNA'sının CRED-RA bantları	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Besin eriyi içeriği.....	28
Çizelge 3.2. Stok çözeltilerin miktarları	28
Çizelge 3.3. 1 litre stok çözelti hazırlamak için gerekli kimyasallar	28
Çizelge 4.1. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde toprak üstü taze ve kuru ağırlığa ait varyans analiz sonuçları.....	47
Çizelge 4.2. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde toprak üstü taze ve kuru ağırlığı	48
Çizelge 4.3. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde kök taze ve kuru ağırlığa ait varyans analiz sonuçları	49
Çizelge 4.4. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde kök taze ve kuru ağırlık	50
Çizelge 4.5. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde yaprak alanı ve yaprak sayısına ait varyans analiz sonuçları	51
Çizelge 4.6. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde yaprak alanı (cm ² /bitki) ve yaprak sayısı.....	52
Çizelge 4.7. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde doku elektrik iletkenliği (DEI) (%) ve doku oransal su içeriğine (DOSİ) (%) ait varyans analiz sonuçları	53
Çizelge 4.8. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde doku elektrik iletkenliği ve doku oransal su içeriği.....	54
Çizelge 4.9. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde klorofil a ve klorofil b miktarına ait varyans analiz sonuçları	55
Çizelge 4.10. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde klorofil a ve klorofil b miktarı	56
Çizelge 4.11. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde Pn ve Ci'ye ait varyans analiz sonuçları	57
Çizelge 4.12. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde net Pn (μmol m ⁻² s ⁻¹) ve Ci (μmol mol ⁻¹) içeriği.....	58

Çizelge 4.13. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde gs ve Tr ait varyans analiz sonuçları.....	59
Çizelge 4.14. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde gs ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ve Tr ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	59
Çizelge 4.15. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde azot (N) içeriğine ait varyans analiz sonuçları	60
Çizelge 4.16. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinin azot içeriği.....	61
Çizelge 4.17. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde fosfor (P) ve potasyum (K) içeriklerine ait varyans analiz sonuçları	62
Çizelge 4.18. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber P ve K içeriği.....	62
Çizelge 4.19. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde magnezyum ve kalsiyum konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları	64
Çizelge 4.20. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) içeriği	64
Çizelge 4.21. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde Na^+ ve Cl^- içeriğine ait varyans analiz sonuçları	66
Çizelge 4.22. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde Na^+ ve Cl^- içeriği.....	66
Çizelge 4.23. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde Na ve Ca, K ve Mg oranı.....	67
Çizelge 4.24. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde demir ve bakır içeriğine ait varyans analiz sonuçları	68
Çizelge 4.25. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde Fe ve Cu içeriği.....	69
Çizelge 4.26. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde B (B) ve Si (Si) içeriğine ait varyans analiz sonuçları	70
Çizelge 4.27. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde B ve Si içeriği.....	71
Çizelge 4.28. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde MDA ve H_2O_2 içeriğine ait varyans analiz sonuçları	72
Çizelge 4.29. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde MDA (ng/ul) ve H_2O_2 ($\mu\text{mol/g}$) konsantrasyonu	73

Çizelge 4.30. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde CAT ve POD aktivitesine ait varyans analiz sonuçları	74
Çizelge 4.31. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde CAT ve POD aktivitesi	75
Çizelge 4.32. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde SOD ve APX aktivitesine ait varyans analiz sonuçları	76
Çizelge 4.33. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde SOD ve APX aktivitesi	76
Çizelge 4.34. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde prolin ve sakkaroz miktarına ait varyans analiz sonuçları	78
Çizelge 4.35. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde prolin ve sakkaroz miktarı	78
Çizelge 4.36. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde glisin betain ve toplam amino asit miktarına ait varyans analiz sonuçları	80
Çizelge 4.37. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde glisin betain ve toplam amino asit miktarı	80
Çizelge 4.38. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde ABA ve GA3 içeriğine ait varyans analiz sonuçları	81
Çizelge 4.39. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde ABA ve GA3 içeriği	82
Çizelge 4.40. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde CKs ve CKx miktarına ait varyans analiz sonuçları	83
Çizelge 4.41. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde CKs (ng/ul) ve CKx (ng/ul) miktarına ait varyans analiz sonuçları	85
Çizelge 4.42. Tuz stresi altında yetiştirilen Maraş çeşidinde kapsaisin konsantrasyonu etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları	86
Çizelge 4.43. Tuz stresi altında yetiştirilen Maraş çeşidinde kapsaisin miktarı	86
Çizelge 4.44. Tuz stresi altında yetiştirilen Çarliston ve Dolmalık biber çeşitlerinde kapsitat miktarına ait varyans analiz sonuçları	87
Çizelge 4.45. Tuz stresi altında yetiştirilen Çarliston ve Dolmalık biber çeşitlerinde kapsitat miktarı	87

Çizelge 4.46. İzoschizomerler EcoR I/ <i>HpaII</i> ve EcoR I/ <i>MspI</i> 'nin metilasyon duyarlılığı ve kısıtlama modeli; 0: bant yok, 1: bant mevcut Altı çizili sitosin metile olmuştur	88
Çizelge 4.47. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde CRED-RA bant tipinin oluşumu.....	89
Çizelge 4.48. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde metilasyon seviyeleri	90
Çizelge 4.49. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde polimorfizm durumu	91
Çizelge 4.50. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde bin tohum ağırlığı ve meyve başına tohum sayısına ait varyans analiz sonuçları.....	93
Çizelge 4.51. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde bin tohum ağırlığı (g) ve meyve başına tohum sayısı	94
Çizelge 4.52. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde çimlenme oranı ve çimlenme hızına ait varyans analiz sonuçları	95
Çizelge 4.53. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde tohum çimlenme oranı ve tohum çimlenme hızı	96
Çizelge 4.54. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde fide ağırlığı indeksi ve tohum gücü indeksine ait varyans analiz sonuçları.....	98
Çizelge 4.55. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde fide ağırlığı indeksi ve fide gücü indeksi.....	98

1. GİRİŞ

Dünya'daki bitki üretimi çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörleri tarafından önemli oranda etkilenmektedir. Çevresel koşulların ve iklim koşullarının değişimi nedeniyle Dünya'nın birçok bölgesinde tarımsal üretim üzerine çevresel stres faktörlerinin olumsuz etkisinin artacağı bildirilmektedir (Denby and Gehring 2005). Dünya'da ekilebilir alanların yalnızca %10'unun bazı stres faktörlerini bulundurmadağı tahmin edilmektedir. Potansiyel verim ile elde edilen verim arasındaki ilişki çevresel stres faktörlerine bağlıdır.

Tuz, dünyada özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda en önemli tarımsal problemlerden biridir (Foolad and Lin 1997). Dünyada sulanan alanların %19,5'i, sulanmayan alanların ise %2,1'i tuz problemi ile karşı karşıyadır (FAO 2005). Tarım yapılan toprakların dünyada yaklaşık %40'ının tuz tehdidi altında olduğı ifade edilmiştir (Serrano and Gaxiola 1994). Sulanabilir toprakların dünyada %20'sinin tuz ile etkilendiğı tespit edilmiştir (Ghassemi *et al.* 1995). Hidrolojistler dünya yüzeyinde 1400 milyon km³ su bulunduğunu ve bunun %97,4'lük bir oranının tuzlu su olduğunu ileri sürmektedirler. Tuzlu sular tarafından dünyada sulanabilir 237 milyon hektarlık alanın, 30 milyon hektarlık bölümünün zarar gördüğü, 80 milyonluk kısmının ise değişik düzeylerde etkilendiğı ifade edilmektedir (Lopez and Satti 1996).

Türkiye'de 1,5 milyon ha alanda tuz problemi bulunmaktadır. Bu alanların %60'ı tuzlu, %19,6'sı orta derecede tuzlu, %0,4'ü orta derecede alkali, %12'si hafif tuzlu-alkali, %8'i ise orta derecede tuzlu-alkali olarak sınıflandırılmaktadır (Anonymous 2008). Bu halde Türkiye'de tuzluluğun ilerde yaygınlaşan ciddi bir stres ve tehdit faktörü olabileceğı tahmin edilmektedir.

Tuz stresinin bitkilerde büyüme ve gelişme üzerindeki olumsuz etkisi tuz konantrasyonuna, tuzun içeriğine, bitkinin özelliğine, strese maruz kalma süresine ve bitkinin gelişme dönemine göre değişebilmektedir (Rao *et al.* 2006). Stres altında yetişen bitkilerde metabolik aktivite ve fotosentez faaliyetleri negatif etkilenmekte, bu durum

bitkinin büyüme ve gelişimini yavaşlatmakta, hatta bitkinin ölümüne yol açabilmektedir. Bitkiler tuz stresine bazı fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler tepkiler vererek tolerans gösterebilmektedir. Tuz stresine karşı bitkilerin tolerans mekanizmaları; Na^+ ve Cl^- gibi iyonların hücrelerde vakuollerde biriktirilmesi, fazla iyonların farklı organlardan atılması, kökten sürgün ve yapraklara bu iyonların sınırlı iletimi, antioksidan sistemlerin aktivasyonu, osmo-regülatörlerin sentezlenmesi ile bazı genlerin ifadesi şeklinde tanımlanmaktadır (Çulha and Çakırlar 2011). Tuz stresi, kök ortamında osmotik etki yaparak su alımını engeller ve bitki tarafından alınabilir su miktarını azaltır, bu durum “fizyolojik kuraklık” olarak bilinmektedir (Parida and Das 2005; Tuteja 2007). Hücre genişlemesinin azalması ve sürgün gelişiminin yavaşlaması kullanılabilir su miktarının azalması sonucu ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan, tuzluluğa neden olan Na^+ ve Cl^- elementleri K^+ , Ca^{+2} ve NO_3^- gibi diğer iyonlarla rekabet ederek bitki beslenmesinde son derece önemli olan bu iyonların bitki tarafından alımının engellenmesi dolayısı ile besin noksanlığı görülebilmektedir (Hu and Schmidhalter 2005). Osmotik etki ve besin elementi dengesizliği yanında tuz stresi ayrıca bitkiler üzerinde tuzluluğu oluşturan Na^+ ve Cl^- gibi iyonların neden olduğu toksik etki yapabilmektedir. Tuzlu koşullar bitkilerde aktif oksijen türlerinin oluşumuna neden olabilmektedir. Aktif oksijen türleri bitkide DNA, protein, klorofil ve hücre zarı yapısını bozmakta, fotosentezi engellemekte ve sonunda hücre ölümüne neden olabilmektedir (Botella *et al.* 2005).

Solanaceae familyasının önemli türlerinden biri olan biber (*Capsicum annuum* L.), dünyanın hemen her bölgesinde yetiştirilmektedir. Ülkemizde de Kahramanmaraş, Samsun, Gaziantep, Adıyaman, Urfa ve Hatay illerinin bazı yörelerinde tarla tarımı ile İçel, Antalya, İzmir ve Muğla illerinde ise seralarda üretimi önemli bir yere sahiptir (Baytorun 1995). Meyveleri taze olarak tüketildiği gibi toz biber, konserve, turşu ve salça yapımında kullanılmakta, bu durum biberin sebze tarımı içerisindeki önemini arttırmaktadır. Ayrıca, sindirimi kolaylaştırması, kanser riskini azaltması, çeşitli ağrılara iyi gelmesi, doğal yatıştırıcı ve anti bakteriyel özellikte olması biberi insan beslenmesinde önemli kılmıştır (Bosland *et al.* 2012).

Kırmızı, sarı, turuncu, yeşil gibi farklı renklerde olabilen biber meyveleri, acı ve tatlı çeşitleri ile sebze ve baharat olarak kullanılmaktadır. C vitamini açısından oldukça zengin olduğu bilinmekte ve iştah açıcı, mideyi kuvvetlendirici, hazmı kolaylaştırıcı, etkilerinin olduğu belirtilmektedir. Bir adet büyük (45 g) biber; 18 kalori, 530 IU A vitamini, 109 mg C vitamini, 0,3 g E vitamini, 6,4 mcg K vitamini, 10,4 mcg folat içermektedir. B2, B3 ve B6 vitaminleri de acı biberde bulunan diğer vitaminlerdir. 100 g acı biberde; 0,2 g mangenez, 1,2 g demir, 18 mg Ca, 25 mg Mg, 46 mg P, 340 mg K, 0,3 mg Zn bulunmaktadır (Bosland *et al.* 2012). Biber, antioksidan özelliği yanında C ve E vitaminleri, provitamin A, karotenoidler, tokoferoller, flavonoidler ve fenolik asitler için iyi bir kaynaktır (Kim *et al.* 2011).

Kırmızı biber hem dünyada ve hem Türkiye’de büyük ölçüde üretilmekte olup, taze ve kurutulmuş olarak tüketilmektedir. Ancak ülkemiz, taze biber üretiminde dünyada ikinci sırada yer almasına karşın, baharatlık kuru kırmızı biber üretiminde %1’den daha düşük bir paya sahiptir. Bununla birlikte, dünyada en çok baharat kullanan ülkeler arasında ilk sıralarda yer alan ülkemizde kırmızı biber diğer bir ifadeyle pul biber oldukça yaygın bir şekilde tüketilmektedir.

Biber üretimi bakımından Çin toplam 709.150 ha alanda 16.023.500 ton biber üretimi ile ilk sırada, Meksika (136.132 ha alanda 2.379.736 ton) ise ikinci sırada yer almaktadır (FAO 2014). Türkiye 2014 yılında 2.072.132 ton biber üretimini 96.000 ha alanda gerçekleştirmiş ve bu değer dünyadaki toplam biber üretiminin %6’sına karşılık gelmektedir (FAO 2014). Verim bakımından incelendiğinde ülkemiz dekardan alınan 2158 kg verimle Dünya’da 36. sırada bulunmaktadır. Dünya toz ve pul biber üretimi 2,8 milyon ton olup, bunun %44’ü Hindistan, %9,5’i Çin ve %5,6’sı Bangladeş gerçekleştirilmiştir. Türkiye ise %0,6’lık bir üretim payı ile 20. sırada yer almaktadır (FAO 2014).

Yapılan araştırmalar biberin farklı gelişim dönemlerinde tuz stresine hassas veya yarı hassas olduğunu göstermiştir (Aktas *et al.* 2006; Yildirim and Güvenç 2006; Bosland *et al.* 2012). Bu çalışmada, Türkiye’de yaygın yetiştiriciliği yapılan biber çeşitleri

içerisinden seçilen 3 farklı (Dolmalık, Çarliston ve Maraş) çeşidin tuz stresine tolerans durumu, bitki gelişimi, bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikler ile bazı tohum özellikleri ve tohum çimlenmesi üzerine etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, çeşitlerin tuz stres koşullarına karşı geliştirdikleri fizyolojik ve biyokimyasal tolerans mekanizmalarının belirlenmesi, antioksidatif ve fitohormon savunma mekanizmalarının tuza tolerantlık sağlayan mekanizmalarında rolünün bulunup bulunmadığının incelenmesi ve DNA metilasyon durumunun araştırılması amaçlanmıştır.



2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

2.1. Tuzluluğun Bitkilerde Bitki Gelişimi ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi

Tuz stresi bitkilerin gelişmesini ve büyümesini osmotik ve iyon stresine neden olarak engeller (Alscher and Cumming 1990; Çulha and Çakırlar 2011). Kök atmosferinde tuz konsantrasyonunun artışıyla birlikte ilk olarak osmotik stres oluşturmaktadır. Ortaya çıkan bu çevresel osmotik stres, kullanılabilir su miktarının da azalmasına sebep olmakta ve bu olay “fizyolojik kuraklık” olarak da adlandırılmaktadır. Kullanılabilir su miktarının azalmasıyla beraber, hücre genişlemesinin azalmasına ve sürgün gelişiminin yavaşlamasına sebep olmaktadır. Kök atmosferinde osmotik stresin devamında ortaya çıkan iyon stresi, ortamda artan Na^+ ve Cl^- iyonlarının K^+ , Ca^{+2} ve NO_3^- gibi gerekli besin elementleri ile rekabete girmesiyle bitkilerde, besin noksanlığı veya besin dengesizliği meydana gelebilmektedir (Marschner 2012).

Tuz bitkiler üzerindeki doğrudan etkisini osmotik ve iyon stresi oluşturarak gösterirken, dolaylı etkisini (sekonder etki) bu stres faktörleri sonucunda bitkide meydana gelen yapısal bozulmalar ve toksik bileşiklerin sentezlenmesi ile göstermektedir. DNA, protein, klorofil ve zar fonksiyonuna zarar veren ROS sentezi; fotosentezin engellenmesi, metabolik toksisite; K^+ alımının azalması ve hücre bozulmasını NaCl 'nin bitki üzerindeki sekonder etkisi olarak ifade edilmektedir. Tuz stresinin etkisi, bitkinin türü, uygulanan tuz çeşidi ile konsantrasyonu ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişmektedir. Tuzlu koşullarda bitkiler genotipik farklılıklara bağlı olarak çok farklı tepkiler göstermektedir. Tuzluluğa karşı verilen bu farklı tepkiler türler arasında değişebileceği gibi aynı tür içindeki genotipler arasında da farklılık gösterebilmektedir (Curie and Briat 2003; Ashraf *et al.* 2010; Downen *et al.* 2012). Sahin *et al.* (2018) yüksek tuz seviyelerinin fotosentetik aktiviteyi olumsuz etkilediği, bu durumun, stomaların kapanmasına bağlı olarak gerçekleşen stoma kaynaklı sınırlamalar, stoma kaynaklı olmayan sınırlamalar veya her iki sınırlamanın etkisinde olabileceğini bildirmişlerdir.

Oksijen (O_2) oranı bitkiler ve tüm aerobik canlılar için oldukça önemlidir. Normal şartlar altında O_2 bitki büyümesi ve gelişmesi için gerekli iken, miktarı gereğinden fazla çoğaldığı zaman, Ribüloz bifosfat karboksilazın inhibisyonu yoluyla büyümeyi inhibe etmekte ve C_3 bitkilerde ribüloz bisülfat oksijenazı aktive ederek fotosentez etkinliğini azaltmaktadır (Raven 1991). Bu nedenle, O_2 miktarı hücrede sürekli azalarak çeşitli aktif oksijen türlerini oluşturmaktadır. Normal şartlarda bitki hücreleri ROS'ları sürekli kloroplastlarda, mitokondride de elektron taşıma sisteminde ve peroksizom da üretilmekte ve normal şartlar altında bu ROS'ların konsantrasyonunu antioksidanlar ve farklı korunma sistemleri ile aşağı seviyede tutulmaktadır. Fakat, çevresel stres faktörlerinin (tuz, kuraklık, yüksek veya düşük sıcaklık, UV, ozon gibi) etkisi altında antioksidan sistemlerin aktiviteleri azalmakta ve bu durumda ROS'ların sentezlenmesini hızlandırarak birikimine yol açabilmektedir (Suzuki *et al.* 2012).

Çevresel stres şartlarda üretilen ROS'lar bitkilerin hücrelerinde protein oksidasyonuna, lipid peroksidasyonuna neden olmakta, ayrıca antioksidan enzimleri inhibe etmekte, klorofili tahrip etmekte ve RNA ile DNA da hasarlara ve metilasyona sebep olmaktadır (Mittler 2002). Öte yandan, ROS'lar bitkilerin savunma mekanizmalarının aktifleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu ROS'lar hücrelerin hormonal sinyal üretiminde, hücre zarı polimer yapısının değişiminde, bitki-çevre ilişkilerinde ve genlerin ekspresyonlarında önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir (Swanson and Gilroy 2010).

Aquaporinler, biyolojik membranlar boyunca suyun geçirgenliğini kolaylaştıran ve düzenleyen zar kanalı proteinler olup ve plazma zarı ve tonoplastta bulunmaktadır. Bu durum membranların su geçirgenliğini düzenlemekte ve sitozol veya vakuölün içine ve dışına giden su akışını kontrol edebilmektedir (Baiges *et al.* 2002). Aquaporin işlevselliğinin Ca^{2+} tarafından kontrol edilebileceği bildirilmiştir (Johansson *et al.* 1996). Ca^{2+} , tuz stresi altında büyüyen bitkilerin su taşınımında önemli bir rol oynadığı görülmektedir (Cabañero *et al.* 2004). Yapılan bir çalışmada tuz stresi altında yetiştirilen biber bitkilerine NaCl (50 mM), $CaCl_2$ (10 mM), ve $CaCl_2$ (10 mM) + NaCl (50 mM) uygulanmıştır. Bu uygulamalardan sonra apoplastta kalsiyum konsantrasyonunun azaldığı görülmüştür. Tuz stresi (NaCl 50 mM) ve Ca^{2+} noksanlığı altında yetiştirilen

bitkilerden elde edilen protoplastlar, aquaporin işlevselliğini azalttığını göstermiş ancak CaCl_2 (10 mM) + NaCl (50 mM) uygulamasının aquaporin işlevselliğini aktifleştirdiğini ve bitkilerin tuz stresi toleransını arttırdığı belirlenmiştir (Cabañero *et al.* 2006).

Martinez-Ballesta *et al.* (2004) tarafından biberde yapılan bir çalışmada NaCl ve KCl etkisi ozmotik ayarlama, su ilişkileri ve gaz değişimini incelemiştir. NaCl ve KCl uygulamasından sonra kök hidrolik iletkenliğinde, gs ve CO_2 'nin net asimilasyonunda azalmanın olduğunu gözlemlemiştir. Sakkaroz, turgoru korumak için bitkilerin biriktirdiği ana karbonhidrat olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada 7 farklı biber çeşidinin tuz ve kurak koşullarda tepkileri incelenmiştir. Bu çalışmada fotosentez, gs ve terleme tuz stresi şartlarda önemli seviyede azalmıştır. Tuz altında Ψ_s (Ozmotik potansiyel) ve Ψ_w (Su potansiyel)'nin düştüğü ve prolin içeriğinin arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte kuraklık stresi altında prolin artışı gözlenmemiştir (Serrano *et al.* 2017).

Sodyum klorürün ortamda fazla bulunması halinde bitkiler tarafından Na^+ iyonunun gereğinden fazla alındığı ve oluşan rekabet nedeniyle K iyonu alımında azalmaların olduğu ve bu nedenle K^+ eksikliğinin ortaya çıktığı belirtilmektedir. (Ashraf 1994; Yildirim *et al.* 2008). Chow *et al.* (1990)'nın yapmış olduğu araştırmada, ıspanak bitkilerin yaprak ve gövdesinde artan sodyumun, potasyum üzerinde belirgin bir şekilde etkisinin bulunmadığı, köklerde artan tuzla birlikte potasyum alımının azaldığını belirlemiştir. Bitki genotiplerinin farklı oranlarda Na^+ ve K^+ iyonu absorbanı ve böylece bünyelerinde farklı K^+/Na^+ iyonu oranlarına sahip olmasının tuzluluğa tolerans konusunda büyük rol oynadığı kanıtlanmıştır (Heimler *et al.* 1995; Lopez and Satti 1996).

NaCl ve KCl uygulamalarının biber de bitki su alımına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, Na ve K'nın bitkide toksik etki yaptığını ve bu toksik etkinin bitkinin su alımını negatif yönde etkilediği tespit edilmiştir. En fazla olumsuz etkinin Na uygulamasında görüldüğü ve uygulanan Na^+ ve K^+ 'nın bitkide ozmotik etkiyi azalttığı belirtilmiştir (Martinez-Ballesta *et al.* 2004).

Yapılan bir çalışmada Sonar ve Lamuyo hibrit biber çeşitlerinde bitkilere farklı dozlarda (0, 10, 25, 50, 100 ve 150 mM) uygulanan NaCl'nin çimlenme, bitki ve meyve gelişimi üzerine etkisi incelenmiştir. Tohum çimlenmesini 50 mM tuz uygulaması geciktirirken, 100 ve 150 mM dozlarındaki NaCl uygulaması çimlenmeyi engellemiştir. 10 mM'dan daha yüksek konsantrasyonlarda bitki gelişimi yavaşlarken, 25 mM ve üstünde tuz uygulanan ortamlarda yetiştirilen bitkilerde bitki boyu, kuru ağırlık ve yaprak alanlarında azalma meydana geldiği ve bu bitkilerde köklerde Na⁺ birikimi artarken, Cl⁻ iyonlarının yapraklarda artış gösterdiği belirlenmiştir. Meyve verimi her iki çeşitte de azalmış, 150 mM'da yetiştirilen bitkilerde kontrol bitkilerine oranla %95 oranında azalma olduğu gösterilmiştir. Araştırmacılar çalışma sonunda tuz stresine Lamuyo hibrit çeşidinin Sonar çeşidinden daha hassas olduğunu bildirmişlerdir (Chartzoulakis and Klapaki 2000).

Sera koşullarında tuz stresi altında 5 farklı biber çeşidi üzerinde yürütülen bir çalışmada tuz toleransı, çimlenme, çıkış gücü, vejetatif büyüme, çiçeklenme ve meyve verimi gibi aşamalar incelenmiştir. Sulama suyu tuzluluğunun artışı ile, ortalama çimlenme süresini artırdığı, ancak çimlenme oranının etkilenmediği tespit edilmiştir. Sulama suyu tuzluluğunun artışı, çimlenme süresini arttırmıştır, ancak çimlenme oranını sadece EC $\geq$ 3 dS / m'den sonra yüksek seviyede etkilenmiştir. Artan tuz; fotosentez, gs, çiçeklenme, meyve ağırlığı ve su kullanım verimliliğini azaltmıştır (Baath *et al.* 2017). Benzer şekilde yapılan bir çalışmada tuz stresi domateste çimlenme oranı, fidelerin yaş ağırlıklarının azalmasına sebep olmuştur (Arin and Kiyak 2003).

Lycoskoufis *et al.* (2005) tarafından yapılan bir çalışmada tuzlu şartlarda acı biberin tepkisi incelenmiş ve bu çalışmada tuz stresi net fotosentez, yaprak klorofil içeriği, gövde ve kök kuru ağırlığının belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Tuz, yaprak K, Ca ve Mg içeriğini önemli ölçüde azaltmıştır. Benzer şekilde, biberde tuzlu şartlarda bitki büyümesi, biyokütle ve fotosentetik parametrelerin önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir (Manivannan *et al.* 2016).

Yürütülen diğer bir çalışmada tuz stresi altında hassas biber çeşitlerinde CAT ve APX aktiviteleri azalmış ve MDA ise artmıştır. Tolerant çeşitlerde tuz stresi tam tersine CAT

ve APX aktivitelerinin artmasına sebep olmuş ve MDA miktarının artışı engellenmiştir (Penella *et al.* 2016).

Demir ve Ellis (1994) tarafından yapılan bir araştırmada on biber çeşidine çiçeklenmeden sonra 30 ile 90 gün arasındaki sürede hasat edilen tohumlara ozmotik koşullar (-1,0 MPa PEG 6000, 7 gün, 20°C) uygulanmıştır. Tohumlarda ozmotik koşulların çimlenme ve depolama ömrü üzerine etkisi araştırılmıştır. Çimlenme üzerine en olumlu etki çiçeklenmeden 50 gün sonra hasat edilen tohumlarda görülmüştür. En uzun depolama ömrü 40°C'de %10 oransal nemde 49 gün hava geçirmeyen koşullarda muhafaza edilen tohumlarda saptanmıştır.

Tuza tolerans bakımından farklı biber bitkilerinin fide ve çimlenme dönemlerinde genetik potansiyellerini ortaya koymak amacıyla, biber çeşitlerinin çimlenme ve çıkışı üzerine tuzluluğun etkisini belirlemek için yapılan araştırmada, biber bitkisinde artan tuz konsantrasyonunun çimlenme oranında azalmaya neden olduğu belirtilmiştir (Yıldırım ve Güvenç 2006).

2.2. Tuz Stresine Karşı Bitkide Meydana Gelen Mekanizmalar

Tuzlu koşullarda bitkilerin gelişimi ve yaşama kapasitesi tuz toleransı olarak tanımlanmaktadır (Parida and Das 2005). Bitkiler tuz stresi şartlarında aşağıda belirtilen bazı biyokimyasal ve moleküler mekanizmalarla yaşam döngüsünü sürdürmektedir (Munns and Tester 2008);

- a) İyonların uzaklaştırılması ya da seçici birikim,
- b) İyonlarının kökler tarafından kontrollü absorpsiyonu ve yapraklara transferi,
- c) Bitkilerin tüm organlarında iyonların lokalizasyonu,
- d) Fotosentetik yolda değişim,
- e) Ozmo-regülatörlerin sentezi,
- f) Antioksidatif enzimlerin aktivitesi,
- g) Hücre membran yapısında değişim,

h) DNA metilasyon

2.2.1. İyon dengesi ve SOS sinyal iletim yolu

Bitkiler tuzlu koşullarda canlılığı; yüksek Na^+/K^+ oranına sahip çevrelerde uygun sitozolik Na^+/K^+ oranını kaybetmeyerek ve koruyarak, sitoplazmaki Na^+ konsantrasyonunu toksik seviye ulaşmasını engelleyerek ve turgor basıncının devamlılığı için yeterli miktardaki su girişini koruyarak sağlamaktadırlar (Reinhold and Guy 2002).

Toprak ortamında bulunan NaCl 'e doğrudan maruz kalan bitki köklerinde Na^+ 'un girişi pasif olarak gerçekleşmektedir. Bu pasif giriş, kolaylaştırılmış difüzyon veya iyon kanalı şeklindeki taşıyıcılarla LCT (düşük afiniteli katyon kanalları), NSCC (seçici olmayan katyon kanalları) ve HKT (yüksek afiniteli K^+ kanalları) ile sağlanmaktadır. Bu taşıyıcılar bitkilerin çeşitlerine ve türlerine ve hatta büyüme şartlarına göre değişmektedir (Apse and Blumwald 2007). Na^+ ilk olarak toprak solüsyon ortamında kök epidermisi ve korteksine taşınır. Epidermise taşıyıcılar aracılığıyla giren Na^+ , taşıyıcılar veya plazmadestmlar vasıtasıyla merkezi silindire, oradan da ksileme taşınmaktadır. Bu taşınma yolu simplastik yolu olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, CHX (katyon/ proton değiştirici) benzeri katyon/ H^+ taşıyıcıları Na^+ 'un endodermal hücrelerden merkezi silindirin apoplastına taşınımını sağlamakta ve böylece ksileme taşınım apoplastik yolla da gerçekleşmektedir. Ayrıca Na^+ , apoplastik yol ile hücre dışı matriksini de kullanarak suya ve suda çözünmüş maddelere karşı geçirgen olmayan kaspari şeridinin mevcut endodermisine kadar taşınırlar. Bu yolun devamında hücreye girerek simplastik yol ile kaspari şeridini geçmektedir (Botella *et al.* 2005).

Na^+ 'un köke giriş yaptıktan sonra bir kısmı sürgüne doğru taşınmakta, bir kısmı ise hücrelerin vakuollerinde vakuol tipi Na^+/H^+ taşıyıcıları (NHX) aracılığı ile depolanmaktadır. Bu nedenle taşınan Na^+ oranı sürgünde az olmaktadır. Na^+ , merkezi silindirden ksileme hücre zarına bağlı Na^+/H^+ taşıyıcıları (SOS1) ile yüklemektedir. Yapraklarda Na^+ 'un ksilemden parankima hücrelerine taşınımı Na^+ 'a karşı seçici olmayan uniportlarla ve NSCC kanallarıyla gerçekleşmektedir. Yaprakta biriken fazla

Na^+ , SOS1'ler ile ksileme geri yüklenerek veya floem döngüsüne katılarak köke geri dönebileceği gibi NHX aracılığıyla vakuolde birikerek azalmaktadır (Botella *et al.* 2005). Kökte ise Na^+ 'un ksilemden köke geri yüklenmesi Na^+ 'a karşı seçici olmayan uniportlar (HKT ve Nax) aracılığıyla gerçekleşmektedir. Na^+ 'un floemden köke geri taşınmasıyla ilgili mekanizma tam olarak aydınlatılamamış olmasına rağmen, Arabidopsis ile yapılan çalışmalarda, Na^+ 'un sürgünde floeme aktarılaraq köke geri gönderilmesine, AtHKT1 geninin ürünü olan Na^+ taşıyıcılarının aracılık ettiği tespit edilmiştir (Berthomieu *et al.* 2003; Apse and Blumwald 2007).

Farklı mekanizmalar geliştiren bitkiler ozmotik ve iyon dengelerini muhafaza ederek tuz stresine karşı tolerans göstermektedir. Sekonder etkiler ve zararların bitkilerde yüksek tuz konsantrasyonu hücre içi iyon dengesizliğine ve ozmotik strese sebep olduğu bilinmektedir. Bu yüzden osmoprotektan bileşiklerin (bazı şeker alkoller, glisin betain ve prolin) biriktirilmesi ile ozmotik denge sağlanmaktadır (Demir and Kocaçalışkan 2001; Yokoi *et al.* 2002).

Tuz stresi şartlarında, biberde dışarıdan uygulanan KNO_3 bileşiğinin, yaprak ve köklerde K^+ ve klorofil içeriğini arttırdığı, stres parametrelerini hafiflettiği, özellikle kalsiyum ve potasyumun bitkiyi tuz stresinden bir ölçüde koruduğu ve stresten etkilenme derecesini azalttığı saptanmıştır (Kaya and Higgs 2003). Örnek olarak; 12,5 mM oranında Ca^{2+} uygulamasıyla mısır bitkilerde Na^+ (71 mM) hasarları azalmış ve bitkinin strese karşı toleransının arttığı ve tuzdan daha az etkilendiği bildirilmiştir (Cramer 2002). K^+ 'nın birçok enzim için kofaktör olduğu ve Ca^{2+} 'nın dışarıdan uygulanmasıyla NaCl'nin zararlı etkisini azaltılabileceği tuz stresine maruz bırakılan bitkilerde tespit edilmiştir (Hasegawa *et al.* 2000).

2.2.2. Antioksidan enzim aktivitesi

Normal büyüme koşullarda bitkilerde üretilen ROS türleri düşük miktarlarda belirlenmiştir. Buna rağmen, ROS'lerin üretimi birçok çevresel stres faktörleri tarafından teşvik edilmektedir (De Pascale *et al.* 2003; Ashraf and Harris 2004). Yüksek tuz

seviyelerinin hücrel elektron transportunda bozulmalara ve hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksit ($O_2^{\cdot-}$), hidroksil radikali ($\cdot OH$) ve singlet oksijen (1O_2) gibi ROS'lerin oluşumuna sebep olduğu rapor edilmiştir (Liang *et al.* 2018). Sitotoksik etkilere neden olan ROS'ler peroksidasyon reaksiyonlarına neden olarak proteinler, lipitler ve nükleik asitler gibi önemli biyomoleküllere zarar vermektedir. Bu nedenle, hücre içerisindeki ROS seviyelerinin optimum sınırı geçmemesi gerektiği bildirilmiştir (Munns and Tester 2008).

Tuz stresi hasarının görüldüğü primer bölgelerin membranlar olduğu ileri sürülmüştür (Shannon and Grieve 1998). Zira ROS'leri doymamış yağ asitleri ile etkileşime girerek plazmalemma veya intraselüler organellerdeki membran lipitlerinin peroksidasyonuna neden olmaktadır. Diğer taraftan, ROS'lerin bitkilerin büyüme ve metabolizması üzerine birçok zararlı etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca hücre sinyali, gen regülasyonu ve programlı hücre ölümü gibi birçok fizyolojik olayda önemli rol oynadığı bilinmektedir (Candan and Tarhan 2003; Laloi *et al.* 2004; Gechev *et al.* 2006). Örnek olarak, patojenler için apoplastlarda bulunan H_2O_2 'nin toksik olduğu ve gen transkripsiyonunda aktif rol oynadığı rapor edilmiştir (Horemans *et al.* 2000; Smirnov 2000).

Bitkiler serbest radikal oksidatif strese karşı tamir, koruyucu, fiziksel savunma ve antioksidan savunma mekanizmalarını geliştirmiştir. Antioksidan savunma sistemleri arasında antioksidan enzimler bir seri kompleks reaksiyon ile ROS'lerin temizlenmesinde önemli bir role sahiptir. Bitkilerdeki antioksidan enzimler katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), guaiakol peroksidaz (POD), glutatyon redüktaz (GR), askorbat peroksidaz (APX), dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) ve monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR) gibi düşük molekül ağırlıklı enzimlerden oluşmaktadır (Noctor and Foyer 1998).

Yapılan bir çalışmada tuz stresine maruz kalan marul bitkilerinde CAT, SOD, POD ve APX aktivitesi azalmıştır. Ancak, glisin betain uygulanması onların aktivitelerini artırarak tuz stresini ve H_2O_2 miktarını azalttığı rapor edilmiştir (Yildirim *et al.* 2015; Shams *et al.* 2016).

SOD enzim aktivitesinin tuz stresi altındaki çeltik bitkilerinde yüksek olduğu (Lin and Kao 2000), farklı bitkilerin (pamuk, bezelye, şeker pancarı, dut) tuza toleranslı ve hassas çeşitlerinin SOD aktiviteleri üzerine tuz stresinin etkisinin araştırıldığı farklı çalışmalarda tuza dayanıklı çeşitlerde SOD aktivitesinin daha yüksek olduğu görülmüştür (Sudhakar *et al.* 2001; Hernández *et al.* 2001; Meloni *et al.* 2003; Bor *et al.* 2003).

Farklı bitkilerde uygulanan tuz stresi ile buğday CAT enzimi aktivitesinin düştüğü, fakat başka bir çalışmada tuz stresine toleransları farklı olan bitki çeşitlerinde yapılan çalışmalarda ise tuza toleranslı olanların katalaz ve peroksidaz enzim aktivitelerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Sudhakar *et al.* 2001; Keleş and Öncel 2002).

2.2.3. Karbonhidrat

Tuzlu koşullarda gikofit bitkilerde çözünebilir şekerler diğer organik ozmotiklere göre toplam ozmotik potansiyelin yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır (Hasegawa *et al.* 2000). Tuz stresine maruz kalan bitkilerde glukoz, früktoz, sakkaroz, trihaloz ve fruktanlar gibi şekerler ve nişasta hücrelerde birikmekte ve ozmotik koruma, ozmotik düzenleme, karbon kaynağı ve radikal temizleyicisi gibi fonksiyon görmektedir (Parida *et al.* 2002; Jang *et al.* 2003). Kısa süreli strese maruz kalan *Setaria sphacelata* (C₄) bitkisinde sakkaroz ve nişasta miktarının azaldığı belirlenmiştir. Uzun süreli stres şartlarında çözünebilir şeker miktarı yüksek, nişasta ise düşük seviyede gözlenmiştir. Sakkaroz bakımından metabolizma değişimini, nişasta sentez ve parçalanmasının sukroz sentezinden daha fazla etkilenmesinden kaynaklanmaktadır (da Silva and Arrabaça 2004). Tuz stresi altında *Pennisetum clandestinum* bitkisinde glukoz ve früktoz (Muscolo *et al.* 2003) ve zeytin bitkilerinde glukozun (Tattini *et al.* 1996) ozmolit olarak biriktiği ifade edilmiştir. Tuz koşullarında buğday çeşitlerinde glukoz, früktoz, sakkaroz ve fruktanların miktarının arttığı belirlenmiştir. Az bulunan ve redükleme özelliği olmayan bir şeker olan trihaloz birçok bakteri ve mantarda ve desikasyona toleransı yüksek bitkilerde bulunmaktadır (Kerepesi and Galiba 2000). Çeltik bitkilerinde trihaloz üretimini indükleyen birçok abiyotik strese karşı bitkilerin toleranslı olduğu belirtilmiştir (Jang *et al.* 2003). Stres koşullarında yetiştirilen transgenik bitkilerde yüksek trihaloz miktarı fotosentetik aktivite

artışına sebep olduğu düşünülmektedir. Trihalozun çevresel streslerin neden olduğu zararlara karşı biyomolekülleri koruduğu bildirilmiştir (Penna 2003). Tuz stresinde çözünebilir karbon hidratların birikiminin arttığı ve CO₂ asimilasyon oranının azaldığı rapor edilmiştir (Murakeozy *et al.* 2003).

Çözünebilir şekerlerin ve toplam sakkarit miktarının domates yapraklarında tuz koşullarında önemli derecede arttığı ve buna karşın nişasta içeriğinin etkilenmediği belirtilmiştir (Khosravinejad *et al.* 2009). Aksine, çözünebilir ve hidroliz olabilir şekerlerin bakla bitkisinde tuz stresinde azalmadığını tespit edilmiştir (Gadallah 1999). Bununla birlikte, bitki kısımlarının sakkaroz içeriğinin tuz toleransı indikatörü olabileceği rapor edilmiştir (Juan *et al.* 2005). Tuz stresi spesifik olarak tuza hassas genotiplerde çözünebilir karbohidratların miktarında artışa neden olmaktadır (de Lacerda *et al.* 2005). Fakat, tuza dayanıklı ayçiçeği aksesyonlarında toplam çözünebilir şeker miktarının hassas aksesyonlara oranla daha yüksek seviyede biriktiği tespit edilmiştir (Ashraf and Tufail 1995).

Tuzlu koşullarda çözünebilir şekerlerin birikimindeki belirgin değişimlerin, bir tür içerisinde veya çeşitler arasında ve hatta tüm hatlar arasında tuzluluğa karşı farklı dayanıklılıklara neden olduğu belirtilmiştir (Ashraf and Harris 2004). Ancak aynı araştırmacılar, ıslah programlarında bazı türler için tuz toleransının bir indikatörü olarak çözünebilir şeker birikiminin potansiyel bir rolü olmadığını bildirmişlerdir.

2.2.4. Polioller

Bitkilerde polioller siklik ve asiklik formlarda bulunan polihidrik şeker alkollerdir. Asiklik formdaki polioller mannitol, gliserol, sorbitol iken siklik formda olanlar ononitol ve pinitoldür ve normal olarak bitkilerde bulunmaktadır (Clark *et al.* 2003). Ozmöregülasyon konusunda bitkilerde uyumlu çözünenler arasında poliollerin de katkıda bulunduğu tuz toleransında rol oynadığı düşünülmektedir. Tuzlu koşullarda inorganik iyonların yüksek konsantrasyonlarda vakuolde lokalize olduğu ve ozmotik

düzensizliklere sebep oldukları için polioller sitoplazmada birikerek bu sorunu ortadan kaldırmaktadır (Baiges *et al.* 2002).

Asiklik ve siklik poliollerin düşük moleküler ağırlıklı şaperonlar ve stresle teşvik edilmiş oksijen radikallerin yok edicileri olarak büyük bir rol oynadığı tespit edilmiştir (Bohnert and Shen 1998). Bir alkol şekeri olan Mannitol, primer fotosentetik ürün olarak sentez edilmekte ve bazı bitki türleri tarafından metabolize edildiği bildirilmektedir (Conde *et al.* 2007). Buna rağmen, tütün ve buğday gibi önemli olan tarımsal bitkilerde ve farklı birçok bitkide mannitol üretilmemektedir (Liang *et al.* 2018).

Stres koşullarında mannitol üreten transformant bitkilerde mannitol biyosentezi ve birikimi artmakta ve mannitol katabolizması azalmaktadır (Sickler *et al.* 2007). Kereviz bitkisinde mannoz-6-fosfat redüktazın (M6PR) aktivitesiyle mannitol sentezlenmekte (Zhifang and Loescher 2003) ve düşük su potansiyeline maruz kalan bitkilerde birikimi artmaktadır. Yüksek tuz stresinde bitkilerin mannitol tarafından tuzluluğa toleransını arttığı belirtilmiştir (Tarczynski *et al.* 1992). Örneğin, bakteri mtlD geni buğdaya aktarılmış ve transgenik buğday hatlarının hem tuz hem de kuraklık stresinde yüksek büyüme performansının yapraklardaki yüksek mannitol birikimi ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Abebe *et al.* 2003). Bununla birlikte, tuza hassas buğday çeşidinde dışsal mannitol uygulamasının antioksidant enzim aktivitelerini arttırdığı bildirilmiştir (Seckin *et al.* 2009).

2.2.5. Amino asitler ve amidler

Amino asitlerin (alanin, arjinin, glisin, serin, bir imino asit olan prolin ve non-protein amino asitler sitrulin ve ornitin) ve amidlerin (glutamin ve asparajin) tuz stresine maruz kalan bitkilerde biriktiği ifade edilmiştir (Mansour 2000). Bitkilerde stres şartlarda en çok kullanılan amino asitlerden biri olan prolin glutamat veya ornitinden sentez edilebilmesine rağmen, prolin predominant olarak glutamattan sentez edilmektedir. Prolin birikimi bitkilerde kuraklık, tuz, düşük sıcaklık, yüksek sıcaklık, patojen enfeksiyonu, ağır metal,

atmosferik kirlenme, besin eksikliği ve UV ışını gibi stres koşullarında arttığı tespit edilmiştir (Hare and Cress 1997; Siripornadulsil *et al.* 2002).

Prolin konsantrasyonu bitkilere ve çeşitlere göre değişebilmekte ve stres koşullarında yaygın olarak, bitkilerde bulunan ve diğer amino asitlere oranla daha fazla konsantrasyonda birikebilen prolin, kullanılabilir azot birikimini düzenlemektedir (Ábrahám *et al.* 2003). $\Delta 1$ -pirrolin karboksilat sentetaz (P5CS) geninin ekspresyonu bütün bitki türlerinin stres şartlarda prolin biriktirmekte ve prolin sentezi için tüm dokularda süratle teşvik edilmektedir (Hong *et al.* 2000).

Suyun kısıtlı olmasından dolayı, kurak ve tuzlu ortamlarda bitkilerin gelişimi olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu olumsuz şartlara karşı bitkiler birçok uyum mekanizması geliştirmektedir. Bitkilerin dokularında prolin içeriğini artırmaları uyum mekanizmalarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle kurak bölgelerde ve tuzlu topraklarda yetiştirilen bitkilerde prolin içeriğinin arttığı görülmüş ve tuz toleransına bir gösterge olarak prolin biriktirme özelliği kullanılmıştır (Ghoulam *et al.* 2002; Girija *et al.* 2002).

Tuz stresine maruz bırakılan mısır bitkilerinde bitki boyu, nispi su içeriği ile toplam yaş ve kuru ağırlıklarında azalma saptanırken; prolin, Na ve Na/K oranlarında artma tespit edilmiştir (Cicek and Cakirlar 2002). Yapılan bir çalışmada mısır bitkisinde farklı tuzların bazı fizyolojik özelliklere etkisi incelemiştir. Uygulanan tuz konsantrasyonu arttıkça toprak pH'sının, toprağın elektrik iletkenliğinin ve bitki prolin içeriğinin arttığı, bitki gelişimi, klorofil içeriği, besin maddesi alımı ve kuru madde miktarının ise azaldığı tespit edilmiştir (Turan ve Aydın 2005).

2.2.6. Hormonlar

Fitohormonlar, zorlu çevresel koşullara tepkilerde ve fizyolojik tepkileri modüle etmede ve transkriptom değişikliklerini uyarmada merkezi rol oynamaktadır. Tuz stresine karşı en önemli rol alan hormon ABA'dır. Son zamanlarda ABA, jasmonik asit (JA) ve etilen

arasındaki çapraz ilişki *Thellungiella*'da incelenmiştir. Ayrıca, büyüme stresini artırıcı hormonların, örneğin oksinlerin ve sitokininlerin (CKs) tuz stresine karşı rolleri *Arabidopsis* ve domates bitkilerinde çalışılmıştır. Şaşırtıcı bir şekilde, bitki stres toleransının hem biyosentetik izopentenil transferazın aşırı ekspresyonundan dolayı artan CK seviyeleri ile hem de CK bozunma geni sitokinin oksidaz/dehidrogenazın aşırı ekspresyonundan dolayı azalan CK seviyeleri ile arttığı belirtilmiştir (Ashraf and Harris 2004; Mason *et al.* 2005; Nishiyama *et al.* 2011).

Stres durumunda ABA hormonu, tuz oranına göre ozmotik hafiflemede rol oynayan genleri indüklemektedir (Botella *et al.* 2005). Hıyar yapraklarında tuz ABA seviyesini yükseltmiştir (Talanova and Titov 1994). Yürütülen başka bir çalışmada tuz stresi koşullarında ABA birikiminin artması ve yapraklarda Na^+ ve Cl^- içeriğini azalmasıyla fasulyede tuz toleransının arttığı tespit edilmiştir (Montero *et al.* 1997).

Sitokinin, bitki sağlığının korunmasında rol oynamakta ve biyosentezi kuraklık stresi altında azalmaktadır. Düşük CK seviyeleri büyümenin inhibisyonu ile ilişkili olup yaşlanmayı tetiklemektedir. Stres sırasında CK seviyeleri azalır ve stres tepkisi ABA ve etilen tarafından kontrol edilmektedir (Wang *et al.* 2011b). Sitokinin etkisiyle *Arabidopsis* bitkisinde performansı tuz ve kurak şartlarda arttığı rapor edilmiştir (Golan *et al.* 2016).

Başka bir çalışmada, tuz stresine maruz bırakılan mısır bitkisinde GA'nın rolü incelenmiştir. Çalışmada 0 mM NaCl, 100 mM NaCl, 100 mM NaCl + 50 ppm GA₃ ve 100 mM NaCl ve 100 ppm GA₃ uygulanmıştır. Tuz stresi toplam kuru maddeyi, klorofil içeriğini, nispi su içeriğini (RWC) azaltmış, prolin içeriğini, SOD, POD ve polifenol oksidaz enzim aktiviteleri ve elektrolit sızıntısını arttırmıştır. GA₃ uygulaması NaCl stresinin yukarıdaki fizyolojik parametreler üzerindeki olumsuz etkilerini azalttığı belirlenmiştir. GA₃ tuzlu koşullarda bitkilerin enzim aktivitelerini düşürmüştür. Tuz stresi bazı makro ve mikro besin element konsantrasyonlarını azaltmıştır. Ancak, GA₃ uygulaması bunları kontrol seviyesine göre yükseltmiştir. GA₃ yaprak uygulaması, prolin

birikimi ile membran geçirgenliğini korumuş ve makro ve mikro besin seviyelerini artırarak tuzluluğun olumsuz etkilerini azaltmıştır (Tuna *et al.* 2008).

Tuz stresi bitkilerde oksin sentezini ve dağılımını etkileyerek kök yapısında değişimlere neden olmaktadır. Tuz stresi koşullarında yetiştirilen çeltik ve domates bitkilerinde, IAA konsantrasyonunda önemli bir azalma olduğu bildirilmiştir (Kazan 2013). Stres şartlarında oksin birikimi ve dağılımı değişebilmektedir. Bu süreç kök büyümesini ve gelişmesini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle strese maruz kalan bitkilerde büyüme ve gelişme azalmaktadır (Ryu and Cho 2015).

2.2.7. DNA metilasyon

Tuz stresine maruz kalan bitkiler, stres sinyallerini algılayabilmekte ve buna bağlı olarak çeşitli strese duyarlı genlerin ekspresyonunu değiştirerek biyolojik süreçlerini değiştirmektedirler. Önceki çalışmalar, gen ifadesinin değiştirilmesinin, histon modifikasyonu, kromatin yeniden şekillendirilmesi, stres yanıtı ve bitki gelişiminde önemli etkileri olan DNA metilasyonu gibi epigenetik modifikasyonlarla olabileceğini göstermektedir (Boyko and Kovalchuk 2008; Taspınar *et al.* 2017a).

DNA metilasyonu, gelişimsel aşamaya bağlı bir şekilde veya dokuya özgü bir tarzda gen ekspresyonunu değiştirerek, çevresel olarak indüklenen fenotipik varyasyonlar yapabilen hayati bir epigenetik mekanizmadır (Boyko ve Kovalchuk 2008; Taspınar *et al.* 2017a). Stres kaynaklı DNA metilasyonu ve gen ekspresyonundaki değişim, bitki adaptasyon sistemi ile ilişkilidir (Marconi *et al.* 2013). Tuz stresinin nükleozom çekirdek içinde DNA hipo-metilasyonuna neden olduğu ve Os02g44330 (P4) geninin çeltikte down regülasyonu ile sonuçlandığı belirtilmiştir (Karan vd 2012). Bitkilerin abiyotik ve biyotik strese maruz bırakılmasının DNA metilasyonunda değişikliklere neden olduğu ve karmaşık bir bitki savunma sistemi olduğu düşünülmektedir (Dowen *et al.* 2012; Taspınar *et al.* 2017b). DNA metilasyonu ayrıca abiyotik streslere tepki verme potansiyeline sahip bitkilerde oluşmaktadır. Örneğin Wada *et al.* (2004) Met1'in neden olduğu genomik hipo-

metilasyonun aşağı ayarlanmasını takiben özel stres yanıtı genlerin bir kompleksinin uyarıldığını belirtmiştir.

2.2.8. Sekonder metabolitler

Bitkilerde çevresel koşullara adaptasyon, korunma, savunma, hayatta kalma, nesillerini devam ettirme gibi önemli olaylarda bitkilerde bulunan farklı avantajlar sağlayan kimyasal maddelere sekonder metabolitler olarak adlandırılmaktadır. Bunlar; bitkileri patojenlerle mücadele etmek için koruyan anti-fungal, anti-bakteriyel, anti-viral; anti-germinatif ve toksik maddeler gibi diğer bitkilere karşı doğal yaşamda rekabet gücünü arttıran; zararlı çevresel parametlerden UV ışınları, kuraklık, tuz gibi stres şartlarında tolerans artırıcı metabolitlerdir (Bourgaud *et al.* 2001). Bitkiler sekonder metabolitleri çoğunlukla çevresel stres faktörlerine karşı korunmak amacıyla sentezlemektedir. İnorganik tuzlar, ozmotik şoklar, ağır metal iyonlarının toksitesi, UV radyasyonu veya mikrobiyal homojenat gibi stres faktörlerinin bitki hücre kültürlerine uygulanması bazı sekonder metabolitlerin birikimini artırmaktadır (Verpoorte *et al.* 2002; Karataş vd 2014). Bitkilerde savunma mekanizmalarına abiyotik ve biyotik stres faktörlerin sebep olduğu belirtilmiştir. Sekonder metabolitlerin sentezinin savunma sisteminin önemli birer ögesi olduğu tespit edilmiştir (Akula *et al.* 2011). Bu sebeple sekonder metabolit birikimi in vitro şartlarda stres faktörleri tarafından birçok bitkide farklı metabolitlerin elde edilmesinde yaygın olarak uygulanmaktadır (Bourgaud *et al.* 2001). Yapılan bir çalışmada tuzluluğun etkisi büyüme, fotosentetik pigment içeriği ve alkaloid sekonder metabolit birikimi üzerine, ekonomik açıdan önemli bir şifalı bitki olan *Catharanthus roseus*'ta incelenmiştir. Yapılan çalışmada tuz bütün morfolojik parametreleri etkilemiş ve büyüme performansını düşürmüştür. Ancak alkaloid içeriği artmıştır (Jaleel *et al.* 2008). Çemen bitkisinde bakır stresi uygulanmış ve diosgenin miktarı artmıştır (Shams *et al.* 2014). Adaçayı (*Salvia officinalis*) bitkisinde, kuraklık stresi monoterpen içeriğinin büyük ölçüde artmasına neden olmuştur (Radwan *et al.* 2017).

2.2.8.a. Kapsaisinoidler

Jalapeno biberlerinde bulunan kapsaisin, beş kapsaisinoid analogdan biridir. Biber meyveleri tarafından üretilir. Kapsaisin, çoğu biber çeşidinde toplam kapsaisinoidlerin %90'ından fazlasını oluşturmaya rağmen, üretilen diğer önemli bileşikler dihidrokapsaisin, nordihidrokapaisin, homodihidrokapaisin ve homokapsaicin içerir ve esas olarak meyvelerin plasentalarında bulunurlar (Nunez-Palenius and Ochoa-Alejo 2005; Sung *et al.* 2005).

Yetiştirilen biber çeşitleri ile kapsaisin üretimi, genetik ve çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Genetik olarak, kapsaisin üretimi çeşit düzeyinde daha az derecede ve tür düzeyinde daha büyük oranda kadar değişmektedir. Toprak nemi, sıcaklık ve ışık gibi çevresel koşullar kapsaisin miktarını değiştirmektedir (Estrada *et al.* 2002). Biber bitkisinde hücre kültüründe gerçekleştirilen bir çalışmada, besin maddesi eksikliğinde hücresel süspansiyonlarda kapsaisin üretimi ve hücre üretimi artmıştır (Lindsey *et al.* 1983). Kapsaisin üretimi *Capsicum annuum*'da, hücre kültürlerine fenilpropanoid uygulamasıyla yanıt olarak artmıştır (Nunez-Palenius and Ochoa-Alejo 2005). Bitki kimyasını değiştirebilen bir diğer çevresel faktör ise toprak tuzudur. Toprak tuz seviyeleri çoğu bitki türünde yüksek stresli bir ortam oluşturmaktadır. Yapılan bir çalışmada biberde tuz stresi kapsaisin miktarını artırmıştır (Arrowsmith *et al.* 2012).

2.2.8.b. Kapsiat

Kapsiat, kapsaisin olmayan keskin ester izosteridir. Tatlı biberlerin meyveleri sadece çok az miktarda kapsaisin içermekte, fakat bol miktarda kapsiat bulundurmaktadır. Kapsit ve kapsaisin bir ester bağı ile bağlıdır. Kapsaisin ve kapsiatın duyuşal özellikleri arasındaki kayda değer fark, sadece bu basit yapısal motifin vanilil ve asil parçalarının oluşmasıdır. Kapsaisin tipi bileşiklerde bir amit bağı ve kapsiat tipi bileşiklerde bir ester bağı aracılığıyla bağlanma biçiminden kaynaklanmaktadır (Macho *et al.* 2003; Sasahara *et al.* 2010). Yapılan bir çalışmada, hidrojen peroksit, salisilik asit ve ksiloglukan oligosakarit uygulamalarının tatlı biberde kapsiat içerişisi ve gen ifadesi üzerine etkisi incelenmiştir.

Çalışma sonunda, hidrojen peroksit ve ksiloglukan oligosakarit uygulamalarının capsaicinoids ile ilişkili kapsiat içeriğini ve gen ekspresyonunu önemli ölçüde arttırdığı, ancak verimi etkilemediği belirlenmiştir (Zunun-Pérez *et al.* 2017).



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada, bitkisel materyal olarak Türkiye’de yaygın olarak yetiştirilen 3 farklı biber çeşidi (Maraş baharat tipi-Maraş, Çarliston tipi Yalova Çarliston 381 ve Dolmalık tipi Kandil Dolmalık) kullanmıştır (Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3). Deneme 2016 ve 2017 yıllarında Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü’ne ait uygulama ve araştırma sera ve laboratuvarlarında yürütülmüştür.



Şekil 3.1. Maraş çeşidi (Orijinal)



Şekil 3.2. Çarliston çeşidi (Orijinal)



Şekil 3.3. Kandil Dolma çeşidi (Orijinal)

3.2. Yöntem

3.2.1. Denemenin kurulması

Biber tohumları ekimden önce yüzey sterilizasyonuna tabi tutulmuştur. Bunun için tohumlar %5'lik sodyum hipoklorid içerisinde 15 dakika tutulduktan sonra steril deionize su ile yıkanmıştır. Yüzeysel sterilizasyonu yapılan tohumlar steril koşullarda kurutulmuştur. Daha sonra tohumlar 04.05.2016 ve 04.05.2017 tarihinde 216 gözlü torf ile doldurulmuş viyollere, 1-1,5 cm derinliğe ekilmiştir (Şekil 3.4). Dikim büyüklüğüne

gelen fideler %50 toprak, %25 çiftlik gübresi ve %25 kum bulunan 20 litrelik saksılara, her saksıda bir fide olacak şekilde aktarılmıştır. Bitkiler saksılara dikildikten sonra $\frac{1}{2}$ dozunda Hoagland solüsyonuyla sulanmıştır. Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuş ve saksılar serada rastgele dağıtılmıştır (Şekil 3.5 ve 3.6). Her tekerrürde 8 bitki ve toplamda 216 bitki üzerinde uygulama yapılmıştır. Sera içi sıcaklık ölçümü günlük olarak yapılmış ve ortalama minimum ve ortalama maksimum sıcaklıklar aylık olarak belirlenmiştir (Şekil 3.7).



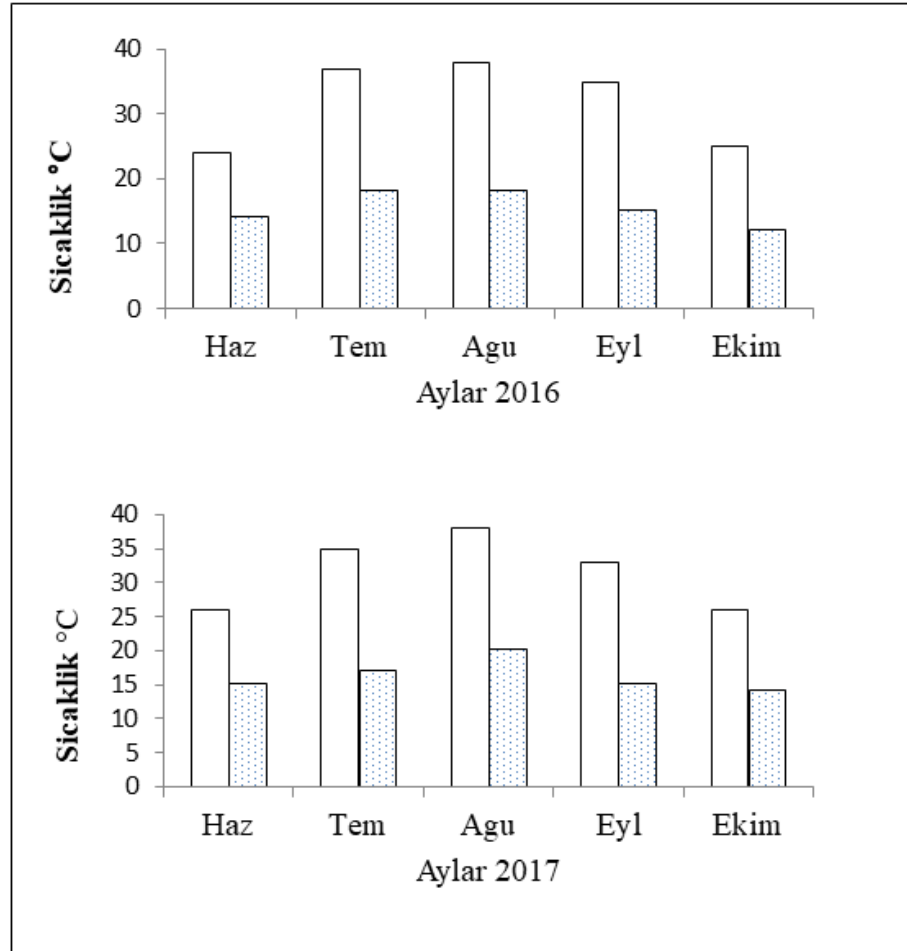
Şekil 3.4. Yeni çıkış yapan biber fidelerinin görünümü (Orijinal)



Şekil 3.5. Denemeden genel bir görünüm (Orijinal)



Şekil 3.6. Meyve olum zamanında denemeye ait bir görünüm (Orijinal)



Şekil 3.7. 2016 ve 2017 yıllarında seradaki aylık ortalama minimum ve maksimum sıcaklık değerleri

3.2.2. Hoagland solüsyonunun hazırlanması

Bitkiler saksılara aktarıldıktan sonra Hoagland solüsyonu ile sulama yapılmıştır. Bitkiler tüm gelişim periyodu süresince bu besin çözeltisi ile sulamaya devam edilmiştir. Hoagland solüsyonu Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3'e göre hazırlanmıştır (Hoagland ve Arnon 1950). Tuz uygulamaları dikimden bir ay sonra Hoagland solüsyonuna belirli dozlarda ilave edilerek yapılmıştır (Şekil 3.8). Karışımın tamamı 1 litre olacak şekilde ayarlandıktan sonra potasyum hidroksit (KOH) ve sülfirik asitle (H_2SO_4) kullanılarak pH ayarı yapılmıştır. Çalışmada solüsyonun pH'sı 6,5 civarında olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.8).

Çizelge 3.1. Besin eriyi içeriği (mg/l)

Azot	210
Fosfor	31
Potasyum	234
Magnezyum	48
Kalsiyum	200
Kükürt	64
Demir	2,5
Mangan	0,5
Bor	0,5
Bakır	0,02
Çinko	0,05
Molibden	0,01

Çizelge 3.2. Stok çözeltilerin miktarları

1. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	(Kalsiyum Nitrat)	236,1 g
2. KNO_3	(Potasyum Nitrat)	101,1 g
3. KH_2PO_4	(MKP)	136,1 g
4. $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	(Magnezyum Sülfat)	246,5 g
5. İz elementler, demir haricinde aynı kapta çözüldü		
H_3BO_3	(Borik Asit)	2,8 g
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	(Mangan Klorür)	1,8 g
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	(Çinko Sülfat)	0,2 g
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	(Bakır Sülfat)	0,1 g
NaMoO_4	(Sodyum Molibdat)	0,025 g
6. Suyun pH sı 5,5'e getirildikten sonra 15 g Fe EDTA ilave edilip 1 litreye tamamlanmıştır. Orjinal solüsyonda Demir Amonyum Sitrat bileşiği kullanılmıştır (modifiye yapılmıştır).		

Çizelge 3.3. 1 litre stok çözelti hazırlamak için gerekli kimyasallar

Mono Potasyum Fosfat (KH_2PO_4)	1,0 ml
Potasyum Nitrat (KNO_3)	5,0 ml
Kalsiyum Nitrat [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$]	5,0 ml
Magnezyum Sülfat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	2,0 ml
İz element solüsyonundan	1 ml
FEDDHA veya Fe EDTA	1 ml



Şekil 3.8. Stok çözelti hazırlığı (Orijinal)

3.2.3. Sulama uygulamaları

Sulamalar 3 farklı tuz içerikli (0,7- 3,5- 7 dS/m) sularla gerçekleştirmiştir. Farklı tuzluluk düzeyleri CaCl_2 , MgSO_4 ve NaCl tuzları 2:1:1 oranlarında karıştırılarak pH=6,5 ve SAR (Sodium Adsorption Ratio) < 5 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Tuzlu su uygulamalarına dikimden bir ay sonra başlanmış hasat edilinceye kadar sordurulmuştur. Bu döneme kadar sulamalar bütün kontrol gruplarında tarla kapasitesinde tutulan nemin %40 tüketildikçe 0,7 dS/m tuzluktaki sulama suyu ve yarı Hoagland solüsyonla beraber yapılmıştır. Toprak nemi ölçümünde pH/Cond 340i/SET, WTW cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.9).

Tuzlu su uygulanma dönemindeki sulamalar her çeşidin kendi kontrol grubunda yine tarla kapasitesindeki tutulan nemin %40 tükettikçe gerçekleştirmiştir. Ortamda tuz birikmesini önlemek için, her seferinde sulama suyuna %20 ilave yapılmıştır.

Tarla kapasitesinde tutulan nemi belirlemek için, bir saksı da yetiştirme ortamı 0,7 dS/m tuzluluğa sahip suyu la önce doygun hale getirilmiş ve buharlaşmayı önlemek için üstü bir plastik örtüyle kaplanmış ve sonrasında serbest drenaja bırakılmıştır. Yaklaşık 28 saat sonra serbest drenajın bitimine müteakiben pH/Cond 340i/SET, WTW cihazıyla ölçülenler değerleri tarla kapasitesinde tutulan nem olarak dikkate alınmıştır (Örs vd 2016).



Şekil 3.9. Topraktaki tuz konsantrasyonunu ölçmeye yarayan cihaz (Orijinal)

Denemenin yürütüldüğü her iki yılda da Eylül ayının son haftası tuz uygulamalarının yapıldığı saksı ortamlarında EC nin yaklaşık 3,5 ve 7 dS/m olduğu belirlenmiştir. 4 bitkiden biyokimyasal, moleküler ve fizyolojik analiz için örnek alınmıştır. Kalan 4 saksıdaki bitkiler tohum almak için Ekim ayının sonuna kadar bırakılmıştır. Örnekler Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait laboratuvarlara getirilmiştir. Hasat öncesi ve hasat sonrası yapılan ölçüm, tartım ve gözlemler aşağıda belirtildiği şekliyle gerçekleştirilmiş, elde edilen örneklerin biyokimyasal analizleri Şekil 3.10'deki laboratuvarlarda incelenmiştir.



Şekil 3.10. Topraktaki tuz konsantrasyonunu ölçmeye yarayan cihaz

3.3. Ölçüm ve Analizler

Denemede bitkiler saksılardayken veya saksılardan alındıktan sonra aşağıda belirtilen gözlem, ölçüm, tartım ve analizler yapılmıştır. Uygulamalardan alınan bitki örneklerinden bir kısmı -80°C 'de muhafaza edilmiş diğer bir kısmı da besin elementi analizlerinde kullanılmak üzere etüvde kurutulmuştur.

3.3.1. Toprak üstü taze ve kuru ağırlık, kök kuru ve taze ağırlığı

Toprak üstü taze ağırlık: Hassas terazide g olarak,

Toprak üstü kuru ağırlık: Etüvde 68°C 'de sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutularak g olarak,

Kök taze ağırlık: Hassas terazide g olarak,

Kök kuru ağırlık: Etüvde 68°C 'de sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutularak g olarak,

Yaprak sayısı: Adet olarak belirlenmiştir.

3.3.2. Yaprak alanı

Her bir uygulamadaki bitkilerin yaprak alanları yaprak alan ölçer (LICOR, Model: LI-3100, Lincoln, NE, ABD) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Yaprak alanı ölçülmesine ait bir görünüm (Orijinal)

3.3.3. Doku elektrik iletkenliği (DEİ)

Bitkide meydana gelen stresin yaprak dokusunda ve özellikle hücre zarlarında meydana getirdiği hasarın bir belirtisi de yaş yaprak dokularında yapılan elektrik iletkenlik ölçümleridir. Bu amaçla her bir tekerrürden tesadüfi olarak seçilen 2 bitkinin en son gelişmiş gerçek yapraklarından alınan diskler (1 cm çapında) 20 ml saf su içeren cam şişelerin içine konarak çalkalayıcıda 24 saat çalkalanarak ve ardından ıslatma suyunun elektriksel iletkenliği Kaya ve Hig (2003)'da belirtilen metoda göre ölçülmüştür (EC1). Örnekler otoklavda 121°C'de 20 dakika bekletilerek hücre ve dokuların tamamen parçalanması sağlanmış ve ardından ikinci ölçüm yapılmıştır (EC2). EC1/ EC2 arasındaki oran hesaplanarak göreceli elektriksel iletkenlik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Doku Elektrik İletkenliği ölçülmesine ait bir görünüm

3.3.4. Doku oransal su içeriği (DOSİ)

Tesadüfen seçilen 2 bitkiden alınan yaprak diskleri (1 cm çapında) hemen tartılmış taze ağırlıkları tespit edilmiştir (TA). Tartıldıktan sonra diskler içerisinde bir miktar saf su bulunan petri kaplarının içerisinde konularak 5 saat boyunca bekletilerek ve sonra disklerin üzerindeki fazla su kurutma kâğıdı yardımıyla silinerek tekrar tartılmış ve turgorlu ağırlıkları tespit edilmiştir (TU). Daha sonra bu diskler, petrilerin içerisinde konularak 72°C'ye ayarlanmış olan etüvde 48 saat boyunca kurutularak yeniden tartılmış ve kuru ağırlıkları tespit edilmiştir (KA) (Şekil 3.13). Doku su içeriği Kaya and Hig (2003)'de belirtilen aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. $DOSİ = [(TA - KA) / (TU - KA)] \times 100$



Şekil 3.13. Doku Oransal Su İçeriği ölçülmesine ait bir görünüm (Orijinal)

3.3.5. Klorofil a ve b

Klorofil *a* ve *b* konsantrasyonu için önce soğutulmuş bir havan (mortar) de 100 mg taze yaprak örneği, 4 ml aseton %80'lik (v / v) kullanılarak iyice homojenize edilmiştir (Şekil 3.14). Tam ekstraksiyondan sonra, hacim, soğuk aseton %80'lik ile 10 ml'ye ayarlanarak karışım 6000 rpm de santrifüj edilmiştir. Ekstrenin absorbansı 663,2 ve 646,8 nm'de okunarak pigment konsantrasyonu (Ni *et al.* 2009) protokolüne göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.14. Klorofil belirlenmesine ait bir görünüm (Orijinal)

3.3.6. Stoma İletkenliği, CO₂ akışı, terleme hızı ve fotosentez aktivitesi

Gs, terleme hızı ve fotosentez hızı ölçümleri toprak tuzluluğu uygulamalar seviyesine ulaştığında taşınabilir fotosentez sistemi (LI -6400 XT, LI-COR) kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.11). Ölçümler fotosentez cihazının sabit ışık şiddeti ($1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sn}^{-1}$), CO₂ miktarı ($400 \mu\text{mol}$) ve hava akışı ($500 \mu\text{mol sn}^{-1}$) koşullarında gerçekleştirilmiştir (Örs vd 2016). Gs, terleme hızı ve fotosentez hızı ölçümleri 3 tekerrürlü, her bir tekerrürde 2 bitki ve her bir bitkide en az 2 farklı yaprakta yapılmıştır. Ölçüm için bitkilerinin üstten genç ve tam gelişmiş yaprakları kullanılmıştır.



Şekil 3.15. Çalışmada kullanılan LI-6400XT (LI-COR, USA) portatif fotosentez ölçer (Orijinal)

3.3.7. Hidrojen peroksit (H_2O_2) analizi

Şahin vd (2018)'de verilen yöntem esas alınarak yapılan H_2O_2 analizinde her bir tekerrürden tesadüfi olarak seçilen bitkilerden alınan toplam 0,25 g yaş yaprak örneği buz üzerinde soğutularak porselen havan içerisinde 3 ml %0,1'lik TCA ile ekstrakt edilmiştir. Daha sonra ekstraktlar 2 ml'lik ependorf tüplere konularak ve soğutuculu santrifüj de $4^{\circ}C$ 'de 10.000 g'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Daha sonra 15 ml hacimli tüplere sırası ile 100 μ L supernatant, 100 μ L K-P tampon çözeltisi ve 1,5 ml KI (Potasyum Iodide) konulmuştur. Örneklerin absorbansı karıştırıcıda 30 sn çalkalandıktan sonra spektrofotometrede 390 nm'de okunmuştur. Kontrol numune olarak süpernatant yerine saf su kullanılmış ve diğer işlemler aynı şekilde tekrarlanmıştır. Değişik yoğunlukta H_2O_2 içeren çözeltilerin yardımıyla standart eğri oluşturularak ve örneklerin H_2O_2 içerikleri hesaplanmıştır.

3.3.8. Lipid peroksidasyon (Malondialdehid -MDA) analizi

Tesadüfen seçilen 2 bitkiden 0,25 g yaş yaprak örneği alınarak buz üzerindeki porselen havan içerisinde 5 ml %0,1'lik TCA ile ekstrakt edilmiştir. Ekstraktlar tüplere yerleştirilerek 25°C'de 6000 g'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Daha sonra 1 ml supernatantdan alınıp üzerine 4 ml %20'lik TCA içeren %0,5'lik TBA eklenmiştir. Test tüpleri 95-100°C'deki su banyosunda 30 sn bekletildikten sonra 5-10 dakika boyunca buz içerisine konulmuştur. Daha sonra 30 saniye boyunca karıştırıcıda çalkalanmış ve oda sıcaklığına gelmesi beklenmiştir. Karışımdan alınan örneğin absorbansı spektrofotometrede 450, 532 ve 600 nm'lerde okunmuştur. Kontrol numune olarak supernatant yerine 1 ml saf su konulmuş ve diğer işlemler aynı şekilde tekrarlanmıştır. Örneklerin MDA verileri Tiryaki vd (2019) metoduna göre hesaplanmıştır.

3.3.9. Prolin miktarı

Şahin vd (2018)'nin kullandığı yöntem esas alınarak yapılan prolin tayininde tesadüfen seçilen 2 bitkiden 0,25 g yaş yaprak örneği alınarak porselen havan içerisinde 5 ml %3'lük (w/v) 5-sülfosalisilik asit ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraktlar tüplere yerleştirilerek 25°C'de 6000 g'de 5 dakika santrifüj edilerek ve içerisinden 1 ml supernatantdan alınmış ve 1 ml asit ninhidrin, 1 ml glasiyal asetik asit test tüpü içerisinde karıştırılmıştır. Test tüpleri 100°C'deki su banyosunda 1 saat bekletildikten sonra 1 dakika boyunca buz içerisine bekletilmiştir. Karışımın üzerine 4 ml tolüen eklenerek 30 saniye boyunca karıştırıcıda çalkalanmış ve oda sıcaklığına gelmesi beklenmiştir. Karışımdan alınan örneğin absorbansı spektrofotometrede 520 nm'de okunmuştur. Kontrol numune olarak sadece tolüen kullanılmıştır. Değişik yoğunlukta prolin içeren çözeltiler aynı işlemlere tabi tutularak standart eğri oluşturulmuş ve örneklerin prolin içerikleri hesaplanmıştır.

3.3.10. Sakkaroz analizi

Sakkaroz için 0,1 g kuru örnek tartılarak üzerine 10 ml saf su eklenmiş ve çalkalayıcıda 1 dakika karıştırılmıştır. Örnekler filtre kâğıdıyla süzildükten sonra süzükten 1 ml alınıp

üzerine %0,2'lik anthron solüsyonundan 9 ml konulmuş ve 1 dakika çalkalayıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra 10 dakika kaynatılan örnekler buz banyosunda 10 dakika tutulduktan sonra solüsyonun absorbansı spektrofotometrede 620 nm dalga boyunda okunmuştur. Kontrol numune olarak, örnek yerine 1 ml saf su kullanılarak diğer işlemler aynı şekilde yapılmıştır. Değişik yoğunlukta sakkaroz içeren çözeltilerin yardımıyla standart eğri oluşturulmuş ve örneklerin sakkaroz içerikleri hesaplanmıştır (Şahin vd 2018).

3.3.11. Bitki besin maddesi (N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Si) analizleri

Her bir muameleden alınan biber yapraklarındaki mineral konsantrasyonları belirlemek için, numuneler 48 saat boyunca 68°C'de ve fırında kurutulmuş ve öğütülmüştür. Kjeldahl yöntemi ve bir Napodest 10 Rapid Kjeldahl Damıtma Ünitesi (Gerhardt, Königswinter, Almanya) toplam N'yi belirlemek için kullanılmıştır. Makro- (P, K, Ca, Mg ve Na) ve mikro elementler (Fe, Mn, Zn, Cu, Cl, B ve Si) kurutulmuş ve öğütülmüş örneklerin yaş yakma ünitesinde bir HNO₃-H₂O₂ asit karışımı (2: 3 v / v) ve bir mikrodalgada üç adımda (1. adım; 145°C'de %75 mikrodalga gücünde 5 dakika, 2. adım; 180°C'de %90 mikrodalga gücünde 10 dakika ve 3. adım 100°C'de %40 mikrodalga gücünde 10 dakika) belirlenmiştir. P, K, Ca, Mg, Na, Cl, Fe, Zn, B ve Si içerikleri indüktif eşleşmiş plazma spektrofotometresi ile belirlenmiştir (Şahin vd 2018).

3.3.12. Antioksidant enzimlerin (CAT, APX, POD ve SOD) ekstraksiyonu

Enzimlerin ekstraksiyonu için, taze bitki yapraklarından 0,2 g alınarak havan içine konulmuş ve üzerine sıvı azot ilave edilerek toz haline gelinceye kadar öğütülmüştür. Sonra öğütülmüş örnekler üzerine 2 ml soğuk homojenat tamponu (%1 PVP ve 1 mM EDTA ihtiva eden 0,1 M KH₂PO₄ pH: 7,0) ilave edilerek, karışım bir santrifüj tüpüne aktarılarak 15000 rpm ve +4°C'de 15 dk. santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi sonucunda elde edilen süpernatant, antioksidan enzimlerin aktivite ölçümleri için kaynak olarak kullanılmıştır (Şahin vd 2018).

3.3.13. Katalaz (CAT- EC: 1.11.1.6) aktivitesinin belirlenmesi

Katalaz aktivite ölçümü ortamdaki H_2O_2 'nin O_2 ve H_2O 'ya dönüşümünü sağlarken meydana gelen absorbans azalmasının 240 nm'de izlenmesi esasına göre yapılmıştır (Şahin vd 2018). Reaksiyon karışımı 100 mM KH_2PO_4 (pH:7) ve 10 mM H_2O_2 içermektedir. 20 µl enzim ekstraktı plat (96 mikrolat) kuyucuların içinde pipetlenmiştir. 180 µl reaksiyon karışımı üstüne pipetlenip, hemen cihaz da 3 saniye karıştırıp 240 nm'de 3 dakika boyunca absorbans azalmasını 1 dakika aralıklarla kaydedilmiş ve sonuçlar g taze yaprak başına düşen enzim ünitesi (U/g yaprak) olarak sunulmuştur (Şahin vd 2018).

3.3.14. Peroksidaz (POD- EC: 1.11.1.7) aktivitesinin belirlenmesi

Peroksidaz (POD) aktivitesi, guaikol hydrogen peroksid'nin substrat olduğu reaksiyonun ürünü olan renkli bileşiğin meydana getirdiği absorbans çoğalmasını 470 nm'de izlenmesi esasına dayalı bir yöntemdir. Reaksiyon karışımı 0,1M $Na_2H_2PO_4$ (pH:5,5), 30 µl guaikol ve 21 µl H_2O_2 %35 içermektedir. 50 µl enzim ekstraktı plat (96 mikrolat) hücreleri içine pipetlenmiştir. 200 µl reaksiyon karışımı üstüne pipetlenip, hemen cihaz da 3 saniye karıştırıp 470 nm'de 5 dakika boyunca absorbans artışı 1 dakika aralıklarla kaydedilmiş ve absorbansın doğrusal olarak arttığı kısımdaki absorbans artışı 1 dakikaya oranlanmıştır. 25°C'de 1 dakikada, absorbansı 0,01 artıran enzim miktarı 1 enzim ünitesi olarak kabul edilmiş ve sonuçlar g taze yaprak başına düşen enzim ünitesi (U/g yaprak) olarak belirlenmiştir (Şahin vd 2018).

3.3.15. Süperoksid dismutaz (SOD – EC: 1.15.1.1) aktivitesinin belirlenmesi

Süperoksid dismutaz (SOD) aktivitesi, nitro mavi tetrazolyumun fotokimyasal reaksiyonunun inhibisyonunun izlenmesi ile analiz edilmiştir. Reaksiyon karışımı 50 mM KH_2PO_4 (pH:7,8), 75 µM NBT, 0,1 mM EDTA ve 13 mM metiyonin içermektedir. 20 µl enzim ekstraktı plat (96 mikrolat) kuyucuların içinde pipetlenmiştir. 170 µl reaksiyon karışımı (50 mM fosfat tamponu (pH 7,8), 0,1 mM EDTA, 63 uM NBT ve 13 mM metionin) üzerinde yerleştirilmiş ve sonra 10 µl riboflavin üstüne pipetlenip

karıştırıldıktan hemen sonra, 15 dakika beyaz bir ışık (40 W flüoresan lamba kaynağı) önüne yerleştirmek suretiyle başlatılmıştır. 15 dk. İçerisinde NBT'nin renk açılma yoğunluğu 560 nm'de kontrol karşı okunmuştur. Kontrol aynı işlemin enzimsiz örneğinden oluşmaktadır. SOD aktivitesinin 1 ünitesi, 560 nm'de gözlenen NBT indirgenmesinin %50 inhibisyonuna neden olan enzim miktarı, 1 enzim ünitesi olarak kabul edilecek ve değerler EU/g yaprak olarak sunulmuştur.

3.3.16. Askorbat peroksidaz (APX - EC: 1.11.1.11) enzim aktivitesi

Askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesi 290 nm'de absorbansdaki düşüşü takiben belirlenmiştir. Askorbatın okside olması nedeniyle askorbat konsantrasyonunda azalma görülmektedir. Reaksiyon karışımı 100 mM KH_2PO_4 (pH:7), 2,5 mM H_2O_2 , 0,5 mM LAA (Ascorbic Acid) ve 0,1 mM EDTA içermektedir. 50 μl enzim ekstraktı plat (96 mikropat) hücrelerin içine pipetlenmiştir. 200 μl reaksiyon karışımı ustune pipetlenip, hemen cihaz da 3 saniye karıştırıp 290 nm'de 3 dakika boyunca absorbans azalmasını 1 dakika aralıklarla kaydedilmiş ve askorbatın ekstinksiyon katsayısı ($2,8 \text{ mM cm}^{-1}$) kullanılarak sonuçlar g taze yaprak başına düşen enzim ünitesi (U/g yaprak) olarak tespit edilmiştir (Şahin vd 2018).

3.3.17. Glisin betain konsantrasyonunun belirlenmesi

Glisin betain belirlemek amacıyla taze yapraklardan (500 mg) alınıp ve sıvı nitrojen içinde öğütülmüştür. Üzerine 20 ml deiyonize su eklenerek mekanik çalkalayıcıda 25°C 'de 48 saat homojenize edilmiştir. Karışım filtre edilmiş ve analiz için dondurucuda saklanmıştır. Karışım (1: 1) oranında 2N H_2SO_4 ile seyreltilmiştir. Karışımdan 0,5 ml test tüplerine pipetlenmiştir. 1 saat buz banyosunda soğutulmuş ve daha sonra 200 μl KI- I_2 rejanı eklenerek vortekslenmiştir. Tüpler 16 saat 0°C sıcaklıkta saklanmış, ardından 10,000 rpm'de 15 dakika 0°C 'de santrifüjlenmiştir. 1 ml'lik mikropipetle örnekler alınıp 9 ml 1,2 dikloretan içinde çözdürülerek vortekslenmiştir. 2 saat sonra UV visible spektrofotometrede 365 nm'de okuması yapılmıştır. Standartlar 50- 200 $\mu\text{g/ ml}$

glisinbetain kullanılarak 2 N H₂SO₄ içinde hazırlanmıştır ve standartlar örneklerle beraber aynı işleme tabi tutularak ölçümü yapılmıştır (Patade *et al.* 2008).

3.3.18. Total amino asit konsantrasyonlarının belirlenmesi

Amino asit tayini Spies (1957)'e göre yapılmıştır. Amino asit tayini için kullanılan reaktif çözeltiler aşağıdaki şartlara göre hazırlanmıştır.

- 1) Tampon çözeltisi (pH'ı 5,5): sitrik asit monohidrat (21 g) 200 ml NaOH'da (1 M) çözülüp su ile 500 ml'ye tamamlanmıştır. Elde edilen çözeltinin pH'ı 5,5 civarındadır.
- 2) SnCl₂-2H₂O (0,2 g) 1 no'lu reaktif çözeltisinin 125 ml'si içinde çözülmüştür.
- 3) Ninhidrin (5 g) 125 ml etil alkol içinde çözülmüştür.
- 4) Hazırlanan 3 no'lu çözelti 2 no'lu çözelti ile karıştırılmıştır.

Önceden kurutulmuş biber çeşitlerinin yapraklarından 1 g tartılıp ve üzerinde 25 ml deiyonize su eklenerek mekanik çalkalayıcıda 30 dk homogenize edilmiştir. Daha sonra kaba filtre kağıdıyla, akabinde mavi bant filtre kâğıdıyla süzülen ekstraktan 1 ml kullanılarak tayinler yapılmıştır. Su ekstraktlarının 1 ml'si üzerine 4 no'lu reaktif çözeltiden 2 ml ilave edilmiştir. Su banyosunda 90-100°C'de 10-15 dakika ısıtıldıktan sonra soğutulmuştur. Soğutulan tüplere 1+1 oranında su ile seyreltilen propanol'den 3 ml ilave edilmiştir. Elde edilen mavi-mor renkli çözeltinin absorbansı 570 nm'de spektrofotometrede okunmuştur. Standartlar glisin kullanılarak 0,05-0,5 mM aralığında hazırlanmıştır. Örneklerle uygulanan işlem basamakları standartlara da uygulanmıştır.

3.3.19. Hormonlar (Sitokininler, gibberellik asit ve absisik asit) analizi

Ekstraksiyon ve saflaştırma işlemleri; Battal ve Tileklioğlu (2001), Kuraishi *et al.* (1991) ve Turan vd (2014) göre ve üç tekrarlı olarak yapılmıştır. -80°C'den çıkarılan örnekler sıvı azot içerisinde, havan yardımıyla toz şekline getirilmiştir. Daha sonra örnekler üzerine -40°C'de bekletilen %80'lik metanol ilave edilmiş ve 10 dk. ultra doku parçalayıcıda (Ultrasonic Processor, Jencons LTD.) homojen hale getirilmiştir.

Homejenizasyon +4°C’de ve 24 saat boyunca karanlıkta yapılmıştır. Elde ettiğimiz örnekler Whatman No:1 filtre kağıdından geçirilerek supernatant alındıktan sonra kalan bitki parçalarına aynı işlemler tekrarlanmış ve sonra her iki supernatant birleştirilmiştir. Elde ettiğimiz supernatant tekrar 0,45 µm’lik PTFE filtrelerinden süzülerek 35°C’de bir evaporator pompası yardımıyla kurutulmuştur. Kurutulan supernatant 0.1 molarlık KH₂PO₄ (pH 8) tampon çözeltide tekrar çözölmeye bırakılmıştır. Çözönen süpernatant, yağ asitlerini ayırmak için 1 saat 4°C’de 5000 rpm’de sanrifüj (Hermle Z 320 K) yapılmıştır. Örnekler otomatik pipet yardımıyla tüplerden çekilerek bir beher içërisine konulmuştur.

Fenolik bileşikler ve renk maddelerini ayırmak için ise her örneğe 1 g’lik çözönmeyen Polivinilpolipiridon (PVPP, Sigma) hazırlanarak süpernatantın üzerine bırakılarak iyice karıştırılmıştır. PVPP’nin hazırlanması; 1 g çözönmeyen PVPP bir beher içërisine bırakılıp üzerine 30 mM asetik asit eklenerek homojen hale getirmek için iyice karıştırılmıştır. PVPP ile karıştırılan süpernatant Whatman No:1 filtre kâğıdından süzölerek PVPP’den ayrılması sağlanmışır. Elde edilen ekstrakt ya hemen ya da daha sonra kullanılmak üzere -40°C’de muhafaza edilmiştir.

Daha spesifik ayırma yapabilmek Sep-Pak C18 (Waters) kartüjleri için kullanılmışır. Kartüjler kullanılmadan önce 5 ml %80’lik metanolden geçirildikten sonra, 5 ml saf suyla yıkanmak suretiyle hazırlanmıştır. Süpernatantlar (dondurulmuşsa çözönmesi beklendikten sonra) 5 ml şıringalarla Sep-Pak C18 kartüjlerinden (1 ml / dak) geçirilmiştir.

Kartüjler tarafından adsorbe edilen hormonlar örnek hacminin üç katı %80’lik metanolde çözödürölmek üzere küçük şişelere aktarılmıştır. Daha sonra örnekler HPLC analizleri için kullanılmışır.

3.3.20. CKx analizi

Yaklaşık 0,5 g donmuş örnekleri öğütülmüştür ve ekstraksiyon 1,5 ml tamponu [50 mM potasyum asetat, 2 mM CaCl_2 , 1 mM MgSO_4 ve 0,5 mM ditiyotritol (pH 6,9)] içinde homojenize edilmiştir. Ekstraktlar 18000 g'de ve 4°C'de 50 dakika santrifüj edilmiştir. Supernatanta 0,5 mM PMSF, 25 mg/ml streptomisin sülfat ve %0,1 bovin serum albümini çözeltisi eklemiştir ve sonra 18000 g'de ve 4°C'de 40 dakika santrifüj edilmiştir. Karışımın CKX aktivitesi ölçmek 0,55 ml'lik 100 mM imidazol tamponu (CaCl_2 ve 0,050 mM iP (pH 6,5) eklenerk 50 dakika boyunca 37°C'de inkube edilmiştir. Her örnek 3 kez tekrarlanmış ve numunelerin absorbansı ($k=352$ nm) UV spektrofotometre ile ölçülmüştür (Libreros-Minotta and Tipton 1995).

3.3.21. Kapsaisin ve kapsaite tayini

Çalışmada toplam kapsaisinoidlerin ölçümlerinde kullanılmak üzere denemelerden elde edilen yaklaşık 70 g kadar ağırlığında hazırlanan biber çeşitlerine ait örnekler 65 °C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 72 saat süre ile kurutulmuştur. Bütün halinde kurutulan meyvelerin sap ve tohum kısımları ayıklanmış, geri kalan kısımları öğütücüden geçirilerek toz hale getirilmiştir. Her öğütülmüş toz biber örneğinden 1 g alınarak sodyum asetat ile doyurulmuş %95'lik etil alkol ile 10 ml'ye tamamlanmıştır. Su banyosunun sıcaklığı 60°C ayarlanmış, alkol içerisindeki örnekler 3 saat süre ile su banyosunda bekletilmiştir. Ardından 40 dakika süre ile ultrasonik küvette tutulan örnekler Whatmann 2 numaralı filtre kâğıdı ile süzölmüştür. Hacmi 100 mikrolitre olan şırınga ile 20 mikrolitrelik HPLC örnek yuvası doldurmuştur ve okunmuştur (Arrowsmith *et al.* 2012).

3.4. Genomik DNA Ekstraksiyonu

Genomik DNA, Taşpınar vd (2017) tarafından kullanılan CTAB yöntemi modifiye edilerek yapılmıştır. gDNA örneklerinin tespiti için etidyum bromür boyası kullanılmıştır. gDNA'nın kalite ve miktar konsantrasyonları, Multiskan TM GO Mikroplate Spektrofotometresi (Thermo Scientific) ile belirlenmiştir.

3.4.1. CRED-RA analizi

CRED-RA analizi yapmak için, 32 RAPD primerinden en çok polimorfik bantlara sahip 8 primer seçilmiştir. gDNA'nın kesimi, üretici firma doğrultusunda MspI veya HpaII endonükleazları ile 37°C'de 2 saat thermocykler cihazında bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Ürünler, 0,5 x TBE tamponunda %1,5 agaroz jel ile 80 V 110 dk boyunca jel elektroforezinde ayrılmıştır. Bantların profilleri görüntüleme cihazı ile değerlendirilmiştir (Şekil 3.16).

CRED-RA modelleri Total Lab TL120 yazılımı ile değerlendirilmiştir. CRED-RA profillerindeki değişiklikler, yeni bantların ortaya çıkmasını ve kontrollere göre normal bantların ortadan kalkmasını sağlamış ve her uygulama için değerlendirme yapılmıştır. CRED-RA analizini yapmak için, her bir tuz seviyesi için ortalama polimorfizm sayısı hesaplanmıştır. Polimorfizm formülü şöyledir: $100 \times a / n$. Formülde, "a", ortalama polimorfizm sayısıdır ve "n", kontroldeki toplam bant sayısıdır.



Şekil 3.16. PCR ürünleri jel elektroforezi cihazı ile yürütülmesi (Orijinal)

3.4.2. PCR aşamaları

PCR aşamaları, 95°C'de 2 dk ön denatürasyon, 94°C'de 30 sn 41 döngü denatürasyon, 35°C'de 1 dk çözünme, 72°C'de 2 dk uzama, 72°C 5 dk son primer uzaması, daha sonra sıcaklık 4°C'de olacak şekilde ayarlanmıştır.

3.5. Tohum Çimlenmesi

Bitki başına meyve sayısı ve meyve ağırlığı (g) belirlenmiştir. Tohum için iki kez hasat yapılmıştır ve hasatlar tam olgunlaşmış meyvelerde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17). Tohumlar hasat günlerinde meyvelerden ayrılmış ve 24 saat için $20\pm 2^\circ\text{C}$ 'de kurutulduktan sonra, her bir konsantrasyonun dört bitkisinde bin tohum ağırlığı (g) ve tohum sayısı /meyve olarak belirlenmiştir. Aynı muamelelerde yetiştirilen bitkilerden elde edilen tüm tohumlar karıştırılmış ve tohum çimlenme testleri yapılmıştır. Tohumların çimlenmesi, 5 ml iki kez steril edilmiş su ile emdirilmiş iki steril Whatman (No: 1) filtre kağıdı içeren petri kaplarında (9 cm çapında) gerçekleştirilmiştir. Her bir uygulanma için 50 tane tohum bir petri kabında ve üç tekrarlı olarak 14 gün boyunca karanlıkta 25°C 'de çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlenme oranı ve çimlenme hızı aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

Çimlenme Hızı = $\frac{N1}{T1} + \frac{N2}{T2} + \dots + \frac{Nn}{Tn}$ (N: Çimlenen tohum sayısı, T: Çimlenmenin gerçekleştiği gün sayısı); Çimlenme yuzdesi = $\frac{\text{çimlenen tohumlar sayısı}}{50} \times 100$

Çimlenme testinin sonunda, her bir muamelenin üç tekerrüründen fideler ayrılmış ve fide ağırlığı (g/bitki) ve kuru ağırlık (g/bitki) olarak hesaplanmıştır. Kuru ağırlık, 80°C 'de 24 saat sonra belirlenmiştir. Kök uzunluk ölçümleri, çimlenme testinin 7. gününde çimlenen fideler üzerinde cm/bitki olarak belirlenmiştir. Tohum çimlenme oranı, çimlenme hızı, fide ağırlığı indeksi ve fide gücü indeksi Ellis and Roberts (1978)'e göre hesaplanmıştır.

Fide gücü indeksi = Çimlenme % $\times$ ortalama fide uzunluğu (kok + sürgün) (Vashisth and Nagarajan 2010); Fide ağırlık indeksi = sürgün taze ağırlığı/ kök taze ağırlığı



Şekil 3.17. Tohum çimlenmesine ait bir görünüm (Orijinal)

3.6. İstatiksel Analiz

Denemede tesadüf parselleri faktöriyel deneme deseni kullanılmış, elde edilen veriler SPSS 20 istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Veriler varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve ortalamalara ait farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir ($P < 0.05$).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Tuz Stresinin Biberde Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi

4.1.1. Toprak üstü taze ve kuru ağırlık (g)

Araştırma konularından elde edilen toprak üstü bitki taze ve kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi, 2016 ve 2017 yıllarda varyans analizi sonuçları, tuzluluğun ve çeşitlerin bitki taze ve kuru ağırlığı üzerindeki etkisinin ve T×Ç interaksiyonunun önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca 2016–2017 yılları ortalamasında tuz ve çeşitlerin etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde toprak üstü taze ve kuru ağırlığa ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Toprak üstü taze ağırlık				Toprak üstü kuru ağırlık			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	30334	187,8	<.00**	2	1376	155.6	<.00**
	Çeşit (Ç)	2	9230	137,9	<.00**	2	1955	221.0	<.00**
	T×Ç	4	552	3,4	<.03*	4	156	17.6	<.00**
2017	Tuz (T)	2	26239	362,5	<.00**	2	1413	127.3	<.00**
	Çeşit (Ç)	2	34313	474	<.00**	2	1941	175.0	<.00**
	T×Ç	4	975.	13,4	<.00**	4	163	14.7	<.00**
Ortalama	Tuz (T)	2	24210	296,6	<.00**	2	1394	155.0	<.00**
	Çeşit (Ç)	2	32285	395,5	<.00**	2	1948	217.0	<.00**
	T×Ç	4	696	8,52	<.00**	4	158	17.7	<.00**
	Yıl (Y)	1	57.6	0,01	0,90 ^{NS}	1	0,018	0,002	0,90 ^{NS}
	Ç × Y	2	26.25	0,007	,070 ^{NS}	2	0,62	0,062	0,84 ^{NS}
	T×Y	2	20.98	0,005	0,57 ^{NS}	2	0,01	0,002	0,62 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	48.89	0,012	0,93 ^{NS}	4	1,23	0,124	0,90 ^{NS}

NS: $p>0,05$ de önemsiz. * $p<0,05$ ve ** $p<0,01$ olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Bitkinin taze ve kuru ağırlığı bakımından Ç × Y, T×Y, Ç×T×Y interaksiyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu tespit edilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında farklılık istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, tuzlu koşullarda yetiştirilen biberde toprak üstü taze ve kuru ağırlıklarında kontrol bitkilerine göre azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Tuzluluğa maruz bırakılan biber çeşitleri arasında önemli bir fark bulunmuş, dolmalık, çarliston ve maraş çeşitlerinin tuzluluğa karşı farklı bir tepki gösterdiği tespit edilmiştir. Maraş biber çeşidinde tuz seviyesi artarken bitkinin taze ve kuru ağırlığındaki azalmanın diğer iki çeşide göre daha düşük olduğu, 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde taze ağırlığın -%18,41 ve -%21,48 ve kuru ağırlığın -%25,86 ve -%36,02 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, Çarliston ve dolmalık çeşitlerinde maraş çeşidine göre tuzlu koşullarda bitki taze ve kuru ağırlığında daha bariz azalma tespit edilmiştir. Çarliston çeşidinde kuru ağırlığın 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde -%23,52 ve -%49,01 azaldığı ve taze ağırlığın ise -%24,6 ve -%48,61 azaldığı kontrole göre bulunmuştur. Dolmalık çeşitlerinde ise kuru ağırlığın 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde -%44,1 ve -58,8 oranlarında ve taze ağırlığın ise %42 ve %54,9 oranlarında azaldığı görülmüştür (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde toprak üstü taze ve kuru ağırlığı (g/bitki)

Muameleler		Toprak üstü taze ağırlık				Toprak üstü kuru ağırlık			
Çeşit Tuz		2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	310 A	320 A	315 A	100	60 A	57 A	58 A	100.00
	3.5 dS/m	259 B	256 B	257 B	-18,41	43 B	40 B	43 B	-25.86
	7 dS/m	218 C	225 C	221 C	-29,84	38 C	35 C	37 B	-36.02
Ç	Kontrol	245 A	259 A	256 A	100.00	52 A	51 A	51 A	100.00
	3.5 dS/m	168 B	212 B	209 B	-24.60	38 B	40 B	39 B	-23.52
	7 dS/m	126 C	133 C	139 C	-48.61	28 C	24 C	26 C	-49.01
D	Kontrol	215 A	216 A	214 A	100.00	34 A	35 A	34 A	100.00
	3.5 dS/m	124 B	126 B	131 B	-42.00	20 B	18 B	19 B	-44.10
	7 dS/m	88 C	106 C	104 C	-54.90	16 C	13 C	14 C	-58.80

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P < 0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.1.2. Kök taze ve kuru ağırlık (g)

Bu çalışmada kullanılan farklı biber çeşitleri ve tuz seviyelerinin taze ve kuru kök ağırlığı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.3'te

verilmiştir. Çalışmada, 2016 ve 2017 yılları ile 2016-2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri, çeşit ve Ç×T interaksiyon önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ayrıca yıllara bağlı olarak Ç×T×Y, Ç×Y ve T×Y interaksiyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında farklılıkların istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde kök taze ve kuru ağırlığa ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Kök taze ağırlık				Kök kuru ağırlık			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	501	65,8	<,00**	2	45,20	167,20	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	281	36,9	<,00**	2	52,08	192,66	<,00**
	T×Ç	4	40,5	5,3	<,05*	4	1,66	6,15	<,00**
2017	Tuz (T)	2	531,8	60,7	<,00**	2	34,61	178,33	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	259	29,7	<,00**	2	51,53	265,48	<,00**
	T×Ç	4	36,81	4,20	<,01**	4	2,04	10,51	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	516	65,93	<,00**	2	39,72	225,38	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	270,64	34,54	<,00**	2	51,80	293,95	<,00**
	T×Ç	4	38,46	4,91	<,00**	4	1,83	10,40	<,00**
	Yıl (Y)	1	1,34	0,16	0,68 ^{NS}	1	0,03	0,16	0,68 ^{NS}
	Ç × Y	2	0,53	0,06	0,93 ^{NS}	2	0,37	1,60	0,21 ^{NS}
	T×Y	2	0,21	0,02	0,97 ^{NS}	2	0,004	0,01	0,98 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	0,46	0,05	0,9 ^{NS}	4	0,03	0,15	0,95 ^{NS}

NS: $p>0,05$ de önemsiz. * $p<0,05$ ve ** $p<0,01$ olasılık düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Biber çeşitlerine ait kök taze ve kuru ağırlık değerlerine ait bulgular Çizelge 4.4’de verilmiştir. 2016- 2017 ortalama verilerine göre kontrol ve tuzlu koşullar altında kök kuru ağırlığı maraş çeşidinde 11,83 ile 4,91 g/bitki, Dolmalıkta 5,82 ile 2,0 g/bitki ve Çarlistonda ise 7,8 ile 1,93 g/bitki arasında değişmiştir. Artan tuz ile Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde kök taze ve kuru ağırlığında önemli düşüşler meydana gelmiş, bununla birlikte Maraş çeşidinde meydana gelen düşüşün daha az olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde kök taze ve kuru ağırlık (g/bitki)

Muameleler		Kök taze ağırlık				Kök kuru ağırlık			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	32,70 A	33,40 A	33,80 A	100	11,27 A	12,40 A	11,83A	100
	3.5dS/m	31,70 A	30,60A	31,30 A	-7,16	8,05 B	8,84 B	8,44 B	-28,65
	7 dS/m	25,40 B	24,80B	25,00 B	-26,01	4,71 C	5,11 C	4,91 C	-58,49
Ç	Kontrol	19,80 A	21,70A	20,20 A	100	7,19 A	8,42 A	7,80 A	100
	3.5 dS/m	15,10 B	17,30 B	16,40 B	-18,80	4,95 B	4,78 B	4,86 B	-37,69
	7 dS/m	7,40 C	6,40 C	6,50 C	-67,84	1,95 C	1,92 C	1,93 C	-75,25
D	Kontrol	22,20 A	21,80 A	21,50 A	100	5,35 A	6,30 A	5,82 A	100
	3.5 dS/m	15,00 B	17,00 B	16,00 B	-25,58	3,30 B	3,52 B	3,41 B	-41,40
	7 dS/m	7,40 C	8,10 C	7,50 C	-65,12	2,16 C	1,85 C	2,00 C	-65,63

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

Tuz stresi altında kök taze ve kuru ağırlığında kontrole göre % değişim Çizelge 4.4’de verilmiştir. Maraş çeşidinde % değişim iki tuz seviyesinde kontrole kıyasla çok düşük seviyede bir azalma meydana gelmiştir. Dolmalık çeşitte 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde kuru ağırlık sırasıyla %41,4 ve %65,63 oranlarında azalmıştır. Çarliston çeşidinde ise 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde kuru ağırlıkta kontrole göre sırasıyla %37,69 ve %75,25 azalma tespit edilmiştir. Kök taze ağırlık 3.5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde dolmalıkta %25,58 ve %65,12 oranlarında, Çarliston çeşidinde ise %18,80 ve %67,84 oranlarında azalma meydana gelmiştir.

4.1.3. Yaprak sayısı ve yaprak alanı

Tuzlu şartların farklı biber çeşitlerinde yaprak alanı ve yaprak sayısı üzerine etkisini gösterir varyans analiz sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre; 2016, 2017 ve 2016–2017 yılları ortalamasında tuz ve çeşit yaprak alanı ve yaprak

sayısını önemli ölçüde etkilemiştir. Bununla birlikte, yıllara bağlı olarak yaprak alanı ve yaprak sayısı bakımından $\text{Ç} \times \text{Y}$, $\text{T} \times \text{Y}$ ve $\text{Ç} \times \text{T} \times \text{Y}$ etkileşimlerinin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemsiz ($p > 0,05$) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde yaprak alanı ve yaprak sayısına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Yaprak Alanı				Yaprak sayısı			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	3670202	114	<,00**	2	23497	65,92	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2707079	84	<,00**	2	41316	115,9	<,00**
	T×Ç	4	89369	2,77	<,047*	4	1958	5,49	<,02*
2017	Tuz (T)	2	4150751	359	<,00**	2	25595	59,95	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2969446	256	<,00**	2	43694	102,35	<,00**
	T×Ç	4	67647	5,85	<,03**	4	1343	3,14	<,04*
Ortalama	Tuz (T)	2	3793127	466	<,00**	2	24532	77,97	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2690843	331	<,00**	2	42422	134,83	<,00**
	T×Ç	4	3793127	4,66	<,00**	4	1623	5,16	<,00**
	Yıl (Y)	1	19342	0,6	0,44 ^{NS}	1	0,66	0,002	0,96 ^{NS}
	Ç × Y	2	21456	0,67	0,93 ^{NS}	2	28,16	0,07	0,93 ^{NS}
	T × Y	2	11689	0,36	0,97 ^{NS}	2	166,8	0,42	0,65 ^{NS}
	Ç × T × Y	4	6352	0,19	0,9 ^{NS}	4	54,72	0,14	0,96 ^{NS}

NS: $p > 0,05$ de önemsiz. * $p < 0,05$ ve ** $p < 0,01$ olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Biber çeşitlerinde tuz yaprak alanı ve yaprak sayısını önemli ölçüde azaltmıştır. Yıllar ortalamasına göre, en yüksek yaprak alanı kontrol şartlarında 5696 cm^2 olarak Maraş çeşidinde ölçülürken, en düşük yaprak alanı 2592 cm^2 olarak Dolmalık çeşitte meydana gelmiştir. Tuzlu şartlarda üç biber çeşidinde de yaprak alanı ve yaprak sayısı azalmaya başlamış, 7 dS/m tuz seviyesi Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde çok düşüşe neden olmuştur. Maraş çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde azalma daha düşük düzeyde bulunmuştur. Yaprak alanındaki % değişim 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde Maraşta -24,26 ve -33,90 olurken, Dolmalıkta -37,42 ve -51,20 çarlistonda ise 13,50 ve 40,18 olarak tespit edilmiştir. Yaprak sayısı bakımından 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerde % değişim Maraş çeşidinde sırasıyla -%21,57 ve -%29,94, Dolmalıkta -%31,73 ve -%47,20 ve Çarlistonda -%29,49 ve -%52,36 oranlarında azalma olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde yaprak alanı (cm²/bitki) ve yaprak sayısı (adet/bitki)

Muameleler		Yaprak Alanı				Yaprak sayısı			
Çeşit Tuz		2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	5850 A	5542 A	5696 A	100	337 A	352 A	344 A	100
	3.5 dS/m	4226 B	4402 B	4314 B	-24.26	273 B	267 B	270 B	-21,57
	7 dS/m	3648 C	3882 C	3765 C	-33.90	235 C	246 C	241 C	-29,94
Ç	Kontrol	3068 A	2982 A	3025 A	100	275 A	276 A	275 A	100
	3.5 dS/m	2689 B	2544 B	2617 B	-13.50	197 B	191 B	194 B	-29,49
	7 dS/m	1871 C	1748 C	1810 C	-40.18	129 C	134 C	131 C	-52,36
D	Kontrol	2624 A	2560 A	2592 A	100	288 A	287 A	287 A	100
	3.5 dS/m	1674 B	1570 B	1622 B	-37.42	200 B	192 B	196 B	-31,73
	7 dS/m	1300 C	1230 C	1265 C	-51.20	155 C	148 C	151 C	47,2

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.2. Tuz Stresinin Biberde Doku Elektrik İletkenliği (DEİ) ve Doku Oransal Su İçeriği (DOSİ) Üzerine Etkisi

Tuzluluğun farklı biber çeşitlerinde DEİ ve DOSİ üzerindeki etkisini gösterir varyans analiz sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, tuz DEİ ve DOSİ verilerini etkilemiş ve tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde DEİ ve DOSİ bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir. İstatistik analiz sonuçlarına göre, 2016 ve 2017 yılları ile 2016-2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitler arasındaki farklılıklar, Ç×T interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yıllara bağlı olarak Ç×T×Y, Ç×Y ve T×Y interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında farklılıkların istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.7. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde doku elektrik iletkenliği (DEİ) (%) ve doku oransal su içeriğine (DOSİ) (%) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		DOSİ				DEİ			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	55,8	21,6	<,00**	2	357	52,43	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	921	356	<,00**	2	88,7	13,03	<,00**
	T×Ç	4	10,3	4	<,00**	4	150	22,14	<,02*
2017	Tuz (T)	2	761	54,4	<,00**	2	226	184	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2007	143	<,00**	2	11,1 1	9,11	<,01**
	T×Ç	4	38,6	2,7	<,04*	4	170	138	<,04*
Ortalama	Tuz (T)	2	205	49,5	<,00**	2	278	128	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	1410	340	<,00**	2	39,6	18,3	<,00**
	T×Ç	4	13,82	3,33	<,03*	4	156	72,2	<,00**
	Yıl (Y)	1	62,96	15,6	<,00**	1	3638	439	<,00**
	Ç × Y	2	26,34	6,88	0,063 ^{NS}	2	415	43	0,1 ^{NS}
	T×Y	2	20,5	5,11	0,058 ^{NS}	2	123	16	0,1 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	8,57	2,13	.09 ^{NS}	4	21,3 6	2,57	0,06 ^{NS}

NS: $p>0,05$ de önemsiz. * $p<0,05$ ve ** $p<0,01$ olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Tuz stresi altında en yüksek DEİ Çarliston çeşidinde tespit edilirken, en düşük DEİ Maraş çeşidinde belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Tuz uygulaması DEİ’i üç biber çeşidinde de artırmış ve çeşitlere bağlı olarak oluşan fark önemli bulunmuştur. 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde DEİ % değişimi Maraş çeşidinde sırasıyla %67 ve %103 artış gösterirken, Dolmalık çeşidinde %82 ve %121, Çarliston çeşidinde ise %96 ve %133 oranlarında çıkmıştır.

Doku oransal su içeriği kontrol koşulları altında çeşitler arasında farklılıklar göstermiştir. Tuz uygulaması DOSİ’ni önemli derecede etkilemiş, ortalama verilere göre tuz stresi altında (7 dS/m) en düşük DOSİ -%13,01 ile Dolmalık biber çeşidinde tespit edilirken, Maraş biber çeşidi en yüksek DOSİ değerlerine sahip olmuştur. Ortalama % değişim verilerine göre Maraş çeşidinde DOSİ artan tuz seviyesine paralel olarak artarken, Dolmalıkta azalma meydana gelmiştir. Çarliston çeşidinde ise DOSİ farklı bir tepki göstermiş, önce 3,5 dS/m seviyesinde artış sonra ise azalma olmuştur (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde doku elektrik iletkenliği ve doku oransal su içeriği (%)

Muameleler		DOSİ				DEİ			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	79,7 B	81B	80,3 B	100	16,33 A	24,15 A	20,24 A	100
	3.5dS/m	79,9 B	82,8 B	81,3 B	1,2	27,45 B	40,17 B	33,81 B	67
	7 dS/m	82,6 A	91,3 A	86,9 A	8,2	33,77 C	48,57 C	41,17 C	103
Ç	Kontrol	80,5 B	77,3 B	78,9 B	100	16,8, A	24,47 A	20,6 A	100
	3.5 dS/m	92,1 A	77,4 B	84,7 A	7,3	38,3 B	42,6 B	40,45 B	96
	7 dS/m	79,2 B	78,3 B	78,7 B	0,01	40,6 C	55,18 C	48 C	133
D	Kontrol	82,6 A	83,5 A	83 A	100	20,4 A	24,26 A	22,3 A	100
	3.5 dS/m	78,5 B	80,3 B	79,4 B	-4,3	35,1 B	45,72 B	40,5 B	82
	7 dS/m	73 C	71,4 C	72,2 C	-13,01	47,5 C	51,2 C	49,35 C	121

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.3. Tuz Stresinin Biberde Klorofil *a* ve *b* Üzerine Etkisi (mg/g)

Tuz ve çeşitlerin klorofil *a* ve *b* miktarına etkisi ile ilgili varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, 2016 ve 2017’de tuz ve çeşit klorofil *a* ve *b* miktarını istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemiştir. Fakat klorofil *a* ve *b* miktarı bakımından yıllara bağlı $\text{Ç} \times \text{Y}$, $\text{T} \times \text{Y}$ ve $\text{Ç} \times \text{T} \times \text{Y}$ interaksiyonları istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Kontrol ve tuzlu koşullarda yetiştirilen biber çeşitlerine ait klorofil *a* ve *b* değerlerine ait bulgular Çizelge 4.10’da verilmiştir. Yıllar ortalamasına göre, kontrol ve tuzlu koşullar altında klorofil *a* miktarı Maraş çeşidinde 1,57 ile 1,35 mg/g, Dolmalık çeşidinde 2,06 ile 1,58 mg/g ve Çarlistonda 2,06 ile 1,48 mg/g arasında değişmiştir.

Çizelge 4.9. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde klorofil a ve klorofil b miktarına ait varyans analiz sonuçları (mg/g)

Varyasyon Kaynakları		Klorofil a				Klorofil b			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	0,21	25,5	<,00**	2	0,56	18,17	<,01**
	Çeşit (Ç)	2	0,16	19,5	<,00**	2	0,51	16,57	<,00**
	T×Ç	4	0,07	8,28	<,00*	4	0,22	7,30	<,00**
2017	Tuz (T)	2	0,27	32,2	<,00**	2	0,80	48,54	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	0,18	21,5	<,00**	2	0,57	34,61	<,00**
	T×Ç	4	0,05	6,49	<,02*	4	0,19	11,63	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	0,249	35,4	<,00**	2	0,68	36,01	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	0,170	24,2	<,00**	2	0,53	27,89	<,00**
	T×Ç	4	0,061	8,68	<,00**	4	0,20	10,91	<,00**
	Yıl (Y)	1	0,258	30	0,00**	1	0,69	29,15	<,04*
	Ç × Y	2	0,003	0,29	0,74 ^{NS}	2	0,01	0,48	0,62 ^{NS}
	T×Y	2	0,015	1,79	0,18 ^{NS}	2	0,03	1,25	0,49 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	0,005	0,60	0,66 ^{NS}	4	0,09	0,39	0,81 ^{NS}

NS: $p>0,05$ de önemsiz. * $p<0,05$ ve ** $p<0,01$ olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Klorofil b miktarı bakımından yıllar ortalamasına göre, kontrol ve tuz koşulları altında Maraş çeşidinde 2,61 ile 2,24 mg/g, Dolmalık çeşidinde 3,02 ile 2,39 mg/g ve Çarliston çeşidinde 3,42 ile 2,48 mg/g arasında değişmiştir. Çizelge 4.10'da görüldüğü gibi, artan tuz seviyesi dolmalık ve çarliston çeşitlerinde klorofil a ve b miktarına önemli düşüş meydana getirmiş, Maraş biberinde 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde hafif azalma belirlenmiştir. Tuz stresi altında kontrole göre klorofil a ve b miktarındaki % değişim 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyesinde kontrol grupla kıyasla Maraş çeşidinde klorofil a % değişimi %12,28 ve %14,06, Dolmalıkta klorofil a miktarında %19,4 ve %23,3 ve Çarliston çeşidinde %18,93 ve %28,30 azalma belirlenmiştir. Klorofil b miktarı 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde Maraş biberinde %12,67 ve %14,38, Çarliston çeşidinde %20,7 ve %27,41 ve Dolmalık çeşidinde %10,60 ve %20,86 azalma belirlenmiştir.

Çizelge 4.10. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde klorofil a ve klorofil b miktarı (mg/g)

Muameleler		Klorofil a				Klorofil b			
Çeşit Tuz		2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	1,53 A	1,60 A	1,57 A	100	2,55 A	2,68 A	2,61 A	100
	3.5dS/m	1,29 B	1,46 B	1,37 B	-12,28	2,16 B	2,41 B	2,28 B	-12,67
	7 dS/m	1,28 B	1,41B	1,35 B	-14,06	2,15 B	2,33 B	2,24 B	-14,38
Ç	Kontrol	1,97 A	2,16 A	2,06 A	100	3,32 A	3,52 A	3,42 A	100
	3.5 dS/m	1,61 B	1,74 B	1,67 B	-18,93	2,62 B	2,80 B	2,71 B	-20,7
	7 dS/m	1,41 C	1,55 C	1,48 C	-28,30	2,40 B	2,57 C	2,48 C	-27,41
D	Kontrol	1,88 A	2,25 A	2,06 A	100	2,84 A	3,20 A	3,02 A	100
	3.5 dS/m	1,52 B	1,81 B	1,66 B	-19,4	2,57 B	2,83 B	2,70 B	-10,60
	7 dS/m	1,44 C	1,73 C	1,58 C	-23,3	2,35 C	2,43 C	2,39 C	-20,86

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.4. Tuz Stresinin Biberde Fotosentez Kapasitesi Üzerine Etkisi

4.4.1. Fotosentetik aktivite (P_n) ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ve CO_2 içeriği (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)

Tuz ve çeşitlerin P_n ve C_i üzerine etkisi ile ilgili varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11’de gösterilmiştir. Varyans analizi sonuçları 2016, 2017 ve yıllar ortalamasında tuz ve çeşit P_n ve C_i önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Fakat yıllara bağlı olarak fotosentetik aktivite ve CO_2 içeriği bakımından $\text{Ç} \times \text{Y}$, $\text{T} \times \text{Y}$ ve $\text{Ç} \times \text{T} \times \text{Y}$ etkileşimleri istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, yıllar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Uygulamaların biber çeşitlerinde P_n ve C_i üzerine etkisi Çizelge 4.12’de verilmiştir. Artan tuz seviyesi dolmalık ve çarliston çeşitlerinde P_n ve C_i ’de düşüşe neden olmuştur. Maraş çeşidinde 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasındaki farkın önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde Pn ve Ci'ye ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Pn				Ci			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	115,162	3,91	<,00**	2	47,43	1,68	<,01**
	Çeşit (Ç)	2	10,189	346	<,00**	2	8,93	317	<,00**
	T×Ç	4	0,77	26,1	<,00*	4	0,083	2,95	<,031*
2017	Tuz (T)	2	129,76	414	<,00**	2	46,12	285,20	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	7,71	24,6	<,01**	2	5,07	31,38	<,00**
	T×Ç	4	2,190	6,84	<,00**	4	0,209	4,996	<,00*
Ortalama	Tuz (T)	2	126,11	1,57	<,00**	2	46,77	698	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	0,11	1,39	<,00**	2	6,86	102,4	<,00**
	T×Ç	4	1,22	15,3	<,00**	4	1,88	182,43	<,02*
	Yıl (Y)	1	1,82	10,6	<,00**	1	0,066	5,84	<,025*
	Ç × Y	2	0,117	0,68	0,51 ^{NS}	2	0,117	0,680	0,51 ^{NS}
	T×Y	2	0,26	1,55	0,22 ^{NS}	2	0,26	1,55	0,22 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	0,03	0,19	0,93 ^{NS}	4	0,03	0,19	0,93 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Tuz stresi koşullarında biber çeşitlerinin Pn ve Ci önemli derecede düşmüştür. Yıllar ortalamasına göre, kontrol ve tuz koşulları altında Pn ortalama verilerine göre Maraş çeşidinde 9,92 ile 3,7, Dolmalık çeşidinde 9,45 ile 2,11 ve çarlistonda 9,61 ile 2,01 arasında değişmiştir. Ci ise Maraş çeşidinde 5,03 ile 1,74, dolmalık çeşidinde 5,35 ile 1,33 ve çarliston çeşidinde ise 4,7 ile 1,06 arasında değişmiştir (Çizelge 4.12).

Tuz stresi altında kontrole göre Pn ve Ci % değişim Çizelge 4.12'de verilmiştir. Pn bakımından Maraş biberinde % değişim iki tuz seviyesi arasında farklılık tespit edilmemiştir. Hâlbuki dolmalık çeşidinde 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde Pn'de sırasıyla %53 ve %77 azalma tespit edilmiştir. Çarliston çeşidinde ise sırasıyla %53 ve %80 azalma meydana gelmiştir. Ci bakımından da Maraş çeşidinde % değişim iki tuz seviyesinde de kontrol grubuna göre farklılık göstermiştir. 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde Maraş çeşidinde %57 ve %65, Çarlistonda %53 ve %77, Dolmalık çeşitte ise %62 ve %75 oranlarında sırasıyla azalma göstermiştir.

Çizelge 4.12. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde net Pn ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ve Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) içeriği

Muameleler		Pn				Ci			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	10,02 A	9,83 A	9,92 A	100	5,34 A	4,72 A	5,03 A	100
	3,5dS/m	4,65 B	5,13 B	4,74 B	- 50	1,94 B	2,12 B	2,13 B	- 57
	7 dS/m	3,98 B	3,83 B	3,7 B	-60	1,62 B	1,86 B	1,74 B	- 65
Ç	Kontrol	9,10 A	10,13 A	9,61 A	100	5,04 A	4,43 A	4,7 A	100
	3,5 dS/m	3,94 B	5,03 B	4,48 B	-53.3	2,34 B	2,03 B	2,18 B	- 53
	7 dS/m	1,45 C	2,56 C	2,01 C	-80	1,31 C	0,81 C	1,06 C	- 77
D	Kontrol	8,50 A	10,04 A	9,45 A	100	5,40 A	5,29 A	5,35 A	100
	3,5 dS/m	4,26 B	4,7 B	4,53 B	- 53	2,02 B	1,97 B	1,99 B	- 62
	7 dS/m	1,34 C	2,88 C	2,11C	- 77	1,39 C	1,28 C	1,33 C	- 75

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.4.2. Stoma iletkenliği (gs) ve transpirasyon oranı (Tr)

Bu çalışmada kullanılan farklı biber çeşitleri ve tuz seviyelerinin uygulamaları bitkilerin gs ve Tr üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir. 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri, çeşit ve Ç×T interaksyonu önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ayrıca yıllara bağlı olarak Ç×T×Y, Ç×Y ve T×Y interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analizin sonuçlarına göre, yıl faktörü istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Çalışmanın yürütüldüğü her iki yılda da tuzlu koşullarda yetiştirilen biber çeşitlerinin gs ve Tr önemli düşüşler belirlenmiştir. Gs bakımından 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında Maraş çeşidinde istatistiki açıdan bir farklılık görülmemiştir, ancak kontrol bitkilerine göre gs’de önemli seviyede azalmanın olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde tuz seviyelerinde arasında istatistiki açıdan önemli farklılık belirlenmiştir.

Tr bakımından 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında Maraş çeşidinde istatistiki açıdan bir farklılık görülmemiş tuz stresi kontrole göre Tr oranında istatistiksel anlamda azalma olduğu tespit edilmiştir. Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde ise tuz uygulamasıyla düşüşler meydana gelmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.13. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde gs ve Tr ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		S.D	K.O.	gs			S.D	K.O.	Tr	
				F	Ö.S.				F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	4291	1,07	<,00**	2	0,136	208,14	<,00**	
	Çeşit (Ç)	2	2990	747	<,00**	2	0,001	1,3	<,00**	
	T×Ç	4	157,59	39,3	<,00*	4	0,001	1,85	<,01**	
2017	Tuz (T)	2	13213	140	<,00**	2	0,151	221	<,00**	
	Çeşit (Ç)	2	1288	13,6	<,00**	2	0,004	1,85	<,01**	
	T×Ç	4	243	2,59	<,04*	4	0,005	2,1	<,02*	
Ortalama	Tuz (T)	2	7875	320	<,01**	2	0,041	3,02	<,00**	
	Çeşit (Ç)	2	1866	76	<,03*	2	0,022	1,66	<,00**	
	T×Ç	4	151,03	6,14	<,03*	4	0,001	462	<,00*	
a	Yıl (Y)	1	1350	337	<,00**	1	0,001	951,69	<,00**	
	Ç × Y	2	1,167	1,12	0,33 ^{NS}	2	0,004	91,3	0,51 ^{NS}	
	T×Y	2	2,542	2,44	0,10 ^{NS}	2	0,001	260	0,25 ^{NS}	
	Ç×T×Y	4	21,792	20,9	0,18 ^{NS}	4	1,72	11,70	0,32 ^{NS}	

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.14. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde gs ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ve Tr ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

Muameleler		gs				Tr			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama %	2016	2017	Ortalama	Ortalama %
M	Kontrol	328A	294A	311A	100	0,285 A	0,27 A	0,277 A	100
	3.5dS/m	257 B	223 B	245 B	-21	0,066 B	0,058 B	0,062 B	-81
	7 dS/m	246 B	233 B	240 B	-22	0,051 B	0,046 C	0,043 B	-84
Ç	Kontrol	290A	296A	296A	100	0,251 A	0,254A	0,252 A	100
	3.5 dS/m	225 B	231 B	228 B	-23	0,055 B	0,054 B	0,054 B	-78
	7 dS/m	204 C	195	199 C	-33	0,032 C	0,045 C	0,039 C	-84
D	Kontrol	330A	317A	324A	100	0,277 A	0,281 A	0,279 A	100
	3.5 dS/m	270 B	248 B	258 B	-19	0,091 B	0,095 B	0,093 B	-66
	7 dS	251 C	205 C	228 C	-30	0,021 C	0,036 C	0,028 C	-89

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, P<0.05). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.5. Tuz Stresinin Biberde Bitki Besin Element İçeriği Üzerine Etkisi

4.5.1. Azot (N) içeriği (%)

Bu çalışmada kullanılan farklı biber çeşitleri ve tuz seviyelerinin bitkide N miktarı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.15’de verilmiştir. Çizelge 4.15’de görüldüğü gibi 2016 ve 2017 yılları ile 2016-2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitler arasındaki farklılıkların ve Ç×T interaksyonunun önemsiz ($p>0,05$) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yıllara bağlı olarak Ç×T×Y, Ç×Y ve T×Y interaksyonlarının da istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında önemli bir farklılık bulunmuştur. Çizelge 4.16’da görüldüğü gibi denemede kullanılan çeşitlerin N içerikleri tuz uygulamasından etkilenmemiştir.

Çizelge 4.15. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde azot (N) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Azot konsantrasyonu			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	0,009	0,425	0,66 ^{NS}
	Çeşit (Ç)	2	0,031	1,508	0,24 ^{NS}
	T×Ç	4	0,019	0,914	0,47 ^{NS}
2017	Tuz (T)	2	0,006	0,249	0,78 ^{NS}
	Çeşit (Ç)	2	0,041	1,670	0,21 ^{NS}
	T×Ç	4	0,023	0,947	0,46 ^{NS}
Ortalama	Tuz (T)	2	0,007	0,323	0,72 ^{NS}
	Çeşit (Ç)	2	0,036	1,610	0,22 ^{NS}
	T×Ç	4	0,021	0,940	0,46 ^{NS}
	Yıl (Y)	1	0,355	15,651	0,001 ^{**}
	Ç ×Y	2	0,00	0,015	0,98 ^{NS}
	T×Y	2	0,00	0,021	0,98 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	0,00	0,09	0,99 ^{NS}

NS: $p>0,05$ de önemsiz. * $p<0,05$ ve ** $p<0,01$ olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.16. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinin azot içeriği (mg/kg)

Muameleler		Azot		
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama
M	Kontrol	2,06 ^{NS}	1,92 ^{NS}	1,99 ^{NS}
	3.5dS/m	2,06	1,92	1,99
	7 dS/m	2,14	2,01	2,07
Ç	Kontrol	2,06 ^{NS}	1,92 ^{NS}	1,99 ^{NS}
	3.5 dS/m	2,08	1,94	1,94
	7 dS/m	2,24	2,10	2,10
D	Kontrol	2,10 ^{NS}	2,10 ^{NS}	2,20 ^{NS}
	3.5 dS/m	2,20	1,99	2,06
	7 dS/m	2,20	2,00	2,16

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.5.2. Fosfor (P) ve potasyum (K) içeriği (mg/kg)

Bu çalışmada kullanılan farklı biber çeşitleri ve tuz seviyesi uygulamalarının bitki P ve K içeriği üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir. Çalışmada, 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve Ç×T varyasyon önemli bulunmuştur, fakat çeşitler arasında P ve K içeriği bakımından istatistiksel olarak bir farklılık tespit edilmemiştir. Ayrıca yıllara bağlı olarak Ç×T×Y, Ç×Y ve T×Y interaksiyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında P bakımından istatistiksel olarak önemli bir farklılık belirlenmiştir.

Denemede kullanılan çeşitlerin P ve K içerikleri tuz uygulamasından etkilenmiştir. 7 dS/m tuz stresi altındaki Çarliston ve Dolmalık bitkilerde yaprakların P içeriği artmış, Çarliston çeşidi 7 dS/m tuz seviyesinde %9,78 artış ile en yüksek P miktarına sahip olmuştur. Maraş çeşidinde ise 3,5 dS/m de P miktarı %0,75 artmış, 7 dS/m de %3,37 azalma tespit edilmiştir (Çizelge 4.18). Çizelge 4,18’de incelendiğinde, tuz stresi koşulları incelenen çeşitlerde yaprak K içeriğini azaltmıştır. Fakat tuzlu koşullar

denemede incelenen çeşitleri K içeriği bakımından farklı şekilde etkilemiştir. Maraş çeşidinde 3,5 dS/m tuz seviyesinde %0,81 artış sonra 7 dS/m tuz seviyesinde -%4,8 azalma tespit edilmiştir. Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde 3,5 dS/m tuz seviyesinde sırayla -%8,20 ve -%3,84 azalma tespit edilmiştir.

Çizelge 4.17. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde fosfor (P) ve potasyum (K) içeriklerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		P				K			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	26538	4,99	<,01**	2	12990504	47,12	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	1758	0,33	0,72 ^{NS}	2	574142	2,08	0,15 ^{NS}
	T×Ç	4	30320	5,71	<,00**	4	3052402	11,07	<,00**
2017	Tuz (T)	2	28403	4,231	<,03*	2	1303176	46,92	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2325	0,346	0,712 ^{NS}	2	562324	2,025	0,16 ^{NS}
	T×Ç	4	28364	4,226	<,01**	4	3033470	10,92	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	27439	4,747	<,02*	2	1301109	47,06	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2028	0,351	0,72 ^{NS}	2	568104	2,055	0,15 ^{NS}
	T×Ç	4	29318	5,073	<,00**	4	3042925	11	<,00**
	Yıl (Y)	1	195057	3,448	<,00**	1	115594	0,41	0,52 ^{NS}
	Ç × Y	2	27.022	.004	0,26 ^{NS}	2	256,62	0,001	0,38 ^{NS}
	T×Y	2	64	0,02	0,69 ^{NS}	2	77,973	0,00	0,91 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	48,15	0,01	0,92 ^{NS}	4	22,3	0,01	0,74 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.18. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber P ve K içeriği (mg/kg)

Muameleler		P				K			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama %	2016	2017	Ortalama	Ortalama %
M	Kontrol	2735 A	2638 A	2686 A	100	23648 A	23773 A	23711 A	100
	3.5dS/m	2755 A	2658 A	2706 A	0.75	23841 A	23966 A	23903 A	0,81
	7 dS/m	2663 B	2566 B	2615 B	-3.37	22251 B	22875 B	22563 B	-4,8
Ç	Kontrol	2664 B	2567 B	2616 B	100	23449 A	23573 A	23511 A	100
	3.5 dS/m	2616 B	2519 B	2568 B	-1.84	22545 B	22670 B	22608 B	-3,84
	7 dS/m	2867 A	2770 A	2819 A	9.78	21633 C	21758 C	21696 C	-7,72
D	Kontrol	2637 B	2540 B	2589 B	100	25150 A	25275 A	25111 A	100
	3.5 dS/m	2762 A	2665 A	2714 A	4.84	21521 B	21645 B	21583 B	-8,20
	7 dS/m	2823 A	2726 A	2775 A	2.23	21810 B	21934 B	21872 B	-6,97

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, P<0.05). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.5.3. Magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) içeriği (mg/kg)

Bu çalışmada kullanılan farklı biber çeşitleri ve tuz seviyelerinin Mg ve Ca miktarı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.19'de verilmiştir. Çizelge 4.19'de görüldüğü gibi 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitler arasındaki farklılıklar, Ç×T interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ayrıca, yıllara bağlı olarak Ç×T×Y, Ç×Y ve T×Y interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında önemli bir farklılık belirlenmiştir.

Çarliston ve Dolmalık çeşidinde kontrole kıyasla 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamalarında Mg ve Ca miktarında istatistiksel olarak önemli bir düşüş ($P<0.05$) olduğu görülmektedir. Fakat 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. Maraş çeşidinde ise kontrole kıyasla 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerine paralel olarak Mg miktarında azalma ($P<0.05$) olduğu görülmüştür. Ca miktarında Maraş çeşidinde azalma tespit edilmiş, 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. Mg içeriği tuz konsantrasyondaki artışa paralel olarak azalmıştır. Ortalama % değişim verilerine 3,5 dS/m tuz seviyesinde Maraş çeşidinde Ca miktarında -%4,81 oranında, Çarliston ve Dolmalık biberde ise -%9,49 ve -10,26 oranlarında azalma tespit edilmiştir. 7 dS/m tuz seviyesinde Maraş, Çarliston ve Dolmalık çeşidinde Ca miktarı sırasıyla -%3,63, -%16,08 ve -10,83 oranlarında azalmıştır (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.19. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde magnezyum ve kalsiyum konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Magnezyum				Kalsiyum			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	27565	5,49	<,01**	2	2726535	35,58	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	72181	14,37	<,00**	2	615922	8,03	<,00**
	T×Ç	4	32608	6,49	<,002*	4	288266	3,76	<,02*
2017	Tuz (T)	2	37587.44	5.63	<,01**	2	2726857	34,1	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	55000.77	8.24	<,00**	2	625053	7,81	<,00**
	T×Ç	4	25698.55	3.85	<,02*	4	288314	3,60	<,02*
Ortalama	Tuz (T)	2	32382	5.972	<,01**	2	2726695	34,9	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	63050	11.62	<,00**	2	620472	7,94	<,00**
	T×Ç	4	28674	5.288	<,00**	4	288281	3,69	<,02*
	Yıl (Y)	1	168002	28.73	<,00**	1	316875	40,47	<,00**
	Ç × Y	2	1081	0,19	0,83 ^{NS}	2	31,35	0,00	0,68 ^{NS}
	T×Y	2	387	0,07	0,53 ^{NS}	2	0,68	0,00	0,41 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	958	0,17	0,75 ^{NS}	4	18,24	0,00	0,6 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.20. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) içeriği (mg/kg)

Muameleler		Magnezyum				Kalsiyum			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	1913 A	1810 A	1862 A	100	9415 A	8945 A	9180 A	100
	3.5dS/m	1824 B	1720 B	1772 B	-4.81	8763 B	8293 B	8528 B	-7.11
	7 dS/m	1646 C	1543 C	1594 C	-14.3	9082 B	8612AB	8847 B	-3.63
Ç	Kontrol	1703 A	1600 A	1652 A	100	9876 A	9406 A	9641 A	100
	3.5 dS/m	1480 B	1510 B	1495 B	-9.49	8731 B	8261 B	8496 B	-11.88
	7 dS/m	1403 B	1440 B	1422 B	-13.91	8326 B	7856 B	8091 B	-16.08
D	Kontrol	1955 A	1852 A	1904 A	100	9269 A	8799 A	9034 A	100
	3.5 dS/m	1760 B	1657 B	1708 B	-10.26	8208 B	7738 B	7973 B	-11.74
	7 dS/m	1704 B	1572 B	1638 B	-13.96	8291 B	7821 B	8056 B	-10.83

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, P<0.05). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.5.4. Sodyum (Na) ve klor (Cl) içeriği (mg/kg)

Bu çalışmada kullanılan farklı biber çeşitleri ve tuz uygulamalarının bitkilerin Na ve Cl miktarı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir. Çizelge 4.21’de görüldüğü gibi 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitler arasındaki farklılıklar, Ç×T interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yıllara bağlı olarak Ç×T×Y, Ç×Y ve T×Y interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasındaki farklılıklarda istatistiksel olarak ($p<0,01$) önemli bulunmuştur.

Yaprakların Na^+ ve Cl^- içerikleri bakımından hem çeşitlerde hem de tuz uygulamasında farklılık tespit edilmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerde genel olarak yaprakların Na^+ içeriği artmıştır. Ortalama % değişim verilerine göre, tuz stresi altında (7 dS/m) en yüksek Na^+ ve Cl^- miktarı Çarliston çeşidinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.22). Biber çeşitleri tuzluluğa farklı tepki gösterilmiş, tuz seviyeleri artarken Na^+ ve Cl^- miktarı Dolmalık ve Çarliston çeşidinde paralel olarak bir artış göstermişlerdir. Çarliston çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde Na^+ miktarı sırasıyla %9,48 ve 42,98 oranlarında artmıştır. Dolmalık çeşidinde ise 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde Na^+ miktarı sırasıyla %22,21 ve 40,4 artış göstermiş, fakat Maraş biberinde 3,5 dS/m tuz seviyesinde Na^+ miktarı -%6,16 azalma ve 7 dS/m seviyesinde ise %28 oranında arttığı belirlenmiştir. Cl^- miktarı 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamalarında Çarliston çeşidinde sırasıyla %9,94 ve %28,42 oranlarında artış belirlenmiştir. Bununla birlikte, Maraş ve Dolmalık çeşidinde 3,5 dS/m tuz seviyesinde Cl miktarı sırasıyla -%10,06 ve -%13,57 oranında azalırken, 7 dS/m tuz seviyesinde sırasıyla %2,74 ve %7 oranında artmıştır. Kontrol koşullarında en yüksek Na^+ miktarı Çarliston çeşidinde ve en yüksek Cl^- miktarı ise Maraş çeşidinde belirlenmiştir (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.21. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde Na⁺ ve Cl⁻ içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Na ⁺				Cl ⁻			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	95488	88,5	<,00**	2	381,66	28,7	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	14400	13,34	<,00**	2	47,53	3,57	<,04*
	T×Ç	4	2757	2,55	<,03*	4	74	5,56	<,02*
2017	Tuz (T)	2	88173	64,74	<,00**	2	346	16,81	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	9001	6,61	<,00**	2	57,79	2,80	<,05*
	T×Ç	4	4653	3,41	<,03*	4	71,36	3,46	<,03*
Ortalama	Tuz (T)	2	91701	86,97	<,00**	2	256,83	12,93	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	11533	10,93	<,00**	2	26,719	1,34	<,05*
	T×Ç	4	3625	3,43	<,03*	4	64,095	3,22	<,03*
	Yıl (Y)	1	41722	34,188	<,00**	1	3836	127,17	<,00**
	Ç × Y	2	333,907	0,274	,76 ^{NS}	2	8,87	0,294	0,74 ^{NS}
	T×Y	2	258,796	0,212	0,81 ^{NS}	2	25,45	0,844	0,43 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	161,046	0,132	0,97 ^{NS}	4	21,7	0,719	0,71 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.22. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde Na⁺ ve Cl⁻ içeriği (mg/kg)

Muameleler		Na ⁺				Cl ⁻			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	442 B	392 B	417 B	100	74 B	62 A	68 A	100
	3.5dS/m	416 B	366 B	391 B	-6.16	67 C	55 B	61 B	-10.06
	7 dS/m	553 A	512 A	532 A	28	76 A	63 A	70 A	2.74
Ç	Kontrol	479 C	429 C	454 C	100	68 B	55 B	62 B	100
	3.5 dS/m	522 B	472 B	497 B	9.48	74 B	61AB	68 B	9.94
	7 dS/m	674 A	624 A	649 A	42.98	86 A	73 A	79 A	28.42
D	Kontrol	438 C	388 C	413 C	100	71 AB	59 AB	65 AB	100
	3.5 dS/m	529 B	479 B	504 B	22.21	63 B	50 B	56 B	-13.57
	7 dS/m	597 A	563 A	580 A	40.4	74 B	65 A	70 A	7,00

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, P<0.05). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.5.5. K⁺/ Na⁺, Ca²⁺/Na⁺ ve Mg²⁺/ Na⁺

Elde edilen sonuçlara göre (Çizelge 4.23) biber çeşitleri Na, Ca, K ve Mg alımını bakımından farklı tepki göstermiş, K⁺/ Na⁺, Ca²⁺/Na⁺ ve Mg²⁺/ Na⁺ oranları bitki toleransı tuzluluğa karşı önemli bir etken olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada Dolmalık

ve Charleston çeşitlerinde tuz uygulamasıyla birlikte K^+ / Na^+ , Ca^{2+} / Na^+ ve Mg^{2+} / Na^+ oranlarında azalma belirlenmiştir. Bununla birlikte, Maraş çeşidinde 3,5 dS/m tuz seviyesinde K^+ / Na^+ , Ca^{2+} / Na^+ ve Mg^{2+} / Na^+ önce artış, sonra 7 dS/m tuz seviyede azalma tespit edilmiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde Na ve Ca, K ve Mg oranı

Muameleler		Na ve Ca, K ve Mg oranı			% Değişim		
Çeşit	Tuz	Mg/Na	Ca/Na	K/Na	Mg/Na	Ca/Na	K/Na
M	Kontrol	4.47	22.01	56.86	100	100	100
	3.5dS/m	4.53	21.81	61.13	1.49	-0,93	7,51
	7 dS/m	3.00	16.63	42.41	-32,90	-24,46	-25,41
Ç	Kontrol	3.64	21.24	51.79	100	100	100
	3.5 dS/m	3.01	17.09	45.49	-17,33	-19,50	-12,16
	7 dS/m	2.19	12.47	33.43	-39,79	-41,29	-35,45
D	Kontrol	4.61	21.87	56.93	100	100	100
	3.5 dS/m	3.39	15.82	42.82	-26,49	-27,68	-24,78
	7 dS/m	2.82	13.89	37.71	-38,74	-36,50	-33,76

4.5.6. Demir (Fe) ve bakır (Cu) içeriği (mg/kg)

Farklı biber çeşitleri ve tuz seviyesi uygulamalarının bitkilerde Fe ve Cu miktarı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.24’de verilmiştir. Çalışmada, elde edilen verilere göre Fe için 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitler arasındaki farklılıklar ve $\text{Ç} \times \text{T}$ etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Biber Cu içeriği bakımından ise tuz seviyeleri arasındaki fark önemli ($p < 0,01$) olurken, çeşitler arasındaki farklılıklar ve $\text{Ç} \times \text{T}$ etkileşimi önemli ($p < 0,05$) bulunmamıştır. Ayrıca, yıllara bağlı olarak $\text{Ç} \times \text{T} \times \text{Y}$, $\text{Ç} \times \text{Y}$ ve $\text{T} \times \text{Y}$ etkileşimlerinin istatistiksel olarak önemsiz ($p > 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre yıllar arasındaki farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir.

Yaprakların Fe içerikleri hem çeşitlerde hem de tuz uygulamasından etkilenmiş, fakat Cu içeriği yalnızca tuz uygulamasından etkilenmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerde yaprakların Fe içeriği azalmış ve ortalama % değişim verilerine göre, tuz stresi altında (3,5 ve 7 dS/m) en yüksek düşüş Dolmalık çeşidinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.25).

Artan tuz seviyelerine paralel olarak Fe miktarı Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde azalma göstermiştir. Çarliston çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde Fe miktarı sırasıyla -%15,18 ve -%22,41 oranlarında azalmıştır. Dolmalık çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde Fe miktarı sırasıyla -%31,98 ve -%30,86 oranlarında azalma göstermiştir. Maraş çeşidinde ise 3,5 dS/m tuz seviyesinde -%4,31 azalma ve 7 dS/m tuz seviyesinde de -%12,98 azalma belirlenmiştir (Çizelge 4.25).

Bakır miktarı 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamasında Çarliston çeşidinde sırasıyla -%14,41 ve -%3,72 oranlarında, Maraş çeşidinde ise sırasıyla %18,6 ve %12,72 oranlarında artış tespit edilmiştir. Ancak, Dolmalık çeşitte tuz seviyeleri arasında önemli bir değişim görülmemiştir. Kontrol koşullarda en yüksek Fe miktarı Maraş çeşidinde ve Cu en yüksek miktarı Çarliston ve Dolmalık çeşitlerinde belirlenmiştir (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.24. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde demir ve bakır içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Fe				Cu			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	6546	122,75	<,00**	2	70,292	10,432	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	3919	73,49	<,00**	2	10,922	1,621	.22 ^{NS}
	T×Ç	4	534	10,02	<,00**	4	5,167	0,767	.56 ^{NS}
2017	Tuz (T)	2	6960	120	<,00**	2	58,778	8,180	<,01**
	Çeşit (Ç)	2	3837	66,15	<,00**	2	26,778	3,727	0,05 ^{NS}
	T×Ç	4	457	7,88	<,01**	4	22,556	3,139	0,06 ^{NS}
Ortalama	Tuz (T)	2	6749	124	<,00**	2	64,244	11,894	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	3878	71,25	<,00**	2	17,828	3,301	0,06 ^{NS}
	T×Ç	4	494	9,08	<,00**	4	11,781	2,181	0,11 ^{NS}
	Yıl (Y)	1	26156	469	<,00**	1	1227	176,3	<,00**
	Ç × Y	2	6,98	0,126	.882 ^{NS}	2	0,582	0,084	0,92 ^{NS}
	T×Y	2	0,229	0,004	.996 ^{NS}	2	2,045	0,294	0,74 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	3,663	0,066	.992 ^{NS}	4	4,161	0,598	0,66 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.25. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde Fe ve Cu içeriği (mg/kg)

Muameleler		Fe				Cu			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	253 A	212 A	232 A	100	49 B	41 B	45 B	100
	3.5dS/m	230 A	195 B	222 A	-4,31	54 A	52 A	53 A	18,18
	7 dS/m	215 B	170 C	202 B	-12,98	56 A	45 A	51 A	12,25
Ç	Kontrol	218 A	176 A	197 A	100	52 B	42 B	47 B	100
	3.5 dS/m	189 B	145 B	167 B	-15,18	59 A	48 A	53 A	14,41
	7 dS/m	175 C	131 C	153 C	-22,41	53 B	43 B	48 B	3,72
D	Kontrol	246 A	202 A	224 A	100	51 A	42 A	46 A	100
	3.5 dS/m	175 B	130 B	153 B	-31,98	55 A	43 A	49 A	6,39
	7 dS/m	176 B	134 B	155 B	-30,86	54 A	45 A	50 A	7,63

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.5.7. Bor (B) ve silisyum (Si) içeriği (mg/kg)

Çalışmada kullanılan farklı biber çeşitleri ve tuz seviyelerinin bitkide B ve Si miktarı üzerine etkisini belirlenmek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.26'de verilmiştir. Çalışmada, B için 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri arasındaki ve çeşitler arasındaki farkın ve $\text{Ç} \times \text{T}$ interaksyonun istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, Si miktarı bakımından tuz etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş, fakat çeşitlerin etkisi ve $\text{Ç} \times \text{T}$ interaksyonu önemli ($p<0,05$) bulunmamıştır. Ayrıca yıllara bağlı olarak $\text{Ç} \times \text{T} \times \text{Y}$, $\text{Ç} \times \text{Y}$ ve $\text{T} \times \text{Y}$ interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık belirlenmiştir.

Yaprakların B içeriği bakımından hem çeşitlerde hem de tuz uygulamasında farklılık tespit edilmiştir, Si içeriği ise yalnız tuz uygulaması ile etkilenmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerde yaprakların B içeriği artmıştır. Ortalama % değişim verilerine göre, tuz stresi altında (7 dS/m) en yüksek B miktarı Dolmalık çeşidinde ve en düşük B miktarı Maraş çeşidinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.27).

Çalışmada kullanılan biber çeşitleri tuzluluğa B içeriği bakımından farklı tepki göstermiştir. Tuz seviyeleri artarken B miktarı dolmalık ve çarliston çeşitlerinde paralel olarak artış göstermiştir. Çarliston çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde B miktarı sırasıyla %2,95 ve %3,56 oranlarında, Dolmalık çeşidinde ise sırasıyla %10,25 ve %15,39 oranlarında artmıştır. Maraş çeşidinde ise 3,5 dS/m tuz seviyesinde B miktarında -%9,62 oranında azalma ve 7 dS/m tuz seviyesinde ise %12,00 oranında artış belirlenmiştir (Çizelge 4.27).

Si miktarı 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamasına Çarliston çeşidinde sırasıyla %0,81 ve %9,02 oranında, Dolmalık çeşidinde ise sırasıyla %2,47 ve %12,94 oranında azalma belirlenmiştir, Maraş çeşidinde 3,5dS/m tuz seviyesinde %0,18 artış, 7 dS/m tuz seviyesinde ise %3,79 azalış tespit edilmiştir. Kontrol uygulamasında Si içeriği üç çeşit biberde aynı seviyelerde olduğu, ancak B içeriğinin en yüksek Çarliston çeşidinde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.26. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde B (B) ve Si (Si) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları			B			Si			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	6.097	18.753	<,00**	2	6,677	4,459	<,02*
	Çeşit (Ç)	2	9.242	28.427	<,00**	2	0,520	0,347	0,71 ^{NS}
	T×Ç	4	2.832	8.710	<,00**	4	0,467	0,312	0,86 ^{NS}
2017	Tuz (T)	2	6.640	11.825	<,00**	2	6.513	4.524	<,021*
	Çeşit (Ç)	2	8.595	15.305	<,00**	2	.546	.379	0,69 ^{NS}
	T×Ç	4	2.689	4.788	<,00**	4	.488	.339	0,84 ^{NS}
Ortalama	Tuz (T)	2	6.381	16.910	<,00**	2	6.596	4.503	<,023*
	Çeşit (Ç)	2	8.914	23.622	<,00**	2	.528	.361	0,70 ^{NS}
	T×Ç	4	2.761	7.316	<,00**	4	.469	.320	0,85 ^{NS}
	Yıl (Y)	1	60.209	135.808	<,00**	1	13.213	8.993	<,00**
	Ç ×Y	2	0,062	0,013	0,48 ^{NS}	2	0,001	0,003	0,5 ^{NS}
	T×Y	2	0,067	0,01	0,78 ^{NS}	2	0,001	0,61	0,07 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	0,003	0,006	1,0 ^{NS}	4	0,008	0,006	0,99 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.27. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde B ve Si içeriği (mg/kg)

Muameleler		B				Si			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	16,49 B	14,49 B	15,49 B	100	14,31A	13,24A	13,77A	100
	3.5dS/m	15,00 B	13.10 B	14,00 B	-9,62	14,33A	13,26A	13,80A	0,18
	7 dS/m	17,99 A	16.11A	17,00A	12	12,41 B	11,34 B	11,87 B	-3,79
Ç	Kontrol	17,59 A	15,59A	16,59A	100	14,45A	13,39A	13,92A	100
	3.5 dS/m	18,08 A	16,08A	17,08A	2,95	14,34A	13,27A	13,81A	-0,81
	7 dS/m	18,18 A	16,18A	17,18A	3,56	13,20 B	12,13 B	12,66 B	-9,02
D	Kontrol	17,07 B	15,07 B	16,07 B	100	14,05A	12,98A	13,51A	100
	3.5 dS/m	18,72A	16,72A	17,72A	10,25	13,72A	12,64A	13,18A	-2,47
	7 dS/m	19,54 A	17,54A	18,54A	15,39	12,30 B	11,23 B	11,77 B	-2,94

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.6. Tuz Stresinin Biberde Lipit Peroksidasyon (Malondialdehid -MDA) ve Hidrojen Peroksit (H_2O_2) İçeriği Üzerine Etkisi

Bu çalışmada kullanılan farklı biber çeşitleri ve tuz seviyesi uygulamalarının bitkilerin MDA ve H_2O_2 miktarı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.28’de verilmiştir. Çalışmada, 2016 ve 2017 yılları ile ve 2016–2017 yılları ortalamasında MDA ve H_2O_2 bakımından tuz seviyeleri, çeşitlerin etkisi ve $Ç \times T$ interaksyonu önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ayrıca, yıllara bağlı olarak $Ç \times T \times Y$, $Ç \times Y$ ve $T \times Y$ interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. MDA için varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında önemli bir farklılık belirlenirken, H_2O_2 miktarı için yıllar arasındaki farklılık ($p>0,05$) önemsiz olmuştur.

Denemelerde kullanılan biber çeşitlerinde MDA ve H_2O_2 içeriği tuz uygulamasından önemli seviyede etkilenmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerde yaprakların MDA ve H_2O_2 içeriği çeşitlerin hepsinde arttığı tespit edilmiş, ancak biber çeşitleri farklı tepki göstermiştir. Maraş çeşidinde MDA içeriği 3,5 dS/m tuz seviyesi ile kontrol arasında

önemli bir farklılık bulunmamış, fakat 7 dS/m seviyesinde artmaya başlamıştır. Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde tuz seviyelerindeki artışa paralel olarak MDA ve H₂O₂ içeriğinde artış görülmüştür (Çizelge 4.29).

MDA miktarı Çarliston çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m seviyesinde ortalama değişim verilerine göre %8,76 ve %37,16 ve Dolmalık çeşidinde %6,83 ve %28,48 oranlarında artış göstermiştir. Bununla birlikte, Maraş çeşidinde 7 dS/m tuz seviyesinde %19,36 oranında artış belirlenmiştir (Çizelge 4.29). H₂O₂ miktarı 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyesinde ortalama % değişim verilerine göre Çarliston çeşidinde %31,66 ve %70,48 ve Dolmalık çeşidinde %23,53 ve %39,85 değişim tespit edilmiştir. Fakat Maraş çeşidinde 7 dS/m tuz seviyesinde %17,15 artış belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.28. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde MDA ve H₂O₂ içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		MDA				H ₂ O ₂			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	2694	115,68	<,00**	2	1091904	131	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	3677	157,89	<,00**	2	6531325	784	<,00**
	T×Ç	4	242	10,42	<,00**	4	177014	21,24	<,00**
2017	Tuz (T)	2	2931	152,20	<,00**	2	965848	52	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	3462	179,80	<,00**	2	8228812	443	<,00**
	T×Ç	4	252	13,11	<,00**	4	95136	5,12	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	2804	154,10	<,00**	2	1024267	124,52	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	3566	195,98	<,00**	2	7356054	894	<,00**
	T×Ç	4	246	13,55	<,00**	4	130438	15,85	<,00**
	Yıl (Y)	1	195.480	9,188	<,00**	1	14711	1,09	0,30 ^{NS}
	Ç × Y	2	7,486	0,35	0,706 ^{NS}	2	8892	0,66	0,52 ^{NS}
	T×Y	2	17,080	0,80	0,456 ^{NS}	2	48976	3,64	0,06 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	2,23	0,105	0,98 ^{NS}	4	11162	0,83	0,51 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.29. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde MDA (ng/ul) ve H₂O₂ (μmol/g) konsantrasyonu

Muameleler		MDA				H ₂ O ₂			
Çeşit Tuz		2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	119 B	118 B	119 B	100	1,19 B	1,17 B	1,18 B	100
	3.5dS/m	116 B	111 B	113 B	-4,28	1,27 B	1,22 B	1,25 B	6,5
	7 dS/m	143 A	140 A	142 A	19,36	1,39 A	1,37 A	1,38 A	17,15
Ç	Kontrol	140 C	136 C	138 C	100	1,41 C	1,58 C	1,50 C	100
	3.5 dS/m	154 B	146 B	150 B	8,76	1,84 B	2,1 B	1,97 B	31,66
	7 dS/m	191 A	187 A	189 A	37,16	2,46 A	2,64 A	2,55 A	70,48
D	Kontrol	146 C	140 C	143 C	100	1,18 C	1,15 C	1,16 C	100
	3.5 dS/m	156 B	149 B	153 B	6,83	1,42 B	1,46 B	1,44 B	23,53
	7 dS/m	182 A	186 A	184 A	28,48	1,58 A	1,68 A	1,63 A	39,85

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, P<0.05). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.7. Tuz Stresinin Biberde Katalaz (CAT) ve Peroksidaz (POD) Aktivitesi Üzerine Etkisi

Çizelge 4.30’da, CAT ve POD aktivitesi değerlerine ait varyans analiz sonuçları verilmiştir. Çizelge 4.30’da görüldüğü gibi, 2016 ve 2017 yıllarında varyans analizi sonuçları, tuzluluğun, çeşit ve T×Ç interaksyonunun bitkide CAT ve POD aktivitesi üzerine etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşit arasında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yıllara bağlı olarak, Ç ×Y, T×Y, Ç×T×Y interaksyonlarının bitkinin CAT ve POD aktivitesi üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemsiz (p>0,05) olduğu tespit edilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında önemli bir farklılık belirlenmiştir.

Biberde CAT ve POD aktivitesi çeşitlerden ve tuz uygulamasından önemli seviyede etkilenmiştir. Kontrol koşulları altında en yüksek CAT aktivitesi 63 U/g TA ile Maraş çeşidinde tespit edilirken, en düşük CAT aktivitesi 33 U/g TA ile Dolmalık çeşidinde belirlenmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerde yaprakların CAT ve POD aktivitesinde

Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde azalma tespit edilmiş, Maraş biberi ise farklı bir tepki göstermiştir (Çizelge 4.31).

Biber çeşitleri CAT ve POD aktivitesi bakımından tuz stresine karşı farklı tepki göstermişlerdir, Maraş çeşidinde tuz seviyeleri artarken CAT ve POD aktivitesi artmaya başlamış, ancak Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde ise 3,5 dS/m artış, 7 dS/m tuz seviyesinde azalma göstermiştir. 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyesinde ortalama % değişim verilerine göre CAT aktivitesi Çarliston çeşidinde %14,95 ve -%19,05 ve Dolmalık çeşidinde %36,31 ve -%15,10 oranlarında değişim göstermiştir. Bununla birlikte, Maraş çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde %17,34 ve %13,92 artış belirlenmiştir (Çizelge 4.31). 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyesinde ortalama % değişim verilerine göre POD aktivitesi Çarliston çeşidinde %33,25 ve -%13,81 ve Dolmalık çeşidinde %27,81 ve -%14,73 değişim belirlenmiştir. Fakat Maraş çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyesinde %44,63 ve %44,17 artış belirlenmiştir (Çizelge 4.31). Kontrol koşulları altında en yüksek POD aktivitesi 55 U/g TA ile Dolmalık çeşidinin yapraklarında tespit edilirken, en düşük POD aktivitesi 39 U/g TA ile Maraş çeşidinin yapraklarında belirlenmiştir.

Çizelge 4.30. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde CAT ve POD aktivitesine ait varyans analiz sonuçları.

Varyasyon Kaynakları		CAT				POD			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	370	22,06	<,00**	2	619,92	27,31	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2501	149,1	<,00**	2	267,23	11,77	<,00**
	T×Ç	4	16,05	0,957	<,04*	4	107	4,714	<,00**
2017	Tuz (T)	2	354	22,060	<,00**	2	618	27,31	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2980	177,66	<,00**	2	257	11,32	<,00**
	T×Ç	4	15,34	0,93	<,0.04*	4	101	4,64	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	370	22,06	<,00**	2	623	27,31	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2736	163,07	<,00**	2	259	11,44	<,00**
	T×Ç	4	16,05	0,95	<,04*	4	107	4,71	<,00**
	Yıl (Y)	1	740	39,64	<,00**	1	562	30,45	<,00**
	Ç × Y	2	7,18	0,38	0,68 ^{NS}	2	12,36	0,669	0,51 ^{NS}
	T×Y	2	1,79	0,09	0,90 ^{NS}	2	8,87	0,480	0,62 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	2,32	0,12	0,97 ^{NS}	4	8,78	0,476	0,75 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Çizelge 4.31. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde CAT ve POD aktivitesi (U/g)

Muameleler		CAT				POD			
Çeşit Tuz		2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	62 B	65 B	63 B	100	42 B	36 B	39 B	100
	3.5dS/m	71 A	78 A	75 A	17,34	59 A	55 A	57 A	44,63
	7 dS/m	75 A	70 A	72 A	13,92	61 A	54 A	58 A	47,17
Ç	Kontrol	43 B	45 B	44 B	100	47 B	44 B	45 B	100
	3.5 dS/m	48 A	53 A	51 A	14,95	62 A	59 A	61 A	33,25
	7 dS/m	30 C	41 B	36 C	-19,08	36 C	42 B	40 C	-13,81
D	Kontrol	32 B	34 B	33 B	100	57 B	53 B	55 B	100
	3.5 dS/m	46 A	45 A	45 A	36,31	72 A	68 A	70 A	27,81
	7 dS/m	31 B	25 C	28 C	-15,10	48 C	46 C	47 C	-14,73

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.8. Tuz Stresinin Biberde Süperoksit Dismutaz (SOD) ve Ascorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi Üzerine Etkisi

Tuz uygulamalarının bitki SOD ve APX aktivitesi üzerine etkilerine ait varyans analiz sonuçları, Çizelge 4.32’de verilmiştir. Bitki SOD ve APX aktivitesi bakımından, 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitleri arasında önemli ($p<0,001$) bulunmuştur. Ayrıca, her iki yıl içinde $T \times \text{Ç}$ interaksyonu ile yıllara bağlı olarak $T \times \text{Ç} \times Y$, $T \times Y$ ve $\text{Ç} \times Y$ interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde deneme konularından elde edilen yıl faktörü de istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) bulunmuştur.

Çizelge 4.33’de görüldüğü gibi, farklı tuz seviyesinde yetiştirilen biber çeşitlerinde SOD ve APX aktivasyonu önemli ölçüde etkilenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Maraş çeşidinde tuz konsantrasyonu artışına paralel olarak SOD ve APX aktivasyonunda artış belirlenmiştir (Çizelge 4.33).

Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde APX bakımından Maraş çeşidinin aksine, yapılan istatistiksel analizlere göre, APX aktivitesinin tuz arttıkça azaldığı belirlenmiştir (Çizelge 4.33). Analiz sonuçlarına göre, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerin, enzimlerin aktivitesi ile

ilgili olarak Maraş çeşidi ile kıyaslandığında, tuzluluğa farklı bir tepki göstermiş, tuz oranının 3,5 dS/m seviyesine yükseltilmesi ile SOD aktivitesi artmıştır. Ancak, tuz seviyesinin 7 dS/m'ye çıkması SOD enzim aktivitesinde bir düşüşe neden olmuştur (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.32. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde SOD ve APX aktivitesine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		SOD				APX			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	159188	14,34	<,00**	2	22958.291	12,57	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	322531	29,06	<,00**	2	192974	105,65	<,00**
	T×Ç	4	219901	19,81	<,00**	4	22813	12,49	<,00**
2017	Tuz (T)	2	134529	9,45	<,00**	2	30580	18,82	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	296637	20,84	<,00**	2	171588	105,60	<,00**
	T×Ç	4	217937	15,31	<,00**	4	31389	19,31	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	146563	11,71	<,00**	2	26426	17,49	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	309213	24,72	<,00**	2	181808	120,34	<,00**
	T×Ç	4	218878	17,49	<,00**	4	26492	17,53	<,00**
	Yıl (Y)	1	1174	0,09	0,7 ^{NS}	1	3268	1,89	0,17 ^{NS}
	Ç × Y	2	590	0,04	0,14 ^{NS}	2	686	0,39	0,67 ^{NS}
	T×Y	2	741	0,05	0,25 ^{NS}	2	948	0,54	0,58 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	81,63	0,00	0,39 ^{NS}	4	1216	0,70	0,59 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.33. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde SOD ve APX aktivitesi (U/g)

Muameleler		SOD				APX			
Çeşit Tuz		2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	520 C	526 C	523 C	100	1038 B	1045 B	1042 B	100
	3.5dS/m	664 B	658 B	661 B	26	1416 A	1408 A	1412 A	36
	7 dS/m	776 A	793 A	785 A	50	1338 A	1347 A	1343 A	29
Ç	Kontrol	487 B	462 B	475 B	100	1304 A	1315 A	1310 A	100
	3.5 dS/m	528 A	523 A	526 A	11	962 B	982 B	972 B	-26
	7 dS/m	461 B	467 B	464 B	-2	702 C	715 C	709 C	-46
D	Kontrol	324 B	320 B	322 B	100	1649 A	1664 A	1657 A	100
	3.5 dS/m	435 A	441 A	438 A	36	1253 B	1240 B	1247 B	-25
	7 dS/m	288 C	275 C	282 C	-12	1154 C	1162 C	1158 C	-30

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, P<0.05). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.9. Tuz Stresinin Biberde Prolin ve Sakkaroz İçeriği Üzerine Etkisi

Çalışma konularından elde edilen prolin ve sakkaroz miktarı değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.34’de verilmiştir. Çizelge 4.34’de görüldüğü gibi, 2016 ve 2017 yıllarda varyans analizi sonuçları, tuzluluğun, çeşit ve T×Ç interaksiyonunun bitkide prolin ve sakkaroz miktarı üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşit arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Yıllara bağlı olarak, Ç ×Y, T×Y, Ç×T×Y interaksiyonlarının bitkide prolin ve sakkaroz miktarı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu tespit edilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık belirlenmiştir. Farklı tuzlu koşullarda yetiştirilen biber çeşitlerinde prolin ve sakkaroz miktarı üzerinde önemli bir etki gözlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre bütün biber çeşitlerinde tuz konsantrasyonu arttıkça prolin miktarında azalma belirlenmiştir (Çizelge 4.35). Ortalama % değişim verilerine göre 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında tüm çeşitlerde istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Buna göre, tuz seviyelerine göre sırayla Maraşta %5,3 ve -%13 değişim tespit edilmiştir. % değişim verilerine göre 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde Dolmalık çeşidinde sırasıyla %3,9 ve -%27 ve Çarliston çeşidinde ise sırasıyla %3,4 ve -%31 azalma tespit edilmiştir.

Sakkaroz bakımından çeşitler tuzluluğa karşı farklı tepki vermiş, 7 dS/m tuz seviyesinde Maraş ve Çarliston çeşitlerinde yapraklardaki sakkaroz miktarı artarken, Dolamlıkta tuz seviyeleri arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. Buna göre, % değişim verilerine göre, 3,5 ve 7 tuz seviyelerinde Maraş çeşidinde sırasıyla -%5 ve %24 ve Çarliston çeşidinde ise -%4 ve %8 oranlarında değişim tespit edilmiştir (Çizelge 4.35).

Çizelge 4.34. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde prolin ve sakkaroz miktarına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Prolin				Sakkaroz			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	16454	99,12	<,00**	2	11905	17,12	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2672	16,10	<,00**	2	12551	18,05	<,00**
	T×Ç	4	1981	11,93	<,00**	4	4391	6,31	<,00**
2017	Tuz (T)	2	15835	113,4	<,00**	2	9768	14,64	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	3237	23,19	<,00**	2	12278	18,41	<,00**
	T×Ç	4	2490	17,83	<,00**	4	4089	6,13	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	16149	107,5	<,00**	2	10826	16,03	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2952	19,66	<,00**	2	12450	18,44	<,00**
	T×Ç	4	2208	14,7	<,00**	4	4217	6,24	<,00**
	Yıl (Y)	1	195,80	0,417	0,7 ^{NS}	1	474,07	0,69	0,41 ^{NS}
	Ç × Y	2	5,11	0,01	0,58 ^{NS}	2	1,167	0,002	0,58 ^{NS}
	T×Y	2	17,080	0,03	0,96 ^{NS}	2	81,72	0,12	0,67 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	3,070	0,07	0,68 ^{NS}	4	26,22	0,03	0,59 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.35. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde prolin ve sakkaroz miktarı (ng/μl)

Muameleler		Prolin				Sakkaroz			
Çeşit Tuz		2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	360 B	352 B	356 B	100	475 B	469 B	472 B	100
	3.5dS/m	382 A	368 A	375 A	5,3	448 B	448 B	448 B	-5
	7 dS/m	309 C	313 C	311 C	-13	588 A	581 A	585 A	24
Ç	Kontrol	376 B	372 B	374 B	100	448 B	443 B	446 B	100
	3.5 dS/m	384 A	388 A	386 A	3,4	425 B	431 B	428 B	-4
	7 dS/m	260 C	255 C	258 C	-31	485 A	474 A	480 A	8
D	Kontrol	331 B	326 B	329 B	100	408 A	405 A	406 A	100
	3.5 dS/m	348 A	336 A	342 A	3,9	445 A	441 A	443 A	9

7 dS/m	244 C	233 C	239 C	-27	439 A	435	437 A	8
						A		

Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak fark yoktur ($p < 0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.10. Tuz Stresinin Biberde Glisin Betain ve Toplam Amino Asit İçeriği Üzerine Etkisi

Tuz uygulamalarının farklı biber çeşitlerinde glisin betain ve toplam amino asit konsantrasyonu üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Çizelge 4.36’de verilmiştir. Çizelge 4.36’de görüleceği gibi total amino asit bakımından 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ayrıca, her iki yıl içinde $T \times \text{Ç}$ interaksyonu ile yıllara bağlı olarak $T \times \text{Ç} \times Y$, $T \times Y$ ve $\text{Ç} \times Y$ interaksiyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, yıllar arasında önemli bir farklılık belirlenmiştir.

Glisin betain içeriği bakımından 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p < 0.001$) bulunmuş, çeşitler arasındaki farkın ise istatistiksel olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, her iki yıl içinde $T \times \text{Ç}$ interaksyonu ile yıllara bağlı olarak $T \times \text{Ç} \times Y$, $T \times Y$ ve $\text{Ç} \times Y$ interaksiyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, yıllar arasında önemli bir farklılık belirlenmiştir.

Farklı biber çeşitlerinde tuz uygulamalarının glisin betain ve toplam amino asit miktarına ilişkin Duncan ($P < 0.05$) Çoklu Karşılaştırma Testi Çizelge 4.37’de verilmiştir. Tuz stresine maruz bırakılan çeşitler arasında glisin betain ve toplam amino asit miktarı bakımından farklı sonuçlar tespit edilmiştir. Toplam amino asit için 7 dS/m tuz uygulaması kontrole kıyasla Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) bir azalmaya neden olmuştur. Oysa ki Maraş çeşidinde toplam amino asidin tuz seviyelerindeki artışa paralel olarak arttığı saptanmıştır. Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde 3,5 dS/m tuz uygulaması Glisin betain miktarını kontrol ve 7 dS/m seviyesine

göre önemli ölçüde artırmış, fakat 7 dS/m seviyesinde kontrole göre bir farklılık gözlenmemiştir. Maraş çeşidinde ise tuz seviyelerin artmasıyla glisin betain miktarında istatistiksel olarak azalmalar saptanmıştır.

Çizelge 4.36. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde glisin betain ve toplam amino asit miktarına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Glisin betain				Toplam amino asit			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	236.747	3,015	<,04*	2	3474	3,80	<,04*
	Çeşit (Ç)	2	23.176	0,295	0,74 ^{NS}	2	190941	209,12	<,00**
	T×Ç	4	278,94	3,55	<,02*	4	75404	82,58	<,00**
2017	Tuz (T)	2	299,59	3,91	<,03*	2	3613	4	<,03*
	Çeşit (Ç)	2	32,62	0,42	0,66 ^{NS}	2	201128	222	<,00**
	T×Ç	4	230,92	3,01	<,04*	4	75705	83,89	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	266,78	3,48	<,05*	2	3542	3,90	<,03*
	Çeşit (Ç)	2	27,44	0,35	0,70 ^{NS}	2	195992	216	<,00**
	T×Ç	4	253,47	3,31	<,03*	4	75552	83,37	<,00**
	Yıl (Y)	1	701.353	9.039	<,00**	1	5958	6,56	<,01**
	Ç × Y	2	2,776	0,036	0,35 ^{NS}	2	2,68	0,003	0,13 ^{NS}
	T×Y	2	0,905	0,012	0,28 ^{NS}	2	7,92	0,009	0,42 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	2,930	0,038	0,14 ^{NS}	4	4,84	0,05	0,18 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.37. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde glisin betain ve toplam amino asit miktarı (ng/μl)

Muameleler		Glisin betain				Total amino asit			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	90 A	85 A	87 A	100	1358 C	1331 C	1344 C	100
	3.5dS/m	65 B	62 B	64 B	-26.84	1409 B	1383 B	1396 B	3,84
	7 dS/m	77 B	60 B	68 B	-21.84	1577 A	1552 A	1565 A	16,38
Ç	Kontrol	85 B	72 B	78 B	100	1719 B	1703 B	1711 B	100
	3.5 dS/m	87 A	92 A	90 A	14.82	1870 A	1850 A	1860 A	8,68
	7 dS/m	84 B	68 B	76 B	-2.47	1628 C	1609 C	1619 C	-5,42
D	Kontrol	69 B	82 B	76 B	100	1777 A	1759 A	1768 A	100
	3.5 dS/m	93 A	93 A	93 A	22.42	1495 B	1475 B	1485 B	-16,02
	7 dS/m	72 B	85 B	79 B	4.00	1534 B	1516 B	1525 B	-13,74

Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak fark yoktur (p<0.05). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.11. Tuz Stresinin Biberde Absisik Asit (ABA) ve Giberellin (GA₃) İçeriği Üzerine Etkisi

Tuz uygulamalarının farklı biber çeşitlerinde ABA ve GA₃ konsantrasyonu üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Çizelge 4.38’de verilmiştir. Çalışmada biber ABA ve GA₃ içeriği bakımından 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ayrıca, her iki yıl içinde T×Ç interaksyonu ile yıllara bağlı olarak T×Ç×Y, T×Y ve Ç×Y interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık belirlenmiştir.

Farklı biber çeşitlerinde tuz uygulamalarının ABA ve GA₃ miktarına ilişkin Duncan ($P<0.05$) Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.39’da verilmiştir. Tuz stresine maruz bırakılan çeşitler arasında ABA ve GA₃ miktarı bakımından farklı sonuçlar tespit edilmiştir. ABA için artan tuz uygulamaları kontrole kıyasla Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) bir azalmaya neden olmuştur. Bununla birlikte, tuz seviyeleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark görülmemiştir. Maraş çeşidinde kontrol bitkilerine kıyasla 3,5 dS/m seviyesinde önce artma ve sonra 7 dS/m seviyesinde ise azalma tespit edilmiştir ($p<0,05$). Artan tuz konsantrasyonu GA₃ miktarını Dolmalık çeşidinde düşürmüştü, Çarliston çeşidinde istatistiki olarak tuz seviyeleri arasına önemli bir farklılık görülmemiştir. Maraş çeşidinde ise 3,5 dS/m seviyesinde artış, 7 dS/m seviyesinde ise azalma tespit edilmiştir.

Çizelge 4.38. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde ABA ve GA₃ içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		ABA				GA ₃			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	0,052	30,17	<,00**	2	810	7,031	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	0,015	8,47	<,00**	2	2312	20,052	<,00**
	T×Ç	4	0,027	15,81	<,00**	4	1683	14,602	<,00**
2017	Tuz (T)	2	0,004	4,56	<,02*	2	1033	4,59	<,02*
	Çeşit (Ç)	2	0,010	10,24	<,00**	2	3170	14,098	<,00**

	T×Ç	4	0,005	5,73	<,00**	4	1790	7,96	<,00**
	Tuz (T)	2	0,022	46,55	<,00**	2	670	6,076	<,01**
	Çeşit (Ç)	2	0,011	24,39	<,00**	2	2504	22,692	<,00**
Ortalama	T×Ç	4	0,013	28,93	<,00**	4	1681	15,241	<,00**
	Yıl (Y)	1	0,007	5,175	<,02*	1	34660	203,73	<,00**
	Ç ×Y	2	0,002	1,412	0,25 ^{NS}	2	475	2,79	0,07 ^{NS}
	T×Y	2	0,023	10,1	0,18 ^{NS}	2	502	2,95	0,06 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	0,00	0,00	0,91 ^{NS}	4	111	0,65	0,62 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.39. Tuz stresi altında yetiştirilen bazı biber çeşitlerinde ABA ve GA₃ içeriği (ng/μl)

Muameleler		ABA				GA ₃			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	0,50 B	0,54 B	0,52B	100	227 B	269 B	248 B	100
	3.5dS/m	0,66 A	0,62 A	0,64A	21,8	259 A	292 A	276 A	11,06
	7 dS/m	0,42 B	0,51 B	0,47B	-10,4	223C	256 C	213 C	-14,2
Ç	Kontrol	0,74 A	0,66 A	0,70A	100	190 A	253 A	221 A	100
	3.5 dS/m	0,53 B	0,59 B	0,56B	-20	202 A	239 A	220 A	-0,51
	7 dS/m	0,48 B	0,61 C	0,55B	-22,3	204 A	258 A	231 A	4,41
D	Kontrol	0,65 A	0,64 A	0,64A	100	237 A	316 A	276 A	100
	3.5 dS/m	0,61 B	0,59 B	0,60B	-6,7	216 B	267 B	241 B	-12,7
	7 dS/m	0,58 B	0,58 B	0,57B	-10	227AB	279AB	253AB	-8,37

Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak fark yoktur (p<0.05). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.12. Tuz Stresinin Biberde Sitokin (CKs) ve Sitokin Oksidaz (Ckx) İçeriği Üzerine Etkisi

Çalışmada, farklı biber çeşitleri ve tuz seviyelerinin bitkilerin CKs ve CKx miktarı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.40’de verilmiştir. Çizelge 4.40’da görüleceği gibi 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri, çeşit ve Ç×T atraksiyonu istatistiksel olarak önemli görülmüştür. Ayrıca, yıllara bağlı olarak Ç×T×Y, Ç×Y ve T×Y interaksiyonlarının

istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Maraş çeşidinde CKs miktarı tuz stresi altında kontrole göre artış göstermiştir. Ancak, CKx miktarı kontrole göre azalmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, 3,5 ve 7 ds/m tuz seviyesinde CKs miktarı ortalama % değişim verilerine göre, sırasıyla %22,6 ve %11,8 artış tespit edilmiştir. CKx miktarı ortalama % değişim verilerine göre, sırasıyla -%17,34 ve -%34,3 azalma tespit edilmiştir (Çizelge 4.41).

Dolmalık çeşidinde en yüksek CKx miktarı 3,5 ds/m tuz seviyesinde görülmüş, ancak CKs miktarı 3,5 ds/m tuz seviyesinde azalmaya başlamıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, 3,5 ve 7 ds/m tuz seviyesinde CKs miktarı ortalama % değişim verilerine göre sırasıyla -%17,4 ve -%36,2 azalma tespit edilmiştir. CKx miktarı ise ortalama % değişim verilerine göre sırasıyla %24,91 ve %23,14 artış göstermiştir (Çizelge 4.41).

Çarliston biber çeşidi diğer çeşitlere göre farklı bir tepki göstermiştir, 3,5 dS/m tuz seviyesinde CKs miktarında kontrole göre önce artma, sonra 7 dS/m tuz seviyesinde azalma tespit edilmiştir. CKx miktarı tuz konsantrasyonu oranının artmasına paralel olarak artmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, 3,5 ve 7 ds/m tuz seviyesinde CKs miktarı ortalama % değişim verilerine göre sırasıyla %12,93 ve -%6,76 değişim göstermiştir. CKx miktarında ise ortalama % değişim verilerine göre sırasıyla %10,64 ve %16,85 artış belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

Çizelge 4.40. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde CKs ve CKx miktarına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		CKS				CKx			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	1,706	4,746	<,02*	2	1,706	4,746	<,03*
	Çeşit (Ç)	2	2,189	6,090	<,00**	2	2,189	6,09	<,01**
	T×Ç	4	6,194	17,228	<,00**	4	6,194	17,228	<,00**
2017	Tuz (T)	2	1,542	4,540	<,03*	2	1,542	4,540	<,02*
	Çeşit (Ç)	2	2,420	7,126	<,00**	2	2,420	7,126	<,00**
	T×Ç	4	6,108	17,985	<,00**	4	6,108	17,985	<,00**
	Tuz (T)	2	1,631	4,681	<,02*	2	1,631	4,681	<,02*
	Çeşit (Ç)	2	2,295	6,589	<,00**	2	2,295	6,589	<,00**
	T×Ç	4	6,140	17,627	<,00**	4	6,140	17,627	<,00**

Ortalama									
a									
Yıl (Y)	1	0,144	0,412	<,00**	1	3,087	14,413	<,00**	
Ç × Y	2	0,293	1,321	0,27 ^{NS}	2	0,505	1,638	0,2 ^{NS}	
T × Y	2	0,030	0,134	0,87 ^{NS}	2	0,513	1,666	0,2 ^{NS}	
Ç × T × Y	4	0,381	1,717	0,16 ^{NS}	4	0,17	0,58	0,67 ^{NS}	

NS: $p > 0,05$ de önemsiz. * $p < 0,05$ ve ** $p < 0,01$ olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.41. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde CKs (ng/ul) ve CKx (ng/ul) miktarına ait varyans analiz sonuçları

Muameleler		CKs				CKx			
Çeşit Tuz		2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	4,88 B	5,41 B	5,15 B	100	10,8 A	9,6 A	10,2 A	100
	3.5dS/m	6,59 A	5,98 A	6,29 A	22,16	8,13 A	8,7 A	8,44 B	-17,34
	7 dS/m	5,77 A	5,67 A	5,72 A	11,18	7,04 B	6,4 B	6,71 B	-34,30
Ç	Kontrol	5,70 A	6,13 A	5,92 A	100	8,51 C	7,7 C	8,13 C	100
	3.5 dS/m	6,52 A	6,84 A	6,68 A	12,93	9,05 B	8,94 B	9 B	10,64
	7 dS/m	5,80 A	5,23 A	5,52 A	-6,76	9,84 A	9,16 A	9,50 A	16,85
D	Kontrol	7,39 A	7,90 A	7,65 A	100	8,22 B	8,20 B	8,21 B	100
	3.5 dS/m	6,44 B	6,18 B	6,31 B	-17,4	10,7 A	9,77 B	10,3 A	24,91
	7 dS/m	5,06 C	4,69 C	4,88 C	-36,2	9,13 B	11 A	10,1 A	23,14

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P < 0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.13. Tuz Stresinin Biberde Kapsaisin İçeriği Üzerine Etkisi

Bu çalışmada kullanılan tuz seviyesi uygulamalarının Maraş biber çeşidinde kapsaisin konsantrasyonu üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.42'de verilmiştir. Çizelge 4.42'de görüleceği gibi, 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri arasındaki farklılıklar önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Ayrıca yıllara bağlı olarak, $T \times Y$ atraksiyonunun istatistiksel olarak önemsiz ($p > 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında önemli bir farklılık tespit edilmiştir.

Denemede kullanılan Maraş biber çeşidi meyvelerinin kapsaisin içeriği tuz uygulamasından etkilenmiş ve tuz stresi altında kapsaisin miktarında artış tespit edilmiştir (Çizelge 4.43). Kontrol bitkilerine kıyasla 7 dS/m tuz seviyesinde kapsaisin miktarında istatistiksel olarak bir çoğalma olduğu görülmekle birlikte, 7 ve 3,5 dS/m tuz seviyesi arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. Maraş çeşidinde kontrole kıyasla 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyeleriyle ortalama % değişim sırasıyla %9,87 ve %14,4 oranlarında görülmüştür.

Çizelge 4.42. Tuz stresi altında yetiştirilen Maraş çeşidinde kapsaisin konsantrasyonu etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Kapsaisin		F	Ö.S.
		S.D	K.O.		
2016	Tuz (T)	2	0,005	95	<,00**
2017	Tuz (T)	2	0,004	18,6	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	.005	72.667	<,00**
	Yıl (Y)	1	.001	8.189	<,01**
	T×Y	2	0,0	0,35	0,71 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.43. Tuz stresi altında yetiştirilen Maraş çeşidinde kapsaisin miktarı (%)

Muameleler		Kapsaisin (%)			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
Maraş	Kontrol	0,250 B	0,237 B	0,243 B	100
	3.5dS/m	0,278 A	0,255 A	0,267 A	9,87
	7 dS/m	0,290 A	0,267 A	0,278 A	14,4

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, P<0.05). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.14. Tuz Stresinin Biberde Kapsitat İçeriği Üzerine Etkisi

Tuz uygulamalarının biberde kapsitat konsantrasyonu üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Çizelge 4.44'de verilmiştir. Çalışmada, kapsitate miktarı bakımından 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli (p<0,001) bulunmuştur. Ayrıca, her iki yıl içinde T×Ç interaksyonu ile yıllara bağlı olarak T×Ç×Y, T×Y ve Ç×Y interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz (p>0,05) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında önemli bir farklılık belirlenmiştir.

Denemede kullanılan Dolmalık ve Çarliston biber çeşitlerinin meyvelerindeki kapsitat içerikleri tuz uygulamasından önemli derecede etkilenmiştir. Tuz stresi altında kapsitat miktarında azalma tespit edilmiştir (Çizelge 4.45).

Çarliston çeşidinde kontrole kıyasla 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamalarında kapasite miktarında istatistiksel olarak önemli bir azalma ($P<0.05$) olduğu görülmüştür. Fakat 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. Çarliston çeşidinde kontrole kıyasla 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde ortalama % değişimi sırasıyla -%14,42 ve -%16,80 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. Dolmalık çeşidinde kontrole kıyasla 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamalarında kapasite miktarı artan tuz uygulamasına ters orantılı düşüş ($P<0.05$) göstermiştir. Dolmalık çeşidinde kontrole kıyasla 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde ortalama % değişimi sırasıyla -%12,06 ve -%32,82 oranlarında azalmıştır.

Çizelge 4.44. Tuz stresi altında yetiştirilen Çarliston ve Dolmalık biber çeşitlerinde kapasite miktarına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Kapasite			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	0,019	73,16	<,00**
	Çeşit (Ç)	1	0,041	156,99	<,00**
	T×Ç	2	0,003	10,42	<,00**
2017	Tuz (T)	2	0,018	83,87	<,00**
	Çeşit (Ç)	1	0,045	207,69	<,00**
	T×Ç	2	0,002	8,53	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	0,019	128,75	<,00**
	Çeşit (Ç)	1	0,043	298,05	<,00**
	T×Ç	2	0,002	15,27	<,00**
	Yıl (Y)	1	0,004	10,682	<,00**
	Ç × Y	1	0,001	2,792	0,1 ^{NS}
	T×Y	2	0,00	1,106	0,34 ^{NS}
	Ç×T×Y	2	0,00	0,51	0,6 ^{NS}

NS: $p>0,05$ de önemsiz. * $p<0,05$ ve ** $p<0,01$ olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.45. Tuz stresi altında yetiştirilen Çarliston ve Dolmalık biber çeşitlerinde kapasite miktarı (%)

Muameleler		Kapasite (%)			
Çeşit Tuz		2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişimi
Ç	Kontrol	0,514 A	0,500 A	0,507 A	100
	3.5 dS/m	0,441 B	0,427 B	0,434 B	-14,42
	7 dS/m	0,434 B	0,410 B	0,422 B	-16,80
D	Kontrol	0,435 A	0,403 A	0,419 A	100
	3.5 dS/m	0,377 B	0,360 B	0,369 B	-12,06
	7 dS/m	0,290 C	0,273 C	0,282 C	-32,82

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.15. Tuz Stresinin Biberde DNA Metilasyonu Üzerine Etkisi

CRED-RA

Tuzun DNA metilasyonuna etkisi, iki restriksiyon enzimi olan *HpaII* ve *MspI* tarafından DNA'nın kesilmesi CRED-RA tekniği ile belirlenmiştir. Her iki enzim aynı diziyi (5'-CCGG-3') tanımakta, ancak farklı sitozin metilasyon durumlarında kesme yapmaktadırlar. *HpaII*, sitozinler çift dizi metillendiğinde DNA'yı kesmemekte, fakat hemi-metilatlanmış diziyi (sadece bir tek iplikli metilasyonu) kesebilmektedir. *MspI*, sadece dış sitozindeki metilasyona etkisiz ve iç sitozin metile olduğunda (CmCG) DNA'yı kesebilmektedir. Bu nedenle amplifikasyon ürünleri elde edilemez. Bantların görünümüne veya olmamasına bağlı olarak, metilasyon modelleri dört sınıfa ayrılmaktadır (Çizelge 4.46) (Lu *et al.* 2008).

Çizelge 4.46. İzoschizomerler EcoR I/*HpaII* ve EcoR I/ *MspI*'nin metilasyon duyarlılığı ve kısıtlama modeli; 0: bant yok, 1: bant mevcut. Altı çizili sitosin metile olmuştur

Tipler	Metylasion durumu	Digestibility of enzymes Restriction pattern			
		<i>HpaII</i>	<i>MspI</i>	<i>HpaII</i>	<i>MspI</i>
Sınıf I	CCGG CCGG GGCC GGCC	Aktive	Aktive	1	1
Sınıf II	CCGG GGCC	Aktive	Inaktive	1	0
Sınıf III	CCGG GGCC	Inaktive	Aktive	0	1
Sınıf IV	CCGG GGCC	Inaktive	Inaktive	0	0

Amplifikasyon sonrası, sekiz farklı tipte bant elde edilmiştir. Bantlar tip 1-8 olarak olarak adlandırılmıştır. Her tip bir spesifik DNA metilasyon durumu göstermiştir. Maraş çeşidinde 8 spesifik DNA metilasyon belirlenmiştir (Şekil 4.1 ve Çizelge 4.47). Charleston (Şekil 4.2 ve Çizelge 4.47) ve Dolmalık (Şekil 4.3 ve Çizelge 47) çeşitlerinde beş farklı bant türü gözlenmiştir. Çizelge 4.47'de gösterildiği gibi, Maraş çeşidinde, tip 6 için, kontrol grubundaki DNA hem *HpaII* hem de *MspI* tarafından kesilmiş, ancak tuz stresi altında kesilmemiştir. Kontrol şartlarda DNA'nın kesilmesini 1, 2, 3 ve 8 tiplerde

gözlemlemiştir, ancak tuz uygulamalarında DNA'nın kesimi yapılmış fakat her iki enzimin aktivitesi benzer çıkmamıştır.

Çarliston biberinde, tip 1 ve 4 için, hem *HpaII* hem de *MspI*, kontrol grubunda DNA kesilmiş, ama tuz stresi altında (7 dS/m) *HpaII*, tip 1'de DNA kesilmemiş ve *MspI* sadece tip 4'te DNA kesmiştir (Çizelge 4.45). Dolmalık çeşidinde, kontrol grubunda DNA'nın kesilmesini 1, 3 ve 4 tiplerde gözlemlemiştir, ancak tuz stresi koşullarda, *HpaII* ve *MspI* aktivitesi benzer görülmemiştir (Çizelge 4.47).

Çizelge 4.47. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde CRED-RA bant tipinin oluşumu

Çeşit	Bant tipi tip	Kontrol		3.5 dS/m		7 dS/m		Bulgular ve Klaslar		
		<i>HpaII</i>	<i>MspI</i>	<i>HpaII</i>	<i>MspI</i>	<i>HpaII</i>	<i>MspI</i>	Kontrol	3.5 dS/m	7 dS/m
Maraş	Tip 1	0	0	1	1	1	1	IV	I	I
	Tip 2	0	0	0	0	1	0	IV	IV	II
	Tip 3	0	0	1	1	1	0	IV	I	II
	Tip 4	0	1	0	0	0	0	III	IV	IV
	Tip 5	1	1	1	0	1	1	I	II	I
	Tip 6	1	1	0	0	0	0	I	IV	IV
	Tip 7	1	0	1	0	1	1	II	II	I
	Tip 8	0	0	1	1	1	1	IV	I	I
Çarliston	Tip 1	1	1	1	1	0	0	I	I	IV
	Tip 2	0	0	1	1	1	1	IV	I	I
	Tip 3	1	0	1	1	1	0	II	I	II
	Tip 4	1	1	1	1	0	1	I	I	III
	Tip 5	0	1	0	0	1	0	III	IV	II
Dolmalık	Tip 1	1	1	1	1	0	1	I	I	III
	Tip 2	0	0	0	0	1	0	IV	IV	II
	Tip 3	1	1	1	1	1	0	I	I	II
	Tip 4	1	1	0	0	0	0	I	IV	IV
	Tip 5	1	0	1	1	1	0	II	I	II

Çarliston ve Dolmalık çeşitlerde 7 dS/m tuz uygulaması ile metilasyon oranı artmıştır (Çizelge 4.48). Bununla birlikte, 7 dS/m tuz uygulaması, Maraş çeşidinde tuz koşullarda kontrole göre metilasyon oranı azalmıştır (Çizelge 4.48). Maraş çeşidinde normal

koşullar altında tam metilasyon oranı %10,34 olarak gözlenmiştir. Bununla birlikte tuz stresi altında (7 dS/m) %5,45'e düşmüştür (Çizelge 4.48). Çarliston ve Dolmalık çeşitlerinde ise kontrol grubunda, tam metilasyon oranı sırasıyla %3,77 ve %2.00 iken, 7 dS/m tuz seviyesinin uygulanması ile %7,41 ve %4.00'a yükselmiştir (Çizelge 4.48).

Çizelge 4.48. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde metilasyon seviyeleri (Lu *et al.* 2008; Yang *et al.* 2011)

Sınıflar	Maraş			Çarliston			Dolmalık		
	K	3,5 dS/m	7 dS/m	K	3,5 dS/m	7 dS/m	K	3,5 dS/m	7 dS/m
Sınıf I	51	47	52	50	51	48	48	48	45
Sınıf II	1	6	0	1	0	2	1	0	3
Sınıf III	1	2	2	1	1	3	0	0	1
Sınıf IV	5	2	1	1	1	1	1	2	1
Toplam Amplifikasyon bantlar	58	57	55	53	53	54	50	50	50
Toplam Metile edilmiş bantlar ¹	7	10	3	3	2	6	2	2	5
Hemimetilasyon Oranı ² (%)	1.75	11.76	0.00	1.92	0.00	3.85	2.04	0.00	6.38
Tam metilasyon Oranı ³ (%)	10.34	7.02	5.45	3.77	3.77	7.41	2.00	4.00	4.00
Metilasyon Oranı ⁴ (%)	12.07	17.54	5.45	5.66	3.77	11.11	4.00	4.00	10.00

¹ Toplam Metile edilmiş bantlar = II+III;

² Hemimetilasyon oranı = II/I+II+III;

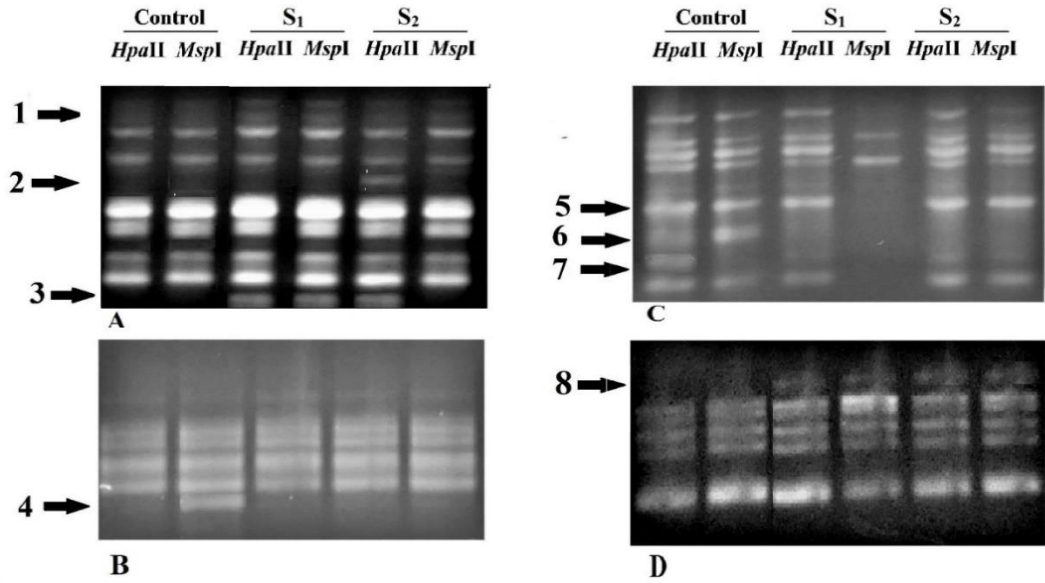
³ Tam metilasyon Oranı = III+IV/I +II+III;

⁴ Metilasyon oranı = II+III+IV/I+II+III+IV;

32 RAPD primerinden, CRED-RA analizinde belirgin ve sabit amplifikasyon bandına sahip olan sekiz primer kullanılmıştır (Çizilge 4.49). Genel olarak Maraş çeşidinde hem normal hem de tuzlu şartlarda, Çarliston ve Dolmalık çeşitlerine göre en yüksek % polimorfizm tespit edilmiştir. Ayrıca, çeşitler tuzluluğa karşı farklı tepki vermişlerdir. Bu bağlamda, tuz uygulamasıyla Maraş çeşidinde % polimorfizm azalmış fakat Çarliston ve Dolmalık çeşitlerinde arttırmıştır.

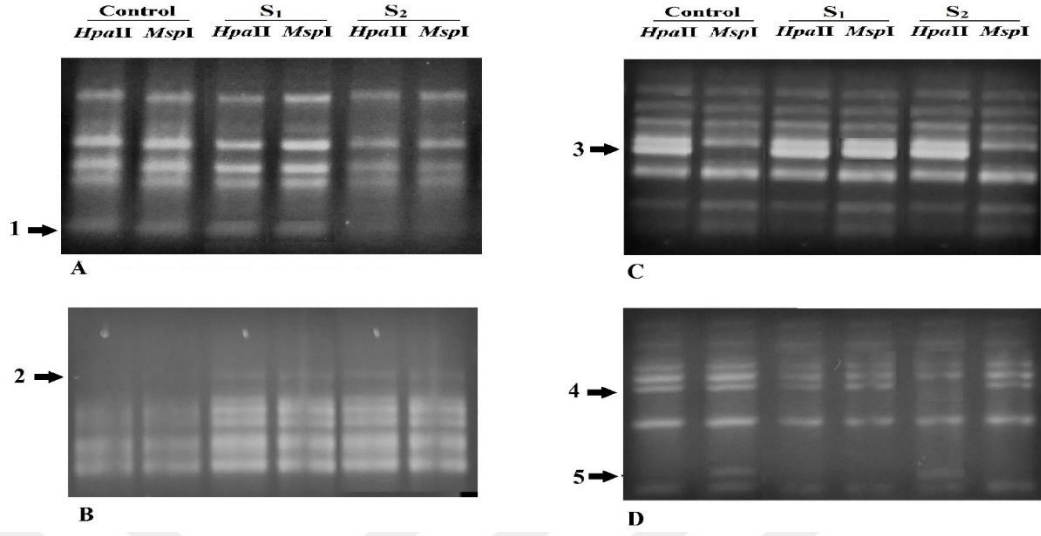
Çizelge 4.49. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde polimorfizm durumu; T₁ (Tuz 3,5 dS/m) ve T₂ (Tuz 7 dS/m). H (*HpaII*) and M (*MspI*)

Primer	Maraş				Çarliston				Dolmalık			
	T ₁		T ₂		T ₁		T ₂		T ₁		T ₂	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
OPA-4	30,0	22,2	20,0	25,0	0,0	11,1	12,5	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0
OPW-4	14,3	25,0	14,3	0,0	0,0	14,3	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	16,7
OPW-6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	12,5	0,0	11,1	11,1	0,0	0,0
OPW-8	16,7	16,7	16,7	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OPW-18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	25,0	25,0	25,0	25,0
OPY-7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OPY-11	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OPY-16	0,0	16,7	0,0	16,7	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Toplam	61,0	80,6	51,0	83,3	0,0	36,5	85,0	45,4	36,1	36,1	25,0	41,7



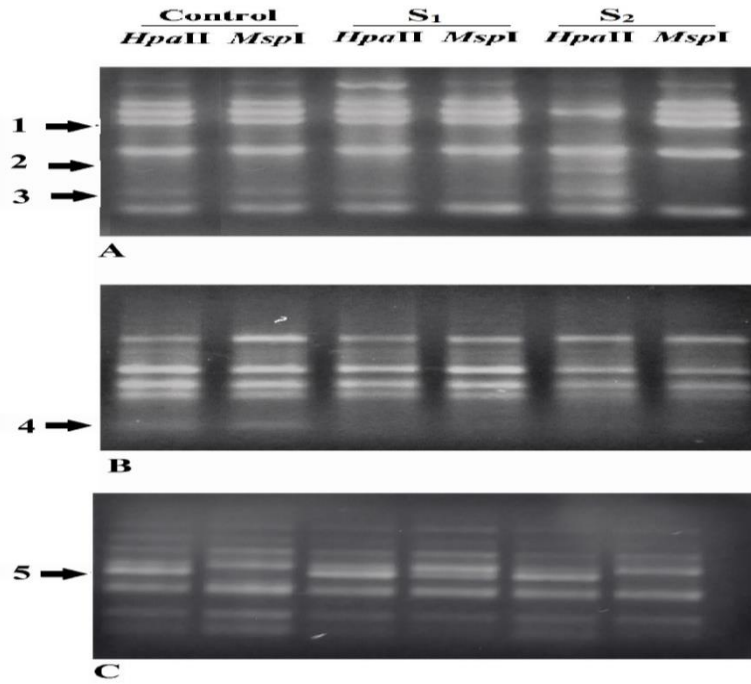
Şekil 4.1. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde genomik DNA'sının CRED-RA bantları

Kontrol (0,7 dS/m), S₁ (3,5 dS/m) ve S₂ (7 dS/m). Amplifikasyon OPA-4, OPW-8, OPY-16 ve OPW-4 primerleri ile yapılmıştır. 1-8 rakamları farklı bant türlerini göstermektedir.



Şekil 4.2. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde genomik DNA'sının CRED-RA bantları

Kontrol (0,7 dS/m), S₁ (3,5 dS/m) ve S₂ (7 dS/m). Amplifikasyon OPY-16, OPW-6, OPW-18 ve OPW-4 primerleri ile yapılmıştır. 1-8 rakamları farklı bant türlerini göstermektedir.



Şekil 4.3. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde genomik DNA'sının CRED-RA bantları

Kontrol (0,7 dS/m), S₁ (3,5 dS/m) ve S₂ (7 dS/m). Amplifikasyon OPW-6, OPW-18 ve OPW-4 primerleri ile yapılmıştır. 1-8 rakamları farklı bant türlerini göstermektedir.

4.16. Tuz Stresinin Biberde Bazı Tohum ve Çimlenme Özellikleri Üzerine Etkisi

4.16.1. Bin tane ağırlığı ve tohum sayısı

Farklı biber çeşitleri ve tuz seviyesi uygulamalarının bin tohum ağırlığı ve meyve başına tohum sayısı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.50’de verilmiştir. İstatistik analiz sonuçlarına göre, 2016 ve 2017 yılları ile 2016-2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitler arasındaki farklılıklar ile Ç×T interaksyonu önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Yıllara bağlı olarak Ç×T×Y, Ç×Y ve T×Y interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, yıllar arasında farklılık istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) bulunmuştur.

Çizelge 4.50. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde bin tohum ağırlığı ve meyve başına tohum sayısına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Bin tohum ağırlığı				Meyve başında tohum sayısı				
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D
2016	Tuz (T)	2	2	2,34	42,3	<,00**	2	4361	199	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2	9,14	165	<,00**	2	8465	386	<,00**
	T×Ç	4	4	0,37	6,7	<,00**	4	1131	51,7	<,00**
2017	Tuz (T)	2	2	1,97	33,2	<,00**	2	5086	125	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2	9,61	162	<,00**	2	8846	218	<,00**
	T×Ç	4	4	0,43	7,27	<,00**	4	1263	31,16	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	2	2,14	52,4	<,00**	2	4702	225	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	2	9,39	229	<,00**	2	8649	415	<,00**
	T×Ç	4	4	0,39	9,69	<,00**	4	1188	57	<,00**
	Yıl (Y)	1	1	4,63	0,001	0,97 ^{NS}	1	66,6	2,13	0,15 ^{NS}
	Ç×Y	2	2	0,03	0,521	0,54 ^{NS}	2	42,8	1,37	0,26 ^{NS}
	T×Y	2	2	0,004	0,06	0,93 ^{NS}	2	13,38	0,42	0,65 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	4	0,004	0,06	0,99 ^{NS}	4	17,86	0,57	0,68 ^{NS}

NS: $p>0,05$ de önemsiz. * $p<0,05$ ve ** $p<0,01$ olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir

Kontrol koşulları altında en az bin tohum ağırlığı 5,73 g ile yıllar ortalamasına göre Çarliston çeşidinde ve en çok ise 6,92 g ile Dolmalık çeşidinde meydana gelmiştir. Tuz uygulaması ile birlikte bin tohum ağırlığı ve meyve başına tohum sayısında belli oranlarda azalmalar olmuştur (Çizelge 4.51). Çalışmada, 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde Maraş çeşidinde bin tohum ağırlığı % değişim -16,04 ve -20,73 oranlarında kontrole göre azalma tespit edilmiştir. Bununla birlikte, Dolmalık ve Çarliston biber çeşitlerinde 3,5 ve

7 dS/m tuz seviyelerinde bin tohum ağırlığında meydana gelen azalma daha bariz olup, özellikle 7 dS/m tuz seviyesinde en çok düşüş görülmüştür.

Yıllar ortalamasına göre meyve başına tohum sayısı kontrol koşullarında en az 65 adet/meyve ile Maraş biberinde ve en çok ise 138 adet/meyve ile Dolmalık biber çeşidinde elde edilmiştir. Tuz uygulaması meyve başına tohum sayısını üç biber çeşidinde de düşürmüştür. Maraş çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde meyve başına tohum sayısında hafif bir azalma belirlenirken, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerindeki düşüş daha bariz olmuştur. Tuzlu koşullarda meyve başına tohum sayısı bakımından % değişim sırasıyla Maraş çeşidinde -27,15 ve -32,30, Dolmalıkta -24,63 ve -60,86 ve Çarlistonda -46,31 ve -68,94 oranlarında azalma olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.51. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde bin tohum ağırlığı (g) ve meyve başına tohum sayısı (adet/meyve)

Muameleler		Bin tohum ağırlığı				Meyve başına tohum sayısı			
Çeşit Tuz		2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	6,34 A	6,61 A	6,47 A	100	69 A	62 A	65 A	100
	3.5dS/m	5,41 B	5,46 B	5,43 B	-16,04	46 B	43 B	44 B	-27,15
	7 dS/m	4,83 C	4,77 C	4,74 C	-26,73	48 B	40 B	44 B	-32,30
Ç	Kontrol	5,64 A	5,83 A	5,73 A	100	94 A	97 A	95 A	100
	3.5 dS/m	5,2 A	5,14 A	5,17 A	-9,77	49 B	54 B	51 B	-46,31
	7 dS/m	4,14 B	3,19 B	3,66 B	-36,12	28 C	31 C	29 C	- 68,94
D	Kontrol	6,65 A	7,20 A	6,92 A	100	136 A	140 A	138 A	100
	3.5 dS/m	5,18 B	5,84 B	5,51 B	-20,37	102 B	106 B	104 B	-24,63
	7 dS/m	4,44 C	4,65 C	4,54 C	-34,39	57 C	52 C	54 C	-60,86

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P < 0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

4.16.2. Tohum çimlenme oranı ve çimlenme hızı

Tuz uygulamalarının çeşitlerin tohumlarında çimlenme oranı ve çimlenme hızı üzerine varyans analiz sonuçları, Çizelge 4.52’de verilmiştir. Çalışmada, 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitleri arasında önemli farklılıklar ($p < 0,001$) bulunmuştur. Ayrıca, her iki yıl içinde $T \times \text{Ç}$ interaksyonu ile yıllara bağlı olarak $T \times \text{Ç} \times Y$, $T \times Y$ ve $\text{Ç} \times Y$ interaksyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p > 0,05$)

olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde deneme konularından elde edilen yıl faktörü de istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) çıkmıştır.

Çizelge 4.52. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde çimlenme oranı ve çimlenme hızına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon		Çimlenme oranı				Çimlenme hızı			
Kaynakları		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	4629.33	252	<,00**	2	243,5	88,87	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	485.33	26.4	<,00**	2	169,9	62	<,00**
	T×Ç	4	298.667	16.2	<,00**	4	21,59	7,87	<,01**
2017	Tuz (T)	2	4463	250	<,00**	2	270,2	384,05	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	633	35.5	<,00**	2	113,9	161,89	<,00**
	T×Ç	4	295	16.5	<,00**	4	21,92	31,15	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	4541	284	<,00**	2	256,4	196,45	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	557	34.9	<,00**	2	140,4	107,60	<,00**
	T×Ç	4	297	18.6	<,01**	4	21,45	16,43	<,00**
a									
	Yıl (Y)	1	1,18	0,06	0,81 ^{NS}	1	0,9	1,5	0,98 ^{NS}
	Ç × Y	2	5.13	0.28	0,75 ^{NS}	2	2,88	1,677	0,2 ^{NS}
	T×Y	2	9,68	0,53	0,59 ^{NS}	2	0,88	0,516	0,6 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	0,296	0,01	0,99 ^{NS}	4	0,61	0,35	.83 ^{NS}

NS: $p>0,05$ de önemsiz. * $p<0,05$ ve ** $p<0,01$ olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Farklı biber çeşitlerinde tuz uygulamalarının çimlenme oranı ve çimlenme hızı yüzdelere ilişkin ortalamalar Çizelge 4.53’de verilmiştir. Tuz stresine maruz bırakılan çeşitler arasında çimlenme oranı bakımından farklı sonuçlar tespit edilmiştir. Kontrole kıyasla artan tuz uygulamaları Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) ve bariz bir azalma tespit edilmiştir. Maraş çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık görülmüş, ancak bu farklılığın diğer çeşitlere göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.53. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde tohum çimlenme oranı ve tohum çimlenme hızı

Muameleler		Çimlenme oranı				Çimlenme hızı			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	86 A	83 A	85 A	100	24 A	23 A	24 A	100
	3.5dS/m	72 B	65 B	69 B	-19	20 B	18 B	19 B	-21
	7 dS/m	65 C	58 C	62 C	-27	16 C	14 C	15 C	-37.5
Ç	Kontrol	94 A	88 A	91 A	100	21 A	20 A	20 A	100
	3.5 dS/m	64 B	57 B	61 B	-33	17 B	17 B	16 B	-22
	7 dS/m	39 C	43 C	41 C	-60	8 C	7 C	8 C	-62
D	Kontrol	85 A	81 A	83 A	100	13 A	11 A	12 A	100
	3.5 dS/m	62 B	58 B	60 B	-27	13 A	14 A	14 A	15
	7 dS/m	25 C	28 C	27 C	-68	3 B	4 B	4 B	-70

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, $P<0.05$). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

Tuz stresi altında kontrole göre çimlenme oranı % değişim Çizelge 4.53’de verilmiştir. Maraş çeşidinde çimlenme % değişim 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyesinde kontrole kıyasla -%19 ve -%27’lik bir düşüş belirlenmiştir. Halbuki, dolmalık çeşidinde 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde çimlenme oranı miktarında -%27 ve -%68 ve Çarliston çeşidinde ise -%33 ve -%60 azalma belirlenmiştir.

Artan tuz konsantrasyonu çimlenme hızını önemli derecede düşürmüştür. Çarliston çeşidinde kontrole kıyasla 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamalarında istatistiksel bir düşüşe ($P<0.05$) neden olduğu görülmektedir. Dolmalıkta kontrole kıyasla 3,5 dS/m tuz uygulamasında istatistiksel bir fark görülmezken, 7 dS/m uygulaması ile arasında istatistiksel bir fark oluşmuştur. Maraş çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamalarında çimlenme hızında hafif bir azalış görülmüştür. Tuz stresi altında kontrole göre çimlenme hızı % değişim Çizelge 4.53’de verilmiştir. 3.5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyesinde kontrole göre çimlenme hızı % değişimi Maraş çeşidinde -%21 ve -%37,5 düşüş görülmüştür. Bununla beraber Dolmalık çeşitte 3.5 dS/m tuz seviyesinde %15 artış olmuşken 7 dS/m tuz seviyesinde -%70’lik bir azalma görülmüştür. Çarlistonda çeşidinde ise her iki tuz seviyesinde de sırasıyla -%22 ve -%62 oranlarında azalma belirlenmiştir.

4.16.3. Fide gücü ve fide ağırlığı indeksi

Tuz uygulamaları ve çeşitlerin fide ağırlığı indeksi ve fide gücü indeksi üzerine etkisini gösterir varyans analiz sonuçları, Çizelge 4.54’de verilmiştir. Çalışmada, 2016 ve 2017 yılları ile 2016–2017 yılları ortalamasında tuz seviyeleri ve çeşitler arasında istatistiksel önemli farklar ($p<0,01$) bulunmuştur. Yıllara bağlı olarak, $T\times\text{Ç}\times Y$, $T\times Y$ ve $\text{Ç}\times Y$ interaksiyonlarının istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde deneme konularından elde edilen yıl faktörü de istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) bulunmuştur. Maraş çeşidinde 3,5 dS/m tuz seviyesi ile kontrol arasında istatistiksel bir farklılık meydana gelmemiştir ($p>0,05$). Ancak 7 dS/m tuz uygulamasında fide ağırlığı indeksinin istatistiksel bir düşüşe ($P<0.05$) neden olduğu görülmektedir.

Farklı biber çeşitlerinde tuz uygulamalarının fide ağırlığı ve fide gücü indeksi verileri Çizelge 4.55’de verilmiştir. Tuz stresine maruz bırakılan çeşitler arasında fide ağırlığı indeksi farklılık göstermiştir. Kontrole kıyasla artan tuz uygulamaları Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) bir azalmaya neden olmuştur. Bununla birlikte, tuz seviyeleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark görülmemiştir.

Artan tuz konsantrasyonu tüm çeşitlerde fide gücü indeksini önemli derecede düşürmüştür. Maraş, Çarliston ve Dolmalık çeşitlerinde kontrole kıyasla 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamalarında tohum gücü indeksinin istatistiksel olarak ciddi bir düşüşe ($P<0.05$) neden olduğu saptanmıştır. Maraş çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında istatistiksel bir fark görülmezken (Çizelge 4.55), kontrol ile aralarındaki fark önemli olmuş ve önemli ($P<0.05$) bir azalış görülmüştür.

Çizelge 4.54. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde fide ağırlığı indeksi ve tohum gücü indeksine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları		Fide ağırlığı indeksi				Fide gücü indeksi			
		S.D	K.O.	F	Ö.S.	S.D	K.O.	F	Ö.S.
2016	Tuz (T)	2	8,929	30,5	<,00**	2	256354	182	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	13,496	46,1	<,00**	2	10489	7,47	<,01**
	T×Ç	4	3,890	13,2	<,00**	4	25927	18,4	<,00**
2017	Tuz (T)	2	6,098	48	<,00**	2	245726	234	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	17,048	136	<,00**	2	7404	7,05	<,00**
	T×Ç	4	3,476	27,7	<,00**	4	19810	18,8	<,00**
Ortalama	Tuz (T)	2	7,443	83	<,00**	2	250893	249	<,00**
	Çeşit (Ç)	2	14,978	167	<,00**	2	8869	8,82	<,00**
	T×Ç	4	3,62	40,4	<,01**	4	22316	22,2	<,00**
	Yıl (Y)	1	0,019	0,08	0,76 ^{NS}	1	509	0,41	0,52 ^{NS}
	Ç × Y	2	0,588	2,81	0,07 ^{NS}	2	155	0,12	0,88 ^{NS}
	T×Y	2	0,140	0,67	0,51 ^{NS}	2	293	0,23	0,78 ^{NS}
	Ç×T×Y	4	0,118	0,56	0,69 ^{NS}	4	1104	0,90	0,47 ^{NS}

NS: p>0,05 de önemsiz. * p<0,05 ve **p<0,01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir.

Çizelge 4.55. Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde fide ağırlığı indeksi ve fide gücü indeksi

Muameleler		Fide ağırlığı indeksi				Fide gücü indeksi			
Çeşit	Tuz	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim	2016	2017	Ortalama	Ortalama % Değişim
M	Kontrol	2,67 A	2,51 A	2,59 A	100	344 A	339 A	342 A	100
	3.5dS/m	2,54 A	2,34 A	2,44 A	-5,7	251 B	245 B	248 B	-27
	7 dS/m	1,98 B	1,73 B	1,85 B	-28,5	185 C	188 C	187 C	-45
Ç	Kontrol	1,67 A	1,83 A	1,75 A	100	607 A	564 A	585 A	100
	3.5 dS/m	0,67 B	0,77 B	0,72 B	-59	286 B	295 B	290 B	-50
	7 dS/m	0,60 B	0,50 B	0,55 B	-68	90 C	101 C	95 C	-84
D	Kontrol	5,4 A	6,50 A	5,95 A	100	445 A	474 A	460 A	100
	3.5 dS/m	2,33 B	3,02 B	2,67 B	-54	305 B	273 B	289 B	-37
	7 dS/m	1,83 B	2,33 B	2,08 B	-65	110 C	98 C	104 C	-77

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (Duncan çoklu karşılaştırma testi, P<0.05). M: Maraş, Ç: Çarliston, D: Dolmalık

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Tuz Türkiye de dâhil olmak üzere dünyanın pek çok yerinde en önemli abiyotik streslerden birisidir. Bu bölgeler genellikle kurak ve yarı kurak bölgelerdir ve her zaman bu bölgelerin tuzluluğu düşük yağış, yüksek evapotranspirasyon ve tuzlu sulama nedenleriyle artış göstermektedir (Niu *et al.* 2010a). Bu bölgelerde genel olarak mevcut yer altı suyunun yaklaşık %75'i, elektrik iletkenliği 3 dS/m den büyük olan tuzlu sulardır (Lansford *et al.* 1990). Tuzlu suların sürekli verilmesi ile toprak yüzeyinde tuzların birikmesine yol açılmaktadır. Tuzluluğun etkisiyle meydana gelen ozmotik potansiyel ve beslenme dengesizliği, bitkilerde stresi uyarmakta ve sonuç olarak büyümeyi ve verimi olumsuz yönde etkilemektedir (Singh *et al.* 2014). Türkiye’de biber baharat ve taze olarak çok tüketilen bir sebze türüdür. Bu çalışmada, bazı biber çeşitlerinin tuzluluğa karşı fizyolojik, kimyasal ve moleküler tepkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlarda tuzluluğun kullanılan biber çeşitlerinde önemli etkileri olduğu belirlenmiştir. Bu etkiler bitki gelişimi, DEİ ve DOSİ, fotosentetik aktivite özellikleri, bitki mineral madde içerikleri, antioksidan enzim aktiviteleri, MDA ve H₂O₂ içeriği, prolin ve sakkaroz içeriği, glisin betain ve toplam amino asit konsantrasyonu, hormonlar, kapsaisin ve kapsitat içeriği ve DNA metilasyonu ile tohum çimlenmesi başlıkları içerisinde değerlendirilmiştir.

5.1. Bitki Büyüme Parametreleri

İki yıl yürütülen denemelerde tuz stresi koşullarının biber çeşitlerinde incelenen bitki gelişim parametrelerini önemli düzeyde olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan biber çeşitleri, tuz stresine karşı farklı tepki göstermişlerdir. Sonuçlara göre, en yüksek toprak üstü kuru ve taze ağırlık kontrol uygulamasında Maraş çeşidine ait olup, bunu Charleston ve Dolmalık çeşitleri takip etmiştir (Çizelge 4.2.). Benzer şekilde tuz stresi şartlarında en yüksek kök kuru ve taze ağırlık Maraş biber çeşidinde, en az kök ve toprak üstü kuru ve taze ağırlık ise Dolmalık çeşidinde meydana gelmiştir (Çizelge 4.4). Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre tuzlu koşullarda en dayanıklı çeşidin Maraş biber çeşidi olduğu söylenebilir.

Daha önce yapılan çalışmalarda biberin tuzluluğa hassas ya da yarı hassas olduğu rapor edilmiştir (Güneş vd 1996; De Pascale *et al.* 2003). Yıldırım ve Güvenç (2006) farklı biber çeşitlerinin tuz stresi koşullarına farklı tepkiler verebileceğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, bu çalışmada biber çeşitleri arasında tuzluluğa karşı farklı tolerans seviyeleri tespit edilmiştir. Daha önce yapılan birçok çalışmada, tuz stresinin biberde bitki gelişimini olumsuz etkilediği belirlenmiştir (Shannon and Grieve 1999; Ashraf and Harris 2004; Houimli *et al.* 2008; Houimli *et al.* 2010; Hussein *et al.* 2012).

Tuz stresi sebze yetiştiriciliğinde karşılaşılan önemli problemlerden biridir. Toprakta yâda sulama suyunda bulunan tuz sebzelerde bitki gelişimini ve verimi önemli ölçüde olumsuz etkileyebilmektedir (Shannon and Grieve 1999). Tuzluluğun bu olumsuz etkisi: toprak solüsyonunda meydana getireceği yüksek osmotik basınç (su stresi), besin maddesi alımında meydana gelecek dengesizlik, spesifik iyon etkisi (toksik etki) yada bunların tümünün etkileri ile ortaya çıkmaktadır (Ashraf and Harris 2004). Birçok bitki türünde çimlenme ve fide dönemi, tuz gibi çevresel streslere en hassas oldukları dönemlerdir. Tuzlu koşullar çimlenme oran ve hızını önemli derecede azaltarak düzensiz çıkışa, dolayısı ile verimde azalmaya neden olabilmektedir (Foolad *et al.* 1997).

Tuz stresi altında osmotik ve iyon stresi nedeniyle bitkilerin büyümesi ve gelişmesi azalmaktadır (Parida ve Das 2005). Kök atomosferinde osmotik stres tuz miktarının artmasıyla birlikte meydana gelmektedir. Bu dışsal osmotik stres şartlarında, kök bölgesinde kullanılan su miktarını azaltıp ve kullanılabilir su miktarının azalması, hücre genişlemesinin azalmasına ve sürgün gelişiminin yavaşlamasına neden olmaktadır. Bu durum, kök ve toprak üstü kuru ve yaş ağırlığın azalmasına sebep olmaktadır (Tuteja 2007).

Biberde yaprak alanı ve yaprak sayısı tuz uygulamasıyla birlikte azalma göstermiştir. Bununla birlikte kullanılan çeşitlerin tuzluluğa karşı tepkisi farklılık göstermiştir. En yüksek yaprak alanı ve yaprak sayısı kontrol bitkilerinde Maraş çeşidinde meydana gelmiş olup, bunu Charleston ve Dolmalık biber çeşitleri takip etmiştir (Çizelge 4.6). Benzer şekilde tuz stresi şartlarında da kontrole göre en yüksek yaprak alanı ve yaprak

sayısı Maraş biber çeşidinde, en az yaprak alanı ve yaprak sayısı Dolmalık biber çeşidinde meydana gelmiştir. Tuz yaprak lignini artırarak, hücre duvarının kalınlaşmasına ve daha sert olmasına neden olmaktadır, böylece elastikiyetini azaltarak hücre büyümesini ve yaprak genişlemesini azaltmaktadır (Munns *et al.* 1988). Bu çalışmada, tuzluluğun etkisi Maraş çeşidi yaprak alanı ve yaprak sayısı üzerinde diğer çeşitlerle kıyaslandığında daha az olmuştur. Benzer şekilde bir çalışmada biber çeşitlerinin bitki boyu, toplam yaprak alanı ve kuru ağırlık gibi bitki büyüme parametreleri tuzlu koşullarda ölçülmüş ve 25 mM NaCl'den daha yüksek tuz seviyesinde bu parametrelerin önemli ölçüde azaldığı rapor edilmiştir (Chartzoulakis and Klapaki 2000). Hussein *et al.* (2012) biberde yaprak alanı ve yaprak sayısının kök ortamında tuz konsantrasyonu arttıkça azaldığını bildirmişlerdir. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar önceki araştırmacıların bulguları ile uyumludur. Houimli *et al.* (2008) yaptıkları çalışmada üç farklı biber çeşidinin tuz stresi altında bitki gelişimi üzerine etkilerini incelemişler ve kullandıkları çeşitlerin tuz stresinden olumsuz etkilendiklerini, ancak tolerans düzeylerinin farklılık gösterdiğini tespit etmişlerdir. Çalışmamızda da Maraş çeşidi diğer iki çeşide göre tuz stresine karşı daha toleranslı olarak belirlenmiştir. Melo *et al.* (2017) çalışmalarında tuz stresine hassas olarak belirlediği biber çeşidinde büyümedeki gerilemenin mineral beslenme, stomal davranış ve fotosentetik aktivitedeki modifikasyon gibi bazı fizyolojik özelliklerden kaynaklandığını ve tuz stresinin bitkinin su alımını olumsuz etkilediği ve bu durumun bitki gelişiminde yavaşlamaya yol açtığını bildirmişlerdir.

5.2. Doku Elektrik İletkenliği (DEI) ve Doku Oransal Su İçeriği (DOSİ)

Çalışmada, tuzlulukla birlikte DEI oranları incelenen 3 çeşitte de artış göstermiştir. Bununla birlikte çeşitler arasında farklılıklar meydana gelmiş, Charlston ve Dolmalık çeşitlerinde DEI daha bariz şekilde artış göstermiştir. Halbuki, Maraş çeşidinde DEI oranı tuzlu koşullarda diğer çeşitlerle mukayese edildiğinde daha az bir artışın olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.8). Benzer şekilde, önceki çalışmalarda tuz stresinin biberde DEI oranını artırdığı rapor edilmiştir (Houimli *et al.* 2008; Houimli *et al.* 2010). Aktaş vd (2006) yaptıkları çalışmada tuzlu koşullarda farklı biber genotiplerinin tuz stresine karşı

tepkilerini incelemişlerdir. Çalışmada tuzluluğa karşı toleranslı genotiplerde DEİ oranının hasas genotiplere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Tuz stresinin zararlı etkilerinden biri de hücre zarı üzerinedir. Hücre zarı çift fosfolipit tabakası ile bu tabakanın içinde gömülü proteinlerden oluşan seçici geçirgen bir zardır. Tuz lipid kompozisyonunun değişimini başlatarak zar hasarına sebep olmaktadır. Tuz stresi şartlarında lipid kompozisyonundaki lipidleri sentez eden enzimler değişir ve/veya fosfolipid çeşitlerinin hidrolizi meydana gelmektedir. Bu süreç zarın geçirgenliğini, akışkanlığını ve zarın protein aktivitesini etkilemekte ve bu durumda bitkinin doku elektrik iletkenliği stres şartlarda artmaya başlamaktadır (Huang 2016).

Tuz stresindeki artışa bağlı olarak Dolmalık ve Çarliston yapraklarında DOSİ miktarında istatistiki anlamda önemli azalmalar olmuştur. Bununla birlikte, Maraş çeşidinde artan tuz seviyesine paralel olarak DOSİ’nde artış gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan biber çeşitlerinin tuz stresi koşullarında DOSİ değerleri farklılık göstermiştir (Çizelge 4.8). Diğer bir çalışmada da tuzluluğa karşı biber genotiplerinin farklı bir tepki gösterdiği ve dayanaklı çeşitlerdeki DOSİ miktarının diğer çeşitlere göre arttığı görülmüştür (Arrowsmith *et al.* 2012). Hand *et al.* (2017) tuz stresi altında yetiştirilen farklı biber çeşitlerinin DOSİ değerlerinin de farklılık gösterdiğini ve hassas çeşitlerin daha düşük değere sahip olduklarını belirlemişlerdir. Tuz stresi bitkilerde ozmotik olarak su içeriğinde azalmaya neden olmaktadır. Böylelikle, yaprak ve kök kuru ve taze madde oranının azalması bitkide ozmotik ayarın meydana gelmesi anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, azalmış doku su içeriği hücre duvarlarının dehidrasyonundan kaynaklanmaktadır. Bunun sebebi, hücre dış duvarında tespit edilen Na^+ ve Cl^- konsantrasyonundaki artış gösterilebilir (Flower 1991). Bu sonuçlar, hücre içi CO_2 ’in kısmi basıncında bir azalmaya yol açan, yaprak genişlemesini azaltan ve stomaların kapanmasına sebep olan Na^+ ve Cl^- gibi toksik iyonların birikimine bağlanabilir (Hasegawa *et al.* 2000).

5.3. Klorofil a ve b

Çizelge 4.10'de görüldüğü gibi, artan tuz seviyeleri Dolmalık ve Charleston çeşitlerinde klorofil *a* ve *b* miktarında bariz bir düşüşe neden olurken, Maraş çeşidinde 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyelerinde klorofil *a* ve *b* miktarlarındaki düşüş daha az olmuştur. Çalışmada, genel olarak klorofil miktarı tuz stresi şartlarında olumsuz yönde etkilenmiştir. Yapraklarda klorofil içeriğinin azaltılmasının nedenlerinden biri Fe ve Mg noksanlığı olabilir, tuz şartlarında yapraklarda Fe ve Mg noksanlığı meydana gelebilir, bu durumlarda klorofil sentezi aktivitesinin azalmasına neden olmaktadır (Marschner, 2011). Nitekim, tuzlu koşullarda yetiştirilen bitkilerde, Mg ve Fe içeriği azalmıştır. Ancak, kullanılan çeşitler farklı tepki göstermiş, Maraş çeşidinde klorofil *a* ve *b* içeriğinin tuz stresinden Charleston ve Dolmalık çeşitlerine göre daha az etkilendiği belirlenmiştir. Maraş çeşidinde Fe ve Mg miktarındaki azalma diğer çeşitlere göre daha az meydana gelmiştir (Çizelge 4.20 ve 4.25). Maraş çeşidinde klorofil içeriğinde daha az zararlanma meydana gelmesinin nedeni yukarıda belirtilen nedenlerde kaynaklanabilir. Hand *et al.* (2017) tuza hassas biber çeşidinde klorofil içeriğinin tuz stresi koşullarında diğer çeşitlere göre daha az olduğunu rapor etmişlerdir. Benzer şekilde yapılan bir çalışmada, farklı kavun çeşitlerinde klorofil miktarı tuzlu koşullarda incelenmiş ve tuzluluğa hassas çeşitlerde klorofil miktarının dayanıklı çeşitlere göre daha fazla azaldığı rapor edilmiştir (Kuşvuran vd 2008a). İyon birikimi ve stomaların kapanmasındaki düzensizlikler yüksek tuz seviyelerinde toplam klorofil miktarında azalmalara sebep olmaktadır (Kuşvuran vd 2008b). Tuz stresi koşullarında bitkilerde klorofil oksijen radikalleri tarafından parçalanmakta ve kloroz meydana gelmektedir (Jaleel *et al.* 2008). Nitekim yapılan bir çalışmada, tuz stresinin marulda klorofil miktarında azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (Yıldırım vd 2015). Tuz stresi ile beraber klorofil *a* ve *b* içeriğinde meydana gelen düşüşler genel olarak klorofil membranlarının hasar görmesi nedeniyle meydana gelmektedir (De Pascale *et al.* 2003). Tuz stresinin iyon toksisitesi hücre hasarı ve pigmentlerdeki bozulmalar sebebiyle hücre ölümüne neden olduğu ifade edilmiştir (Suriyan and Chalermopol 2009). Tuzun bu etkisi, protein pigment-lipid kompleksin tuzla indüklenen zayıflamasına veya artan klorofililaz enzim aktivitesine bağlanmıştır (Hand *et al.* 2017).

5.4. Pn, Ci, gs ve Tr

Bu çalışmada tuzlu koşullarda bitkilerde CO₂ miktarı azalmaya başlamış, kullanılan çeşitlerden Çarliston ve Dolmalık en çok etkilenen çeşitler olmuştur. Çizelge 4.12'de gösterildiği gibi, Maraş çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında CO₂ içeriği bakımından istatistik olarak önemli bir fark bulunmamış, ancak Çarliston ve Dolmalık çeşitlerinde CO₂ içeriği artan tuz konsantrasyonlarına paralel olarak azalmıştır. Benzer şekilde, fotosentetik aktivite tuz konsantrasyonunun artışına paralel olarak incelenen tüm çeşitlerde azalmıştır. Azalma en az Maraş çeşidinde meydana gelmiş bunu Dolmalık ve Çarliston çeşitleri takip etmiştir (Çizelge 4.12.).

Tuz stresinin biber çeşitlerinde gs ve transpirasyon oranını olumsuz etkilediği saptanmıştır (Çizelge 4.14). Gs ve Tr bakımından 3,5 dS/m ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında Maraş çeşidinde istatistiksel açıdan bir farklılık görülmemiş, fakat kontrol bitkilerine göre gs'de düşüşler meydana gelmiştir. Bununla birlikte Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde tuz seviyeleri arasında istatistiksel açıdan önemli farklılık tespit edilmiştir.

Daha önce yürütülen çalışmalarda tuz stresinin biberde fotosentetik kapasiteyi olumsuz etkilediği ve incelenen kriterleri önemli seviyede azalttığı rapor edilmiştir (Bethke and Drew 1992; Hussein *et al.* 2012; Penella *et al.* 2016).

Tuz stresi, ortamda osmotik basıncı artırarak kullanılabilir su içeriğinde azalmalara neden olmaktadır. Bu durumda bitkilerde su kaybını önlemek için meydana gelen ilk tepki stomaları kapatarak transpirasyonu azaltmaktır. Transpirasyonu engelleyerek stomaların kapanması gs'nin azalmasına neden olmaktadır (Munns and Tester 2008). Gs'nin azalması ile kloroplasta giren CO₂ miktarı sınırlanmakta (Degl'Innocenti *et al.* 2009) ve bu durumda asimilasyon oranı da azalmaktadır. Yüksek tuz seviyelerinde iyon birikimi ve stomaların açılıp kapanmasındaki düzensizlikler toplam klorofil miktarını azaltmakta, bunun sonucunda da fotosentez etkinliği azalarak bitki gelişiminde olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır (Şahin vd 2018).

Elde ettiğimiz bulgulara göre tuz stresi altında bitkilerde gs azalarak, stomaların kapanmasına ve transpirasyonun azalmasına neden olmuş, gs'nin azalması ise kloroplasta giren CO₂ miktarını azaltarak bunun sonucunda fotosentetik aktivitenin azalmasına sebep olmuştur. Bu çalışmada, Maraş biber çeşidinin tuz stresine karşı fotosentetik performansı diğer çeşitlere göre fazla olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, tuzlu koşullarda fotosentetik aktivite Maraş çeşidinde diğer çeşitlere göre daha az etkilenmiştir. Çalışmamızda Maraş biber çeşidinde diğer çeşitlere göre Fe, K ve prolin içeriğinin daha az etkilendiği ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.18, 4.25 ve 4.35). Bu durum, bitkinin iyon homeostasisının düzenlenmesini sağlayarak sonuçta stomaların daha az kapanmasına sebep olduğu ve CO₂'in stomalara girmesini sağlayarak fotosentez miktarını tuzlu koşullarda Maraş biberinde diğer çeşitlere göre çok fazla azalmasını engellediği düşünülmektedir.

5.5. Yaprak Mineral Madde İçeriği

2016 ve 2017 yıllarında yürütülen çalışmada tuz stresi koşullarında yetiştirilen üç biber çeşidinin bitki besin element içeriğinin önemli ölçüde farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.16, 4.18, 4.20, 4.22, 4.25 ve 4.27). Tuz stresi koşullarında yetiştirilen biber çeşitlerinde Na ve Cl hariç genellikle bitki besin element içeriğinde azalma görülmüştür. Benzer şekilde, tuzlu koşullarda yetiştirilen bitkilerde bitki besin elementi içeriğinin azalandığı birçok çalışmada rapor edilmiştir (Mansour 2000; Cramer 2002; Cabañero *et al.* 2004; Marschner 2012). Fakat yapılan bir çalışmada, tuz stresinin biberde N içeriğini etkilemediği saptanmıştır. Bizim sonuçlarımıza benzer Hoagland solusyonla beslenen biber bitkilerde tuz stresi N içeriğini etkilememiştir (Beltrano *et al.* 2013).

Bu denemede biber çeşitlerinde tuz uygulaması P içeriğini artırmıştır (Çizelge 4.18). Sonuçlara göre, 7 dS/m tuz seviyesinde Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde sırasıyla %9,27 ve 2,23 artış meydana gelirken, Maraş çeşidinde %3,37 azalma tespit edilmiştir. Bununla birlikte diğer bir çalışmada tuz stresi P içeriğinin azalmasına neden olmuştur (Askar-Khorasgani *et al.* 2017). Ancak, bir diğer çalışmada ise bizim sonuçlarımıza benzer şekilde tuz stresi koşullarda Hoagland solusyonla beslenen bitkilerin P miktarı artmıştır (Hu and Schmidhalter 2005).

Tuz su potansiyelinin azalmasına, hücrede iyon dengesinin bozulmasına ve bitki gelişiminin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Kök ortamında fazla miktarda NaCl bulunması hücrede Na^+ ve Cl^- düzeyinin artmasına, Ca^{+2} , K^+ ve Mg^{+2} miktarının ise azalmasına neden olmaktadır. Hücrelere giren Na^+ , zar potansiyelini bozmakta ve anyon kanalları sebebiyle hücre dışındaki Cl^- 'un pasif olarak hücreye girişine neden olmaktadır.

Bitkiler tuzluluğa karşı üç yöntemle adaptasyon sağlamaya çalışırlar. Bunlar ozmotik stres toleransı, Na^+ veya Cl^- almama veya vakoullerde birikmiş, Na^+ veya Cl^- 'ye karşı dokuların bir toleransı mekanizmadır (Munns and Tester 2008). Bazı türler, belirli iyonların alımını önleyerek veya dokudaki yüksek iyon konsantrasyonlarını tolere ederek tuz stresini tolere etmektedirler. Doku içindeki yüksek Na^+ veya Cl^- seviyelerine karşı, duyarlılık veya tolerans türler arasında ve içinde değişiklik gösterebilmektedir (Apse and Blumwald 2007).

Bu çalışmada, artan tuz seviyelerine paralel olarak Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde Na^+ ve Cl^- miktarı da artış göstermiştir. Bununla birlikte, Maraş çeşidinde 3,5 dS/m tuz seviyesinde Na^+ miktarı -%6,16 azalırken, Çarliston ve Dolmalık çeşitlerinde sırasıyla %9,48 ve %22,21 artış belirlenmiştir. Maraş çeşidinde genel olarak diğer çeşitlere göre Na^+ alımının daha az olduğu tespit edilmiştir. 7 dS/m tuz seviyesinde kullanılan biber çeşitlerinde Na^+ içeriği artmaya başlanmıştır. Maraş çeşidinde %28, Çarliston ve Dolmalık da ise sırasıyla %42,98 ve 40,22 arttığı belirlenmiştir. Maraş çeşidinde Na^+ içeriğinin diğer çeşitlere göre daha az olması, bitkinin az hasar görmesi ve tuzluluğa karşı daha toleranslı olmasıyla açıklanabilmektedir.

Klor miktarı Çarliston biberinde 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamasında kontrole göre %9,94 ve 28,42 oranlarında artmış, Maraş ve Dolmalık çeşitlerinde ise 3,5 dS/m tuz seviyesinde Cl^- miktarı sırasıyla -%10,06 ve -%13,57 azalma tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bu iki çeşidinde 7 dS/m tuz seviyesinde Cl^- miktarı sırasıyla %2,74 ve %7 oranlarında artış göstermiştir. Sonuçlara göre, en hassas çeşit olarak Çarliston ve Dolmalık biber en yüksek Na^+ birikimine sahipken, en toleranslı çeşit olarak da Maraş biberinin Na^+ ve Cl^- içeriği

daha az olmuştur. Benzer bir çalışmada, acı biber çeşitleri arasında tuzluluğa karşı toleransı incelenmiştir. Tuza toleranslı çeşitlerde Na^+ ve Cl^- absorbansı ve birikimi hassas çeşitlere göre az meydana gelmiştir (Niu *et al.* 2010b).

Membran ve hücre duvarının önemli bir bileşeni olan Ca^{2+} aynı zamanda klorofil yapısında ve antioksidan enzimlerin ve Mg'nin uyarılmasına yol açan bir sinyal olarak işlev görmektedir. Bitki rizoforinde büyük ölçüde Ca^{2+} noksanlığı ve yüksek $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ oranı membran ve hücre duvarı yapısının çökmesine, membran fonksiyonunun bozulmasına ve sonuç olarak kök büyümesinin bastırılmasına sebep olmaktadır. Ca^{2+} metabolizması hücre duvarı membran yapısının korunmasına ve stabilize edilmesine, hücre duvarı enzim aktivitesinin düzenlenmesine, iyon değişim kapasitesinin yanı sıra iyon taşınımına ve seçiciliğine katkıda bulunmaktadır (Marschner 2012). Tuz altında Na^+ iyonu bağlanma yerleri için Ca^{2+} iyon ile rekabet etmektedir. Böylece, stres koşullarında kalsiyum seviyelerini yüksek tutma potansiyeline sahip bitkiler Na^+ toksisitesinin bitki büyümesi ve gelişmesi üzerindeki olumsuz etkisini azaltmaktadır (Khayyat *et al.* 2009).

K^+ kanalı / taşıyıcıları ve su kanalları, bitki osmoregülasyonunun bir parçası olarak fonksiyonel olarak birlikte düzenlenmekte ve uygun sitosolik ozmolariteyi sağlamak ve bitkiyi kuraklığa veya diğer streslere karşı tolere edebilmektedir (Munns and Tester 2008).

Bitkilerin hücresinde birçok sitozolik enzimin fonksiyonel olabilmesi belirli bir Na^+/K^+ oranı dengesine bağlıdır (Mahajan *et al.* 2008). Kök büyüme ortamında Na^+ miktarının artmasıyla hücreye Na^+ 'un girişi artarken, K^+ 'un hücreye alınımının azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle da Na^+ / K^+ dengesi bozulur. Buna bağlı olarak, Na^+ 'un, K^+ 'un bağlanacağı alanlar için K^+ ile rekabete girmesine neden olmaktadır (Tester and Davenport 2003).

Bu çalışmada, K^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+} içeriği tuz uygulamasıyla azalmış, ancak kullanılan çeşitler farklı tepki göstermişlerdir. Tuz stresi şartlarında en yüksek K^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+} içeriği Maraş çeşidinde görülmüştür. Maraş çeşidinde 3.5 ve 7 dS/m tuz seviyelerinde

diğer çeşitlere göre K^+ / Na^+ , Ca^{2+} / Na^+ ve Mg^{2+} / Na^+ oranlarının artmasına sebep olmuştur. Halbuki, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde K^+ / Na^+ , Ca^{2+} / Na^+ ve Mg^{2+} / Na^+ oranları azalmıştır (Çizelge 4.23).

Tuzlu koşullarda bitkilerin beslenme bozukluklarında tuzluluğun ozmotik etkileri de dâhil olmak üzere bir veya daha fazla mekanizma etkili olmaktadır. Tuz ozmotik membran seçiciliğini ve iyonlar arasındaki rekabeti etkilemekte ve böylece K^+ / Na^+ , Ca^{2+} / Na^+ ve Mg^{2+} / Na^+ oranlarının azalmasına sebep olmaktadır (Şahin vd 2018; Tester and Davenport 2003). Tuz stresine karşı toleransın, bir bakıma K^+ / Na^+ 'nın hücrel segmentlerdeki oranı ile önemli ölçüde ilişkili olduğu iyi bilinmekte ve dokular içinde Na^+ birikimini azaltmak tolerans oranını yüksek tutmak çok önemlidir.

Stres koşulları altında, mineral madde alım dengesi bitkilerde toleransın artırılmasında önemli bir rol oynayabilmektedir (Weisany *et al.* 2014). Daha önce yapılan bir çalışmada mısır bitkisinde artan B içeriğinin, suyun taşınımını ve alımını belirli su izotop izoformlarının fonksiyonları ile ayarlayarak bitkinin tuz stresine karşı toleransını iyileştirdiği belirtilmiştir (Martínez-Ballesta *et al.* 2008).

Mg^{2+} ve Fe^+ klorofil sentezinde önemli rol oynayan minerallerdir. Demir'in birçok bitki enzimiyle ilişkisi vardır ve fotosentez ve solunumun oksido redoks reaksiyonlarında rol oynamaktadır (Curie and Briat 2003). Bu çalışmada, biber çeşitleri tuzluluğa farklı tepki göstermiş, artan tuz seviyelerine paralel olarak Fe miktarı Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde önemli seviyede azalma göstermiştir. Fakat, Maraş çeşidinde diğer çeşitlere göre Fe içeriği tuz şartlarında daha az etkilenmiştir. Mg bakımından tuz uygulamasıyla beraber Mg içeriği azalma göstermiş, ancak Maraş çeşidi diğer çeşitlere göre 3,5 dS/m tuz seviyesinden daha az etkilenmiştir (Çizelge 4.20 ve 4.25).

Bu çalışmada, tuz stresi altında kontrole göre bakır içeriğinde azalma görülmemiştir. Bununla birlikte Maraş çeşidinde Cu miktarı diğer çeşitlere göre daha fazladır (Çizelge 4.25). Tuzlu ve tuzlu sodik topraklarda Cu'nın çözünürlüğü düşüktür ve bu tür topraklarda yetiştirilen bitkilerde sıklıkla Cu eksikliği görülmektedir (Chakraborty and Rahman

1993). Hem topraksız tarımda hem de toprakta yetişen tuz stresli soyada yaprak ve gövdede Cu konsantrasyonlarının azaldığı tespit edilmiştir (Tunçtürk vd 2008). Cu bitkileri oksidatif hasara karşı korumakta ve süperoksit dismutazın izoformunun ayrılmaz bir parçası olup, solunum ve fotosentezde önemli rol oynamaktadır. Cu çiçeklerin döllenmesi ve zigot oluşumunu önemli ölçüde etkilemektedir (Marschner 2012).

Günümüze kadar yapılan birçok çalışmada, Si'nin sağlıklı bitki büyümesi ve gelişimi üzerine yararlı etkileri olduğu tespit edilmiştir. Si'nin, tuz stresine karşı bitki toleransını arttırdığı ispatlanmıştır (Romero-Aranda *et al.* 2006). Tuzlu şartlarda 2,8 mM Si eklenmesi durumunda, Si'nin Na ile reaksiyona girerek Na alımını ve taşınmasının önemli ölçüde azalmasına neden olmuştur. Ayrıca, potasyum alımının artmasına ve bitkide Na/K oranının azalmasına neden olmuştur (Ashraf *et al.* 2010). Bitkilerdeki antioksidatif stresin Si ile düştüğü rapor edilmektedir. Si, tuz, kuraklık ve donma streslerinde bitkilerde antioksidatif savunma mekanizmasının çalışmasına sebep olmakta, ayrıca fotosentez ve su kullanma etkinliği üzerine pozitif rolü bulunmaktadır. Si'nin lipit peroksidasyonunu ve membran geçirgenliğini stres altındaki bitkilerde azalttığı da rapor edilmektedir (Liang *et al.* 2008). Bu çalışmada, tuzlu koşullarda kullanılan biber çeşitlerinde Si miktarı önemli derecede etkilenmiş ve Si miktarında her üç çeşitte de 7 dS/m tuz seviyesinde düşüşler belirlenmiştir. Fakat 3,5 dS/m tuz seviyesinde Si miktarında istatistiksel olarak kontrole göre önemli bir değişim gözlenmemiştir.

5.6. H₂O₂ ve MDA

Çalışmada, tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitlerinde MDA ve H₂O₂ içeriğinde artış tespit edilmiştir. Maraş çeşidinde MDA ve H₂O₂ içeriği 3,5 dS/m tuz seviyesi ile kontrol arasında önemli bir farklılık bulunmamış, fakat 7 dS/m seviyesinde artmaya başlamıştır (Çizelge 4.27). Çalışmamıza benzer olarak yapılan bir çalışmada, tuzluluğa toleranslı buğday çeşitlerinde MDA ve H₂O₂ birikiminde hassas çeşitlere göre daha az artış tespit edilmiştir (Sairam *et al.* 2002). Dolmalık ve Charleston çeşitlerinde H₂O₂ artması bitkilerin oksidatif hasarına sebep olmuş, bu hücrelerin membranlarına zarar vermiş ve bu durum MDA miktarının artmasına sebep olarak DEİ'nin artmasına yol açmıştır. Çalışmamızda

elde edilen bulgulara paralel olarak, daha önce yapılan birçok çalışmada tuz stresi altında yetiştirilen biberde MDA ve H_2O_2 içeriğinin arttığı tespit edilmiştir (Azuma *et al.* 2010; Penella *et al.* 2016). H_2O_2 stres koşullarında O_2^- 'den sentezlenen, thiol gruplarını oksitleyen güçlü bir oksidant olduğu belirlenmiştir. Bu aktif oksijen çeşidinin, thiol-düzenleyici enzimlerin bulunduğu hücrelerde birikmesi engellenmelidir (Noctor and Foyer 1998).

MDA, hücre zarının peroksidasyonu nedeniyle meydana gelmektedir. Lipid peroksidasyonundaki değişiklikler, canlı organizmalardaki oksidatif hasar derecesini belirlenmek için önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir ve bu da stres koşullarında canlı organizmalarda membran stabilitesinin azalmasına neden olmaktadır. Hücre zarındaki ağır hasarın en önemli nedeni, süperoksit radikalleri, hidrojen peroksit ve radikal hidroksil olduğu tespit edilmiş ve bunun sonucunda hücre zar lipitlerinin peroksidasyonuna sebep olduğu belirlenmiştir (Sairam *et al.* 2002; Lim *et al.* 2009).

Yapmış olduğumuz bu çalışmada, tuz stresi altında Maraş biberinde enzimlerin aktivitesinin Dolmalık ve Çarliston çeşitlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiş (Çizelge 4.31 ve 4.33) ve bu nedenle H_2O_2 ve MDA miktarında hafif bir artış gerçekleştirmiştir. Fakat, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde enzimlerin aktivitesi artan tuz seviyeleri ile beraber azalmıştır. Bu da H_2O_2 birikimini ve MDA miktarını arttırmıştır. Enzim aktivitesi stres şartlarında bitkilerin strese duyarlılığını belirlemek için uygun ve önemli kriterlerden biridir. Fakat, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde enzimlerin aktivitesi artan tuzluluk seviyeleriyle azalmıştır. Bunun sonucu H_2O_2 birikimi ve MDA miktarını arttırmıştır. Bu durumda, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinin tuzluluğa karşı hassas ve Maraş çeşidinin ise toleranslı olduğu söylenebilir.

5.7. Antioksidan Enzim Aktivitesi

Tuz stresinin incelenen antioksidan enzim aktivitelerini önemli düzeyde etkilediği ve çeşitlerin tuz stresine farklı tepkiler gösterdiği belirlenmiştir. Antioksidan enzim

aktivitesi tuz stresiyle beraber genelde azalmış, ama Maraş çeşidinde artış meydana gelmiştir.

Bu çalışmada, Maraş biber çeşidinde, CAT, APX ve POD aktivitelerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Fakat Charleston ve Dolmalık çeşitlerinde, tuz stresi altında enzimlerin aktivitesinde düşüşler gerçekleşmiş ve bu süreç bitkilerin oksatif stres karşısında toleranslılığını azaltmıştır. Bitkilerde özellikle 7 dS/m tuz seviyesinde daha çok hasar gördüğü gözlenmiştir.

Bu çalışmada, tuzlu koşullarda biber çeşitlerinde SOD aktivitesinde değişiklikler gözlenmiş ve çeşitlerin tepkileri farklılık göstermiştir. Tuzlu şartlarda Maraş biber çeşidinde SOD aktivitesinde diğer çeşitlere göre artış belirlenmiştir. Bununla birlikte, Dolmalık ve Charleston biber çeşitlerinde SOD aktivitesinin azalmıştır. Bizim sonuçlarımıza benzer olarak, yapılan bir çalışmada soğuğa dayanıklı biber çeşitlerinde SOD aktivitesi hassas olanlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (Lim *et al.* 2009).

SOD; aktif oksijen türlerine karşı korunumun ilk kademesini oluşturmaktadır ve iki molekül O_2^- ile reaksiyona girerek birer molekül H_2O_2 ve O_2 sentezlenmesini sağlamaktadır (Asada 1999). H_2O_2 , O_2^- gibi hücre duvarını difüze etme özelliğine sahip olmadığından, bu molekülün sentezlendiği hücrelerden kaldırılması için SOD enzimi ortaya çıkmaktadır (Alscher *et al.* 2002). Metallo enzimler grubunda yer alan SOD, bakır-çinko SOD (CuZn SOD), mangan SOD (Mn SOD) ve demir SOD (Fe SOD) olmak üzere içerdiği metal gruplarına göre üç farklı izoenzim çeşidine sahip olabilmektedir. Hücreler arası boşluklarda, peroksizom ve sitozol de bu Fe SOD, Mn SOD ve CuZn SOD izoenzimleri bulunmaktadır. Stres şartları altında SOD aktivitesinin çoğalması ve bu düzeyin korunması gen ekspresyonu SOD transkripsiyonunun artmasına bağlıdır (Alscher *et al.* 2002).

SOD tarafından sentezlenen hidrojen peroksit, POD, APX ve CAT enzimleri ile detoksifiye edilmektedir. CAT, H_2O_2 'yi oksijene ve suya dönüştüren enzimdir ve bu enzim yüksek bitkilerde peroksizomda bulunmaktadır (Jamei *et al.* 2009). POD, fenolik

bileşikler ve/veya antioksidanlar gibi yardımcı substratlarla H_2O_2 'nin suya dönüşmesine sebep olmaktadır (Meloni *et al.* 2003).

H_2O_2 detoksifikasyonunda yer alan diğer bir enzimin APX olduğu tespit edilmiştir. Bu enzimin izoenzim grupları kloroplast stroması ile tilakoid duvarı, mitokondri, sitozol ve peroksizom olmak üzere dört farklı kısımda bulunduğu belirtilmektedir. APX, H_2O_2 'i suya çevirir (Mittler *et al.* 2004). Tuz stresi de dâhil olmak üzere çevresel stres koşullarında antioksidan enzimlerin aktivite düzeyinde değişiklikler olduğu bildirilmiştir. Tuz, aktive edilmiş oksijen türlerini nötralize eden enzimatik sistemlerin bozulmasına ve bunun da yağ peroksidasyonun artmasına neden olduğu, sonuçta hücre zarının zarar görmesine ve pigmentlerin tahrip olmasına neden olduğu belirtilmektedir. Araştırmacılar, protein sentezinin şiddetli tuz stresi ile azaldığını ve enzim aktivitesinin ciddi tuz streslerinde de azalabileceğini ifade etmişlerdir.

APX bitkilerde kloroplast stroması ile tilakoid zarı, mitokondri, sitozol ve peroksizom da bulunur ve bu enzim üretilen H_2O_2 dokularda suya dönüştürür ve bu süreçte askorbatı (AsA) özellikli elektron donörü olarak kullanır ve araya gelen reaksiyonda AsA tek değerli oksidant formu monodihidroaskorbat (MDA, MDAsA olarak da kullanılmaktadır) üretimine yardım etmektedir. Bu reaksiyonda MDA direkt olarak NADPH-bağlı MDA redüktaz (MDAR) enziminin aktivitesiyle AsA'ya dönüşmektedir (Çulha and Çakırlar 2011).

Stres koşullarında bitkide hücre zar yapısının değişmesiyle sitokrom respiratör yolunun işlevi sınırlandırılmasıyla aktif oksijen türlerinin sentezi artmaktadır. Bu durumda elektron akışını kendisine çevirerek ortamdaki O_2 'i suya indirgeyerek mitokondride ROS'ların düşük miktarda tutulmasına sebep olmaktadır (Maxwell *et al.* 1999). Üstelik, mitokondrideki alternatif oksidazların bir homologunun kloroplast tilakoidlerinde de bulunduğu ve plastokinon havuzunda bulunan elektronları kullanarak O_2 'i H_2O 'nun azalmasına sebep olduğu belirlenmiştir.

Çalışmamızda, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerde tuz stresinde antioksidan enzim aktivitesi azalmış bu durum H_2O_2 ve MDA miktarını artırmıştır. Maraş çeşidinde ise tuzluluğa karşı toleranslılık SOD'un bitkide ROS'ları H_2O_2 'ye dönüştürdükten sonra POD, APX ve CAT ile su ve/veya oksijene dönüştürmesi ile açıklanabilmektedir.

5.8. Prolin ve Sakkaroz

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; Maraş, Dolmalık ve Çarliston biber çeşitlerinde 3,5 dS/m tuz konsantrasyonu prolin miktarının artışına yol açmıştır. 7 dS/m tuz seviyesinde ortalama % değişim verilerine göre prolin miktarı Maraş biber çeşidinde -%13, Dolmalık çeşidinde -%27 ve Çarliston çeşidinde ve -%31 oranlarında azalışa neden olmuştur (Çizelge 4.33). Çalışmamızda elde ettiğimiz bulgulara benzer şekilde yapılan bir çalışmada, tuz stresi altında yetiştirilen farklı biber çeşitlerinde prolin içeriklerinin farklı olduğu ve hassas çeşitleri toleranslı olanlara göre daha az prolin içerdiği rapor edilmiştir (Kaouther *et al.* 2012).

Tuz bitkilerdeki prolin içeriğini değiştirebilmektedir. Prolin birikimi, hücrenin ozmotik dengesinin korunmasında rol oynamaktadır. Bitkideki prolin birikimi tuz direncini artırmaktadır (Kishor *et al.* 2005). Bitki dokularında prolin ne kadar artarsa bitkinin strese karşı toleransı o kadar artırmaktadır. Prolin, bitkilerde toksinlere oksidatif asit oksidasyona direnç gösteren en kararlı amino asitlerden biridir (Sudhakar *et al.* 1993; Pérez-López *et al.* 2009). Prolinin bir başka özelliği, enzimlerin bozulmadan korunması, serbest radikallerin uzaklaştırılması, hücre duvarı yapısı ve proteinlerin stabilitesi, NADH/NAD⁺ bir denge kurulması ve enerji kaynağının aktive edilmesidir (Mandhania *et al.* 2006). Tuzluluğa toleranslı çeşitler strese maruz kaldıklarında, uyumluluk solüsyonlarının miktarını ve özellikle farklı dokulardaki prolin miktarını arttırmakta, dolayısıyla ozmotik potansiyeli modüle ederek, böylece hücre basıncını ve suyun potansiyelini arttırmaktadır. Sonuç olarak prolinin birikimi bitkinin daha iyi büyümesine katkı sağladığı belirtilmektedir (Ali and Ashraf 2011).

Bitkide stres koşullarda biriken maddelerden biri de çözünebilir şekerlerdir. şekerler stres altında, ozmotik ajanlar veya ozmotik proteinler olarak büyük role sahiptirler. Stres koşullarında şeker artışı, ozmotik regölasyon ve inflamasyonu sürdürme ile anlamlı derecede ilişkilidir ve ozmotik bir koruyucu olarak protein ve membran stabilitesine neden olmaktadır. Çözünür şeker ve prolin, ozmotiklerin uyumlu çözeltiler olarak düzenlenmesinde kullanılabilir (Sánchez *et al.* 1998).

Bu çalışmada, sakkaroz bakımından 7 dS/m tuz uygulamasında üç biber çeşidinde de artış meydana gelmiş ve Maraş çeşidinde %24 ve Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde ise %8 artış tespit edilmiştir (Çizelge 4.35). Buna göre tuz stresi altında prolin ve karbohidrat miktarı Maraş biberinde diğer çeşitlere göre daha hafif azalma gerçekleşmiş ve bu bitkinin ozmotik dengeyi korumasına ve suyun absorpsiyonunun devam etmesini sağlamıştır. Sonuçta, hücresel yapıların, protein bileşiklerinin ve enzimlerin korunmasına neden olmuştur. Bu nedenle, Maraş çeşidinin diğer çeşitlere göre tuzluluğa karşı toleransını daha fazla olduğu saptanmıştır.

5.9. Glisin Betain ve Toplam Amino Asit

Tuz stresi, biber çeşitlerinde glisin betain ve toplam amino asit miktarını etkilemiştir. Bu çalışmada, toplam amino asit konsantrasyonu Maraş biberinde artan tuz seviyelerine paralel olarak artmıştır. Bu durumda, bitkinin tuzluluğa karşı toleransı artmış olabilir. Dolmalık ve Çarliston biber çeşitleri daha farklı bir tepki göstermiştir. Çarliston çeşidinde 3.5 dS/m tuz seviyesinde toplam amino asit konsantrasyonu önce artmış, sonra azalma göstermiştir. Bununla birlikte, Dolmalık biber çeşidinde tuz uygulamasıyla toplam amino asit konsantrasyonu azalmıştır. Bizim sonuçlarımıza benzer şekilde biberin hassas çeşitlerinde tuz uygulamasıyla toplam amino asit miktarının azaldığı bildirilmiştir (Martinez-Ballesta *et al.* 2004).

Amino asitler, proteinin ana bileşenleridir ve bitkilerde azot transferine ve depolanmasına katkıda bulunmaktadır (Gao *et al.* 2009). Amino asitlerin bitkilerde poliamin, prolin ve

nitrik oksit üretimine öncülük (precursor substance) ettiği ve bitkide önemli fizyolojik rol oynadığı bildirilmiştir (Jubault *et al.* 2008).

Glisin betain içeriği bakımından araştırmada kullanılan 3 çeşit, tuz stresine farklı tepki göstermiştir. Maraş çeşidinde, tuz uygulamasıyla azalma meydana gelmiştir. Dolmalık ve Çarliston da 3.5 dS/m tuz seviyesinde glisin betain önce artmış ve sonra 7 dS/m de azaldığı tespit edilmiştir. Glisin betain, birçok bitki türünde çeşitli çevresel streslere karşı sentezlenmektedir. Özellikle, strese maruz kalındığında halofitler, hücrelerinde bir ozmotik modifiye edici olarak glisin betaini arttırmaktadır. Stres şartlarında bitkilerin hepsi stresin etkilerini ortadan kaldırmak için yeterli glisin betain üretemezler (Munns and Tester 2008). Yapılan bir çalışmada, mısırdaki ozmotik strese bağlı olarak birikmiş olan glisin betain miktarının, bitkideki stres toleransının artmasıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Sodyum klorür kaynaklı strese bağlı olarak glisin betaininin artması, tuzluluğa karşı mısırın toleransını artmıştır (Ashraf and Foolad 2007). Glisin betain, stres şartlarında ozmotik ayarlamaya ek olarak, membranlar, Fotosistem II ve rubisko enzimi üzerinde koruyucu etki gösterebilir (Ashraf and Foolad 2007).

5.10. Hormonlar

Çalışmamızda kullanılan biber çeşitleri tuzlu koşullarda hormon içeriği bakımından farklı tepkiler göstermişlerdir. 3,5 dS/m tuz seviyesinde Maraş biberi en yüksek hormon miktarına sahip olmuştur ama Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde Maraş çeşidine göre azalmalar gerçekleşmiştir (Çizelge 4.39 ve 4.41). Daha önce yapılan çalışmada, tuzlu koşulların biberde ABA miktarının artışına sebep olduğu tespit edilmiştir (Piñero *et al.* 2014). Başka bir çalışmada süpürge darısı bitkisinde tuzluluk CKs ve GAs miktarını azaltmıştır (Amzallag *et al.* 1992). Benzer şekilde tuz stresi altında yetiştirilen fasulye genotiplerinde tolerant olanların ABA ve oksin içeriğinin hassas olanlara göre daha fazla olduğu bildirilmiştir (Zörb *et al.* 2013).

Hormonlar, bitkilerde yaprak, tomurcuk, çiçek, meyve ve köklerdeki hücrelerin büyümesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, bitki hormonları, bitkilerin çevresel

streslere tolerans sağlama yeteneğini arttırmada önemli rol oynamaktadır (Hasegawa *et al.* 2000).

Sitokinin (CKs) farklı aşamalarda bitkilerde pozitif anlamda önemli bir rolü bulunmakla beraber, ABA ya karşı antagonist etki göstermektedir. Bitkilerin stres koşulları altında yetiştirilmesi, CKs seviyelerini azaltabilmektedir (Argueso *et al.* 2009).

CKs, klorofil birikimi, etioplastların kloroplastlara dönüşümü ve serbest radikallerin toplanması yoluyla yaprakların yaşlanmasını engellemektedir. Bu nedenle, çevresel stres koşullarında bitkilerde toleransı artırmak için önemli rol oynaması mümkündür. Hücre bölünmesini, hücre büyümesini, klorofil biyosentezini artırarak klorofil degradasyonunu azaltmada CKs'nin büyük bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Argueso *et al.* 2009).

Stres koşullarında, CKs'daki azalma, sorgum bitkisinde ABA konsantrasyonunun birikmesine sebep olmaktadır (Iqbal *et al.* 2006). Oksinler, tuz stresine karşı bitki toleransını artırma da önemli bir rol oynamaktadır. Tuzluluğun, mısır yapraklarındaki oksin seviyelerini önemli ölçüde azalttığı, CKs ve oksinin bitki besin elementlerin alımında rol alan membran proteinlerinin düzenlenmesinde önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir (López *et al.* 2005).

Sitokinin oksidaz / dehidrogenaz (CKX, EC 1.5.99.12) CK'ların geri dönüşümsüz bozulmasını katalize eden tek enzimdir (Hwang *et al.* 2012). CKX, adenosin ve karşılık gelen (corresponding) aldehitleri oluşturmak için CK'lerin N6-ikameli izopren zincirini ve bunların ribonükleositlerini çıkarmaktadır (Kopečný *et al.* 2016). CKX enzimleri genellikle multigen alleler tarafından kodlanmaktadır. Örneğin, Arabidopsis'te yedi, pirinçte onbir ve mısırdaki onüç CKx homologu bulunmuştur ve bu bitkilerde CKs içeriğini kontrol eden önemli mekanizmadır (Werner *et al.* 2003; Šmehilová *et al.* 2009; Tsai *et al.* 2012).

Olumsuz çevresel faktörlerin CKs içeriğinde önemli bir azalmaya neden olduğu bilinmektedir. Bu durum CKx aktivitesindeki artışa bağlı olabilmektedir (Nishiyama *et*

al. 2011). Bu çalışmada, tuz stresi koşullarında (7 dS/m) Maraş çeşidinde CKx konsantrasyonunda azalmalar görülmüş bu durum CKs içeriğinde artışa sebep olmuştur.

Bu çalışmada, tuzluluğa karşı CKx miktarı bakımından da biber çeşitlerinde farklı değişimler tespit edilmiştir. Tuz uygulamasıyla CKx miktarı Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde artarken, Maraş çeşidinde azalmaya başlamıştır (Çizelge 4.41).

Maraş biber çeşidinde CKx miktarının azalması CKs miktarının artmasına sebep olmuştur. CKs tuzlu koşullarda bitkilerin toleransını artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü, bu hormon klorofil birikimi ve etioplastların kloroplastlara dönüşümü ve serbest radikallerin uzaklaştırılması yoluyla yaprakların yaşlanmasını engellemektedir (Argueso *et al.* 2009; Avalbaev *et al.* 2016). Halbuki, Dolmalık ve Çarliston biber çeşitlerinde CKx miktarı azalırken CKs artmış ve bu durum da klorofil birikimi ve fotosentez aktivitesini ve bitkilerin toleransının azalmasına sebep olmuştur (Çizelge 4.23.2 ve 4.6.2).

Absisik Asit (ABA)'in, kuraklık, tuz veya donma gibi hücre dehidrasyonuna neden olan stresler tarafından ortaya çıkan veya arttırılan fizyolojik süreçlerde önemli bir rolünün olduğu tespit edilmiştir. Yaprak dokusunun ABA konsantrasyonundaki artışın, stomaların açılmasını azaltarak, bitkiden su çekilmesini azalttığına dair güçlü kanıtlar vardır. Stomaların kapanması çok hızlı ve birkaç dakika içinde olan bir süreçtir. Bu bağlamda, stomaların koruyucu hücreleri plazma membranlarının dış tabakasında yer alan spesifik bir ABA reseptörüne sahip olduklarını göstermektedir. Bu reseptörün varlığı ve etkisi, iyonize kanalların açılmasında değişikliğe neden olmaktadır. Bitkide ABA gibi kimyasal ajanlara tepki stomaların kapatılmasıdır ve bu kuraklık ve tuzluk stresinden bir kaçınma mekanizmasıdır (Alscher and Cumming 1990; Ghanem *et al.* 2008; Santner and Estelle 2009).

Çalışmamızda, tuz stresi ABA miktarını etkilemiş ve çeşitler farklı tepkiler göstermişlerdir. Maraş çeşidinde 3,5 ve 7 ds/m tuz seviyesinde ABA miktarı ortalama % değişim verilerine göre sırasıyla %21,8 ve -%10,4 değişim göstermiştir. Dolmalık da -

%20,8 ve -%22,3 ve Çarlistonda -%6,7 ve -%10 azalmalar gerçekleşmiştir. Gördüğü gibi, Maraş çeşidi en yüksek ABA içeriğine sahiptir. Tuz stresi koşullarında buğdayda ABA uygulamasının prolin miktarını bitkide arttırdığı ve bitki veriminin bununla beraber hassas çeşitlere göre artmaya başladığı belirlenmiştir (Bakht *et al.* 2012).

GA₃ bitki içinde gelişim süreçlerini düzenlemektedir. Hücre uzamasına neden olarak hücre büyümesine yardımcı olmaktadır. Yüksek konsantrasyonda GA₃ bitki büyümesini arttırmaktadır (Bora and Sarma 2006). GA₃ yapraklarda membran geçirgenliğini ve besin düzeylerini geliştirerek tuzluluğa karşı bitkinin daha iyi büyümesine yol açarak ve GA₃ sorumlu fizyokimyasal değişikliklerle bitkilerin tuz toleransını arttırmaktadır (Abdel-Hamid and Mohamed 2014). Tuz stresi altında yürütülen bir çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, çeltik çeşitlerinde GA₃ uygulaması tuzluluk hasarını azaltmıştır (Misratia *et al.* 2013). Bu çalışmada, Maraş biber çeşidinde 3,5 dS/m tuz seviyesinde GA₃ miktarı kontrole göre artmış, fakat 7 dS/m tuz seviyesinde azalmıştır. Dolmalık biber çeşidinde artan tuz seviyelerine paralel olarak GA₃ içeriğinde azalma meydana gelirken, Çarliston biber çeşidinde tuz seviyeleri arasında hiçbir farklılık görülmemiştir.

5.11. Kapsaisin ve Kapsitat

Kapsaisin ve kapsitat miktarı biber çeşitlerinde tuz uygulamasıyla beraber değişmiştir, Maraş çeşidinde tuz uygulamasıyla beraber kapsaisin miktarı artmış ancak 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında bir farklılık bulunmamıştır. Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde kapsitat miktarı tuz uygulanmasıyla beraber azalmıştır.

Biber meyvelerinde kapsaisinoidlerin birikimi meyve yaşına, büyüklüğüne ve gelişim aşamasına bağlıdır. Kapsaikinoidlerin birikimi meyve büyüme fazıyla beraber başlar, meyve gelişiminin sonuna yaklaştığında maksimum seviyeye ulaşır (Salgado-Garciglia and Ochoa-Alejo 1990; Estrada *et al.* 2002). Kapsaisin içeriğinin çeşitler arasında değişiklik gösterdiği belirtilmiştir (Sanatombi and Sharma 2008; Ziino *et al.* 2009). En yüksek kapsaisin içeriği tamamen kırmızı meyvede gözlemlenmiştir (Gnayfeed *et al.* 2001). Kapsaisin miktarı yetiştirilen biber çeşitleri ile, genetik ve çevresel faktörlerden

etkilenmektedir. Bu çalışmada tuzluluğa karşı kapsaisin ve kapsitat miktarı biber çeşitlerinde farklı etkilenmiştir. Maraş biberinde tuzla beraber kapsaisin miktarı artmış, ancak 3,5 ve 7 dS/m seviyeleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. Sonuçlarımıza benzer olarak; tuz ve kuraklık stresi koşullarında Habanero biberinin kapsaisin içeriğinin arttığı belirlenmiştir (Arrowsmith *et al.* 2012; Khan *et al.* 2014). Kapsaisin ve dihidrokapsaisin konsantrasyonları, stresli bitkilerin meyvelerinde kontrol bitkilerine göre artmış ve bu etki meyve yaşı ile ilişkili bulunmuştur (Ruiz-Lau *et al.* 2011). Bu çalışmada, Dolmalık ve Çarliston biberde tuz seviyeleri artarken kapsitat miktarı paralel olarak azalmıştır. Kontrol koşullarında en yüksek kapsitat miktarı Dolmalık çeşidinde tespit edilmiştir. Kapsaisin ve kapsitat miktarı biberde stres, çevresel faktörlere ve bitki türüne göre değiştiği tespit edilmiştir.

5.12. DNA Metilasyonu

Tuz stresi altında yetiştirilen biber çeşitleri, enzim aktivitesi, prolin, hormonlar, mineral elementler, kuru ve yaş ağırlık, MDA ve H₂O₂ içerleklerine göre değerlendirildiğinde, Maraş çeşidinin tuz stresine diğer 2 çeşide göre daha toleranslı olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada, Maraş, Çarliston ve Dolmalık çeşitlere ait genomların en az %70'i benzerdir (Zhang *et al.* 2016). Tuz stresi altında farklı bir DNA metilasyon durumu görülmüştür. Elde ettiğimiz sonuçlara göre, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde 3,5 dS/m tuz seviyesinde bitkiler arasında metilasyon oranı ve toplam metillenmiş bantlar arasında kontrole göre anlamlı bir fark olmazken, 7 dS/m tuz seviyesinde metilasyon oranı ve toplam metillenmiş bantlar artmıştır. Ancak, Maraş çeşidinde 7 dS/m tuz seviyesinde metilasyon oranı ve toplam metillenmiş bantlar azalmıştır.

DNA'nın metilasyonu, çeşitli hücrel aktiviteleri düzenleyerek ve genomdaki gen ekspresyonunu ayarlayarak çeşitli çevresel streslere karşı ökaryotlarda anahtar bir rol oynamaktadır (Angers *et al.* 2010). DNA metilasyonu gibi epigenetik süreçler çevresel uyaranlardan etkilenebilmektedir (Boyko and Kovalchuk 2008).

Maraş, Çarliston ve Dolmalık çeşitlerin, tuz stresi altında farklı bir DNA metilasyon modeli göstermiştir. DNA'nın demetilasyonu ve metilasyonu, bitkinin strese cevap verme yeteneğine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır (Boyko ve Kovalchuk, 2008). *Mesembryanthemum crystallinum* bitkilerinde DNA metilasyonunun C3-fotosentezinden CAM metabolizmasına geçiş ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Dyachenko *et al.* 2006).

Demetilasyonun ayrıca çok özel genleri harekete geçirdiği veya çevresel streslere tepkide veya gelişim sırasında genomun epigenetik düzenlemesini sıfırlaması beklenmektedir (Zhu 2009). Tütün fidelerinde, soğuk, alüminyum, NaCl veya oksidatif stres ile muameleden bir saat sonra gliserofosfodiesteraz-benzeri geninin kodlama bölgesinde DNA metilasyonu önemli ölçüde azalmıştır (Choi and Sano 2007). Ancak, Çizelge 4.48'de görüldüğü gibi, Maraş çeşidinin genomunda, kontrol grubunda tam metilasyon (DNA'nın iki iplikçisindeki iç ve dış sitosin metilasyonu) gözlemlenmiş, fakat tuz uygulaması tam metilasyon oranını azaltmış, bu durum Maraş çeşidinin genomunda demetilasyon meydana gelmesine sebep olmuştur. Benzer şekilde, tütün bitkisindeki stres cevabı ile ilişkili bir gen olan NtAlix1'in demetilasyonu viral enfeksiyon altında gerçekleştiği bildirilmiştir. Bu genin normal koşulda uyarılmasında sekans demetilasyonu gerekmektedir (Wada *et al.* 2004). Ayrıca, Steward *et al.* (2000) mısır bitkisinde ZmMII1 geninin transkripsiyonel aktivasyonunun, soğuk stres aracılı sekans demetilasyonuna bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Ek olarak, Xua *et al.* (2015)'in Maras çeşidinin kontrol grubunun genomunda tam metilasyon gözlemlenmesi bizim sonuçlarımızla benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte, bu durumda, Maraş genomunun, tuz seviyelerini arttırmak suretiyle demetilasyona uğradığını ve tuz stresi altında SOD, POD ve APX aktivitesini arttırdığı belirlenmiştir.

Wang *et al.* (2011a), çeltiğin tüm genomunda tuz stresine karşı DNA metilasyonunun gerçekleşebileceğini ifade etmişlerdir. Özellikle duyarlı çeşitlerde köklerdeki DNA metilasyonundaki düşüşün, toleranslı çeşitlere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Benzer şekilde bizim çalışmamızda da tuzluluk düzeylerinin artışıyla tuza duyarlı çeşitlerde (Dolmalık ve Çarliston) DNA metilasyon oranının arttığı, tuza toleranslı çeşitte

(Maraş) ise azaldığı gözlenmiştir. Maraş çeşidinin tuzluluğa tolerans göstermesini, diğer çeşitlere kıyasla farklı bir metilasyon modeli göstermesi ile ifade edebiliriz.

5.13. Tohum Çimlenmesi

Yapmış olduğumuz bu çalışmada tuzlu koşullarda yetiştirilen bitkilerden elde edilen tohumlarda tohum çimlenme oranı, çimlenme hızı, fide ağırlığı indeksi ve fide gücü indeksi istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilenmiş, tuz konsantrasyonu arttıkça bu parameterlerde azalmalar tespit edilmiştir. Kullanılan çeşitler arasında farklılıklar meydana gelmiştir. Çimlenme oranı Maraş çeşidinde 3,5 ve 7 dS/m tuz uygulamalarında istatistiksel olarak farklılık göstermiş, fakat tuz seviyeleri arasında meydana gelen azalma fazla olmamıştır. Ortalama % değişim verilerine göre çimlenme oranı 7 dS/m tuz uygulamasında Maraş çeşidinde -%27, Çarliston çeşidinde -%60 ve Dolmalık çeşidinde ise -%67 azalma olarak belirlenmiştir. 7 dS/m tuz uygulamasında çimlenme hızı ortalama % değişimi Maraş çeşidinde -%37, Çarliston çeşidinde -%62 ve Dolmalık çeşidinde ise -%70 azalma göstermiştir.

Daha önce yapılan bir çalışmada, biber bitkileri farklı tuz seviyelerinde (0, 1, 1.5, 2, 4 ve 6 dS/m) yetiştirilmiş ve deneme sonunda elde edilen tohumlarda çimlenme ve canlılık analizleri yapılmıştır. Çalışmada, tohum çimlenmesi ve canlılığının 4,0 dS/m EC'de önemli ölçüde azaldığı, biber tohum veriminin çok düşük tuz seviyelerinde bile önemli ölçüde azaldığı (1 dS/m), tohum kalitesinin ise 2 dS/m EC'den sonra düşüşe başladığı tespit edilmiştir (Unlukara vd 2013).

Tuz stresi koşullarda fide ağırlık indeksi Maraş çeşidinde sadece 7 dS/m tuz seviyesinde etkilenirken, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde her iki tuz seviyesinden de etkilenmiş ve azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte, bu iki biber çeşidinde fide ağırlık indeksi bakımından 3,5 ve 7 dS/m tuz seviyeleri arasında istatistiksel olarak bir farklılık görülmemiştir.

7 dS/m tuz uygulamasında çeşitlerin fide gücü indeksi % değişimi; Maraş çeşidinde - %45 Charleston çeşidinde -%74 ve Dolmalık çeşidinde ise -%77 azalma şeklinde meydana gelmiştir. Fide gücü indeksi tohum kalitesi açısından önemli parametrelerden birisidir. Fide gücü indeksinin düşük olması fide kalitesinin azalmasına yol açabilmekte ve bu durum zayıf bitki oluşumuna, dolayısıyla da bitki gelişimi ve verimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada, yüksek tuz seviyesindeki azalan tohum kalitesinin nedeni olarak, kuru madde birikimi ve bölünmeyi azaltan fizyolojik oluşumlar gösterilebilir (Dkhil and Denden 2010). Daha önceki çalışmalarda orta tuz seviyelerinin meyve gelişme zamanında çözünür kuru madde miktarını ve tohum canlılığını azalttığı belirlenmiştir (Unlukara vd 2013). Araştırmamızda, tuzlu koşullarda Maraş biber çeşidinde bin tohum ağırlığı, kuru madde ağırlığı ve fotosentetik aktivite diğer çeşitlere göre daha az etkilenmiş ve bu süreç maddenin yapraklardan tohumlara taşınmasını kolaylaştırmış ve bundan dolayı bin tohum ağırlığı Maraş çeşidinin diğer çeşitlere göre tuzluluğa karşı az etkilenmiş olabileceği ifade edilebilir. Bu nedenle, Maraş çeşidi tohum çimlenme oranı, çimlenme hızı, fide ağırlığı indeksi ve fide gücü indeksi diğer çeşitlere göre tuzluluğa karşı az etkilenmiştir.

5.14. Sonuç ve Öneriler

1. Tuz stresi şartlarında toprak üstü ve kök taze ağırlığı bakımından Maraş çeşidinin Dolmalık ve Charleston çeşitlerine göre daha yüksek değere sahip olduğu tespit edilmiştir.
2. Maraş çeşidi 7dS/m tuz stresinde daha yüksek kök ve toprak üstü kuru ağırlığına sahip olurken Dolmalık ve Charleston çeşitlerinde kuru ağırlıkta önemli düşüşler meydana gelmiştir.
3. Yaprak alanı bakımından 7dS/m tuz koşullarında Maraş çeşidi Dolmalık ve Charleston çeşitlerine göre daha yüksek değere sahip olup ve sırası ile - %34, - %51 ve - %40 azalma tespit edilmiştir.
4. Tuz stresi altında Maraş çeşidi daha yüksek doku oransal su içeriğine (DOSİ) sahip olurken, doku elektrik iletkenliği (DEİ) bakımından en düşük değeri göstermiştir.

5. Tuz uygulaması incelenen biber çeşitlerinde fotosentetik aktivite ve klorofil a, b değerlerinde azalmalara sebep olmuştur. Bu azalma Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde daha belirgindir.
6. Maraş çeşidi tuz stresi şartlarında diğer çeşitlere göre daha yüksek demir ve magnezyum içeriğine sahip olup, bu durum klorofil sentezinin ve fotosentetik aktivitenin artmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, Maraş çeşidi Dolmalık ve Çarliston çeşitlerine göre daha yüksek fotosentetik aktivite ve klorofil a, b değerlerine sahip olmuştur.
7. Tuz stresi ile biber çeşitlerinde Na^+ ve Cl^- içerikleri önemli miktarda artmıştır. Bu artış en fazla Çarliston çeşidinde, sonra Dolmalık ve Maraş biber çeşitlerinde meydana gelmiştir.
8. Tuz stresi altında biber çeşitlerinde yaprakların K^+ ve Ca^{2+} içeriklerinin azaldığı görülürken, azalmanın çeşitler arasında farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Maraş çeşidinde K^+ ve Ca^{2+} içeriğinin tuz stresi koşullarında hafif azaldığı tespit edilmiş ve dolayısıyla K^+/Na^+ ve $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ oranları diğer çeşitlere göre daha yüksek çıkmıştır.
9. Prolin, toplam amino asit ve karbonhidrat içerikleri tuzlu koşullardan etkilenmiştir. Maraş çeşidinde toplam amino asit miktarı tuz uygulamasıyla birlikte artmıştır. Halbuki, Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde tuz uygulamasıyla beraber toplam amino asit miktarı ve prolin içeriğinin bariz bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Tuz stresi koşullarda (7 dS/m) en yüksek karbonhidrat miktarının Maraş çeşidinde, en düşük ise Çarliston çeşidinde tespit edilmiştir.
10. Tuz stresi uygulaması ile birlikte antioksidan enzim aktivitesinde kontrole göre değişimler meydana gelmiştir. Maraş çeşidinde tuz uygulamasıyla birlikte antioksidan enzim aktivitesinde genellikle artış belirlenmiş ve bunula birlikte Maraş çeşidi diğer çeşitlere göre tuz koşullarda en az H_2O_2 ve MDA miktarına sahip olmuştur. Bu nedenle bu çeşidin tuz stresine toleransı diğer çeşitlere göre daha fazla olduğu düşünülmektedir. Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinde tuz stresi uygulaması ile birlikte Maraş çeşidine göre antioksidan enzim aktivitesinin daha düşük ve H_2O_2 ve MDA miktarı ise daha fazla olduğu belirlenmiştir.
11. Hormon içerikleri tuz stresi ile birlikte önemli oranlarda değişmiştir. Tuz stresi altında yaprakların CKs içeriği bütün uygulamalarda önemli miktarda artmış ve Çarliston ve Dolmalık çeşitler en az CKs içeriğine sahip olmuştur. Tam tersine yaprakların CKx içerikleri de Maraş çeşidinde azalmış ve Çarliston ve Dolmalık çeşitler en az CKx

içeriğine sahip olmuşlar. Sonuç olarak, Maraş çeşidi CKx miktarını azaltarak en yüksek CKs sahip olurken tuzluluğa tolerans göstermiştir.

12. En yüksek ABA içeriği 3,5 dS/m tuz uygulamasıyla Maraş çeşidinde tespit edilirken, en düşük ABA içeriği 7 dS/m tuz uygulamasıyla Çarliston çeşidinde saptanmıştır. Tuza tolerans gösteren Maraş çeşidi, ABA içeriğini artırarak DOSİ'nin yükselmesine neden olmuştur. Bu durum, osmotik dengeye ve sonunda bitkide sodyum ve klor alımında azalmaya yol açmış olabilir.

13. Tuz stresi altında Dolmalık ve Çarliston çeşitlerinin kapsitat miktarı tuz uygulamasıyla beraber azalmaya başlamıştır. Maraş çeşidinde kapsaisin miktarının tuz uygulamasıyla birlikte arttığı tespit edilmiştir.

14. Tuz seviyelerini artırarak tuza duyarlı çeşitlerde (Dolmalık ve Çarliston) DNA metilasyon oranının arttığı, tuza toleranslı çeşitte (Maraş) ise azaldığı belirlenmiştir. Maraş çeşidinin tuzlu koşullarda diğer çeşitlere göre farklı bir metilasyon modeli gösterdiği tespit edilmiştir.

15. Bin tane ağırlığı bakımından Maraş çeşidi, Dolmalık ve Çarlistona çeşitlerin göre 7 dS/m tuz seviyesinde daha yüksek değer göstermiştir. Maraş çeşidi meyve başına tohum sayısı bakımından da diğer çeşitlere göre daha yüksek değerlere sahip olurken (- %32), Dolmalık ve Çarlistona çeşitlerindeki azalma sırası ile -%61 ve -%69'dur.

16. Bitki ıslahı programlarında DNA metilasyon CRED-RA tekniği ile biber genotiplerinin çevresel streslere karşı hassas ve dirençli olarak ayrılması için ayırt edici ölçüt olarak kullanılabileceği söylenebilir.

17. Daha sonra yapılacak çalışmalarda Maraş çeşidinin biber için anaç olarak potansiyeli incelenmeli ve değerlendirilmelidir.

18. CKs ve CKx arasında negatif bir ilişki bulunmuştur ve bu tuz çalışmalarında hassas ve dirençli biber çeşitlerini tanımlamak için ayırıcı ölçüt olarak kullanılabileceği söylenebilir.

KAYNAKÇA

- Abdel-Hamid, A.M., Mohamed, H.I., 2014. The effect of the exogenous gibberellic acid on two salt stressed barley cultivars. *European Scientific Journal*, 10.
- Abebe, T., Guenzi, A.C., Martin, B., Cushman, J.C., 2003. Tolerance of mannitol-accumulating transgenic wheat to water stress and salinity. *Plant Physiology*, 131, 1748-1755.
- Ábrahám, E., Rigó, G., Székely, G., Nagy, R., Koncz, C., Szabados, L., 2003. Light-dependent induction of proline biosynthesis by abscisic acid and salt stress is inhibited by brassinosteroid in *Arabidopsis*. *Plant Molecular Biology*, 51, 363-372.
- Aktas, H., Abak, K., Cakmak, I., 2006. Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Scientia Horticulturae*, 110, 260-266.
- Akula, R., Ravishankar, G.A.J.P.s., 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal Behav*, 6, 1720-1731.
- Ali, Q., Ashraf, M., 2011. Exogenously applied glycinebetaine enhances seed and seed oil quality of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 71, 249-259.
- Alscher, R.G., Cumming, J.R. (1990) Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms. Wiley-Liss,
- Alscher, R.G., Ertürk, N., Heath, L.S., 2002. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants, *Journal of Experimental Botany*, 53(372), 1331-1341.
- Amzallag, G., Lerner, H., Poljakoff-Mayber, A., 1992. Interaction between mineral nutrients, cytokinin and gibberellic acid during growth of *Sorghum* at high NaCl salinity. *Journal of Experimental Botany*, 43, 81-87.
- Angers, B., Castonguay, E., Massicotte, R., 2010. Environmentally induced phenotypes and DNA methylation: how to deal with unpredictable conditions until the next generation and after. *Mol Ecol*, 19, 1283-1295.
- Anonymous, 2008. Ziraat Müdendisleri Odası Raporları. TMMOB ZMO Genel Merkezi, Ankara.
- Apse, M.P., Blumwald, E., 2007. Na⁺ transport in plants. *FEBS letters*, 581, 2247-2254.
- Argueso, C.T., Ferreira, F.J., Kieber, J.J., 2009. Environmental perception avenues: the interaction of cytokinin and environmental response pathways. *Plant Cell & Environment*, 32, 1147-1160.
- Arin, L., Kiyak, Y., 2003. The effects of pre-sowing treatments on emergence and seedling growth of tomato seed (*Lycopersicon esculentum* M.) under several stress conditions. *Pak J Biologic Sci*, 6, 990-994.
- Arrowsmith, S., Egan, T.P., Meekins, J.F., Powers, D., Metcalfe, M., 2012. Effects of salt stress on capsaicin content, growth, and fluorescence in a Jalapeño cultivar of *Capsicum annuum* (Solanaceae). *Bios*, 83, 1-7.
- Asada, K., 1999. The water–water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 601-39.
- Ashraf, Foolad, M., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic

- stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206-216.
- Ashraf, M., 1994. Genetic variation for salinity tolerance in spring wheat. *Hereditas*, 120, 99-104.
- Ashraf, M., Afzal, M., Ahmed, R., Mujeeb, F., Sarwar, A., Ali, L., 2010. Alleviation of detrimental effects of NaCl by silicon nutrition in salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Plant and soil*, 326, 381-391.
- Ashraf, M., Harris, P., 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant science*, 166, 3-16.
- Ashraf, M., Tufail, M., 1995. Variation in salinity tolerance in sunflower (*Helianthus annuum* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 174, 351-362.
- Askari-Khorasgani, O., Mortazaeinezhad, F., Rafiee, P., 2017. Variations in the growth, oil quantity and quality, and mineral nutrients of chamomile genotypes under salinity stress. *Journal of Central European Agriculture*, 18, 150-169.
- Avalbaev, A., Yuldashev, R., Fedorova, K., Somov, K., Vysotskaya, L., Allagulova, C., Shakirova, F., 2016. Exogenous methyl jasmonate regulates cytokinin content by modulating cytokinin oxidase activity in wheat seedlings under salinity. *Journal of Plant Physiology*, 191, 101-110.
- Azuma, R. *et al.*, 2010. Fruits are more sensitive to salinity than leaves and stems in pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 125, 171-178.
- Baath, G.S., Shukla, M.K., Bosland, P.W., Steiner, R.L., Walker, S.J., 2017. Irrigation water salinity influences at various growth stages of *Capsicum annuum*. *Agric Water Manag*, 179, 246-253.
- Baiges, I., Schäffner, A.R., Affenzeller, M.J., Mas, A., 2002. Plant aquaporins. *Physiologia Plantarum*, 115, 175-182.
- Bakht, J., Khan, M.J., Shafi, M., Khan, M.A., Sharif, M., 2012. Effect of salinity and ABA application on proline production and yield in wheat genotypes. *Pak J Bot*, 44, 873-878.
- Battal, P., Tileklioğlu, B., 2001. The effects of different mineral nutrients on the levels of cytokinins in maize (*Zea mays* L.). *Turkish Journal of Botany*, 25, 123-130.
- Baytorun, A.N., 1995. Seralar. Ç.Ü. Ziraat Fak. Yayın No:110.
- Beltrano, J., Ruscitti, M., Arango, M.C., Ronco, M., 2013. Effects of arbuscular mycorrhiza inoculation on plant growth, biological and physiological parameters and mineral nutrition in pepper grown under different salinity and p levels. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13.
- Berthomieu, P. *et al.*, 2003. Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *The EMBO journal*, 22, 2004-2014.
- Bethke, P.C., Drew, M.C., 1992. Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity. *Plant Physiology*, 99, 219-226.
- Bohnert, H.J., Shen, B., 1998. Transformation and compatible solutes. *Scientia Horticulturae*, 78, 237-260.
- Bor, M., Özdemir, F., Türkan, I., 2003. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant Science*, 164, 77-84.
- Bora, R., Sarma, C., 2006. Effect of gibberellic acid and cycocel on growth, yield and protein content of pea. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5, 324-330.

- Bosland, P.W., Votava, E.J., Votava, E.M. 2012. Peppers: vegetable and spice capsicums vol 22. Cabi,
- Botella, M.A., Rosado, A., Bressan, R.A., Hasegawa, P.M., 2005. Plant adaptive responses to salinity stress. *Plant Abiotic Stress*, 37-70.
- Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., Gontier, E., 2001. Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. *Plant Science*, 161, 839-851.
- Boyko, A., Kovalchuk, I., 2008. Epigenetic control of plant stress response. *Environ Mol Mutagen*, 49, 61-72.
- Cabañero, F.J., Martínez, V., Carvajal, M., 2004. Does calcium determine water uptake under saline conditions in pepper plants, or is it water flux which determines calcium uptake? *Plant Science*, 166, 443-450.
- Cabañero, F.J., Martínez-Ballesta, M.C., Teruel, J.A., Carvajal, M., 2006. New evidence about the relationship between water channel activity and calcium in salinity-stressed pepper plants. *Plant and Cell Physiology*, 47, 224-233.
- Candan, N., Tarhan, L., 2003. The correlation between antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels in *Mentha pulegium* organs grown in Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} and Mn^{2+} stress conditions. *Plant Science*, 165, 769-776.
- Chakraborty, H., Rahman, M.L., 1993. Kinetics of hydrolysis of amino acid esters in presence of aquocomplexes involving ethylenediamine, diethylenetriamine and triethylenetetramine ligands. Part 1-copper (II) and nickel (II). *Transition Metal Chemistry*, 18, 545-547.
- Chartzoulakis, K., Klapaki, G., 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 86, 247-260.
- Choi, C.-S., Sano, H., 2007. Abiotic-stress induces demethylation and transcriptional activation of a gene encoding a glycerophosphodiesterase-like protein in tobacco plants. *Mol Genet Genomics*, 277, 589-600.
- Chow, W.S., Ball, M.C., Anderson, J.M., 1990. Growth and photosynthetic response of spinach to salinity: implication of K^+ nutrition for salt tolerance. *Aust. J. Plant Physiol.*, 17: 563-578.
- Cicek, N., Cakirlar, H., 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulg J Plant Physiol*, 28, 66-74.
- Clark, A.J., Blissett, K.J., Oliver, R.P., 2003. Investigating the role of polyols in *Cladosporium fulvum* during growth under hyper-osmotic stress and in planta. *Planta*, 216, 614-619.
- Conde, C., Silva, P., Agasse, A., Lemoine, R., Delrot, S., Tavares, R., Geros, H., 2007. Utilization and transport of mannitol in *Olea europaea* and implications for salt stress tolerance. *Plant and Cell Physiology*, 48, 42-53.
- Cramer, G.R. (2002) Sodium-calcium interactions under salinity stress. In: *Salinity: Environment-plants-molecules*. Springer, pp 205-227
- Çulha, Ş., Çakırlar, H., 2011. Tuzluluğun Bitkiler Üzerine Etkileri ve Tuz Tolerans Mekanizmaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*
- Curie, C., Briat, J.-F., 2003. Iron transport and signaling in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 54, 183-206.
- Da Silva, J.M., Arrabaça, M.C., 2004. Contributions of soluble carbohydrates to the osmotic adjustment in the C^4 grass *Setaria sphacelata*: A comparison between rapidly and slowly imposed water stress. *Journal of Plant Physiology*,

- 161, 551.
- De Lacerda, C.F., Cambraia, J., Oliva, M.A., Ruiz, H.A., 2005. Changes in growth and in solute concentrations in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 54, 69-76.
- De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G., Maggio, A., 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128, 48-54.
- Degl'Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L., Navari-Izzo, F., 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Journal of Plant Physiology*, 166, 1968-1981.
- Demir, I., Ellis, R., 1994. The effects of priming on germination and longevity of sequentially harvested pepper seed lots. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*.
- Demir, Y., Kocaçalışkan, İ.J.B.P., 2001. Effects of NaCl and proline on polyphenol oxidase activity in bean seedlings. 44, 607-609.
- Denby, K., Gehring, C., 2005. Engineering drought and salinity tolerance in plants: lessons from genome-wide expression profiling in *Arabidopsis*. *Trends in biotechnology*, 23, 547-552.
- Dkhil, B.B., Denden, M., 2010. Salt stress induced changes in germination, sugars, starch and enzyme of carbohydrate metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench seeds. *African Journal of Agricultural Research*, 5, 1412-1418.
- Dowen, R.H. *et al.*, 2012. Widespread dynamic DNA methylation in response to biotic stress. *Proc Natl Acad Sci* 109, 2183-2191.
- Dyachenko, O., Zakharchenko, N., Shevchuk, T., Bohnert, H., Cushman, J., Buryanov, Y.I., 2006. Effect of hypermethylation of CCWGG sequences in DNA of *Mesembryanthemum crystallinum* plants on their adaptation to salt stress. *Biochem*, 71, 461-465.
- Ellis, R., Roberts, E., 1978. Towards a rational basis for testing seed quality. *Proceedings-Easter School in Agricultural Science*, University of Nottingham.
- Estrada, B., Bernal, M.A., Díaz, J., Pomar, F., Merino, F., 2002. Capsaicinoids in vegetative organs of *Capsicum annuum* L. in relation to fruiting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 1188-1191.
- FAO (2005) Properties and Management of Dry Lands.
- FAO (2014) <http://faostat.fao.org>.
- Foolad, M., Lin, G., 1997. Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. *HortScience*, 32, 296-300.
- Gadallah, M., 1999. Effects of proline and glycine betaine on *Vicia faba* responses to salt stress. *Biologia Plantarum*, 42, 249-257.
- Gao, H.-J., Yang, H.-Q., Wang, J.-X., 2009. Arginine metabolism in roots and leaves of apple (*Malus domestica* Borkh.): The tissue-specific formation of both nitric oxide and polyamines. *Scientia Horticulturae*, 119, 147-152.
- Gechev, T.S., Van Breusegem, F., Stone, J.M., Denev, I., Laloi, C., 2006. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. *Bioessays*, 28, 1091-1101.
- Ghanem, M.E. *et al.*, 2008. Hormonal changes during salinity-induced leaf senescence in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Experimental Botany*, 59, 3039-3050.

- Ghassemi, F., Jakeman, A.J., Nix, H.A. (1995) Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. CAB international,
- Ghoulam, C., Foursy, A., Fares, K., 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 47, 39-50.
- Girija, C., Smith, B., Swamy, P., 2002. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 47, 1-10.
- Gnayfeed, M.H., Daood, H.G., Biacs, P.A., Alcaraz, C.F., 2001. Content of bioactive compounds in pungent spice red pepper (paprika) as affected by ripening and genotype. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 1580-1585.
- Golan, Y., Shirron, N., Avni, A., Shmoish, M., Gepstein, S., 2016. Cytokinins induce transcriptional reprogramming and improve arabidopsis plant performance under drought and salt stress conditions. *Frontiers in Environmental Science*, 4.
- Günes, A., Inal, A., Alpaslan, M., 1996. Effect of salinity on stomatal resistance, proline, and mineral composition of pepper. *Journal of Plant Nutrition*, 19, 389-396.
- Hare, P., Cress, W., 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, 21, 79-102.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.-K., Bohnert, H.J., 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology*, 51, 463-499.
- Heimler, D., Tattini, M., Ticci, S., Coradeschi, M., Traversi, M., 1995. Growth, ion accumulation, and lipid composition of two olive genotypes under salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 18, 1723-1734.
- Hernández, J.A., Ferrer, M.A., Jiménez, A., Barceló, A.R., Sevilla, F., 2001. Antioxidant systems and O₂·⁻/H₂O₂ production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. *Plant Physiology*, 127, 817-831.
- Hoagland, DR., Arnon, DI., 1950. *Calif Agric Exp Stn Bull, Circular 347*.
- Hong, Z., Lakkineni, K., Zhang, Z., Verma, D.P.S., 2000. Removal of feedback inhibition of Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiology*, 122, 1129-1136.
- Horemans, N., Foyer, C.H., Asard, H., 2000. Transport and action of ascorbate at the plant plasma membrane. *Trends in Plant Science*, 5, 263-267.
- Houimli, S.I.M., Denden, M., El Hadj, S.B., 2008. Induction of salt tolerance in pepper (*Capsicum annuum*) by 24-epibrassinolide. *EurAsian Journal of BioSciences*, 2, 83-90.
- Houimli, S.I.M., Denden, M., Mouhandes, B.D., 2010. Effects of 24-epibrassinolide on growth, chlorophyll, electrolyte leakage and proline by pepper plants under NaCl-stress. *EurAsian Journal of BioSciences*, 4.
- Hu, Y., Schmidhalter, U., 2005. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 541-549.
- Hussein, M., El-Faham, S., Alva, A., 2012. Pepper plants growth, yield, photosynthetic pigments, and total phenols as affected by foliar application of potassium under different salinity irrigation water. *Agricultural Sciences*, 3.
- Hwang, I., Sheen, J., Müller, B., 2012. Cytokinin signaling networks. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 353-380.

- Iqbal, M., Ashraf, M., Jamil, A., 2006. Seed enhancement with cytokinins: changes in growth and grain yield in salt stressed wheat plants. *Plant Growth Regulation*, 50, 29-39.
- Jaleel, C.A., Sankar, B., Sridharan, R., Panneerselvam, R., 2008. Soil salinity alters growth, chlorophyll content, and secondary metabolite accumulation in *Catharanthus roseus*. *Turkish Journal of Biology*, 32, 79-83.
- Jamei, R., Heidari, R., Khara, J., Zare, S., 2009. Hypoxia induced changes in the lipid peroxidation, membrane permeability, reactive oxygen species generation, and antioxidative response systems in *Zea mays* leaves, *Turkish Journal of Biology*, 33, 4552.
- Jang, I.-C. *et al.*, 2003. Expression of a bifunctional fusion of the *Escherichia coli* genes for trehalose-6-phosphate synthase and trehalose-6-phosphate phosphatase in transgenic rice plants increases trehalose accumulation and abiotic stress tolerance without stunting growth. *Plant physiology*, 131, 516-524.
- Johansson, I., Larsson, C., Ek, B., Kjellbom, P., 1996. The major integral proteins of spinach leaf plasma membranes are putative aquaporins and are phosphorylated in response to Ca^{2+} and apoplastic water potential. *The Plant Cell*, 8, 1181-1191.
- Juan, M., Rivero, R.M., Romero, L., Ruiz, J.M., 2005. Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 54, 193-201.
- Jubault, M., Hamon, C., Gravot, A., Lariagon, C., Delourme, R., Bouchereau, A., Manzanares-Dauleux, M.J., 2008. Differential regulation of root arginine catabolism and polyamine metabolism in clubroot-susceptible and partially resistant *Arabidopsis* genotypes. *Plant Physiology*, 146.
- Kaouthar, Z., Mariem, B.F., Fardaous, M., Cherif, H., 2012. Impact of salt stress (NaCl) on growth, chlorophyll content and fluorescence of Tunisian cultivars of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 8.
- Karan. R., Deleon, T., Biradar, H., Subudhi, PK., 2012. Salt stress induced variation in DNA methylation pattern and its influence on gene expression in contrasting rice genotypes. *Plos One* 7:e40203.
- Karataş, İ., Elmastaş, M., Karataş, R., 2014. Siyah havuç (*Daucus carota* ssp. sativus var. atropurpurea Alef) kallus kültüründe antosiyanin üretimine bazı uygulamaların etkisi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 62-73.
- Kaya, C., Higgs, D., 2003. Supplementary potassium nitrate improves salt tolerance in bell pepper plants. *Journal of Plant Nutrition*, 26, 1367-1382.
- Kazan, K., 2013. Auxin and the integration of environmental signals into plant root development. *Annals of Botany*, 112, 1655-1665.
- Keleş, Y., Öncel, I., 2002. Response of antioxidative defence system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings. *Plant Science*, 163, 783-790.
- Kerepesi, I., Galiba, G., 2000. Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Science*, 40, 482-487.
- Khan, A.L., Shin, J.-H., Jung, H.-Y., Lee, I.-J., 2014. Regulations of capsaicin synthesis in *Capsicum annuum* L. by *Penicillium resedanum* LK6 during drought conditions. *Scientia Horticulturae*, 175, 167-173.
- Khayyat, M., Tehranifar, A., Akbarian, A., Shayesteh Nia, S., Khabari, S., 2009. Effects of calcium forms on electrolyte leakage, total nitrogen, yield and biomass

- production by strawberry plants under NaCl salinity. *Journal of Central European Agriculture*, 10, 297-302.
- Khosravinejad, F., Heydari, R., Farboodnia, T., 2009. Effect of salinity on organic solutes contents in barley. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12, 158.
- Kim, J.S., Ahn, J., Lee, S.J., Moon, B., Ha, T.Y., Kim, S., 2011. Phytochemicals and antioxidant activity of fruits and leaves of paprika (*Capsicum annuum* L., var. Special) cultivated in Korea. *Journal of Food Science*, 76, 193-198.
- Kishor, P.K. *et al.*, 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current science*, 424-438.
- Kopečný, D. *et al.*, 2016. Kinetic and structural investigation of the cytokinin oxidase/dehydrogenase active site. *The FEBS journal*, 283, 361-377.
- Kuraishi, S., Tasaki, K., Sakurai, N., Sadatoku, K., 1991. Changes in levels of cytokinins in etiolated squash seedlings after illumination. *Plant and Cell Physiology*, 32, 585-591.
- Kuşvuran, Ş., Yaşar, F., Abak, K., Ellialtıoğlu, Ş., 2008a. Changes occur in lipid peroxidation, chlorophyll and ion contents of some salt tolerant and sensitive Cucumis sp. genotypes grown under salinity stress. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*.
- Kuşvuran, Ş., Yaşar, F., Abak, K., Ellialtıoğlu, Ş., 2008b. Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Tuza Tolerant ve Duyarlı Cucumis sp.'nin Bazı Genotiplerinde Lipid Peroksidasyonu, Klorofil ve İyon Miktarlarında Meydana Gelen Değişimler. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 18, 13-20.
- Laloi, C., Apel, K., Danon, A., 2004. Reactive oxygen signalling: the latest news. *Current opinion in plant biology*, 7, 323-328.
- Lansford, R., Hernandez, J., Enis, P., Truby, D., Mapel, C., 1990. Evaluation of available saline water resources in New Mexico for the production of microalgae. *Solar Energy Research Inst., Golden, CO (USA)*.
- Liang, W., Ma, X., Wan, P., Liu, L., 2018. Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochem Biophys Res Commun*, 495, 286-291.
- Liang, Y., Zhu, J., Li, Z., Chu, G., Ding, Y., Zhang, J., Sun, W., 2008. Role of silicon in enhancing resistance to freezing stress in two contrasting winter wheat cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 64, 286-294.
- Libreros-Minotta, C.A., Tipton, P.A., 1995. A colorimetric assay for cytokinin oxidase. *Analytical Biochemistry*, 231, 339-341.
- Lim, C.S., Kang, S.M., Cho, J.L., Gross, K.C., 2009. Antioxidizing enzyme activities in chilling-sensitive and chilling-tolerant pepper fruit as affected by stage of ripeness and storage temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134, 156-163.
- Lin, C.C., Kao, C.H., 2000. Effect of NaCl stress on H₂O₂ metabolism in rice leaves. *Plant Growth Regulation*, 30, 151-155.
- Lindsey, K., Yeoman, M., Black, G., Mavituna, F., 1983. A novel method for the immobilisation and culture of plant cells. *Febs Letters*, 155, 143-149.
- Lopez, M., Satti, S., 1996. Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant science*, 114, 19-27.
- López, M.L., Peralta-Videa, J.R., Benitez, T., Gardea-Torresdey, J.L., 2005. Enhancement of lead uptake by alfalfa (*Medicago sativa*) using EDTA and a plant

- growth promoter. *Chemosphere*, 61, 595-598.
- Lu, Y., Rong, T., Cao, M., 2008. Analysis of DNA methylation in different maize tissues. *Journal of Genetics and Genomics*, 35, 41-48.
- Lycoskoufis, I., Savvas, D., Mavrogianopoulos, G., 2005. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. *Scientia Horticulturae*, 106, 147-161.
- Macho, A., Lucena, C., Sancho, R., Daddario, N., Minassi, A., Muñoz, E., Appendino, G., 2003. Non-pungent capsaicinoids from sweet pepper. *European Journal of Nutrition*, 42, 2-9.
- Mahajan, S., Pandey, G.K., Tuteja, N., 2008. Calcium-and salt-stress signaling in plants: shedding light on SOS pathway. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 471, 146-158.
- Mandhania, S., Madan, S., Sawhney, V., 2006. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, 50, 227-231.
- Manivannan, A., Soundararajan, P., Muneer, S., Ko, C.H., Jeong, B.R., 2016. Silicon mitigates salinity stress by regulating the physiology, antioxidant enzyme activities, and protein expression in *Capsicum annuum* 'Bugwang'. *BioMed Research International*, 2016.
- Mansour, M., 2000. Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. *Biologia Plantarum*, 43, 491-500.
- Marconi, G. *et al.*, 2013. Use of MSAP markers to analyse the effects of salt stress on DNA methylation in rapeseed (*Brassica napus* var. *oleifera*). *PloS One*, 8.
- Marschner, H., 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
- Martinez-Ballesta, M., Martinez, V., Carvajal, M., 2004. Osmotic adjustment, water relations and gas exchange in pepper plants grown under NaCl or KCl. *Environmental and Experimental Botany*, 52, 161-174.
- Martínez-Ballesta, M.d.C., Bastías, E., Carvajal, M., 2008. Combined effect of boron and salinity on water transport: the role of aquaporins. *Plant signaling & behavior*, 3, 844-845.
- Mason, M.G. *et al.*, 2005. Multiple type-B response regulators mediate cytokinin signal transduction in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 17, 3007-3018.
- Maxwell, D.P., Wang, Y., McIntosh, L., 1999. The alternative oxidase lowers mitochondrial reactive oxygen production in plant cells, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 8271-8276.
- Melo, H. F., Souza, E. R. D., Duarte, H. H., Cunha, J. C., Santos, H. R., 2017. Gas exchange and photosynthetic pigments in bell pepper irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21, 38-43.
- Meloni, D.A., Oliva, M.A., Martinez, C.A., Cambraia, J., 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 49, 69-76.
- Misratia, K.M., Ismail, M.R., Hakim, M.A., Musa, M.H., Puteh, A., 2013. Effect of salinity and alleviating role of gibberellic acid (GA3) for improving the morphological, physiological and yield traits of rice varieties. *Australian Journal of Crop Science*, 7.
- Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7, 405-410.

- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., Breusegem, F.V., 2004. Reactive oxygen gene network of plants, *Trends in Plant Science*, 9(10), 490-498.
- Montero, E., Cabot, C., Barcelo, J., Poschenrieder, C., 1997. Endogenous abscisic acid levels are linked to decreased growth of bush bean plants treated with NaCl. *Physiologia Plantarum*, 101, 17-22.
- Munns, R., Gardner, P.A., Tonnet, M.L., Rawson, H., 1988. Growth and development in NaCl-treated plants. II. Do Na⁺ or Cl⁻ concentrations in dividing or expanding tissues determine growth in barley? *Functional Plant Biology*, 15, 529-540.
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev Plant Biol*, 59, 651-681.
- Murakeozy, E.P., Nagy, Z., Duhazé, C., Bouchereau, A., Tuba, Z., 2003. Seasonal changes in the levels of compatible osmolytes in three halophytic species of inland saline vegetation in Hungary. *Journal of Plant Physiology*, 160, 395.
- Muscolo, A., Panuccio, M.R., Sidari, M., 2003. Effects of salinity on growth, carbohydrate metabolism and nutritive properties of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst). *Plant science*, 164, 1103-1110.
- Ni, Z., Kim, E., Chen, Z., 2009. Chlorophyll and starch assays. *Protocol Exchange*, 10, 1038.
- Nishiyama, R. *et al.*, 2011. Analysis of cytokinin mutants and regulation of cytokinin metabolic genes reveals important regulatory roles of cytokinins in drought, salt and abscisic acid responses, and abscisic acid biosynthesis. *The Plant Cell*, tpc. 111.
- Niu, G., Rodriguez, D.S., Cabrera, R., Jifon, J., Leskovar, D., Crosby, K., 2010a. Salinity and soil type effects on emergence and growth of pepper seedlings. *HortScience*, 45, 1265-1269.
- Niu, G., Rodriguez, D.S., Call, E., Bosland, P.W., Ulery, A., Acosta, E., 2010b. Responses of eight chile peppers to saline water irrigation. *Scientia horticulturae*, 126, 215-222.
- Noctor, G., Foyer, C.H., 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Biology*, 49, 249-279.
- Nunez-Palenius, H., Ochoa-Alejo, N., 2005. Effect of phenylalanine and phenylpropanoids on the accumulation of capsaicinoids and lignin in cell cultures of chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 41, 801-805.
- Ors, S., Ekinici, M., Yildirim, E., Sahin, U., 2016. Changes in gas exchange capacity and selected physiological properties of squash seedlings (*Cucurbita pepo* L.) under well-watered and drought stress conditions. *Arch Agro Soil Sci*, 62, 1700-1710.
- Parida, A., Das, A.B., Das, P., 2002. NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins, and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *Journal of Plant Biology*, 45, 28-36.
- Parida, A.K., Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60, 324-349.
- Patade, V.Y., Suprasanna, P., Bapat, V.A., 2008. Effects of salt stress in relation to osmotic adjustment on sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) callus cultures. *Plant Growth Regulation*, 55, 169.
- Penella, C. *et al.*, 2016. Salt-tolerant rootstock increases yield of pepper under salinity

- through maintenance of photosynthetic performance and sinks strength. *Journal of Plant Physiology*, 193, 1-11.
- Penna, S., 2003. Building stress tolerance through over-producing trehalose in transgenic plants. *Trends in Plant Science*, 8, 355-357.
- Pérez-López, U., Robredo, A., Lacuesta, M., Mena-Petite, A., Munoz-Rueda, A., 2009. The impact of salt stress on the water status of barley plants is partially mitigated by elevated CO₂. *Environmental and Experimental Botany*, 66, 463-470.
- Piñero, M.C., Houdusse, F., Garcia-Mina, J.M., Garnica, M., del Amor, F.M., 2014. Regulation of hormonal responses of sweet pepper as affected by salinity and elevated CO₂ concentration. *Physiologia Plantarum*, 151, 375-389.
- Radwan, A., Kleinwächter, M., Selmar, D., 2017. Impact of drought stress on specialised metabolism: Biosynthesis and the expression of monoterpene synthases in sage (*Salvia officinalis*). *Phytochemistry*, 141, 20-26.
- Rao, K.M., Raghavendra, A., Reddy, K.J., 2006. Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants. Springer Science & Business Media,
- Raven, J.A., 1991. Plant responses to high O₂ concentrations: relevance to previous high O₂ episodes. *Global and Planetary Change*, 5, 19-38.
- Reinhold, L., Guy, M. (2002) Function of membrane transport systems under salinity: plasma membrane. In: *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Springer, pp 397-421
- Romero-Aranda, M.R., Jurado, O., Cuartero, J., 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology*, 163, 847-855.
- Ruiz-Lau, N., Medina-Lara, F., Minero-García, Y., Zamudio-Moreno, E., Guzmán-Antonio, A., Echevarría-Machado, I., Martínez-Estévez, M., 2011. Water Deficit Affects the Accumulation of Capsaicinoids in Fruits of *Capsicum chinense* Jacq. *HortScience*, 46, 487-492.
- Ryu, H., Cho, Y.-G., 2015. Plant hormones in salt stress tolerance. *Journal of Plant Biology*, 58, 147-155.
- Sahin, U., Ekinci, M., Ors, S., Turan, M., Yildiz, S., Yildirim, E., 2018. Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 240, 196-204.
- Sairam, R.K., Rao, K.V., Srivastava, G., 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1046.
- Salgado-Garciglia, R., Ochoa-Alejo, N., 1990. Increased capsaicin content in PFP-resistant cells of chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Cell Reports*, 8, 617-620.
- Sanatombi, K., Sharma, G., 2008. Capsaicin content and pungency of different *Capsicum* spp. cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 36, 89-90.
- Sánchez, F.J., Manzanares, M.a., de Andres, E.F., Tenorio, J.L., Ayerbe, L., 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, 59, 225-235.
- Santner, A., Estelle, M., 2009. Recent advances and emerging trends in plant hormone signalling. *Nature*, 459, 1071.
- Sasahara, I., Furuhashi, Y., Iwasaki, Y., Inoue, N., Sato, H., Watanabe, T., Takahashi, M.,

2010. Assessment of the biological similarity of three capsaicin analogs (Capsinoids) found in non-pungent chili pepper (CH-19 Sweet) fruits. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 74, 274-278.
- Seckin, B., Sekmen, A.H., Türkan, I., 2009. An enhancing effect of exogenous mannitol on the antioxidant enzyme activities in roots of wheat under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 12.
- Serrano, L.L., Penella, C., San Bautista, A., Galarza, S.L., Chover, A.C., 2017. Physiological changes of pepper accessions in response to salinity and water stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15, 15.
- Serrano, R., Gaxiola, R., 1994. Microbial models and salt stress tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13, 121-138.
- Shams, M., Haghighi, B., Abbassi Niasar, M., Zandi Esfahan, E., 2014. Effect of copper and nitrogen nutrients on diosgenin production in fenugreek. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60, 1115-1124.
- Shams, M., Yildirim, E., Ekinci, M., Turan, M., Dursun, A., Parlakova, F., Kul, R., 2016. Exogenously applied glycine betaine regulates some chemical characteristics and antioxidative defence systems in lettuce under salt stress. *Hort Environ Biotech*, 57, 225-231.
- Shannon, M., Grieve, C., 1998. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78, 5-38.
- Sickler, C.M., Edwards, G.E., Kiirats, O., Gao, Z., Loescher, W., 2007. Response of mannitol-producing *Arabidopsis thaliana* to abiotic stress. *Functional Plant Biology*, 34, 382-391.
- Singh, S., Grover, K., Begna, S., Angadi, S., Shukla, M., Steiner, R., Auld, D., 2014. Physiological response of diverse origin spring safflower genotypes to salinity. *J Arid Land Studies*, 24, 169-174.
- Siripornadulsil, S., Traina, S., Verma, D.P.S., Sayre, R.T., 2002. Molecular mechanisms of proline-mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic microalgae. *The Plant Cell*, 14, 2837-2847.
- Šmehilová, M. *et al.*, 2009. Subcellular localization and biochemical comparison of cytosolic and secreted cytokinin dehydrogenase enzymes from maize. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2701-2712.
- Smirnoff, N., 2000. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-faceted molecule. *Current opinion in plant biology*, 3, 229-235.
- Spies, J.R., 1957. Colorimetric procedures for amino acids.
- Steward, N., Kusano, T., Sano, H., 2000. Expression of ZmMET1, a gene encoding a DNA methyltransferase from maize, is associated not only with DNA replication in actively proliferating cells, but also with altered DNA methylation status in cold-stressed quiescent cells. *Nucleic Acids Res*, 28, 3250-3259.
- Sudhakar, C., Lakshmi, A., Giridarakumar, S., 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 161, 613-619.
- Sudhakar, C., Reddy, P., Veeranjanyulu, K., 1993. Effect of salt stress on the enzymes of proline synthesis and oxidation in greengram (*Phaseolus aureus* Roxb.) seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 141, 621-623.
- Sung, Y., Chang, Y.-Y., Ni-Lun, T., 2005. Capsaicin biosynthesis in water-stressed hot pepper fruits. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46.

- Suriyan, C.U., Chalermopol, K., 2009. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. *Agricultural Sciences in China*, 8, 51-58.
- Suzuki, N., Koussevitzky, S., Mittler, R., Miller, G., 2012. ROS and redox signalling in the response of plants to abiotic stress. *Plant, Cell & Environment*, 35, 259-270.
- Swanson, S., Gilroy, S., 2010. ROS in plant development. *Physiologia Plantarum*, 138, 384-392.
- Talanova, V., Titov, A., 1994. Endogenous abscisic acid content in cucumber leaves under the influence of unfavourable temperatures and salinity. *Journal of Experimental Botany*, 45, 1031-1033.
- Tarczynski, M.C., Jensen, R.G., Bohnert, H.J., 1992. Expression of a bacterial mtlD gene in transgenic tobacco leads to production and accumulation of mannitol. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89, 2600-2604.
- Taspinar, M.S., Aydin, M., Arslan, E., Sigmaz, B., Agar, G., 2017a. Salinity and putrescine effects on DNA methylation changes in *Triticum aestivum*. *J Biotech*, 256.
- Taspinar, M.S., Aydin, M., Arslan, E., Yaprak, M., Agar, G., 2017b. 5-Aminolevulinic acid improves DNA damage and DNA Methylation changes in deltamethrin-exposed *Phaseolus vulgaris* seedlings. *Plant Physiol Biochem*, 118, 267-273.
- Tattini, M., Gucci, R., Romani, A., Baldi, A., Everard, J.D., 1996. Changes in non-structural carbohydrates in olive (*Olea europaea*) leaves during root zone salinity stress. *Physiologia Plantarum*, 98, 117-124.
- Tester, M., Davenport, R., 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91, 503-527.
- Tiryaki, D., Aydın, I., Atıcı, O., 2019. Psychrotolerant bacteria isolated from the leaf apoplast of cold-adapted wild plants improve the cold resistance of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under low temperature. *Cryobiology*, 86, 111-119.
- Tsai, Y.-C. *et al.*, 2012. Characterization of genes involved in cytokinin signaling and metabolism from rice. *Plant Physiology*, 111.
- Tuna, A.L., Kaya, C., Dikilitas, M., Higgs, D., 2008. The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. *Environmental and Experimental Botany*, 62, 1-9.
- Tunçturk, M., Tunçturk, R., Yasar, F., 2008. Changes in micronutrients, dry weight and plant growth of soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars under salt stress. *African Journal of Biotechnology*, 7.
- Turan, M., Aydin, A., 2005. Effects of different salt sources on growth, inorganic ions and proline accumulation in corn (*Zea mays* L.). *European Journal of Horticultural Science*, 70, 149-155.
- Turan, M., Ekinci, M., Yildirim, E., Güneş, A., Karagöz, K., Kotan, R., Dursun, A., 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient, and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*) seedlings. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38, 327-333.
- Tuteja, N., 2007. Mechanisms of high salinity tolerance in plants. In: *Methods in enzymology*, 428, 419-438.
- Unlukara, A., Demir, I., Kesmez, D., Çelikkol, T., Demir, k., 2013. Seed yield and quality

- of pepper plants grown under salt stress. *African Journal of Biotechnology*, 12, 6833-6836.
- Vashisth, A., Nagarajan, S., 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167, 149-156.
- Verpoorte, R., Contin, A., Memelink, J., 2002. Biotechnology for the production of plant secondary metabolites. *Phytochemistry Reviews*, 1, 13-25.
- Wada, Y., Miyamoto, K., Kusano, T., Sano, H., 2004. Association between up-regulation of stress-responsive genes and hypomethylation of genomic DNA in tobacco plants. *Mol Genet Genomics*, 271, 658-666.
- Wang, W., Zhao, X., Pan, Y., Zhu, L., Fu, B., Li, Z., 2011a. DNA methylation changes detected by methylation-sensitive amplified polymorphism in two contrasting rice genotypes under salt stress. *J Genet Genomics*, 38, 419-424.
- Wang, Y., Li, L., Ye, T., Zhao, S., Liu, Z., Feng, Y.Q., Wu, Y., 2011b. Cytokinin antagonizes ABA suppression to seed germination of *Arabidopsis* by downregulating ABI5 expression. *The Plant Journal*, 68, 249-261.
- Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A., Badakhshan, H., 2014. Effects of zinc application on growth, absorption and distribution of mineral nutrients under salinity stress in soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 37, 2255-2269.
- Werner, T., Motyka, V., Laucou, V., Smets, R., Van Onckelen, H., Schmölling, T., 2003. Cytokinin-deficient transgenic *Arabidopsis* plants show multiple developmental alterations indicating opposite functions of cytokinins in the regulation of shoot and root meristem activity. *The Plant Cell*, 15, 2532-2550.
- Xua, X., Li, T., Lia, Y., Wanga, H., 2015. Variation of DNA cytosine methylation patterns among parent lines and reciprocal hybrids in hot pepper. *Chem Eng*, 46.
- Yang, C. *et al.*, 2011. Analysis of DNA methylation in various swine tissues. *Plos One*, 6.
- Yildirim, E., Ekinci, M., Turan, M., Dursun, A., Kul, R., Parlakova, F., 2015. Roles of glycine betaine in mitigating deleterious effect of salt stress on lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61, 1673-1689.
- Yildirim, E., Güvenç, İ., 2006. Salt tolerance of pepper cultivars during germination and seedling growth. *Turk J Agric For*, 30, 347-353.
- Yildirim, E., Turan, M., Guvenc, I., 2008. Effect of foliar salicylic acid applications on growth, chlorophyll, and mineral content of cucumber grown under salt stress. *Journal of plant nutrition*, 31, 593-612.
- Yokoi, S., Quintero, F.J., Cubero, B., Ruiz, M.T., Bressan, R.A., Hasegawa, P.M., Pardo, J.M., 2002. Differential expression and function of *Arabidopsis thaliana* NHX Na⁺/H⁺ antiporters in the salt stress response. *The Plant Journal*, 30, 529-539.
- Zhang, X.-M. *et al.*, 2016. Genetic diversity of pepper (*Capsicum* spp.) germplasm resources in China reflects selection for cultivar types and spatial distribution. *J Integr Agr*, 15, 1991-2001.
- Zhifang, G., Loescher, W., 2003. Expression of a celery mannose 6-phosphate reductase in *Arabidopsis thaliana* enhances salt tolerance and induces biosynthesis of both mannitol and a glucosyl-mannitol dimer. *Plant, Cell & Environment*, 26, 275-283.
- Zhu, J.-K., 2009. Active DNA demethylation mediated by DNA glycosylases. *Annu Rev Genet*, 43, 143-166.

- Ziino, M., Condurso, C., Romeo, V., Tripodi, G., Verzera, A., 2009. Volatile compounds and capsaicinoid content of fresh hot peppers (*Capsicum annuum* L.) of different Calabrian varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 774-780.
- Zörb, C., Geilfus, C.-M., Mühling, K.H., Ludwig-Müller, J., 2013. The influence of salt stress on ABA and auxin concentrations in two maize cultivars differing in salt resistance. *Journal of Plant Physiology*, 170, 220-224.
- Zunun-Pérez, A.Y., Guevara-Figueroa, T., Jimenez-Garcia, S.N., Feregrino-Pérez, A.A., Gautier, F., Guevara-González, R.G., 2017. Effect of foliar application of salicylic acid, hydrogen peroxide and a xyloglucan oligosaccharide on capsate content and gene expression associated with capsinoids synthesis in *Capsicum annuum* L. *Journal of Biosciences*, 42, 245-250.



ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında İran’da doğdu. İlköğretimini Maku’da bitirdi. Lisans eğitimini Shahrekord Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümünde tamamladı. Zanzan Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümünde Yüksek Lisansı bitirdi. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Ana Bilim Dalı’nda Doktora öğrenimine başladı ve 2019 yılında tamamladı. Halen İran’da Payam Noor Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır.

İletişim: mkamalsun@gmail.com