



**T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI BİBER (*Capsicum annuum* L.) ÇEŞİTLERİNİN
KURAKLIK STRESİ TOLERANSLARI VE TOLERANSIN
GELİŞTİRİLMESİNDE POLİAMİNLERİN ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Şule DEMİR

**Danışman
Prof. Dr. Nuran DURMUŞ**

**RİZE
2023**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalında, Prof. Dr. Nuran DURMUŞ danışmanlığında, Şule DEMİR tarafından hazırlanan *Farklı Biber (Capsicum annuum L.) Çeşitlerinin Kuraklık Stresi Toleransları ve Toleransın Geliştirilmesinde Poliaminlerin Etkisinin Araştırılması* adlı bu tez çalışması, 30/01/2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı, Adı SOYADI

İmza

Başkan : Prof. Dr. Rabiye TERZİ

Üye : Prof. Dr. Nuran DURMUŞ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şule GÜZEL İZMİRLİ

ETİK BEYAN

Biyoloji Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Farklı Biber (*Capsicum annuum* L.) Çeşitlerinin Kuraklık Stresi Toleransları ve Toleransın Geliştirilmesinde Poliaminlerin Etkisinin Araştırılması”adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

30/01/2023

Şule DEMİR

ÖN SÖZ

Farklı Biber (*Capsicum annuum* L.) Çeşitlerinin Kuraklık Stresi Toleransları ve Toleransın Geliştirilmesinde Poliaminlerin Etkisinin Araştırılması ile ilgili yapılan bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Lisansüstü öğrenimim süresince değerli fikir ve tecrübeleriyle bana her zaman yol gösteren, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen, çalışmamın her aşamasını büyük sabır ve titizlikle değerlendiren, derin bilgi birikimiyle çalışmama büyük katkı sağlayan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Nuran DURMUŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmanın yürütülmesine olanak sağlayan Biyoloji Bölüm Başkanlığı ve değerli bölüm hocalarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm yaşantım boyunca olduğu gibi bu süreçte de benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her daim arkamda olan kıymetli babam Mustafa DEMİR başta olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

Şule DEMİR

2023/RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
KISALTMALAR.....	IX
TABLolar LİSTESİ.....	XI
ŞEKİLLER LİSTESİ	XII
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Küresel İklim Değişikliği ve Kuraklık.....	4
1.2. Bitkilerde Kuraklık Stresi ve Etkileri	11
1.2.1. Morfolojik, Anatomik ve Hücresel Değişiklikler.....	13
1.2.2. Bitki Büyümesi ve Verimliliği.....	14
1.2.3. Mineral Besin Alınımı	15
1.2.4. Fotosentez	16
1.2.5. Protein Sentezi	18
1.2.6. Solunum.....	18
1.2.7. Kuraklık Stresinin Oksidatif Etkileri	19
1.3. Kuraklık Direnç Mekanizmaları	21
1.3.1. Ozmotik Ayarlama.....	22
1.3.2. Antioksidan Savunma Sistemi	24
1.4. Poliaminler ve Abiyotik Streslerle Bağlantıları	26
1.5. Biber (<i>Capsicum annuum</i> L.) Bitkisinin Genel Özellikleri	32
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	39
2.1. Materyal	39
2.2. Metod	39
2.2.1. Bitkilerin Büyütülmesi, Poliamin ve Kuraklık Stresinin Uygulanması....	39
2.2.2. Büyüme Parametreleri	40

2.2.3. Nispi Su İçeriği Tayini.....	40
2.2.4. Fotosentetik Pigmentlerin Tayini	40
2.2.5. Lipid Peroksidasyonu Tayini.....	41
2.2.6. Prolin Tayini	41
2.2.7. Protein Tayini	42
2.2.8. Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Tayini	42
2.2.8.1. Enzim Ekstraktının Hazırlanması.....	42
2.2.8.2. SOD Aktivitesinin Tayini.....	42
2.2.8.3. GPX Aktivitesinin Tayini.....	42
2.2.8.4. GR Aktivitesi Tayini	43
2.2.8.5. KAT Aktivitesi Tayini.....	43
2.2.9. Klorofil Floresans lmleri.....	43
2.2.10. İstatistiksel Analizler	44
2.3. Bulgular.....	44
2.3.1. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber eşitlerine Ait Byme Parametreleri.....	44
2.3.2. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber eşitlerine Ait Nispi Su içerikleri.....	47
2.3.3. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber eşitlerine Ait Fotosentetik Pigment İçerikleri	48
2.3.4. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber eşitlerine Ait Lipid Peroksidasyonu Verileri	51
2.3.5. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber eşitlerine Ait Prolin İçerikleri	52
2.3.6. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber eşitlerine Ait Antioksidan Enzim Aktiviteleri	54
2.3.6.1. Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi	54
2.3.6.2. Guaiakol Peroksidaz (GPX) Aktivitesi.....	55
2.3.6.3. Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesi	56
2.3.6.4. Katalaz (KAT) Aktivitesi	57
2.3.7. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber eşitlerine Ait Klorofil Floresans lm Verileri	59

2.3.7.1. PSII Maksimum Kuantum Verimi (F_v/F_m)	59
2.3.7.2. Fotokimyasal Verim (Φ_{PSII})	60
2.3.7.3. Fotokimyasal Olmayan Floresans Sönmesi (NPQ)	61
2.3.7.4. Elektron Transfer Oranı (ETO)	62
2.3.7.5. Fotokimyasal Kullanılma (qP).....	64
3. TARTIŞMA VE SONUÇ	66
KAYNAKÇA	77



Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ana Bilim Dalı : Biyoloji
Tez Türü : Tezli Yüksek Lisans
Danışman : Prof. Dr. Nuran DURMUŞ
Hazırlayan : Şule DEMİR
Yıl : 2023
Sayfa Sayısı : 111

ÖZET

FARKLI BİBER (*Capsicum annuum* L.) ÇEŞİTLERİNİN KURAKLIK STRESİ TOLERANSLARI VE TOLERANSIN GELİŞTİRİLMESİNDE POLİAMİNLERİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada biberin (*Capsicum annuum* L.) Yükselince, Tural, Burdem ve Varol çeşitlerinin kuraklık stresine toleransları fizyolojik ve biyokimyasal parametreler kullanılarak ilk kez araştırılmıştır. Ayrıca Putresin (PUT) ve Spermin (SPM) poliaminlerinin dört biber çeşidinin kuraklık toleranslarına katkısı olup olmadığı değerlendirilmiştir. Şaşırtma işleminden sonra bitki büyütme kabiniinde 55 gün büyütülen biber fidelerine 2 kez bir gün arayla poliamin uygulandıktan sonra fideler 10 gün boyunca kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. Bu süre sonunda poliaminle ön muamele yapılan ve yapılmayan fidelerde büyüme parametreleri, nispi su içeriği (RWC), toplam klorofil ve karotenoid miktarları, lipid peroksidasyonu, prolin içeriği, antioksidan enzim (Süperoksit dismutaz (SOD), Guaiakol peroksidaz (GPX), Glutasyon Redüktaz (GR) ve Katalaz (KAT)) aktiviteleri ve klorofil floresans parametrelerinde (PSII maksimum kuantum verimi (Fv/Fm), PSII fotokimyasal verimi (ΦPSII), elektron transfer oranı (ETO), fotokimyasal olmayan floresans sönmesi (NPQ) ve fotokimyasal kullanılma (qP)) meydana gelen değişiklikler belirlenmiştir. Büyüme parametreleri, RWC, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarının bütün biber çeşitlerinde kuraklık stresi etkisiyle azaldığı, lipid peroksidasyonu ve prolin miktarlarının ise arttığı tespit edilmiştir. Gövde uzunluğunda %17,68 ve yaş ağırlığında ise %44,75 oranında en fazla azalmanın Burdem çeşidinde olduğu bulunmuştur. Gövde kuru ağırlığındaki en fazla azalma ise %44,79 oranında Varol çeşidinde olmuştur. Toplam klorofil miktarında %17,77 oranında en fazla azalma Burdem çeşidinde bulunmasına rağmen karotenoid miktarı en fazla Varol çeşidinde azalmıştır. Lipid peroksidasyonunun göstergesi olan malondialdehid (MDA) miktarı da kuraklık stresinin etkisiyle en fazla Burdem ve Varol çeşitlerinde artmıştır. MDA miktarında en az ve prolin miktarında ise en fazla artış Yükselince çeşidinde tespit edilmiştir. Poliamin ön muamelesi, kullanılan biber çeşidine göre değişmekle birlikte genel olarak büyüme parametreleri, RWC, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarında meydana gelen azalmaları iyileştirici ve MDA ile prolin miktarlarını ise azaltıcı yönde etki yapmıştır. Antioksidan enzim aktiviteleri kuraklık stresi etkisi altındaki bütün biber çeşitlerinde artış göstermiştir. GPX ve GR aktivitelerindeki artış, Burdem ve Varol çeşitlerindeki kıyasla, Yükselince’de daha fazla bulunmuştur. SOD ve KAT aktiviteleri ise en fazla Varol çeşidinde tespit edilmiştir. PUT ve SPM ön muamelesi ise genel olarak antioksidan enzimlerin aktivitesini artırıcı yönde etki yapmıştır. Kuraklık stresi etkisiyle Fv/Fm, ΦPSII, ETO ve qP değerlerinde azalma, NPQ değerinde ise artış meydana gelmiştir. Fv/Fm, ΦPSII, ETO ve qP değerlerindeki en fazla azalma ve NPQ değerindeki en fazla artış Burdem ve Varol çeşitlerinde tespit edilmiştir. Poliamin ön muamelesinin ise çalışmada kullanılan biber çeşitlerine göre farklı şekilde olmak üzere, fotosentetik etkinliği genel olarak artırıcı yönde etki yaptığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, kuraklık stresine karşı Yükselince çeşidinin en toleranslı, Burdem ve Varol çeşitlerinin daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca poliamin ön muamelesinin biber çeşitlerinde kuraklık stresinin olumsuz etkilerini iyileştirici yönde etki yaptığı ve kuraklık toleranslarını geliştirdiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: *Capsicum annuum*, Kuraklık Toleransı, Poliamin, Antioksidan Enzim, Fotosentez

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Biology

Thesis Type : Master Thesis

Supervisor : Prof. Dr. Nuran DURMUŞ

Author : Şule DEMİR

Year : 2023

Pages : 111

ABSTRACT

INVESTIGATION OF DROUGHT STRESS TOLERANCE OF DIFFERENT PEPPER (*Capsicum annuum* L.) VARIETIES AND THE EFFECT OF POLYAMINES ON THE IMPROVEMENT OF THE TOLERANCE

In this study, drought stress tolerance of the pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties Yükselince, Tural, Burdem and Varol was investigated for the first time using physiological and biochemical parameters. In addition, it was evaluated whether Putresin (PUT) and Spermin (SPM) polyamines contributed to the drought tolerance of four pepper varieties. After the dilution process, the pepper seedlings grown for 55 days in the plant growth cabinet were exposed to drought stress for 10 days after applying polyamine twice a day apart. At the end of this period, growth parameters, relative water content (RWC), total chlorophyll and carotenoid amounts, lipid peroxidation, proline content, antioxidant enzyme (Superoxide dismutase (SOD), Guaiacol peroxidase (GPX), Glutathione Reductase (GR) and Catalase (CAT)) activities and chlorophyll fluorescence parameters (PSII maximum quantum efficiency (Fv/Fm), PSII photochemical efficiency (ΦPSII), electron transfer rate (ETO), non-photochemical fluorescence quenching (NPQ) and photochemical quenching (qP)) were determined in seedlings pretreated and untreated with polyamine. It was determined that the growth parameters, RWC, total chlorophyll and carotenoid amounts decreased with the effect of drought stress, while the lipid peroxidation and proline amounts increased in all pepper varieties. It was found that the highest decrease in stem length by 17.68% and fresh weight by 44.75% was found in Burdem variety. The highest decrease in stem dry weight was observed in Varol variety by 44.79%. Although the highest decrease in total chlorophyll amount by 17.77% was found in Burdem variety, the amount of carotenoids decreased the most in Varol variety. The amount of malondialdehyde (MDA), which is an indicator of lipid peroxidation, increased the most in Burdem and Varol varieties with the effect of drought stress. The least increase in MDA amount and the maximum increase in proline amount were determined in Yükselince variety. Although the polyamine pretreatment varies according to the pepper variety used, it has a positive effect on the reductions in growth parameters, RWC, total chlorophyll and carotenoid amounts, and on the decrease in the amounts of MDA and proline. Antioxidant enzyme activities increased in all pepper varieties under the influence of drought stress. The increase in GPX and GR activities was higher in Yükselince compared to Burdem and Varol varieties. SOD and CAT activities were mostly detected in Varol variety. PUT and SPM pretreatment had an effect on increasing the activity of antioxidant enzymes in general. Fv/Fm, ΦPSII, ETO and qP values decreased, while NPQ values increased with the effect of drought stress. The highest decrease in Fv/Fm, ΦPSII, ETO and qP values and the highest increase in NPQ values were detected in Burdem and Varol varieties. It was determined that the polyamine pretreatment had a general enhancing effect on the photosynthetic efficiency, different from the pepper varieties used in the study. According to the findings, it was concluded that Yükselince variety was the most tolerant to drought stress, Burdem and Varol varieties were more sensitive. In addition, it can be said that polyamine pretreatment has a positive effect on the negative effects of drought stress and improves drought tolerance in pepper varieties.

Keywords: *Capsicum annuum*, Drought Tolerance, Polyamine, Antioxidant Enzyme, Photosynthesis

KISALTMALAR

ABA	: Absisik Asit
ADC	: Arginin Dekarboksilaz
ALA	: 5-aminolevunilik Asit
APX	: Askorbat Peroksidaz
BSA	: Bovin Serum Albumin
CO ₂	: Karbondioksit
EDTA	: Etilen Diamin Tetra Asetik Asit
ETO	: Elektron Transfer Oranı
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
F _m	: Karanlıktaki Maksimum Floresans
F _v	: Değişken Floresans
F _v /F _m	: PSII Maksimum Kuantum Verimi
GA	: Giberellik Asit
GB	: Glisin-Betain
GPx	: Glutasyon Peroksidaz
GPX	: Guaiakol Peroksidaz
GR	: Glutasyon Redüktaz
GSH	: İndirgenmiş Glutasyon
GSSG	: Yükseltgenmiş Glutasyon
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
hg / ha	: Hektogram/Hektar
HO ₂ [•]	: Perhidroksil Radikali
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
KAT	: Katalaz
MDA	: Malondialdehit
mm	: Milimetre
mM	: Milimolar
NPK	: Azot Fosfor Potasyum
NADH	: Nikotinamid Adenin Dinükleotit
NADPH	: Nikotinamid Adenin Dinükleotit Fosfat
NBT	: Nitro Blue Tetrazolium
NPQ	: Fotokimyasal Olmayan Floresans Sönmesi
¹ O ₂	: Singlet Oksijen
O ₂ ^{•-}	: Süperoksit Radikali
ODC	: Ornitin Dekarboksilaz
OH [•]	: Hidroksil Radikali
PA	: Poliamin
PEG	: Polietilen Glikol
POD	: Peroksidaz
PS I	: Fotosistem I
PS II	: Fotosistem II
PUT	: Putresin
PVPP	: Polyvinylpolypyrrolidone

qP	: Fotokimyasal Kullanılma
ΦPSII	: PSII Fotokimyasal Verimi
RE	: Retinol Eşdeğeri
ROT	: Reaktif Oksijen Türleri
RuBP	: Ribuloz-1,5-bifosfat
RWC	: Nispi Su İçeriği
SAMDC	: S-Adenozilmetiyonin Dekarboksilaz
SOD	: Süperoksit Dismutaz
SPM	: Spermin
SPSS	: Statistical Package Social Sciences
TBA	: Tiyobarbütirik Asit
TCA	: Trikloroasetik Asit
µg	: Mikrogram
µL	: Mikrolitre
µM	: Mikromolar

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. <i>Capsicum annuum</i> 'un besin bileşimi (100g başına).....	34
Tablo 2. <i>Capsicum annuum</i> 'daki mineral içeriği.....	35
Tablo 3. 2021 yılında en çok taze biber üreten ülkeler.....	37
Tablo 4. Poliaminle ön muamele edilmiş ve kuraklık stresi uygulanmış biber çeşitlerinde (Yükselince, Tural, Burdem ve Varol) gövde uzunlukları, gövde yaş ve kuru ağırlıkları	46



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1951-1980 ortalamasına göre 1880'den 2020'a kadar olan sıcaklık anormallikleri.....	5
Şekil 2. 11 Ocak 2021 itibariyle yayımlanan kuraklık haritaları.....	7
Şekil 3. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan kuraklık haritaları.....	7
Şekil 4. Kuraklık Çeşitleri	8
Şekil 5. Çevresel stres faktörleri.....	10
Şekil 6. Bitkilerin kuraklık stresi koşullarında fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler tepkileri	13
Şekil 7. Haber-Weiss ve Fenton reaksiyonu.....	20
Şekil 8. ROT temizleme mekanizmasında antioksidan enzimlerin rolü	25
Şekil 9. Viyollerde büyütülmüş ve saksılarda şaşırtılmış biber fideleri.....	40
Şekil 10. Yükseline (a), Tural (b), Burdem (c) ve Varol (d) çeşitlerine ait morfolojik görünüm.....	47
Şekil 11. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin nispi su içeriklerindeki değişimler.	48
Şekil 12. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin toplam klorofil miktarlarındaki değişimler.....	49
Şekil 13. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin toplam karotenoid miktarlarındaki değişimler.....	50
Şekil 14. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait lipid peroksidasyonu miktarlarındaki değişimler	51
Şekil 15. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait prolin miktarlarındaki değişimler	53
Şekil 16. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait SOD aktivitelerindeki değişimler	54
Şekil 17. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait GPX aktivitelerindeki değişimler	55
Şekil 18. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait GR aktivitelerindeki değişimler.....	57

Şekil 19. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin KAT aktivitelerindeki değişimler	58
Şekil 20. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait Fv/Fm sonuçlarındaki değişiklikler	59
Şekil 21. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait Φ PSII sonuçlarındaki değişiklikler	60
Şekil 22. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin NPQ sonuçlarındaki değişiklikler	62
Şekil 23. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait ETO sonuçlarındaki değişiklikler	63
Şekil 24. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait qP sonuçlarındaki değişiklikler	64

GİRİŞ

İklim değışikliği, özellikle küresel ısınma dahil olmak üzere çevresel stresler, dünya çapında bitki büyümesini ve üretkenliğini ciddi şekilde etkilemektedir (Gill ve Tuteja, 2010). Bu çevresel stresler arasında kuraklık, küresel ölçekte en karmaşık ve yıkıcı olanıdır ve iklim değışikliğinin bir sonucu olarak sıklığının artması beklenmektedir (Hasanuzzaman vd., 2014). Kuraklık stresi bitkileri morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve metabolik yollarla etkiler ve bitki üretkenliğini düşürmektedir (Kapoor vd., 2020). Öte yandan, 2050 yılında dünyada 9 milyar insan olacağı ve bunun için gıda üretiminin iki katına çıkarılması gerektiği tahmin edilmektedir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için, gıda mahsullerimizin verim potansiyeli artırılmalı ve verim açığı kapatılmalıdır. Bu nedenle, artan dünya nüfusunu beslemek için stres koşullarında canlılığını sürdürebilen ve çeşitli çevresel faktörlere karşı yüksek toleranslı bitkiler geliştirilmelidir (Hasanuzzaman vd., 2014).

Bitkilerin çeşitli çevresel streslere karşı toleranslarını artırmak için eksojen olarak bitki büyüme düzenleyicileri, antioksidan ve ozmolit bileşikler uygulandığı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada bütün canlılarda doğal olarak sentezlenen ve bitki büyüme gelişmesinde önemli katkıları olan bazı poliaminler (PA) foliar olarak biber çeşitlerine uygulanmış ve kuraklık stresi toleransına etkileri araştırılmıştır.

Poliaminler, amino gruplu azotlu bazlar içeren ve normal gelişme süreçlerinde güçlü bir biyolojik aktivite potansiyeli sergileyen ve ayrıca bitkilerin olumsuz koşullar altında, çevresel stresörlere verilen cevaba aracılık eden endojen bitki büyüme düzenleyicileridir (Alcázar vd., 2010; Kusano vd., 2008). Aynı zamanda sinyal yollarının ikinci habercileri olan PA'lar DNA, RNA ve protein biyosentezini etkileyen, bitki büyümesini ve gelişimini destekleyen, yaşlanmayı geciktiren ve bitkilerde hastalık direncini artıran (Kaur-Sawhney vd., 2003), hücre farklılaşması gibi çok çeşitli düzenleyici süreçlerde yer alan düşük moleküler ağırlıklı alifatik aminlerdir (Hasan vd., 2021). Ayrıca PA'ların serbest radikalleri temizleyebildiği için, zarı oksidatif hasardan koruyan membran stabilizasyonu, fotosentez, enzim aktivasyonu, iyon taşınması veya hormon etkisi gibi çeşitli bitki fonksiyonlarında rol oynadıkları gösterilmiştir (Kakkar ve Sawhney 2002; Alcázar vd., 2010; Besford vd., 1993). Hücrenin fizyolojik pH'daki polikatyonik yapıları nedeniyle PA'lar, DNA, membran

fosfolipidleri, pektin polisakkaritler ve proteinler gibi hücrel bileşenlerdeki negatif yüklere güçlü bir şekilde bağlanabilir ve böylece biyolojik aktivitelere aracılık edebilirler (Besford vd., 1993). Eksojen olarak uygulandığında da kuraklık stresi gibi birçok abiyotik stres türlerine bitkinin toleransını arttırmada, önemli bir rol oynadığı belirtilirken (Legocka ve Kluk, 2005), içsel büyüme düzenleyicilerinin konsantrasyonlarındaki kaybı ortadan kaldırabilmesi ve stresin inhibe edici etkisini azaltması (Ashraf vd., 2011) farklı abiyotik stres türlerinin neden olduğu hasara karşı bitkiyi koruduğu yönündedir (Todorova vd., 2015; Chen vd., 2019). Bu nedenle PA'lar mahsul üretkenliği, ürün potansiyeli ve tarımsal açıdan sürdürülebilirliği artırarak dünya gıda güvenliğini korumanın yanında üreticilere ekonomik yönden katkı sağlayabilirler.

Dünyada büyük öneme sahip ve birçok ülkede yetiştirilmekte olan biber (*Capsicum annuum* L.), insan beslenmesindeki en önemli sebze ve baharatlar arasındadır. Biber yetiştiriciliği, özellikle üretici ve işleme endüstrisi ürüne değer kattığında kârlılık özellikleri veya çok sayıda vasıflı işgücü istihdam ettiği için sosyal önemi nedeniyle Dünya'nın tüm bölgelerinde büyük öneme sahiptir. Dünyada 1,93 milyon hektarlık alanda biber yetiştirilmektedir. Türkiye, 2021 yılı verilerine göre 3 milyon tonluk üretim ile Çin'den (16,7 milyon ton) sonra ikinci sırada yer almaktadır (FAO, 2022). Biber, yalnızca ekonomik önemi nedeniyle değil, aynı zamanda meyvelerinin besin değeri açısından da önemli bir tarımsal üründür. Çok çeşitli fitokimyasallar içeren farklı biber türleri, gıdalarda önemli besinsel antioksidan olan A, C ve E vitaminlerini (Bosland ve Votava, 2013) yüksek konsantrasyonlarda bulundurlar. Biberler ayrıca karotenoid ve ksantofil açısından zengin kaynaklardır (Byers ve Perry 1992). Ayrıca *Capsicum* türleri, bir alkaloid olan yüksek kapsaisin içeriği nedeniyle ilaç ve pestisit endüstrilerinde de kullanılmaktadır (Kopta vd., 2020). Bu bileşiklerin gıdayla alınması sağlığı koruyan önemli bir faktördür. Günlük olarak yeterli miktarlarda alındığında kanser ve kardiyovasküler hastalıklar dahil olmak üzere yaygın insan hastalıklarının önlenmesinde faydalı oldukları kabul edilmiştir (Bramley, 2000; Sies, 1991).

Genellikle biber bitkileri büyük yaprak alanları ve yüksek stoma iletkenliği nedeniyle su eksikliğine duyarlıdır. Biber üretim endüstrisinde kuraklık, %70'e varan önemli ekonomik kayıplarla birlikte mahsul veriminde ve kalitesinde büyük düşüşlere

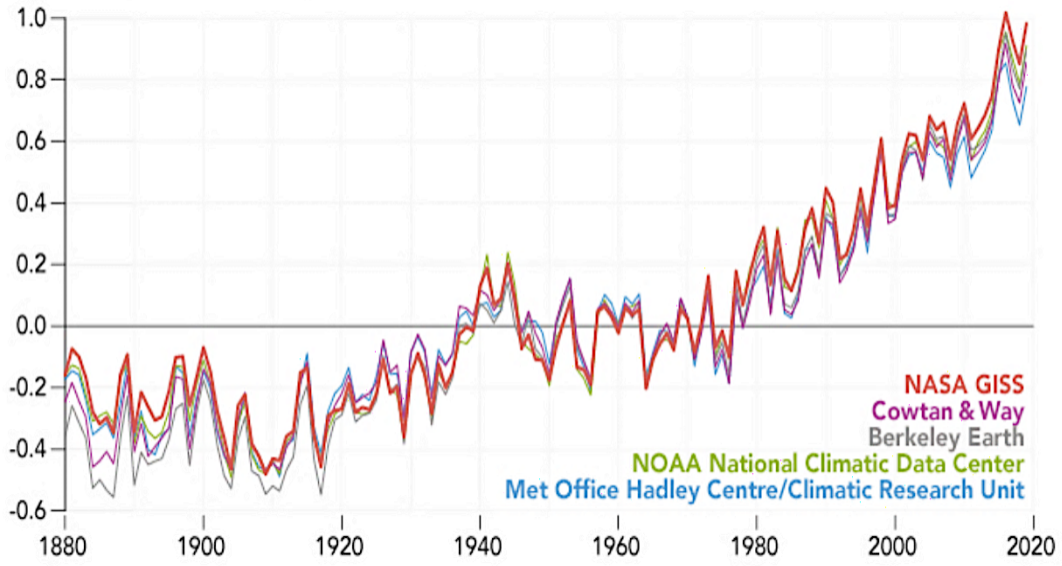
neden olmaktadır (Penella ve Calatayud, 2018). Çeşitler arasında stres faktörlerine duyarlılıkta önemli farklılıklar olduğuna dair raporlar bulunmaktadır. Toleranslı eşitler, su isteği ve toprak arzı arasındaki senkronizasyonu iyileştirebilir. Bu nedenle, bitkinin karmaşık sinyal iletimi, kuraklığın bitkiye verdiği zarar ve bitkinin düzenleyici tepkilerini bilmemiz kuraklık toleransını iyileştirmek ve tarıma fayda sağlayacak yeni stratejiler vaat etmektedir. (Penella ve Calatayud, 2018). Fizyolojik, morfolojik, genetik ve biyokimyasal özelliklerdeki değişikliklerin bitkilerin kuraklığa toleransı üzerinde önemli etkileri vardır (Kıran vd., 2019). Örneğin, morfo-anatomik özellikler arasında, iyi gelişmiş bir kök, bitkinin toprağın daha derinliklerine inmesini sağlar, böylece su alım kabiliyetini arttırır. Diğer fizyolojik (örneğin, stomaların hızlı kapanması ve su kullanım etkinliği) veya biyokimyasal tepkiler (örneğin, osmolitlerin, aquaporinlerin ve güçlü bir antioksidan aparatın sentezi), bazı bitki çeşitlerinin kuraklığa toleransının arttırılmasına katkıda bulunabilir ve böylece kuraklığa toleranslı genotiplerin / çeşitlerin kullanımını destekleyebilir (Kapoor vd., 2020).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan dört biber çeşidinin kuraklık stresi koşullarında, kuraklığa toleranslı ve duyarlı biber çeşitlerini belirlemenin yanında mahsul üretkenliği, ürün potansiyeli ve tarımsal açıdan sürdürülebilirliği arttıracak, üreticilere ekonomik yönden katkı sağlayacak; kuraklık stresinin olumsuz etkilerinin hafifletilmesinde, kuraklık toleransının geliştirilmesinde ve bu stresin etkilerinin en aza indirgenmesinde eksojen poliaminlerin potansiyel rolünü ve temelini araştırmaktır. Eksojen olarak poliamin uygulanmış dört biber çeşidinin kuraklığa karşı tolerans tepkileri, büyüme parametreleri, RWC, toplam klorofil ve karotenoid, lipid peroksidasyonu, prolin, antioksidan enzim aktiviteleri ve klorofil floresans parametrelerindeki farklılıklar açısından değerlendirilmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Küresel İklim Değişikliği ve Kuraklık

Atmosferde meydana gelen hava olaylarının uzun vadeli etkileri iklim kavramı ile tanımlanır. İklim dünya tarihi boyunca doğal olarak değişme eğilimindedir. Fakat doğal etkilerin sonucunda gerçekleşen bu olay 19. yüzyıl ortalarından sonra iklimdeki doğal değişebilirliğe ek olarak insan faaliyetlerinin de iklimi etkilediği yeni bir döneme girilmiştir. Sanayi devrimiyle birlikte artan fosil yakıtlar, ormansızlaşma, endüstriyel süreçler, kontrolsüz kentleşme ve tarımsal uygulamalar gibi birçok etken insan kaynaklı ısıyı hapseden sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır. Sera gazları Güneş'ten gelen kısa dalga boylu ışınların yeryüzüne çarptıktan sonra, uzun dalga boylu ısı ışınları şeklinde tekrar yeryüzüne geri yansıtmasıyla küresel düzeyde ortalama sıcaklığı arttırmaktadır (Alcamo vd., 2007; Houghton, 2005). İnsan kaynaklı meydana gelen hızlı ısınma küresel hidrolojik döngüyü yoğunlaştırarak, (Milly vd., 2002) buharlaşmayı artırmakta ve muhtemel atmosferik sirkülasyon modellerini değiştirmesine neden olmaktadır. 2021 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) küresel iklim sisteminin belirgin ve gittikçe artan bir şekilde ısınması konusunda şimdiye kadar elde edilen kesin bilimsel kanıtlar üzerinde durarak, uluslararası toplumu hızla ve kararlılıkla harekete geçmeye çağırarak küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin net olduğunu ortaya koymuştur. Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA), Berkeley Earth İklim Değişikliği Araştırma Grubu, Met Office Hadley Center (Birleşik Krallık İklim Bilimi ve Hizmetleri Merkezi) gibi iklim değişikliği araştırma kuruluşları ve araştırmacıları (Cowtan ve Way, 2014) tarafından yayınlanan istatistiksel sıcaklık verilerine dayalı 1960'lardan bu yana, sonraki on yılın sıcaklığının her zaman bir önceki on yılından daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır (NASA, 2022) (Şekil 1).



Şekil 1. 1951-1980 ortalamasına göre 1880’den 2020’a kadar olan sıcaklık anormallikleri

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 5. bilimsel iklim değerlendirme raporuna göre insan faaliyetlerinden kaynaklı ısınmanın tahmin edilenden çok daha hızlı bir şekilde arttığı ve artan sıcaklıkların iklim değişikliğine doğrudan etkisi yanında, neden olduğu, aşırı hava olayları şeklinde kendini gösterdiğini belirtmektedir (IPCC, 2014). Şiddetli kuraklıklar daha önce eş benzeri görülmemiş büyüklükteki orman yangınları, etkisi artan ve sıklaşan kasırgalar, sıcak hava dalgaları, sel getiren şiddetli yağışlar, tatlı su kaynaklarında buharlaşmanın artması, yeraltı suyunun tükenmesi, kar ve buz örtüsünde kayıplar gibi ekolojik felaketler, ekosistemde tahribat (Engle vd., 2014), su kıtlıkları, hava kalitesindeki düşüş ve vektörel hastalıklarda artışlar, küresel iklim değişikliğinin yakın geleceğe ait beklenen potansiyel tehlikeleri olarak belirtilmektedir. Dünyanın her yerinde deneyimlemeye başladığımız bu sonuçlar şimdiye kadar insanlığın karşısına çıkmış belki de en büyük sorun olarak kendini göstermektedir. (Epstein ve Mills, 2005).

IPCC 6. bilimsel iklim değerlendirme raporunda (IPCC, 2021) farklı emisyon senaryoları üzerinde durularak topraklarının yaklaşık %60’ı, ortadan şiddetliye değişen derecede yıllık su açığının yaşandığı ve çölleşmeye açık (etkilenebilirliği olan) hidroklimatolojik özelliğe sahip olan Türkiye’nde (Türkeş, 2012) içinde bulunduğu, Akdeniz Havzası’nın 21. yüzyılda sıcaklıkların küresel ortalama üzerinde artışına ilaveten, yağışlarda önemli azalmaların görüleceği bildirilmiştir. Yine aynı raporda 20.

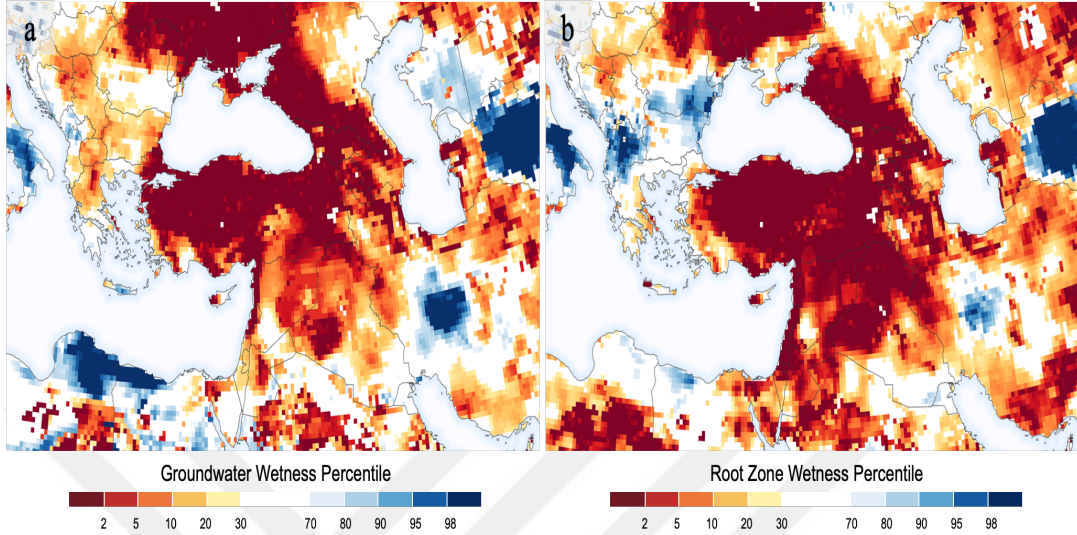
yüzyılın son yirmi yılına kıyasla sıcaklığın 0,9-5,6 °C aralığında arttığını, yağış oranının %4-22 azalarak kurak alanların daha yaygın hale geleceği ve aşırı sıcak gün sayısının küresel ortalamanın üzerinde artmaya devam edeceği ifade edilmektedir.

Ulusal ve uluslararası bilimsel model çalışmaları, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün yürüttüğü bölgesel iklim tahminleri, Dünya İklim Araştırmaları Programı tarafından iklim modeli çalışmaları, ECHAM4, HadCM3 verileri ve Emisyon senaryoları birlikte değerlendirildiğinde Türkiye ikliminin önümüzdeki yüzyılın sonunda öngörülen yıllık ortalama sıcaklıklarını artıracığı, ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağı ortaya konmuştur (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018; Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2015). Yakın gelecekte iklim değişikliğinin Türkiyede yıllık ortalama sıcaklığını 2,5- 4 °C artıracığı, Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde 4 °C'yi, iç bölgelerinde ise bu artışın 5 °C'yi bulacağı kuraklığın her on yılda bir olduğundan daha sık yaşanacağı belirtilmektedir (Demir vd., 2008; Parry vd., 2007). Etkilerinin ise yağış rejiminin değişmesi, artan yaz sıcaklıkları, yüzey sularının kaybı, toprak bozulması, kıyı erozyonu ve sel şeklinde olacağı, donlu günlerin sayısının düşeceği ve kuraklık olaylarının zaman ve şiddetinde artış ve bitki deseni ve büyüme hızlarında değişikliğe neden olacağı tahmin edilmektedir (Ragab ve Prudhomme, 2002).

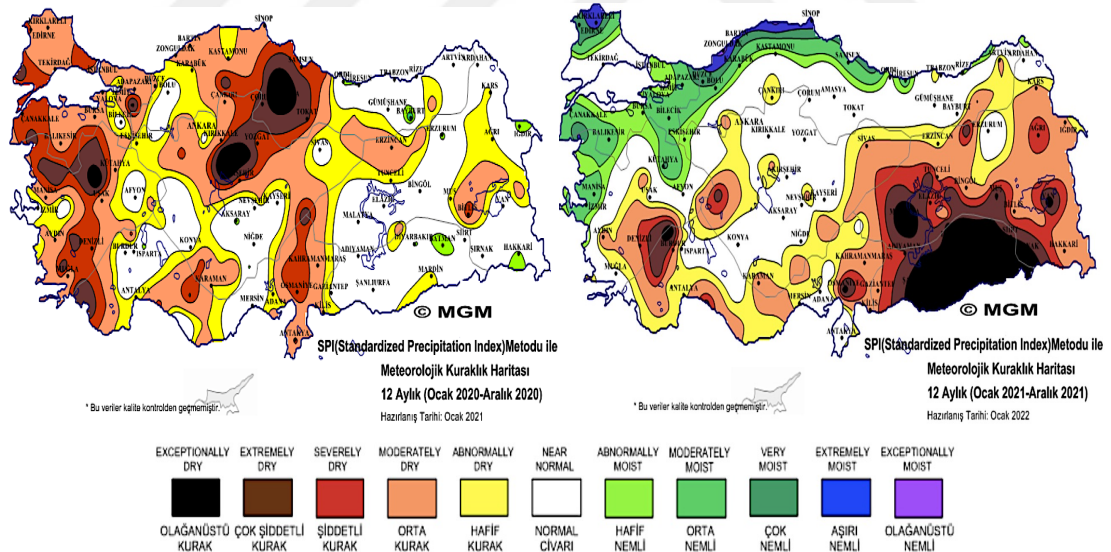
Bu nedenle, Türkiye, Akdeniz Havzası'nın, iklim değişikliğinin etkilerine karşı en savunmasız bölgelerinden biri olarak gösterilmekte, hem mevcut iklim, hem de gelecekteki iklim açısından orta-yüksek riskli ülkeler arasında bulunmaktadır (IPCC, 2014) Türkiye'nin İklim Değişikliği Yedinci Ulusal Bildiriminde (2018) iklim değişikliğinin tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'deki etkilerinin şimdiden hissedildiği, başta yaşamın temel unsuru olan su kaynaklarının miktar ve niteliklerinde düşüşlere, daha sıcak kışlar, daha kurak ve sıcak yazlar, uzun süren yağışsız dönemler, biyolojik çeşitlilikteki değişiklikler ve dağlardaki buzulların geri çekilmesi olarak gözlemlendiği belirtilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018).

NASA Ulusal Kuraklık Azaltma Merkezinin 2021 Ocak'ta Türkiye yer altı suyu ve toprak nemi ölçümlerine ilişkin yayımladığı Şekil 2'deki haritalar (NASA, 2021) Türkiye'nin %80'inden fazla alanında "olağanüstü şiddetli kurak ve şiddetli kurak" ile karşı karşıya kalacağını ortaya koyarken, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün

(MGM), yıllar içinde yayımladığı Şekil 3’deki kuraklık haritaları da ülkemizde yaşanan kuraklık durumunu göstermektedir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022).



Şekil 2. 11 Ocak 2021 itibariyle yayımlanan kuraklık haritaları (a-sığ yeraltı suyu depolama yüzdesi b-toprağın en üst 39 inç’lik bölgesindeki toprak nemi tahminleri)

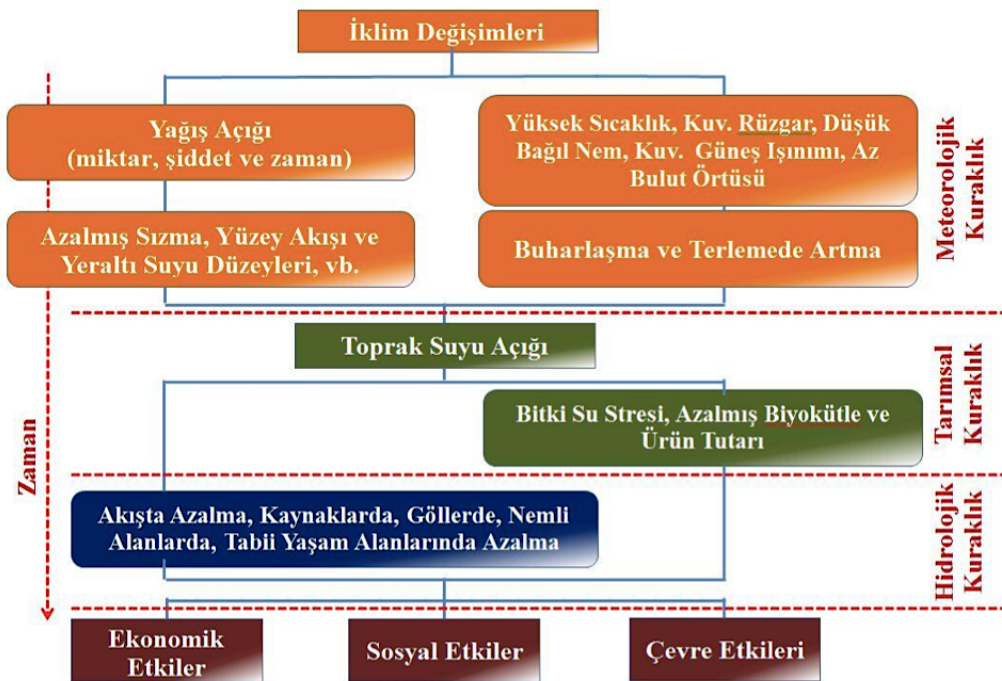


Şekil 3. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan kuraklık haritaları

Dünya çapında insan yaşamını büyük ölçüde etkileyen en yaygın doğal afetlerden biri olan kuraklık, artan küresel iklim değişikliği nedeniyle riski giderek daha fazla ön plana çıkmıştır (Mishra ve Singh 2010). Dünya çapında birçok bölgede en önemli tarımsal kısıtlamalardan biri olarak kabul edilmektedir ve mahsul hasarı ve

kayıplarının %80'inden fazlasını oluşturmakta ve gıda üretimini ve sürdürülebilirliği olumsuz etkilemektedir.

Sosyoekonomik kuraklık olarak etkilerini gördüğümüz yağış eksikliği ve evapotranspirasyondaki artışın bir kombinasyonu, olası bir meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık dizisini başlatır. Meteorolojik kuraklık, normalin altındaki ortalama yağış miktarının azalmasıyla oluşur. Akabinde akarsu akışlarının ve yeraltı sularının seviyesinin azalmasına yol açarak hidrolojik, toprağın nemliliğinde de düşüşe neden olarak tarımsal kuraklığı oluşturur (Mishra ve Singh, 2010; Choi vd., 2013) (Şekil 4).



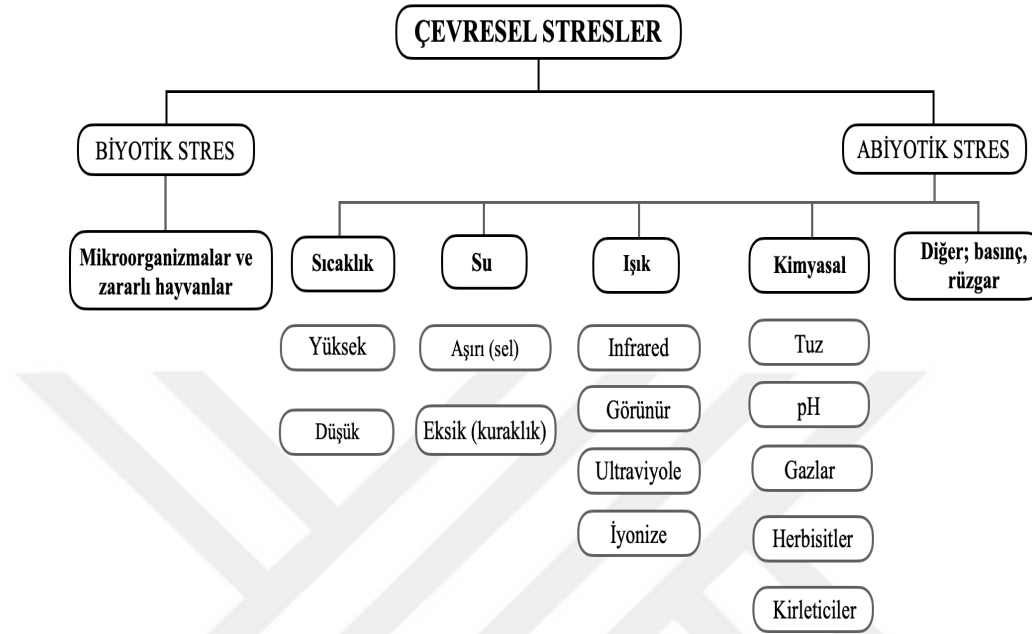
Şekil 4. Kuraklık Çeşitleri (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017)

Su kıtlığı veya kuraklık ile ilgili kavramların tanımı konusunda henüz bir fikir birliği olmasa da önemi araştırmacılar tarafından bir çevre felaketi olarak sabittir (Tsakiris, 2015). Hidrometeorolojik değişkenler, sosyoekonomik faktörlerdeki ve dünyanın farklı bölgelerindeki su taleplerinin farklılığı, kuraklık tanımlarına ilişkin çok çeşitli görüşlerin olmasının ve kuraklığın kesin bir tanımının yapılmamasının sebebidir. Kuraklık tanımları, tanımlamak için kullanılan değişkene bağlı olarak değişir (Wilhite ve Glantz, 1985). Dünya Meteoroloji Örgütü kuraklığı yağışta uzun süreli ve kesintisiz bir eksiklik ile karakterize eder. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) nem eksikliğinden kaynaklanan mahsulün tükendiği yılların yüzdesi

olarak, Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi (UNCCD) ise yağış ile potansiyel buharlaşma arasındaki oranın düşmesi sonucu arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve hidrolojik dengenin bozulmasına sebep olan doğal olay olarak tanımlamaktadır (Singh ve Ti, 2002). Genel olarak sıcaklık artışı ve artan buharlaşmanın bir sonucu olan kuraklık potansiyel olarak toprağın su içeriğinde ve üretim sistemlerini olumsuz yönde etkileyen yağışların kaydedilen normal seviyelerin önemli ölçüde altında olduğu ciddi hidrolojik dengesizliklere neden olan doğal bir olgudur (Zhang vd., 2017; Tsakiris vd., 2007) Hem yüksek hem de düşük yağış alanları gibi hemen hemen tüm iklim bölgelerinde meydana gelir (Schneider, 2011) ve çoğunlukla bir mevsim veya bir yıl gibi uzun bir süre boyunca alınan yağış miktarındaki azalma ile ilgilidir. Sıcaklıklar; kuvvetli rüzgâr, düşük bağıl nem; ürün yetiştirme mevsimleri boyunca yağmurlu günlerin dağılımı, yağmurun şiddeti ve süresi, başlangıcı ve bitişi dahil olmak üzere yağmurların zamanlaması ve özellikleri, kuraklığın meydana gelmesinde önemli bir rol oynar. Hem yüzey hem de yeraltı su kaynaklarını etkiler ve su arzının azalmasına, su kalitesinin ve mahsulün bozulmasına, mera üretkenliğinin azalmasına, enerji üretiminin azalmasına, nehir habitatların bozulmasına ve rekreasyon faaliyetlerinin askıya alınmasına yol açmasının yanı sıra bir dizi ekonomik ve sosyal faaliyeti etkilemektedir (Riebsame vd., 2019). Ilıman iklim dalgalanmaları göl kimyası üzerinde önemli etkileri olan hidrolojik rejimleri değiştirdiği için kuraklık su kalitesini etkiler (Webster vd., 1996). Tortu, organik madde ve besinler, kuraklık sırasında kesintiye uğrayan bir yol olan yüzey sularına taşınır. Kuraklık, başta ekosistem ve biyolojik çeşitlilik açısından oldukça önemli olan ve besin zincirinin temeli oluşturan bitkiler için oldukça önem teşkil etmektedir.

Enerji üretimi, turizm ve rekreasyon, ulaşım, kentsel su temini ve çevre dahil olmak üzere diğer birçok sektör de önemli kayıplara neden olmasının yanında tarım ilk ve en çok etkilenen sektör olmuştur. Terleme ile kaybedilen suyun topraktan alınan sudan daha fazla olduğu durumlarda bitkilerin büyüme ve gelişme ile verim potansiyellerini doğrudan etkilemenin yanında bitkinin strese girip kalite ve verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (An ve Liang, 2012). Bitkilerde stres organizmaların yaşamlarının herhangi bir döneminde karşılaştığı biyotik ve abiyotik faktörlerin birinin veya birkaçının normal olmayan fizyolojik ve metabolik değişimlere neden olduğu durumdur. Bitkide stres biyotik ve abiyotik faktörler olarak sınıflandırılır (Şekil 5).

Dünyadaki en önemli verim azaltıcı faktörler olan stresler bitki büyüme ve gelişimini olumsuz etkileyen ve sonunda bitki ölümüne yol açan olumsuz çevresel koşullardan sürekli olarak etkilenir (Dennis vd., 2000).



Şekil 5. Çevresel stres faktörleri (Kadioğlu, 2016)

Etkileri birbirleri ile ilişkili olmakla birlikte bir bitki için stres oluşturan ortam bir başkası için stres oluşturmaz. Biotik faktörler, bitkinin diğer organizmalar ile etkileşiminden kaynaklanan, bitki enfeksiyonu veya bitkinin belirli bir kısmında mekanik bir hasara, neden olan stres faktörleridir. Bakteriler, virüsler, mantarlar, nematodlar, parazitler, böcekler ve yabancı otlar, bu stres türüne neden olmaktadır (Juhel vd., 2011). Abiyotik stres ise bitkinin bulunduğu ortamla etkileşiminden kaynaklanan çevresel etkilerin neden olduğu sıcaklık, su, ışık gibi fiziksel faktörler ve tuz, pH, herbisitler gibi kimyasalların neden olduğu stres türüdür. Önemli ölçüde bitki verimi ve potansiyel performansında düşüşe ve dolayısıyla ekonomik olarak ciddi kayıplara neden olan çevresel streslerden tarımsal alanların yalnızca %10'u muaftır. Dünyadaki ürün kaybının başlıca nedeni olduğu düşünülen abiyotik stres faktörleri önemli tarımsal ürünlerin ortalama verimini %50'den fazla düşürerek tarım endüstrisinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (Mahajan ve Tuteja, 2005).

Yaşamın en önemli bileşeni olan, bitki gövdesinin taze biyokütlesinin yaklaşık %80-95'i olan su, özellikle kurak bölgelerde, bitki büyümesini ve ürün verimliliğini

diğer tüm çevresel faktörlerden daha fazla sınırlandırır (Boyer, 1982; Brodersen vd., 2019). Dünyadaki ekilebilir alanların %15'i soğuk ve don stresine, %20'lik alanı minarel madde stresine maruz kalarak üretimi azalttığı belirtilirken en fazla orana sahip olan kuraklık stresi %26'lık pay ile büyümeyi sınırlayan, bitkisel üretimi olumsuz etkileyen en önemli abiyotik faktördür (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Yetersiz yağış, yüksek buharlaşma talebi, azalan yeraltı suyu seviyesi ve toprak partikülleri tarafından su tutulması gibi çeşitli faktörler bitki su potansiyelinin düşmesine neden olmaktadır (Gimenez vd., 2005). Toprak su potansiyelin azalması ve ardından bitkide kuraklık stresine neden olan anormal derecede bitkinin su eksikliği yaşaması, mahsul üretimini olumsuz etkilemekte ve verimi %50 ve üzerinde azaltmaktadır (Wang vd., 2003). Günümüzde artan küresel ısınmanın yanı sıra dünya çapında su kaynaklarının niteliği ve miktarının azalması ve artan gıda talebi nedeniyle kuraklık stresinin önemi giderek artmakta ve gelecekte dünya gıda güvenliğine yönelik en kritik tek tehdit ve geçmişte önemli kıtlıkların katalizörü olarak görülmektedir (Bray, 2005). Tarımda kuraklığın etkileri, su kaynaklarının tükenmesi ve endişe verici bir dünya nüfusu artışından kaynaklanan artan gıda talebi nedeniyle ağırlaşmaktadır. Kuraklığın öngörülemeyen doğası, rizosfer çevresinde yağışın düzensiz ve güveniliriz dağılımı, buharlaşma-terleme ve su tutma kapasitesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

1.2. Bitkilerde Kuraklık Stresi ve Etkileri

Kuraklık stresi, bitkinin su ihtiyacı tam olarak karşılanamadığında (örneğin, yeterli yağış veya sulama yoluyla) ve bitkinin normal işleyişi etkilendiğinde (örneğin, büyüme, fotosentez hızı, stoma iletkenliği) ortaya çıkar. Başka bir deyişle, yaprak yüzeyinden terleme oranı köklerin su alımından daha yüksek olduğunda bitkide kuraklık stresine neden olur (Anjum vd., 2011). Su alımı ve su kaybı arasındaki bu dengesizlik, toprak su potansiyelinin köklerden daha düşük olmasından kaynaklanan, su potansiyelinin ve turgorunun normal işlevlerini sağlamadığında oluşur (Lisar vd., 2012). Su mevcudiyetine bağlı olarak, kuraklık stresi; su eksikliği ve su kaybı (kuruma) olarak ele alınabilir. Su eksikliği nispi su içeriğinin (RWC) yaklaşık %70 olduğu hafif su eksikliğine maruz kalan bitkilerde, stoma kapanması nedeniyle gaz değişiminin kısıtlanması olarak tanımlanırken, su kaybı, potansiyel olarak metabolizmanın ve hücre yapısının tamamen bozulmasına ve sonunda enzim katalizli

reaksiyonların durmasına yol açabilen (Kage vd., 2004) fotosentezin kesilmesi, metabolik bozulma ve son olarak bitkinin ölümüyle sonuçlanabilir (Jaleel vd., 2008).

Herhangi bir büyüme aşamasındaki su kaynağı eksikliği, genel olarak bitkinin büyümesi ve gelişmesi üzerinde zararlı etkiler oluşturur. Buna bağlı olarak bitkiler, kaynak kullanımlarını azaltma ve kurak koşullarla başa çıkmak için büyümelerini ayarlama yeteneğine sahiptir (Osakabe vd., 2014). Kuraklık stresinin, morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal süreçler üzerindeki etkileri, stres derecesine ve uzunluğuna, eşlik eden farklı stres faktörlerine, bitkinin büyüme aşaması, yaşı, türleri ve gelişim dönemlerine, genotipi, organ, hücre ve hücre altı bölmesine bağlı olarak değişmektedir (Demirevska vd., 2009). Hücre turgorunun kaybı veya hücre zarı bozulması nedeniyle kuraklığın neden olduğu kökten yaprağa iletilen sinyal, toprağın sınırlı su kaynağına önemli bir adaptasyon olan stoma kapanmasıyla sonuçlanır

Bitkilerdeki kuraklık stresi, bitki hücresinin su potansiyelini ve turgorunu azaltır, bu da çözünenlerin sitozol ve hücre dışı matrislerdeki konsantrasyonlarını yükseltir. Sonuç olarak, hücre büyümesi azalır ve büyüme inhibisyonuna ve üreme başarısızlığına yol açar. Bunu absisik asit (ABA) ve prolin gibi uyumlu osmolitlerin birikmesi izler. Bu aşamada, reaktif oksijen türlerinin (ROT) aşırı üretimi olumsuz etkiyi daha da şiddetlendirir. Kuraklık, su içeriğini, turgoru ve toplam suyu azaltarak sadece bitki su ilişkilerini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda stomaların kapanmasını da etkiler, gaz değişimini sınırlar, terlemeyi azaltır ve karbon asimilasyon (fotosentez) oranlarını durdurur ve besin-mineral alımı, taşınması engellenir (Şekil 6).

Metabolizma üzerindeki olumsuz etkiler, yaprak sayısının, yaprak alanının ve yaprak ömrünün azalmasına, sınırlı sürgün gelişimi (Sankar vd., 2008) ve artan kök gelişimine (Nejad, 2011) neden olarak; kök: sürgün oranını artırır (Wu ve Cosgrove, 2000). Bitki hücre duvarı esnekliğinde değişiklik ve hücrede homeostaz ve iyon dağılımının bozulmasına neden olur.

Kuraklık tepkisiyle ilişkili protein ve mRNA'ların sentezi, bitkiler üzerindeki kuraklık stresinin bir başka sonucudur. Kuraklık stresi altında hücre genişlemesi yavaşlar veya durur ve bitki büyümesi yavaşlar. Bununla birlikte, kuraklık stresi hücre büyümesini hücre bölünmesinden daha fazla etkiler. Kuraklık altındaki bitki büyümesi, değişen fotosentez, solunum, translokasyon, iyon alımı, karbonhidratlar, besin metabolizması ve hormonlardan etkilenir.

Kuraklık Stresi		
FİZYOLOJİK TEPKİLER	BİYOKİMYASAL TEPKİLER	MOLEKÜLER TEPKİLER
• Kök sinyallerinin tanınması • Turgor kaybı ve ozmotik uyum • Azaltılmış yaprak suyu potansiyeli • Stoma iletkenliğinin azalması • İçsel CO₂ konsantrasyonunun azalması • Net fotosentezde azalma • Azalan büyüme oranları	• Fitokimyasal etkinlikte geçici azalma • Azaltılmış Rubisko etkinliği • Poliaminler, glutatyon, MDHA, askorbat ve α-tocopherol gibi stres metabolitlerinin birikmesi • SOD, KAT, APX, POD, GR, MDHAR gibi antioksidan enzimlerde artış • Azaltılmış reaktif oksijen türleri birikimi	• Strese duyarlı genlerin ekspresyonu • ABA biyosentez genlerinin artışı • LEA, DSP, RAB, denhidridinler gibi spesifik proteinlerin sentezi • Kuraklık stresi toleransı

Şekil 6. Bitkilerin kuraklık stresi koşullarında fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler tepkileri (Reddy vd., 2004)

Kuraklık stresinin indüklenmesi, bitkilerin kuraklık stresine verdikleri tepkiler bitki su kullanım etkinliğini artırma girişimi ve esas olarak terleme yoluyla su kaybını sınırlamaya yöneliktir. Kümülatif, belirgin olmayan etkisi ve çok boyutlu doğası kuraklık stresini bitki büyümesi ve gelişmesi için önemli bir sınırlayıcı faktör yapar.

1.2.1. Morfolojik, Anatomik ve Hücresel Değişiklikler

Bitki türlerinin çoğunda, su stresi yaprak anatomisindeki ve hücresel altyapısındaki değişikliklerle bağlantılıdır. Yaprak yüzey alanının azalması, stoma sayısında azalma; yaprak hücre duvarlarının kalınlaşması, yaprak yüzeyinin kütinleşmesi ve iletken sistemin az gelişmiş olması, büyük damarların sayısında artış, sukkulent ve kserofit bitkilerde stoma batması, tahıllarda tüp yaprakların oluşumu ve erken yaşlanmanın indüklenmesi diğer morfolojik değişikliklerdir (Rahman ve Hasegawa, 2012).

Kuraklık stresi koşullarında, kök kuru ağırlığı ve uzunluğu azalmasına rağmen, su emilimini kolaylaştırmak ve ozmotik basıncı korumak için kök-sürgün oranı artar. Kuraklık stresi koşullarında daha artan kök-gövde oranı, köklerin ve sürgünlerin ABA içeriği ile ilişkilendirilmektedir.

Kuraklık stresi koşullarında, bitkinin yaprak büyümesini, toplam yaprak alanını ve sayısını azaltarak; su tasarrufu ve organizmanın çevresel değişikliklere uyum kapasitesini artırdığı gözlenebilir de fotosentezi azaltarak mahsul veriminin düşmesine neden olur.

1.2.2. Bitki Büyümesi ve Verimliliği

Bitkinin su potansiyelindeki azalmalar, hücre bölünme hızı ve temel olarak turgor kaybı nedeniyle bitki büyümesini ve üretkenliğini azaltır (Kiani vd., 2007). Kuraklık altında, organlar değişen derecelerde tepki gösterse de tüm bitki organlarında fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerin kuraklığa bağlı inhibisyonu, biyomoleküllerin konsantrasyonunu, büyümeyi olumsuz yönde etkiler ve bu da sonuçta bitkilerin biyokütlesinde azalmaya neden olur (Esmailpour vd., 2015). Bitkiler, solunumun, ATP oluşumunun ve elektronların taşınmasının engellenmesine yol açan kuraklık koşulları altında çimlenme ve büyüme aşamaları ciddi şekilde etkilenir. Bitki büyümesi, bir bitkinin iki ana organı olan kök sistemi ve sürgünün kaynakları arasındaki işlevsel dengenin kurulması, meristematik hücre bölünmeleri, hücre uzaması ve farklılaşma aşamalarını içeren hacim, boyut veya ağırlıktaki artışın sonucudur. Turgor basıncındaki azalma nedeniyle hücre büyümesi kuraklığa en duyarlı fizyolojik süreçlerden biridir (Hussain vd., 2009). Şiddetli kuraklık altında, yüksek bitkilerin hücre uzaması, ksilemden çevredeki uzayan hücrelere su akışının kesilmesiyle engellenebilmektedir (Nonami, 1998). Bozulmuş mitozla neden olan kuraklık hücre uzaması ve genişlemesi, büyüme ve verim özelliklerinin azalmasına neden olmaktadır (Hussain vd., 2009).

Hücre hacminin büyük bir bölümünü oluşturan, taşıma ortamı olan, hücresel reaksiyon ve işlemlerde çözücü görevi ve yapılarının kararlı olmalarını sağlayan fonksiyonel özelliğinden dolayı suyun hücreden uzaklaşması, hücredeki regülasyon ve metabolizmayı bozar. Hücrede su kaybı sırasında yüklü partiküller veya yüzeyler birbirine doğru yaklaşır. Bu durum çözünebilir iyonize asidik ya da bazik madde konsantrasyonlarının artışına ve hücre pH'sında değişimlere neden olur (Kadioğlu, 2016). Moleküler bozulmalara yol açarak biyokimyasal olaylarda değişimlere neden olan artan iyon birikimi normal çift tabakalı yapının; membran bütünlüğünün, seçiciliğinin, hücresel bölünmenin bozulmasına ve birincil olarak membran bazlı olan

enzimlerin aktivite kaybına neden olur. Membran hasarına ek olarak, sitosolik ve organel proteinin azalan aktivitesi veya dehidrate edildiğinde tamamen denatürasyonu ile sonuçlanabilmektedir (Simova-Stoilova vd., 2020). Proteinlerin denatürasyonları, dokularda amino asitler birikmesine, enzim aktivitesinin azalmasına, ABA artışına ve dokularda bitkinin metabolik dengenin bozulmasına ve suyun yukarı doğru çekilmesine engel olan toksik miktarda amonyak (NH_3) birikmesine neden olur (Bray, 1997). Kuraklık stresinin sonucu olarak fotosentez, azot asimilasyonu, protein sentezi ve diğer bir çok proses olumsuz etkilenirken protoplazmanın dehidrasyonuna bağlı olarak yüksek hücresel elektrolit konsantrasyonu da hücresel metabolizmanın bozulmasıyla ve DNA ve RNA nükleik asitlerinin yıkımı ile sonuçlanabilmektedir (Rao vd., 2006).

1.2.3. Mineral Besin Alınımı

Azot (N), fosfor (P), potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) iyonu, çok sayıda temel bitki mekanizmalarında rol oynayan inorganik besin elementleridir (Ashraf vd., 2011). Genel olarak bitki büyümesi ve biyokütle üretimi için kullanılan besin ve minareller; çözünmeleri ve yer değiştirmeleri için suya ihtiyaç duyarlar (Singh ve Singh 2004).

Azalan toprak suyu mevcudiyeti, birçok bitki besin maddesinin difüzyon oranını ve son olarak toprak çözeltisinin bileşimini ve konsantrasyonunu etkiler (Singh ve Singh 2004). Kuraklık stresi altında bitki tarafından besin alımındaki azalma, azalan terleme ve bozulmuş aktif taşıma ve zar geçirgenliği nedeniyle kök emme gücünün azalmasına neden olur (Tanguilig vd., 1987). Sınırlı su temini ile toprak-su potansiyelindeki bir düşüş, besinlerin toprak matrisi ile kök yüzeyi arasındaki difüzyon hızını yavaşlattığı için, kökler tarafından besin alımı azalır (Farooq vd., 2009a).

Üstelik stres durumunda, toprakta yeterli miktarda besin kaynağı bulunsa dahi, kök morfolojisi ve köklerin besin emme kinetiği değiştiği için kök tarafından alınımı ve taşınımı genel olarak engellendiği belirtilmektedir (Garg, 2003).

Kuraklık altında su mevcudiyetinin azalması, besin alımını, taşınmasını ve dağıtımını etkileyerek, iyon homeostazını bozar ve bitki dokularındaki mineral besin konsantrasyonlarının azalmasını (Fageria vd., 2002), bitki büyümesini ve dolayısıyla üretkenliğinin azalmasına yol açar. Kuraklık stresi altında besin asimilasyonunda yer alan bozulmuş enzim aktivitesi de besin alımında bozulmalara neden olarak, birçok

bitki için yaşamsal reaksiyon olan fotosentez, solunum gibi metabolik aktivitelerde bozulmalar meydana getirir.

Kalsiyum, bitki zarı ve diğer yapıların yapısal ve fonksiyonel bütünlüğünde önemli bir rol oynar. Kuraklık stresi altında birçok bitkide, bitki Ca^{+2} içeriğinde azalmalar gerçekleştiği rapor edildi. Örneğin, kuraklık stresi altındaki mısır fideleri yapraklarında Ca^{+2} 'de yaklaşık %50 azalma olurken, köklerde Ca^{+2} konsantrasyonu kontrole kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Nayyar ve Walia, 2003).

Potasyum (K) önemli bir besin maddesidir ve su ilişkisinde, ozmotik uyumda, stoma hareketinde ve son olarak bitkinin kuraklığa karşı direncinde önemli bir rol oynar. Kuraklık stresi durumundaki birçok bitki türünde, esas olarak zar hasarı ve iyon homeostazındaki bozulma nedeniyle K^{+} konsantrasyonunda azalma gerçekleştiği belirtilmektedir. K^{+} eksikliği olan bitki kuraklık stresine karşı daha düşük dirence sahiptir (McWilliams, 2003).

Azot metabolizması, bitki büyümesini ve performansını etkileyen en önemli faktördür. N-metabolizmasındaki bozulma, kuraklık stresi koşullarında önemli metabolik yaralanmalar oluşmasına neden olmaktadır (Subramanian vd., 2006; Costa vd., 1997). Bazı çalışmalar, kuraklık stresi altında nitrat alımının azaldığını ve nitrat redüktaz aktivitesinde azalma olduğunu göstermiştir (Ashraf ve Iram, 2005).

1.2.4. Fotosentez

Kuraklık stresi, su içeriğinin azalması, azalan yaprak su potansiyeli ve turgor kaybı, stomaların kapanması ve hücre büyümesinde azalma ile karakterize edilir. Şiddetli su stresi fotosentezin durmasına, metabolizmanın bozulmasına ve son olarak bitkinin ölümüne neden olabilir (Jaleel vd., 2008).

Bitkiler terlemeyi önlemek için stomalarını kapalı tutma eğilimindedir, ancak aynı anda gaz değişiminin bloke edilmesi fotosentetik oranının düşmesine neden olur (Cornic, 2000). Bununla birlikte, fotosentez hızı, topraktaki su mevcudiyeti azaldığında genellikle bitki büyümesini sınırlar (Huang ve Fu, 2000). Fotosentez, büyüme ve gelişme için gerekli olan şekerleri sentezlemenin tek yoludur (Chaves vd., 2009). Aynı zamanda süperoksit ve hidroksil radikalleri gibi ROT üretimi yoluyla fotosentetik aparatın zarar görmesi söz konusudur.

Fotosentez sadece stoma açılıp kapanmasına bağlı olmamakla birlikte azalan düşük su potansiyeli, karboksilasyon etkinliği, fotosentetik metabolitler, ışık reaksiyonları, elektron taşınımı gibi, metabolik süreçlerin inhibisyonu kloroplast aktivitesinin inhibisyonu veya bu işlemi etkili bir şekilde yürütmek için gerekli olan temel fotosentetik enzimlerin bozulmuş aktiviteleri kuraklık altında fotosentez oranlarının düşmesine neden olur (Flexas vd., 2004).

Kuraklık stresi altında yapraklarda klorofil sentezi engellenerek klorofil içeriği azalmaktadır. Klorofil sentezinin inhibisyonu birbirini takip eden dört aşamada gerçekleşir. Bunlardan ilki 5-aminolevulinik asit (ALA) oluşumudur. İkicisi protoklorofilete dönüşen porfobilinojen ve birincil tetrapirole ALA yoğunlaşması, protoklorofilidin ışığa bağlı olarak klorofilide dönüşümü ve son olarak klorofil a ve b'nin sentezi ve bunların fotosentetik aparatın gelişen pigment-protein komplekslerine dahil edilmesi ile gerçekleşir.

Karotenoid ve ksantofillerin ise kuraklığa klorofilden daha az duyarlı olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte kuraklık stresi altındaki bitkiler üzerinde koruyucu bir role sahip, ROT üretimini inhibe edici rolü olan, zeaksantin ve anteraksantin gibi ksantofil pigmentlerinde artış gözlemlendiği belirtilmektedir.

Yapraklarda karbon metabolizması için anahtar enzim olan Rubisco, Calvin döngüsünde bir karboksilaz ve fotorespirasyonda bir oksijenaz olarak işlev görür. Araştırmalar, kuraklık stresi sırasında ribuloz-1,5-bifosfatın (RuBP) ve rubisco protein seviyesindeki azalmanın, enzimin aktivitesinin düşmesine neden olduğu ve kuraklığa maruz kalan bitkilerde büyüme ve verimin azalmasına neden olan fotosentetik CO₂ asimilasyonunu engellediğini belirtmektedir (Flexas ve Medrano 2002; Li vd., 2017).

Kuraklık stresi, fotosentez reaksiyonu sırasında döngüsel ve döngüsel olmayan elektron taşıma türlerini olumsuz etkilenmesine neden olur. Düşük elektron taşıma hızı, fotofosforilasyon sürecini olumsuz etkiler ve ATP sentezinin yanı sıra NADP⁺ indirgenmesini azaltır. Su eksikliği altında ATPaz inhibisyonu, kloroplastlardaki ATP seviyelerinin azalmasından da sorumludur. Tüm bu faktörler, su stresi koşulları altında fotoasimilasyonun yoğunluğunu ve fotosentetik aparatın kararlılığını kümülatif olarak etkiler.

1.2.5. Protein Sentezi

Kuraklık koşulları, bitki proteinlerinde nicel ve nitel değişikliklere neden olur. Genel olarak, proteinler, bitkilerde belirgin olarak, baskılanmış sentez nedeniyle kuraklık sırasında azalır. Kuraklık stresi, gen ekspresyonunu ve sonuç olarak proteinlerin ve mRNA'ların sentezini değiştirir. Strese yanıt olarak başlıca bazı proteinler, dehidrinler, proteazlar, çeşitli osmoprotektanların biyosentezi için gerekli enzimler ve detoksifikasyon enzimleri (SOD, KAT, APX, POD, GR) sentezlenir. Ek olarak, protein kinazlar ve transkripsiyon faktörleri gibi sinyal iletimi ve gen ekspresyonunun düzenlenmesinde yer alan protein faktörleri de sentezlenir. Bu stres tepkisi proteinlerinin çoğu, su stresi altındaki fidelerin yanı sıra birçok yüksek bitkinin tohum üretimi ve embriyo olgunlaşması sırasında biriken dehidrin benzeri proteinlerdir (Boyer, 1982). Bu proteinler, makromoleküler stabilizasyon için gerekli olan hidrofobik etkileşimlere bağlanan yüksek oranda korunmuş etki alanına sahiptir.

Enzimler, lipidler ve mRNA'lar gibi makromoleküllerin dehidrasyondan korunması, stres kaynaklı proteinlerin bilinen işlevlerindendir. Ayrıca proteinlerin ve zarların stabilizasyonunda ve stres koşullarında proteinin yeniden katlanmasına yardımcı olmada önemli rolleri vardır (Gifford, 2003).

Kuraklık stresi, membran lipidleri ve proteinleri arasındaki ilişkinin yanı sıra enzim aktivitesi ve membranların taşıma kapasitesinin bozulmasına yağ asidi bileşiminin değişmesine neden olabilir (Taiz ve Zeiger, 2008).

1.2.6. Solunum

Solunum, bitkilerin verimini ve büyümesini azaltan şiddetli su eksikliğinden etkilenen başka bir fizyolojik süreçtir. Kuraklık stresi sırasında, yaprak genişlemesindeki azalma, bozulmuş fotosentetik mekanizma, erken yaprak yaşlanması, proteinlerin yapısındaki değişiklikler, kloroplast pigmentlerinin ve lipidlerinin oksidasyonu; bitkilerinin gaz değişim parametrelerini ciddi şekilde engellemektedir (Menconi vd., 1995).

Fotosentezin yanı sıra bitkinin tüm kısımları tarafından sürekli olarak gerçekleşen gaz değişim faaliyetleri bitkilerin büyümesi ve hayatta kalması için gerekli solunum faaliyetlerini gerçekleştirir (Gifford, 2003). Solunum yoluyla

kaybedilen karbonhidrat miktarı, bitkinin genel metabolik etkinliğini belirler (Taiz ve Zeiger, 2008). Solunum hızı çoğunlukla kullanılan solunum ürünlerine bağlı olarak düzenlenir. ATP, NADH ve Krebs Döngüsü bileşenlerinin azalması, stres altındaki bitkilerde solunum hızının azalmasına yol açarak bitki büyüme ve hayatta kalma faaliyetlerini sınırlandırır (Gifford, 2003).

1.2.7. Kuraklık Stresinin Oksidatif Etkileri

Bitkilerde oksidatif etki, çeşitli stres koşullarında aşırı miktarda üretilen reaktif oksijen türlerinin (ROT) (singlet oksijen ($^1O_2$), süperoksit radikali ($O_2^{\bullet-}$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikallerini ($OH^{\bullet}$)) oluşumunu içerir. Reaktif oksijen türleri membranlar, protein, lipid, karbonhidrat ve nükleik asitler gibi makromoleküllerle reaksiyona girerek hücrel metabolizmayı etkiler ve kuraklık stresi altında hücrel hasara neden olmaktadır (Smirnoff, 1993). Bu durumun ürün kayıplarının, tarımsal verimlilikteki azalmanın temel kaynağı olduğu düşünülmektedir (Kaiser, 1976).

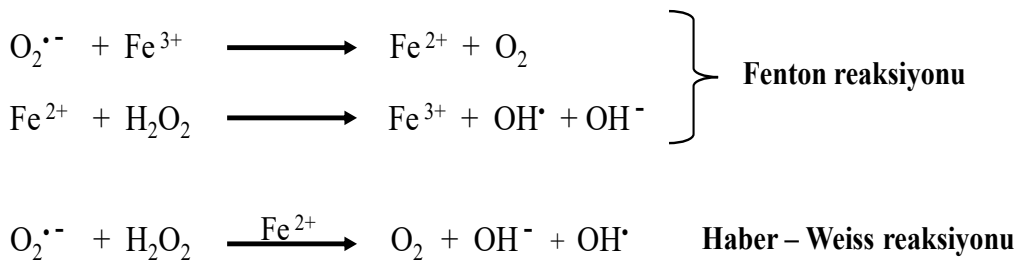
Kuraklık, ışığın tutulması ile kullanımı arasında bir dengesizlik yaratır ve bu da yapraklarda fotosentezi engeller. Bu süreçte elektronların üretimi ve kullanımı arasında dengesizlik oluşur. Fotosentetik aparatındaki fazla ışık enerjisinin dağılması, reaktif oksijen türlerinin (ROT) oluşmasına neden olur. İşlevsel ve yapısal makromoleküllerin denatürasyonu, hücrelerde ROT üretiminin iyi bilinen sonuçlarıdır. DNA bozulması, amino asitler, protein ve fotosentetik pigmentlerin oksidasyonu ve lipid peroksidasyonu, ROT'un etkileri arasındadır.

Temel haldeki atmosferik oksijenin özellikleri diğer gaz elementlerinkinden farklıdır. Çünkü oksijen biradikaldır yani çiftleşmemiş iki elektron ihtiva eder. Bu özellik aktive olmaksızın organik moleküllerle oksijenin reaksiyona girmesini engeller. Ancak bu eşleşmemiş elektronların varlığından dolayı oksijen yüksek bir indirgenme potansiyeline sahip olan çok güçlü bir oksidandır ve kolaylıkla başka radikallerle reaksiyona girebilir. Oksijenin toksikliği, elektron ve enerjinin oksijen molekülüne transferinden kaynaklanır. Bu olayların her ikisi de toksik oksijen radikallerinin oluşumuna neden olur. Toksik oksijen radikalleri reaktif oksijen türleri (ROT) olarak da adlandırılırlar.

Her türden kimyasal ve biyokimyasal tepkime atomların dış orbitallerindeki elektronlar sayesinde gerçekleşir. Oldukça reaktif olan serbest radikaller eşlenmemiş elektron içeren moleküllerdir. Dış orbitallerinde paylaşılmamış elektron bulunması serbest radikallerin reaktivitesini arttırdığı için, serbest radikaller kimyasal aktifliği yüksek moleküllerdir. Bu radikaller; plazma membranı, mitokondri, ER membranlarında da oluşabilir (Mckersie ve Leshem, 1994).

Suyun kısıtlı olduğu durumlarda, vejetatif bitki dokularında oksidatif stresin en yaygın nedeni kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleri diye düşünülmektedir (Farrant, 2000). Su kısıtlı hale gelirken, bitki daha fazla su kaybetmemek için, genelde, stomalarını kapatır; bu da fotosentezle fiksasyon için gerekli CO₂'nin alımının kısıtlanmasına neden olur ve kuantum verimini azaltır. Böylece fotosentezdeki elektron akseptörü NADP⁺ kısıtlı hale gelir ve ferrodoksin NADP yerine oksijeni indirger. PS I 'in elektronları O₂'ye transferi sonucunda reaktif süperoksit radikalli (O₂^{•-}) üretilir (Mehler reaksiyonu) (Mehler, 1951; Kadioğlu, 2016). Bu durumda oluşan reaktif oksijen türleri hücrel makromoleküllerle direkt ya da indirekt olarak etkileşime girerek oksidatif stresi meydana getirebilir (Foyer vd., 1994).

Birçok türde kuraklık stresi altında artan O₂^{•-} oluşum hızı; lipid peroksidasyonuna, yağ asidi doymunluğuna ve sonuçta membranların bütünüyle zarar görmesine neden olur (Sgherri vd., 1996). Ayrıca süperoksit, hidrojen peroksit (H₂O₂) ile daha reaktif olan hidroksil radikali (OH[•]) oluşturmak suretiyle de etkili olur (Halliwell ve Gutteridge 1989). Hidrojen peroksit ve süperoksitin hidroksil radikalini oluşturmak üzere tepkime sırasında (Haber-Weiss reaksiyonu), artan demir ya da bakır gibi diğer geçiş metalleri, bu reaksiyonları hızlandırmak adına oksidatif hasarıda artırabilir (Fenton reaksiyonu) (Şekil 7).



Şekil 7. Haber-Weiss ve Fenton reaksiyonu (Smirnoff, 1993)

Bunların yanı sıra, fotosistem II (PSII)'deki suyu parçalayan bölgede de serbest radikal oluşabilir. Sonuç olarak serbest radikaller hem indirgen hem de yükseltgen olarak bazen de her iki etkiyi birlikte göstererek hücre hasarına neden olurlar.

1.3. Kuraklık Direnç Mekanizmaları

Bitkiler, gen ifadesindeki geçişler dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik, biyokimyasal, anatomik ve morfolojik değişikliklerle kendilerini kuraklık koşullarına adapte ederler. Bitkilerin tüm bitki düzeyinde kuraklığa verdiği tepki oldukça karmaşıktır ve zararlı, adaptif değişiklikler içerir. Bu karmaşıklık, bitki türleri ve çeşitliliği, topraktaki su tüketiminin dinamiği, süresi ve yoğunluğu, atmosferden gelen su talebindeki değişiklikler, çevresel koşullar, ayrıca bitki büyümesi ve su eksikliğinin meydana geldiği fenolojik durum gibi bazı faktörlerden kaynaklanmaktadır.

Kurak bölgelerde, karasal bitkiler şiddetli kuraklık koşullarında su stresine direnmek için çeşitli stratejiler geliştirmiştir. Kapalı tohumlularda, su kıtlığını önlemenin en yaygın mekanizması çimlenme zamanlamasının kontrolüdür. Kaktüsler gibi sukkulentler, su depolamak için doku modifikasyonlarına sahiptir ve Okaliptüs kökleri, mevcut suya ulaşmak için toprağın derinliklerine nüfuz eder. Bu örnekler, yaprak ve gövde gibi vejetatif organlardaki değişiklikleri de içeren, bir bitkinin su kaybını önleme stratejisinin bir parçasıdır (Sgherri vd., 2002).

Kuraklık koşullarında bitkiler üretkenliğini en üst düzeye çıkarmak için organlarının ve hücrelerinin morfolojisini, fizyolojisini ve metabolizmasını optimize eder. Bitkilerin su stresine tepkileri, stresin yoğunluğuna ve süresine, bitki türüne ve gelişme aşamasına bağlı olarak çeşitli organizasyon düzeylerinde önemli ölçüde farklılık gösterir. Bitkiler, stres kaynaklı kayıpları en aza indirmek için belirli morfolojik ve fizyolojik değişikliklere uğrar ve mahsul türleri arasında ve hatta türler içinde önemli ölçüde esneklik mevcuttur. Azalan biyokütle, kuraklık altında yaygın bir olgudur; ancak, farklı bitki organları farklı şekilde etkilendiğinden, azalmanın boyutu değişir (Liu vd., 2012). Bitkide stres direnci, stres toleransı ve stresten kaçınma olmak üzere iki kategoriye ayrılır.

Kuraklıktan kaçınma, bir bitkinin kuraklık altında yüksek bitki su durumunu veya hücresel hidrasyonu sürdürme yeteneğidir (Blum, 2005). Bitkiler bu mekanizmayı ya topraktan daha fazla su yakalayarak ya da terleme yoluyla su kaybını

en aza indirerek gerçekleştirirler (Blum, 2005). Kuraklıktan kaçınma genellikle bitkide azalan stoma iletkenliği, azalan yaprak alanı, yaygın kök sistemlerinin gelişmesi ve kök/gövde oranlarının artması gibi morfolojik değişikliklerle sağlanır (Lei vd., 2006). Artan stoma ve kütikular direnç, daha küçük stoma, daha küçük yaprak alanı ve yaprak kıvrırma yönelimi, stres koşullarında su tasarrufu yapmak için terlemeyi en aza indirmek için başlıca kuraklıktan kaçınma özellikleri arasındadır (Sinclair ve Muchow 2001; Wang ve Yamauchi 2006; Sağlam vd., 2014). Bununla birlikte, azaltılmış yaprak alanı ve bitki boyu, sınırlı su kullanımı için avantajlıdır ancak aynı zamanda mahsul bitkilerinin üretkenliğinin düşmesine neden olabilir (Sinclair ve Muchow 2001).

Öte yandan, kuraklık toleransı, bitkinin düşük doku suyu potansiyellerinde bile normal fonksiyonlarını sürdürme dokuya özgü fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler mekanizmalarla sağladığı, kararlılığıdır. Kuraklığa dayanıklı bitkilerin dehidrasyon süreci, su ilişkisindeki, biyokimyasal ve fizyolojik süreçteki, zar yapısındaki ve hücre altı organellerin yapısındaki temel değişikliklerle karakterize edilir. Bu bitkiler, suyu daha fazla kullanmak için stomaların kapanması, dokuların kısmen yaşlanması, yaprak büyümesinin azalması, su depolama organlarının gelişmesi, kök uzunluğunun ve yoğunluğunun artması gibi düşük su potansiyelinde metabolik aktiviteleri sürdürürler.

Bitkilerin kuraklık stresine erken tepkileri genellikle bitkinin bir süre hayatta kalmasına yardımcı olur. Bitkinin kuraklığa alışması, kuraklık stresi altında bitkinin işleyişini iyileştirmek için yapısal yeteneklerle ilişkili bazı yeni metabolitlerin birikmesiyle gösterilir. Bitkiler osmoprotektanlar yoluyla ozmotik ayarlama gibi belirli fizyolojik aktiviteler yoluyla şiddetli dehidrasyona dayanabilirler (Luo, 2010). Bitkinin suya verdiği tepkilerin ana yönleri, homeostazın (iyonik denge ve ozmotik ayarlama) korunmasını, antioksidan savunma sistemi ve fitohormonların değişen dinamiklerini içerir.

1.3.1. Ozmotik Ayarlama

Kurak ortamlarda yetersiz su mevcudiyeti, doku su durumunu ve turgoru düşürerek mahsullerin büyümesini ve üretkenliğini azaltır (Kiani vd., 2007). Osmotik ayarlama veya osmoregülasyon olarak adlandırılan kuraklık stresi altında bitkinin; organik ve inorganik çözünenleri biriktirmesi, kuraklığın neden olduğu hasarın

etkilerini en aza indirmek için hücresel düzeyde başvurdukları temel adaptasyonudur (Blum, 2005). Osmotik ayarlama verimli CO₂ alımı için stoma iletkenliğini iyileştirmek üzere yaprak turgorunun korunmasına yardımcı olur (Kiani vd., 2007) ve kökün daha fazla su alma yeteneğini destekler (Chimenti vd., 2006).

Homoeostazı düzenleyen düşük moleküler ağırlığa sahip, çözünen maddeler ozmoprotektanlar olarak adlandırılan koruyucu moleküllerdir. Turgor basıncını korumaya yardımcı olmakla kalmayan ozmoprotektanlar, aynı zamanda hücrelerin enzimlerini ve makromoleküllerini ROT'un zararlı etkilerinden korurlar (Farooq vd., 2009a). Daha yüksek konsantrasyonlarda dahi zararlar, enzimler ve diğer makromoleküller üzerinde herhangi bir zararlı etki oluşturmazlar (Kiani vd., 2007).

Ozmoprotektanlar arasında amino asitler (prolin, glisin-betain), şekerler (trehaloz, fruktan), şeker alkoller (mannitol, sorbitol, D-ononitol), aminler ve poliaminler, polioller, ektoin, trehaloz ve inorganik iyonlar dahil olmak üzere çok sayıda organik bileşik bulunur (Singh vd., 2015).

Kuraklık altında, serbest prolin, serbest amino asitler ve glisin-betain (GB) gibi uyumlu solütlerin daha fazla birikmesi gerçekleşen fizyolojik tepkileri arasındadır (Farooq vd., 2009a). Prolin, dehidrasyon stresine maruz kalan bitkilerde, özellikle genç yapraklarda biriken önemli bir uyumlu çözünenidir. Yüksek düzeyde serbest prolin, bitkinin düşük su potansiyellerini korumasına ve suyu çevreden almasına olanak sağlar. Sadece osmoregülasyonda yer almaz, aynı zamanda bitkileri ozmotik stresten korur (Sankar vd., 2007).

Esansiyel bir amino asit olan prolin, hücrelerin ozmotik potansiyelini korumada ve onları şiddetli dehidrasyondan korumada kilit bir rol oynar (Zhang vd., 2009; Anjum vd., 2011). Daha yüksek prolin seviyeleri, kuraklığın olumsuz etkilerinin üstesinden gelmeye yardımcı olur ve ayrıca ROT'un hücrelere verdiği hasarı en aza indirir. Prolin seviyesi, bitkilerin kuraklığı tolere etme yeteneği ile ilişkilidir; dolayısıyla, prolin seviyesi ne kadar yüksek olursa, bitki kuraklığa o kadar dayanıklı olacaktır (Man vd., 2011). Bitkilerde bulunan diğer amino asitlerle karşılaştırıldığında prolin, su eksikliği koşullarında çok daha yüksek seviyelerde biriken amino asittir (Zhang vd., 2009). Prolin, hücresel redoks potansiyelinin tamponlanmasında kilit rol oynar (Kaur ve Asthir, 2015).

GB'nin osmoregülasyondaki işlevine ek olarak fotosentetik aparatın işlevsel proteinlerini, enzimlerini ve lipidlerini koruduğu ve tilakoid zarlardan elektron akışını sürdürdüğü gösterilmiştir (Xing ve Rajashekar, 1999). Bu nedenle, yapraklarda antioksidan enzimlerin daha yüksek aktivitesi ile birlikte çeşitli organik ve inorganik çözünenleri biriktirerek ozmotik ayarlama, kuraklığa eğilimli koşullarda yetişen bitkilerin zorunlu fizyolojik adaptasyonları arasındadır (Lei vd., 2006).

Bu adaptasyon, bitkilerin kuraklık koşullarına daha dayanıklı hale gelmesine ve bitkilere daha az zarar vermesine neden olmuştur. Birçok çalışma, ozmotik uyum ile bitki büyümesi ve veriminin bir şekilde birbiriyle ilişkili olduğunu bildirmiştir (Guóth vd., 2010).

1.3.2. Antioksidan Savunma Sistemi

Kuraklık altında sınırlı su kaynağı, ROT'un aşırı üretimi ile oksidatif stresi teşvik eder. Stoma kapanması ile azalan CO₂ akışını, enzim ve fotosentez etkinliğini azaltır. O₂⁻, H₂O₂, OH[•] ve ¹O₂ gibi çeşitli ROT'ların oluşumuna yol açar (Lawlor ve Cornic, 2002).

Bitkiler, kuraklığın neden olduğu oksidatif stres altında metabolik aktivitelerinin devamı ve oksidatif stresin zararlı etkilerini en aza indirmek için enzimatik veya enzimatik olmayan kendi savunma mekanizmalarını kullanırlar (Horváth vd., 2007).

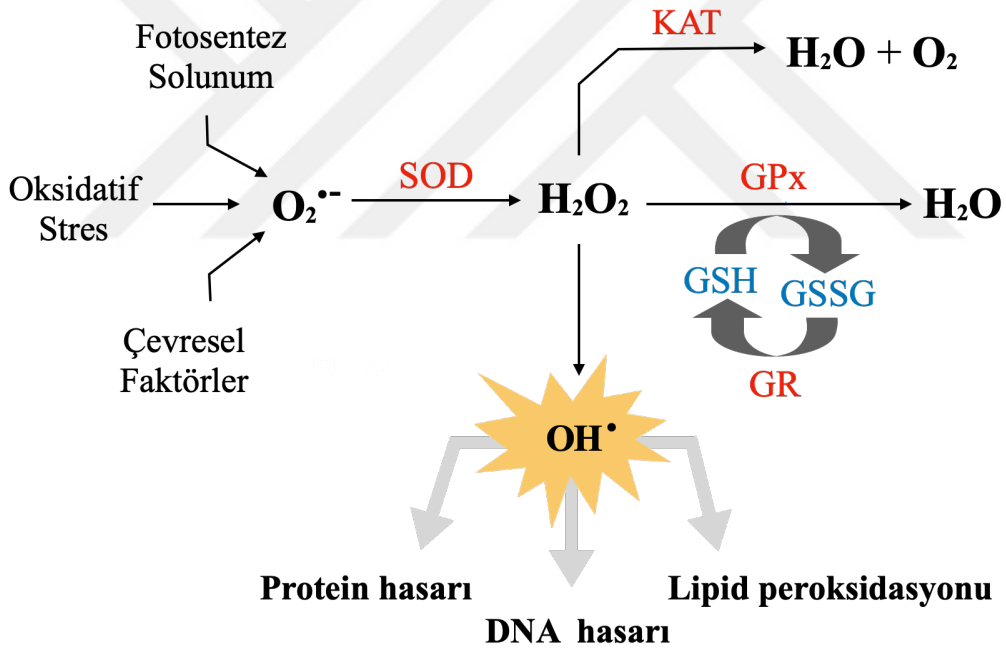
Enzimatik antioksidanlardan süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (KAT), peroksidaz (POD), glutatyon redüktaz (GR) ve askorbat peroksidaz (APX) ve enzimatik olmayan antioksidanlar, askorbik asit, α-tokoferol, indirgenmiş glutatyon, β-karoten, PA'lar, salisilatlar, prolin ve GB gibi uyumlu solütler ve zeaksantin, kuraklık stresi altındaki bitkilerde oksidatif zararları önlemek için üretimini artırır (Scandalios, 2005; Li, 2008).

ROT üretimi ile antioksidan enzim aktiviteleri arasında oluşacak denge, oksidatif sinyalleşme ve hasarın oluşup oluşmayacağını belirler (Moller vd., 2007). Enzimatik olmayan antioksidanlar, oksidatif stres altında fotosentetik membranların bütünlüğünü korumak için iş birliği yaparlar. Enzimatik bileşenler doğrudan ROT'u temizleyebilir veya enzimatik olmayan bir antioksidan üreterek hareket edebilir. Bitki

hücrelerinde $O_2^{\bullet-}$ ve H_2O_2 'nin verimli bir şekilde yok edilmesi, antioksidanların uyumlu etkisini gerektirir.

$O_2^{\bullet-}$, kloroplast, mitokondri, sitoplazma ve peroksizomda SOD tarafından H_2O_2 'ye dönüştürülebilir. POD, SOD tarafından katalize edilen $O_2^{\bullet-}$ 'nin dismutasyonu yoluyla üretilen H_2O_2 'nin temizlenmesinde kilit bir rol oynar. KAT, mitokondri ve mikrocisimlerde H_2O_2 'yi ortadan kaldıran ana enzimdir (Shigeoka vd., 2002) ve böylece oksidatif stresin zararlı etkilerini iyileştirmeye yardımcı olur. Peroksizomlarda bulunur, ancak stres sırasında H_2O_2 'nin ayrıştırılması için vazgeçilmez kabul edilir.

$O_2^{\bullet-}$ 'nin H_2O_2 'ye dönüştürülebileceği ve daha sonra bitkilerde zar yapılarını korumak için APX, GPx ve GPX tarafından suya metabolize edilebileceği genel olarak kabul edilmektedir (Foyer ve Fletcher, 2001) (Şekil 8).



Şekil 8. ROT temizleme mekanizmasında antioksidan enzimlerin rolü (Eckert, 2003)

Antioksidan enzim aktivitelerinin daha yüksek seviyede tutulması, oksidatif hasara karşı kapasiteyi artırarak kuraklık stresi etkisinin azaltılmasına katkıda bulunabilir (Sharma ve Dubey, 2005). Ayrıca antioksidan enzimlerin ROT'u temizleme ve zarar verici etkileri azaltma kapasitesi, bitkilerin kuraklık stresine direncinin göstergesi olarak kabul edilmektedir.

1.4. Poliaminler ve Abiyotik Streslerle Bağlantıları

İklim değişikliği de dahil olmak üzere çevresel stresler, özellikle küresel ısınma, dünya çapında bitki büyümesini ve üretkenliği ciddi şekilde etkiliyor. Başlıca mahsullerin verim potansiyelinin üçte ikisinin, olumsuz çevresel faktörler nedeniyle rutin olarak kaybolduğu tahmin edilmektedir. Öte yandan, dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 10 milyara ulaşacağı ve bunun da ciddi gıda kıtlığına sebep olacağı tahmin ediliyor. Bu nedenle, artan dünya nüfusunu beslemek için canlılığı artırılmış ve çeşitli çevresel faktörlere karşı yüksek toleranslı ürünler geliştirilmelidir (Gill ve Tuteja, 2010; Hussain vd., 2011).

Modern tarımın karşı karşıya olduğu en büyük zorluk, olumsuz çevresel stresler altında mahsul verimini korumaktır. Bitkiler yerini değiştiremeyen sabit organizmalar oldukları için, hayat siklusu boyunca çeşitli çevresel streslere maruz kalırlar. Bitki gelişimi ve verimliliği, bu streslerden olumsuz şekilde etkilenmektedir. Küresel ısınma başta olmak üzere iklim değişikliği ile bu çevresel streslerin daha yoğun ve sık hale geleceği tahmin edilmektedir. Bitkiler, kuraklık, UV, yüksek tuzluluk, soğuk stresleri ve patojen saldırısını içeren çok sayıda çevresel stresle başa çıkmak için etkili savunma mekanizmalarına sahiptir. Poliaminlerin etkili bir savunma için gerekli oldukları düşünülmektedir.

Poliaminler (PA'lar), bitki büyümesi ve gelişiminin birçok sürecinde yer alan, bitki hücrelerinde nükleus dahil bütün hücre alt yapılarında bulunan, fitohormon benzeri alifatik amin doğal bileşikler grubudur (Hussain vd., 2011). Putresin (PUT), Spermidin (SPD) ve Spermin (SPM), yüksek bitkilerde en yaygın bulunan PA'lardır. Poliaminler serbest, çözünür konjuge ve çözünmeyen bağlı formlarda bulunabilirler. Yüksek bitkilerde, PA'lar ağırlıklı olarak serbest formlarında bulunur. Çözünür konjuge PA'lar, fenolik bileşikler gibi küçük moleküllere kovalent olarak konjuge olurken, çözünmeyen bağlı PA'lar, nükleik asitler ve proteinler gibi makromoleküllere kovalent olarak bağlanırlar. PA'lar fizyolojik pH'da katyon olarak bulunurlar. PA'ların bu polikasyonik yapısı, onların biyolojik aktivitelerini etkileyen önemli özelliklerinden birisidir. Pozitif yükleri sayesinde poliaminler, organizmalardaki asidik proteinler, membran fosfolipidleri ve nükleik asitler gibi negatif yüklü biyomakromoleküllere elektrostatik olarak bağlanabilirler (Igarashi ve Kashiwagi, 2015). Bu nedenle, PA'lar, DNA replikasyonu, transkripsiyon, translasyon, hücre

çoğalması, enzim aktivitelerinin düzenlenmesi, hücresel katyon anyon dengesi ve membran stabilitesi dahil olmak üzere birçok temel hücresel işlevin düzenlenmesinde yer alırlar. Ayrıca PA'ların hücre bölünmesi, yumruların dormansi kırılması ve tohumların çimlenmesi, çiçek tomurcuklarının uyarılması, desteklenmesi ve geliştirilmesi, embriyogenez, meyve oluşumu ve büyümesi, meyve olgunlaşması, bitki morfogenez ve abiyotik ve biyotik streslere cevap gibi çok çeşitli büyüme ve gelişim süreçlerinde önemli roller oynadığı gösterilmiştir (Bouchereau vd., 1999, Groppa ve Benavides, 2008). Poliaminler, asit nötralize edici ve antioksidan özelliklerinden dolayı yaşlanmayı önleyici ve stres önleyici etkilerinin yanı sıra membran ve hücre duvarı stabilize etme yetenekleriyle iyi bilinirler (Zhao ve Yang, 2008). Çalışmalar, poliaminlerin hücre büyümesi ve gelişimi gibi birçok fizyolojik süreçte yer aldığını ve çeşitli çevresel faktörlere karşı stres toleransına yanıt verdiğini göstermiştir. PA'ların, metal toksisitesi, oksidatif stres, kuraklık, tuzluluk ve soğuk stresi gibi çeşitli çevresel streslere karşı bitkilerin savunma tepkisini modüle etmede önemli roller oynadığı ileri sürülmüştür. Çevresel stres koşulları tarımsal açıdan önemli birçok bitkide büyük ürün kayıplarına neden olduğundan, bitkilerin stres tolerans mekanizmalarının çalışılması yoğun araştırmaların ana konusu olmuştur. Çoğu durumda, stres, serbest veya konjuge poliaminlerin birikmesine yol açmakta ve bu durum, poliamin biyosentezinin strese karşı bitki tepkisinin ayrılmaz bir bileşeni olarak hizmet edebileceğini göstermektedir (Bouchereau vd., 1999). Stres altında poliaminlerdeki artış, de novo sentez veya azalan parçalanmadan kaynaklanabilir, fakat kesin mekanizmanın ne olduğu bir tartışma konusu olmaya devam etmektedir. Birçok durumda, poliaminler ile bitki stres toleransı ilişkisi, poliamin oksidasyonunun uyarılmasının yanı sıra serbest, konjuge ve bağlı poliaminlerin üretimi ile bağlantılı olduğu kaydedilmiştir. Zapata vd. (2004) *Cucumis melo*, *Spinacia oleracea*, *Brassica oleracea*, *Beta vulgaris*, *Lactuca sativa*, *Lycopersicon esculentum* ve *Capsicum annum*'da tuzluluğun bitki büyümesi, etilen üretimi ve poliamin seviyeleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. PA seviyelerinin tuzlulukla değiştiğini ve çoğu durumda PUT'un, SPD ve/veya SPM artarken azaldığını bulmuşlardır. (SPD+ SPM) / PUT oranı tuzlulukla birlikte artan tüm türlerde tuzluluk toleransı artmıştır. PA üretimi ile ilgili olarak tuzluluğa farklı bitki türlerinin genel bir tepkisi olduğu, ancak etilen üretimi ile ilgili olmadığı gösterilmiştir. Liu vd. (2004) PEG uyguladıkları kuraklığa toleranslı ve duyarlı buğday çeşitlerinin yapraklarında

serbest poliamin miktarlarını belirlemişlerdir. Toleranslı buğday çeşidinde serbest SPM ve SPD artarken duyarlı olan çeşitte ise serbest PUT miktarının arttığını kaydetmişlerdir. Serbest SPD, SPM ve perklorik asit çözünmez bağlı PUT'un buğday fidelerinin osmotik stres toleransını kolaylaştırdığını ileri sürmüşlerdir. Ayrıca tuza duyarlılıkları farklı olan dokuz pirinç çeşidinin poliamin birikiminin çalışıldığı araştırmada, tuza toleranslı çeşitlerin daha yüksek miktarda SPD ve SPM biriktirmelerine karşın, tuza duyarlı olan çeşitlerde aşırı PUT ve düşük seviyelerde SPD ve SPM biriktiği kaydedilmiştir (Krishnamurthy ve Bhagwat, 1989).

Diğer bir abiyotik stres olan sıcaklık stresine maruz kalan bitkilerde de poliamin miktarlarında değişiklikler olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık stresinin yüksek ve düşük sıcaklık olmak üzere iki büyük kategorisi vardır. Düşük sıcaklık stresi de soğuk ve donma olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Yüksek sıcaklık stresi, Çin lahanasının yapraklarında PA sentezini önemli ölçüde etkilemiştir. 6 günlük yüksek sıcaklık uygulamasından sonra, toplam PA'lar ve PUT içeriklerinin arttığı ancak daha uzun süreli stres uygulandığında artışların devam etmediği kaydedilmiştir (Yang ve Yang, 2002). Yüksek sıcaklık stresi altında, PA'lar fotosentezi teşvik edebilir ve bitkilerin antioksidan kapasitesini ve ozmotik ayarlama yeteneğini artırabilir (Tian vd., 2012). Shao vd. (2015) yoncanın ısı toleransının daha yüksek SPD içeriği ve daha düşük PUT ve SPM içeriği ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. PA'ların bitkilerde birçok farklı işlevi vardır ve yüksek sıcaklık toleransının temel fizyolojik mekanizmaları bitki türleri arasında farklılık gösterir. Bu, çeşitli PA'ların neden yüksek sıcaklık stresi altında farklı bitki türlerinde farklı değişim modelleri gösterdiğini açıklar (Shao vd., 2015).

Poliaminler, sitolizi önlemek için hücre zarının fosfolipid bölgesine bağlanabilir ve soğuk direncini artırabilir (Li ve He, 2012). Bununla beraber, PUT ve bitki üşüme stresi arasındaki ilişki ile ilgili farklı görüşler vardır (Wu ve Yuan, 2008). Zhen vd. (2000) eksojen SPM uygulamasının, endojen SPM ve SPD miktarlarının yüksek seviyelerde kalmasını sağlarken, PUT birikimini önleyerek üşüme hasarını azalttığını ileri sürmüşlerdir. Diğer bir çalışmada, PUT birikiminin bitkilerin soğuğa karşı direnci ile pozitif ilişkili olduğu tespit edildiğinden, bitkilerin üşüme hasarına karşı bir savunma tepkisi olarak PUT'un birikebileceği görüşünü savunmaktaydı (Wang vd., 2003). Shen vd. (2000) soğuğa duyarlı ve dayanıklı salatalık çeşitleri

üzerinde yaptıkları çalışmada, üşüme stresi süresince soğuğa toleranslı olan salatalık çeşidinin yapraklarındaki SPD içeriğinin önemli ölçüde artarken, PUT ve SPM miktarlarının değişmediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca poliaminlerle ön muamele yapılan soğuğa duyarlı salatalık çeşidinde ise üşüme hasarının hafiflediğini belirlemişlerdir. He vd. (2002) salatalıkta, soğuk muamelesinden önce büyüme ortamına SPD ilave ettiklerinde, bitkinin tüm organlarındaki SPD içeriğinin arttığını ve soğutma sırasında PA havuzları önemli ölçüde azalmış olsa bile soğuğa toleransın arttığını kaydetmişlerdir. Bu nedenle, PA'ların soğuğa tepki olarak birikmesi üşüme hasarını önleyebilir ve ayrıca PA'ların seviyelerinin üşümeye maruz kalmadan önce yüksek olması, strese maruz kalma boyunca yüksek kalmasını sağlar.

Eksojen PA uygulamaları, PA sentez inhibitörleri ve transgenik yöntemler kullanılarak yapılan son çalışmalarda, PA'ların bitki gelişimindeki rolü ve etki mekanizmaları yoğun bir şekilde araştırılmıştır. Son yıllarda, arginin dekarboksilaz (ADC), ornitin dekarboksilaz (ODC), S-adenozilmetiyonin dekarboksilaz (SAMDC) veya spermidin sentaz (SPDS) gibi PA yolunun biyosentetik enzimlerini kodlayan birkaç genle ilgili yapılan çalışmalar, çeşitli bitki türlerinde çevresel stres toleransının poliamin metabolizmasının düzenlenmesiyle gelişebileceğini göstermiştir. Bu nedenle, ekin bitkilerinin poliamin biyosentetik yolları enzimlerini kodlayan genlerle genetik manipülasyonu, ekin bitkilerine daha iyi stres toleransı sağlayabilir. ADC, SPDS, ODC, SAMDC gibi poliamin biyosentez enzimlerini kodlayan genlerin aktarıldığı çeşitli transgenik bitki türlerinin çevresel streslere toleranslarının arttığı kaydedilmiştir. *Arabidopsis*'e *Cucurbita ficifolia*'dan bir SPDS cDNA'sı aktarıldığında elde edilen transgenik bitkiler, üşüme ve donma dahil olmak üzere çeşitli streslere karşı artan toleransla birlikte yapraklardaki SPDS aktivitesinde ve SPD içeriğinde önemli bir artış gösterdiler (Groppa ve Benavides, 2008). Ayrıca, yüksek SPM içeriği ve yüksek (SPD + SPM) / PUT oranı, mikorizal masson çamının (*Pinus massoniana*) kuraklığa dayanıklılığı ile ilişkilendirilmiştir (Xu vd., 2009). Yang vd. (2016) SPD ve SPM'nin buğdayda kuraklık stresinin engelleyici etkilerini azalttığını ve buğdayda tane doldurma ve kuraklık direncini teşvik ettiğini, PUT'un ise tam tersi etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. SPM üretemeyen *Arabidopsis* mutantının yüksek tuz ve kuraklığa karşı aşırı duyarlı olduğu, ancak bu duyarlılığın SPM ön muamelesi ile iyileştirildiği, PUT ve SPD ön muamelesinin etkisiz olduğu

belirlenmiştir. Dolayısıyla kuraklığa aşırı duyarlılığın SPM eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmüştür (Yamaguchi vd., 2007). Aşırı SPM üreten transgenik *Arabidopsis thaliana* (homolog bir SAMDC1 veya SPMS transgeni ile) bitkisinde, SPM miktarının artması savunmayla ilgili (biyotik/abiyotik stresler) genleri, sinyal yolu genlerini (örneğin, mitojenle aktive olan protein kinazlar – MAPK’ler) ve Absisik asit, Jasmonik asit ve Salisilik asit biyosenteziyle ilgili enzimlerin genlerini olumlu şekilde etkilemiştir. SPM ve PUT’un aşırı üretilmesi durumunda stresle ilgili gen ekspresyonunun pozitif olarak düzenlenmesi, PUT ve SPM’nin fonksiyonlarıyla örtüşen işlevleri olduğunu düşündürür. Bu durumun kuraklığa, tuza veya düşük sıcaklığa karşı tolerans için yaygın olduğu kaydedilmiştir (Minocha vd., 2014). *Datura stramonium* ADC (arginin dekarboksilaz) genini ekspres eden transgenik pirinç bitkileriyle yapılan başka bir çalışmada, kuraklık stresi durumunda transgenik bitkilerin yabancı tip bitkilerden daha yüksek PUT ürettiği ve neticede SPD ve SPM seviyelerinin de arttığı ve bitkilerin kuraklık toleransının geliştiği kaydedilmiştir (Capell vd., 2004). Benzer şekilde, Prabhavathi ve Rajam (2007), yulaf ADC genini taşıyan transgenik patlıcanın kuraklığa, tuzluluğa, düşük ve yüksek sıcaklığa ve ağır metallerle karşı artan tolerans sergilediğini göstermiştir.

Ayrıca, PA’ların eksojen uygulaması da bitkilerde stres tolerans potansiyelini artırmak için başka bir seçenektir. PA’ların eksojen uygulamasının, bitki üretkenliğini arttırmak için bitkilerin stres toleransını arttırmada da etkili bir yaklaşım olduğu bildirilmiştir. Farklı tür ve konsantrasyonlarda eksojen PA’ların uygulanmasının, çeşitli bitkiler üzerindeki NaCl stresinin etkilerini hafiflettiği ve hasarı azalttığı gösterilmiştir (Verma ve Mishra, 2005; Li vd., 2008). PA’lardan zengin bitkiler genellikle güçlü tuz toleransı göstermiştir. Eksojen PA’lar, özellikle SPM ve SPD uygulamasının, reaktif oksijen metabolizması ve fotosentezi artırdığı ve sonuçta, bitki büyümesinin geliştiği ve tuz stresinin engelleyici etkilerinin azaldığı görülmüştür (Meng vd., 2015; Baniasadi vd., 2018). Pirincin çiçeklenme safhasının başlangıcında NaCl uygulamadan önce eksojen SPD uygulanmasının (7 gün boyunca) tane verimini ve tanelerdeki kalsiyum içeriğini artırdığı ve kontrol bitkilerindekinden daha yüksek K^+/Na^+ oranının olduğu belirlenmiştir (Saleethong vd., 2013). Wang vd. (2007) bakır toksisitesinin etkilerini çalıştıkları *Nymphoides peltatum*’da, eksojen SPM ve SPD uyguladıkları bitkilerde içsel SPD ve SPM miktarlarının artmasıyla bitkilerin bakır

toleransının arttığını kaydetmişlerdir. Öte yandan, çiçek açma zamanında ve kuraklık stresinin uygulanmasından önce 0,1 mM PUT'un foliar uygulandığı buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinde, kontrol bitkilerine kıyasla fotosentetik özelliklerin önemli ölçüde arttığı, prolin, toplam aminoasitler ve çözünebilir şeker içeriklerinin arttığı, su durumunun iyileştirildiği, membran hasarının azaldığı ve toplam tane veriminin önemli oranda arttığı tespit edilmiştir (Gupta vd., 2012).

Poliaminler (SPM, SPD ve PUT), potasyum kanalının boyutunu ve stoma bekçi hücrelerinin plazma membranındaki porların boyutunu düzenleyebilir, böylece stoma açılıp kapanmasını güçlü bir şekilde düzenler. Bu şekilde, PA'lar bitkilerde su kaybını kontrol edebilir (Liu vd., 2000). Birçok çalışma, PUT'un uygun bir seviyede yapraklara uygulanmasının fizyolojik süreçleri tetikleyebileceğini ve serbest amino asitler, çözünebilir şekerler ve prolin gibi ozmotik ayarlama maddelerinin biyosentezini indükleyebileceğini göstermiştir. Böylece, kuraklık stresinin bitki biyokütlesi üzerindeki olumsuz etkileri telafi edebilir ve belirli biyoaktif maddelerin kalitesi ve miktarı artırılabilir (Chen vd., 2019). Yoncada, PUT uygulamasının hem in vitro hem de saksı deneylerinde, farklı konsantrasyonlarda polietilen glikolün (PEG 4000) neden olduğu kuraklık stresi altında tohum çimlenmesini iyileştirdiği ve tüm büyüme indekslerini (hipokotil uzunluğu, kök ve sürgün taze ve kuru ağırlığı) artırdığı gösterilmiştir (Zeid ve Shedeed, 2006). Ayrıca, 2.5 mM PUT veya Arginin'in foliar olarak uygulandığı, 30-35 günlük buğday (*T. aestivum* cv. Giza 168) bitkilerinde yüksek sıcaklığa (4-8 saat için $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$) toleransın arttığı belirlenmiştir. Foliar uygulamadan 5 gün sonra, bitkilerin daha yüksek miktarlarda endojen PUT, SPD ve toplam amino asitlere ve daha düşük miktarlarda amonyum ve etilene sahip oldukları tespit edilmiştir. PUT ile muamele edilmiş bitkilerde 155 günde toplam verim, kontrollere göre daha yüksek bulunmuştur (Hassanein vd., 2013). Bermuda otu (*Cynodon dactylon*) ile yapılan ayrıntılı bir çalışmada, eksojen olarak uygulanan PA'ların kuraklık ve tuz streslerinin olumsuz etkilerini azaltırken, antioksidan enzimlerin ve stresle ilgili diğer birkaç proteinin miktarlarını önemli ölçüde artırdığı kaydedilmiştir (Shi vd. 2013). Ayrıca, poliaminlerin eksojen uygulanması sonucu abiyotik streslere karşı koruma sağlamaları, muhtemelen membranlarla doğrudan etkileşimlerinden, oksidan aktivitesinin azalmasından, uyumlu ozmolitler olarak hizmet etmelerinden veya iyonik özelliklerinden kaynaklanabilir. Tüm bu sonuçlar,

poliaminlerin bir bitkinin strese tepkisinde önemli bir bileşen olduğunu ve strese karşı koymada önemli bir rol oynadıklarını göstermektedir.

1.5. Biber (*Capsicum annuum* L.) Bitkisinin Genel Özellikleri

Anavatanının Güney Amerika olduğu ve Amerika’da MÖ 7500’lü yıllardan beri insan beslenmesinin bir parçası olan biber Amerika’nın keşfi (1493) sırasında Meksika, Şili ve Peru civarında yaşayan yerli halkların yetiştiriciliği yaptıkları görülüp buradan önce İspanya ve Portekize götürülüp 1548’den sonra İngiltere ve diğer Avrupa ülkelerinde yayılmıştır. 16. yüzyılda İstanbul’a getirilmiş, oradan da tüm Anadolu’da yetiştirilmeye başlanmıştır (Vural vd., 2000).

Capsicum türleri, domates (*Lycopersicon esculentum*), patates (*Solanum tuberosum*), tütün (*Nicotiana tabacum*) ve patlıcan (*Solanum melongena*) gibi kültür bitkilerini içeren geniş bir tropikal aile olan Solanaceae’nin üyeleridir. Solanaceae familyasına ve *Capsicum* cinsine ait bir tür olan biber (*Capsicum annuum* L.), ılıman ve subtropik ülkelerde bir yıllık, tropikal ülkelerde iki veya çok yıllık yetiştirilen bir bitkidir. Bugün, en az 32 yabancı türü ve beş evcilleştirilmiş türü tanınmaktadır. Biberin tür seviyesinin üzerindeki taksonomisi aşağıdaki gibidir.

Alem: Plantae

Bölüm: Magnoliophyta

Sınıf: Magnoliopsida

Ordo: Solanales

Familya: Solanaceae

Cins: *Capsicum*

Tür: *Capsicum annuum*

Acılık, *Capsicum* cinsinin en karakteristik özelliklerinden biridir. Bütün *C. annuum* cinsine ait türlerde, acılık hissine neden olan ‘kapsaisin’ adlı bir madde bulunur. Kapsaisin sadece biberlerde bulunduğu inanılan bir alkaloid bileşiktir. Kapsaisin miktarına bağlı olarak biberin acılığı değişmektedir. Türler arasında, çeşitler arasında, bitkiler arasında, aynı bitkinin meyveleri arasında ve aynı meyvenin farklı kısımları arasında değişkenlik gösterir (Canto-Flick vd., 2008). Sıcak havanın etkisi ile meyvedeki kuru madde miktarının artması biber bitkisinin kapsaisin miktarının artmasına neden olup meyvenin acılaşmasına neden olmaktadır.

C. annuum içerisinde tetraploid olan bir alt türün dışında bütün doğal biber popülasyonları Solanaceae familyasında yaygın olan ($2n = 24$) kromozom sayısında sahip diploid bir bitkidir. Küçük, dallı, başlangıçta otsu olan gövdesi bitkinin büyümesiyle birlikte odunsu özellik kazanmaktadır. Gövdesi dik olarak büyüyen ve gövde kısmı boğumları aralarından meydana gelen biber bitkisinin çiçekleri küçük, mor veya beyaz renklidir (Al-Snafi, 2015). Biyolojik bakımdan hermafrodit (hem erkek hem de dişi organlara sahip olan çiçekler) olup bir çiçekte 5 çanak, 5 taç yaprak, 5 erkek ve 1 dişi organ bulunmaktadır. Erkek ve dişi organın değişik dönemlerde olgunlaşmasından kaynaklanan %3-%30 oranlarında yabancı tozlaşma görülebilmektedir. Biber meyvesi içi boş olup meyve duvarı çiçek tablası ve tohumlardan oluşur. Yetiştirme koşulu ve biberin çeşidine göre meyve büyüklük, renk, tad ve şekil bakımından farklılık gösterir. Dikimden 10 hafta sonra ilk meyveleri görülür. Biber bitkisi saçak kök yapısına sahiptir. Bitkinin tohumları açık sarımsı renkli orta kısmı basık 3-4 mm uzunluğunda 2-3 mm genişliğinde 0,5-1 mm kalınlığında oval şekildedir. Çeşide özgü farklılıkla birlikte 1 gramda 120-180 adet tohum bulunur. Tohum çimlenmesi için optimum sıcaklık gereksinimi 25-30 °C aralığındayken, büyüme ve meyve üretimi için optimum 18-30 °C'dir. Biber için organik madde içeren iyi drene edilmiş, nem tutan tınlı toprak gerektirir ve hava neminin %70- 75 (Sigge vd., 1998), toprak pH' sının 6.0 - 6.5 arasında, topraktaki tuz oranının ise 3 g /L ' den daha düşük olması istenmektedir. Biber, geniş yaprak yüzeyi, yüksek stoma iletkenliği (Alvino vd., 1994) ve sığ kök sistemi nedeniyle kuraklık stresine en duyarlı bahçe bitkilerinden biridir (Liu vd., 2012).

Biber, ekonomik önemi, meyvenin tat, renk ve besin değerlerinin birleşimi nedeniyle dünyada çok farklı formlarda ve yoğun bir şekilde tüketilmektedir (Al-Snafi, 2015). Olgunlaşmamış veya olgun meyveleri taze, salça, sos, kurutma, turşu, toz veya pul biber gibi gıda sanayide kullanılan biber; sebze, baharat ve katma değerli işlenmiş ürünler için yetiştirilen önemli bir ticari üründür (Kumar vd., 2006). Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı (2022)'nına göre biber; A, E ve C vitamini, fenolik bileşikler (Tablo 1) ve mikro ve makro elementler (Tablo 2) açısından zengin bir kaynak olup (Guil-Guerrero vd., 2006), oldukça besleyici bir meyve olduğu ortaya konmuştur.

Tablo 1. *Capsicum annuum*'un besin bileşimi (100g başına)

Besinler	Birim	Ortalama
Su	g	91,84
Kalori	kcal	28
Protein	g	0,76
Karbonhidrat	g	4,85
Sakkaroz	g	0,08
Glukoz	g	2,18
Fruktoz	g	1,73
Lif	g	5,3
Toplam yağ	g	0,13
Tuz	mg	4
Vitamin A	RE	24
Vitamin C	mg	82,8
Vitamin B6	mg	0,368
Vitamin K1	µg	10,1
β-karoten	µg	285
Lutein	µg	277
Folat gıda	µg	16
Niasin	mg	0,885
Tiamin	mg	0,039
Riboflavin	mg	0,035
Kapsaisin	mg	3,5

Aynı zamanda *Capsicum annuum*, antioksidan, antiviral, antimikrobiyal, antikanser ve antienflamatuar aktiviteler gibi çeşitli biyoaktiviteler sergileyen bir dizi biyoaktif bileşik ve temel besin içerir (Khan vd., 2014). A vitamini biberlerde bulunmadığı düşünülse, insan karaciğerinde tamamı A vitaminine dönüştürülebilen α -karoten, β -karoten ve β -kriptoksantin dahil olmak üzere provitamin A'nın yüksek seviyeleri bulunur (Yuni vd., 2013). Dünyada toplam enerji eksikliğinden sonra en çok ortaya çıkan beslenme sorunlarının protein ve A vitamini eksiklikleri olduğu gösterilmiştir. Bir yetişkinin günlük A vitamini ihtiyacı sadece 3-4 gr (yaklaşık yarım yemek kaşığı) toz kırmızı biber tüketimi ile karşılanabilir (Lantz, 1946). Ayrıca, çeşitli epidemiyolojik çalışmalar, artan A vitamini veya karoten tüketiminin kanser riskini azaltabileceğini ortaya koymuştur (Rosado 1999; Ziegler vd., 1986). A vitamini (provitamin A'dan değiştirildiğinde) konjonktival membran, kornea ve retinanın farklılaşması ve epitel hücrelerinin bütünlüğü için gereklidir. Karotenoidlerin yanı sıra biberler de iyi bir ksantofil kaynaklarıdır ve yüksek miktarda B6 (piridoksin), B2 (riboflavin), B1 (tiamin), B3 (niasin) ve P(sitrin) vitaminleri içermektedir (Bosland ve

Votava, 2013). Askorbik asit olarak da adlandırılan C vitamini, önemli bir antioksidan ve insan metabolizmasında yer alan enzimler için bir kofaktördür. *Capsicum*'un meyveleri yüksek C vitamini içeriği sağlar. Biber genotiplerindeki C vitamini içeriği 43 ila 247 mg/100 g taze meyve arasında değişir. Bir biber meyvesi, bir portakaldan altı kat daha fazla C vitamini içerebilir. Biber meyvelerinde meyve olgunlaştıkça askorbik asit seviyesi yükselir ve olgunlaştıkça fark edilen bu yüksek seviye ışığın yoğunluğuna ve askorbik asit öncüsü olan yüksek glikoz seviyelerine bağlanabilir. Olgunlaşmanın yanı sıra çevresel büyüme koşullarındaki ve genetik arka plandaki farklılıklar da meyvedeki askorbik asit seviyesini etkiler. Brokoli, kuşkonmaz, patlıcan ve lahana gibi insan beslenmesinde yer alan diğer bazı sebzelerin yanı sıra, biberler de en iyi doğal E vitamini kaynakları listesindedir. Kuru ağırlık bazında, kuru kırmızı biber tozu, α -tokoferolün yüksek seviyelerine sahiptir (Yuni vd., 2013). Biberler ayrıca molibden, manganez, flor, potasyum ve bakır gibi mükemmel mineral kaynaklarıdır. Ali ve Tsou (1997), sebzelerin belirli durumlarda günlük birim arazi başına tahıllardan fazla protein ve demir sağlayabildiğini ve biberin demir tedarikinde tahıllardan 3,1 kat daha düşük maliyetli olduğu bildirilmiştir.

Tablo 2. *Capsicum annuum*'daki mineral içeriği

Minarel	Tutar (mg)
P	35
Ca	9
Mg	16
K	208
Na	2
Zn	0,27
Fe	0,48
Cu	0,06
Mn	0,12

Biberin besinsel faydalarının ve gıda katkı maddesi olarak kullanımının yanı sıra *Capsicum* türleri, içerdiği Kapsaisin nedeniyle geçmişten günümüzde farklı tedavi amaçlı kullanıldığı (Acosta, 2002), tıbbi ve farmakolojik uygulamalarda ve birçok alanda kullanılmaya devam ettiği ortaya konmuştur. Günümüzde önemli araştırmalar, kanser, anemi, diyabet ve kardiyovasküler hastalıklara karşı koruma olarak gıdalardaki antioksidanlara odaklanmıştır. Serbest oksijen radikallerini

temizleyerek lipidlerin oksidasyonuna karşı koyan bu antioksidanların mükemmel bir kaynağı olarak biberlere büyük önem verilmiştir (Lee vd., 2005; Marin vd., 2004; Perucka ve Materska, 2007). Biber en güçlü üç antioksidan maddesinin (C vitamini, karotenoidler ve E vitamini) en zengin kaynaklarından biri olup bu özellikleri nedeni ile vücuttaki serbest radikallerle savaşıır (Matsufuji vd., 2007). Bu işlevi oksidasyon işlemine izin vermeyerek gerçekleştirirler (Palevitch ve Craker, 1996). Biberde bulunan bir diğer antioksidan olan kapsaisin, kısa bir süre için tüketildiğinde bile bir antioksidan olarak etkili olabilmektedir (Lee vd., 2003).

Hayvanlar üzerinde yapılan bilimsel çalışmalarda kapsaisin tarafından salınan bir nöropeptid P maddesinin diyabeti tersine çevirdiği (Tsui vd., 2007), doğal anti-inflamatuar bileşikler olarak kapsaisinin, farelerde anormal kript odaklarını baskılamada indometasin (steroid olmayan bir anti-inflamatuar ilaç) kadar etkili olduğunu bildirilmiştir. Tolan vd. (2001) kapsaisin uygulamasının plazma insülin seviyesi yükselterek kandaki glikoz seviyesinin düşmesine neden olduğunu belirtmektedir. Yapılan bir başka çalışmada kapsaisin hiperemi (kan akımının hızlanması) oluşumunu uyardığını ve kapsaisine duyarlı primer sensorik fibrillerden substans P(SP) ve kalsitonin gen-ilişkili peptid (CGRP) salınımını uyararak, hücrelerin metabolik aktivitelerini arttırdığı ve histolojik incelemeler ile kapsaisin uygulamalarının doku hasarlarını azalttığı gözlenmiştir (Erdost, 2004). Kapsaisinin, bağırsak duvarının geçirgenliğini ve emici yüzeyini artırdığını ve böylece mikro besinlerin emilimini artırdığı belirlenmiştir (Prakash ve Srinivasan, 2012). Kapsaisin, tıbbi kullanımı yıllar öncesinden günümüze kadar kullanılmakta olan kanser önleyici özellikleri nedeniyle geniş çapta incelenmiştir. Arora vd. (2011)'ne göre, kapsaisin, otofaji, döngü durdurma, apoptoz indüksiyonu ve ayrıca hücresel düzeyde metabolik aktivasyonun baskılanması yoluyla birkaç malign hücre hattının büyümesini bastırdığı belirlenmiştir. Çin ve Japonya'da yapılan diğer klinik incelemeler, kapsaisinin lösemik hücrelerin büyümesini doğrudan baskıladığını ortaya koymuştur (Ito vd., 2004). Farklı bir deneyde, kapsaisin ayrıca insan akciğer kanseri hücrelerinde apoptozu indükleyerek kanserde koruyucu rolü olduğu gösterilmiştir (Lee vd., 2010). Zengin içerik ve besinsel bileşimi sayesinde bunlar ve bunlar gibi yapılan ve yapılacak olan çalışmalar nedeniyle *C. annuum* türleri güncelliğini ve popülerliğini koruyan en önemli tarımsal ürünlerin başında gelmektedir.

C.annuum dünya çapında birçok kullanım alanı bulunan ve yeni kullanım alanları keşfedilmeye devam eden önemli ihracat kalemi olan önemli küresel gıda kaynaklarından biridir. 2000 yılında Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), dünyanın en çok biber üreten 10 ülkesinin 17.102.113 ton taze (acı olan veya olmayan) biber ürettiğini bildirmiştir. Ancak 2021’de, biber üreten ilk 10 ülke 29.678.170,56 ton taze biber üretmiştir (Tablo 3), bu da 2000’den bu yana yıllık üretimde %73,53’lük bir artışı temsil ediyor. Toplam dünya biber üretiminin, 2 milyon hektarlık ekilebilir araziden 36-40 milyon ton taze meyve olduğu tahmin edilmektedir. Dünyada olduğu kadar Türkiye’de de geniş yelpazede ürün çeşitliliğine sahip olması üretimi ve tüketimi giderek arttırmakta ve ekonomiye de katma değer sağlamaktadır. Artan dünya nüfusunun küresel talepleri karşılamaya devam edebilmesi için ekili alanlardaki potansiyeli en iyi değerlendirmek üretimin arttırılması için elzemdir.

Tablo 3. 2021 yılında en çok taze biber üreten ülkeler (FAO, 2022)

Sıra	Ülkeler	Ekili Alan (ha)	Üretim (ton)	Verim (hg/ha)
1	Çin	752121	16721690,83	222327
2	Türkiye	80239	3091295	385261
3	Endonezya	321923	2747018,03	85331
4	Meksika	147808	2584143,6	174831
5	İspanya	22240	1511560	679658
6	Mısır	47892	862127,11	180016
7	Nijerya	101335	759133,99	74913
8	ABD	16916	531202	314023
9	Hollanda	1630	440000	2699387
10	Tunus	18996	430000	226359

Biber, yetiştirme koşulları, ürünün, kalite ve verimini etkileyen önemli etkenlerdendir. Biber ılık mevsim mahsulüdür ve biber üretimi için sıcaklık ve sulama oldukça önemli olup su stresine ve nem eksikliğine en duyarlı bitkilerden biri olarak kabul edilir (Katerji vd., 1993). Biber üretimi için düzenli ve bol yağış alan bölgelerde sulamaya gerek yoktur. Bununla birlikte, kurak ve yarı kurak bölgelerde, büyüme mevsimi boyunca 60-75 ha/cm’ye kadar su gerektirebilen biberlere yeterli nemi sağlamak için sulama esastır. Biber bitkisi herhangi bir aşırı çevresel koşul tarafından

baskılanma eğilimindedir ve sığ kök sistemi nedeniyle kuraklık stresine en duyarlı bahçe bitkilerindendir (Liu vd., 2012; Jaimez vd., 2000). Biberlerin çiçeklenme ve meyve tutumu kuraklık stresine en duyarlı oldukları dönemdir. Çiçeklenme sırasında bitki büyümesi kuraklık stresi nedeniyle yavaşlarsa, çiçeklerin düşmesi muhtemeldir. Bitkiler genç meyveler hızla gelişirken strese girerse, çiçek ucu çürüklüğü ortaya çıkabilir. Hızlı vejetatif büyüme döneminde bibere uygulanan suyun sınırlandırılması da nihai verimi düşürür (Mardani vd., 2017). Aşırı sulama, biber mahsulüne çok az su kadar zararlı olabilir. Phytophthora kök çürüklüğü hastalığı, tarlada 12 saatten fazla kalan sudan gelişebileceğinden, biberlerin sığ kökleri, sık yapılan hafif sulamaların seyrek yapılan ağır sulamalardan daha iyi olduğu anlamına gelir.

Biber üretimi ve kârlılığını arttırmak ancak birim alandan daha fazla verim almakla gerçekleşecektir. Günümüz sınırlı su kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması, sulamanın optimize edilmesi, kurak bölgelerde çok sınırlı bir kaynak olabilecek suyun korunması biberin su stresine karşı toleransının artmasını sağlayacak yeni stratejilerin bulunması, biberin büyüme gelişimini ve mahsul verimliliğini artırarak küresel gıda üretimi artışına neden olacaktır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Araştırma, 2019-2022 yılları arasında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Bitki Fizyolojisi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Araştırmada Rize'de ticari olarak satılan Burdem 16 (*Capsicum annuum* L.) çeşidine ait tohumlar ve Yüksel Tohumculuk tarafından üretilmiş Yükselince, Varol ve Tural çeşitlerine ait tohumlar kullanılmıştır. Bitkilerin büyütülmesi için bitki büyütme kabini (Daihan WGC-P9), biyokimyasal analizler için soğutmalı santrifüj (Hermle Z 326K) ve spektrofotometre (Biochrom Libra S70 UV-Visible), fotosentetik parametrelerin ölçülmesi için klorofil florometre cihazı (Opti-Sciences OS5p) kullanılmıştır.

2.2. Metod

2.2.1. Bitkilerin Büyütülmesi, Poliamin ve Kuraklık Stresinin Uygulanması

Biber tohumları bir gece saf suda bekletildikten sonra, her bir çeşite ait tohumlar 32 gözlü 4 adet viyole, her bir gözde birer tohum olacak şekilde torf, organik gübre ve perlit (3:1:1) ihtiva eden ortama yerleştirildi. Viyoller, ışık yoğunluğu 400 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sıcaklık 25 ± 2 °C ve nem 65 ± 2 olacak şekilde kontrollü koşullardaki bitki büyütme dolabına konuldu ve fideler 4 yapraklı (27 günlük) oluncaya kadar büyütüldü. Eşit büyüme gösteren fideler seçilerek torf, organik gübre ve perlit (3:1:1) içeren saksılara (14,5 cm x 12,5 cm x 9,5 cm) aktarılarak şaşırtıldı (Şekil 9). Fidler şaşırtıldıktan sonra birer hafta arayla 2 g/L dozunda 2 kez sıvı gübre (NPK'lı katı Organomineral Gübre) ile gübrelendi. Fidler 6-7 yapraklı dönemde (55 günlük) poliamin uygulaması yapıldı. Daha önce yaptığımız çalışmalar ve literatür taramaları doğrultusunda etkili konsantrasyon olduğu belirlenen 1 mM putresin ve spermin kullanılmıştır (Durmuş ve Bekircan, 2015). %0,01 Tween 20 içerisinde hazırlanan poliaminler bir gün arayla iki kez foliar olarak uygulandıktan sonra, bitkiler kuraklık stresine tabi tutulmuş ve 10 gün boyunca sulanmamışlardır. Kuraklığın 10. gününde bitkiler hasat edilerek lipid peroksidasyonu, fotosentetik pigment ve prolin miktarı ile antioksidan enzim aktiviteleri ölçülmüştür. Her bir uygulama için en az dört saksı, dört tekrarlı olacak şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 9. Viyollerde büyütülmüş ve saksılarda şaşırtılmış biber fideleri

2.2.2. Büyüme Parametreleri

Fideler kuraklık stresi uygulamasının 10. gününde hasat edildi. Her bir gruba ait bitkiler alınarak gövde ve kökler birbirinden ayrıldı. Gövde yaş ağırlıkları tartıldı ve uzunlukları ölçüldü. Örnekler; 70 °C’de 72 saat bekletildikten sonra kuru ağırlıkları belirlendi.

2.2.3. Nispi Su İçeriği Tayini

Nispi su içeriği tayini Castillo (1996)’ya göre yapıldı. Bitki yapraklarının taze ağırlıkları ölçüldükten sonra +4°C’de 24 saat saf suda bekletilerek turgid ağırlıkları alındı. Daha sonra örnekler 70 °C’ye ayarlı etüvde 48 saat bekletilerek kuru ağırlıkları kaydedildi ve aşağıdaki formülde yerine koyularak nispi su içeriği belirlendi.

$$\text{Nispi Su İçeriği(\%)} = (\text{Taze ağırlık} - \text{Kuru ağırlık} / \text{Turgid ağırlık} - \text{Kuru ağırlık}) \times 100 \quad (1)$$

2.2.4. Fotosentetik Pigmentlerin Tayini

Toplam karotenoid miktarı Jaspars (1965) ve klorofil tayini Arnon (1949)’a göre belirlendi. Taze yaprak örnekleri (0,1 g) 5 ml % 80 aseton içerisinde homojenize edildi. Homojenat 5000 g’ de oda sıcaklığında 5 dakika santrifüj edildi. Süpernatantın

absorbansı 663, 645 ve 450 nm’lerde spektrofotometrede (Biochrom Libra S70) ölçüldü. Pigment içeriklerinin belirlenmesi için Lichtenthaler (1987) tarafından geliştirilen aşağıdaki formüller kullanıldı.

$$\text{Klorofil a} = 12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645} \quad (2)$$

$$\text{Klorofil b} = 22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663} \quad (3)$$

$$\text{Toplam Klorofil} = 20,2 \times A_{645} + 8,02 \times A_{663} \quad (4)$$

$$\text{Toplam Karotenoid} = 4,07 \times A_{450} - (0,0435 \times \text{kl.a miktarı} + 0,367 \times \text{kl.b miktarı}) \quad (5)$$

2.2.5. Lipid Peroksidasyonu Tayini

Lipid peroksidasyonu Heath ve Packer (1968) tarafından belirlenen metoda göre hesaplandı. Bu metoda göre lipid peroksidasyonunun son ürünü olarak MDA’yı kabul eden tiyobarbitirik asit testi kullanıldı. 0,25 g bitki örneği alınarak 5 ml % 0,1 TCA içerisinde homojenize edildi. Homojenat 15.000 g de + 4 °C de 5 dakika santrifüj edildi. Süpernatanttan 250 µl alınarak üzerine 1 ml % 20 TCA içerisinde hazırlanmış % 0,5 TBA ilave edildi. Kör olarak % 0,1 TCA kullanıldı. Karışım 95° C’de 30 dakika ısıtıldı ve sonra hızlı bir şekilde buz banyosunda 10-15 dakika soğutuldu. 10 dakika sonra karışım spektrofotometrede 532 ve 600 nm’de ölçüldü. 532 nm deki değerden 600 nm deki değer çıkarıldı ve formülde ($A=E.c.1$) yerine konularak malondialdehit (MDA) konsantrasyonu hesaplandı.

2.2.6. Prolin Tayini

Biber yapraklarındaki prolin miktarı spektrofotometrik olarak Asit-Ninhidrin metodu ile belirlendi (Bates vd.,1973). Bu amaçla önce saf prolin kullanılarak standart grafik hazırlandı. Gruplar arasındaki prolin değişimini belirlemek için 1 g yaprak 5 ml % 3’lük sülfosalisilik asit içinde homojenize edildikten sonra 8000 rpm’de 15 dakika santrifüj edildi. Süpernatant kısmından 1’er ml alınarak üzerlerine 1ml glasiyel asetik asit ve 1ml asit ninhidrin çözeltisi ilave edilip 100 °C’de 1 saat bekletildi. Reaksiyonu durdurmak amacıyla 10 dakika buz banyosunda tutulduktan sonra her karışım üzerine 3 ml tolüen eklendi. Oluşan iki fazdan üstteki pembe fazdan alınan örnekler 520 nm’de ölçüldü. Elde edilen absorbans değerleri standart grafik üzerinden µg prolin olarak belirlenip, 1 g taze ağırlıktaki prolin miktarı olarak hesaplandı.

2.2.7. Protein Tayini

Protein tayini Bradford (1976)'a göre spektrofotometrik olarak yapıldı. Bovin serum albumin (BSA) standartları hazırlanarak, Coomassie Brilliant Blue G250 boyar maddesi ile proteinlerin oluşturduğu kompleks 595 nm ölçüldü. Protein konsantrasyonu mg cinsinden hesaplanarak, enzim aktivitelerinin belirlenmesinde kullanıldı.

2.2.8. Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Tayini

2.2.8.1. Enzim Ekstraktının Hazırlanması

Biber çeşitlerinin yapraklarından 0,5 g alınarak 5 ml soğuk ekstraksiyon tamponunda (50 mM K_2HPO_4 , 1 mM EDTA (pH 7,0), %1 polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)'la buz üzerinde ekstrakte edildi. Ekstrakt +4 °C'de 20.000 g'de 20 dakika santrifüj edildi. Elde edilen süpernatant enzim aktivitelerinin tayini için kullanıldı.

2.2.8.2. SOD Aktivitesinin Tayini

Süperoksit dismutaz (SOD, EC 1.15.1.1) aktivitesi, Beauchamp ve Fridovich (1971) metoduna göre belirlendi. Bu metotta aktivite, indikatör molekül olarak kullanılan nitro blue tetrazolium (NBT)'un süperoksit radikalleri ile mavi renkli fomazona indirgenmesi reaksiyonunun SOD enzimi tarafından engellenmesinin ölçülmesiyle tayin edildi. Bu reaksiyonun %50'sinin inhibisyonuna uygun süpernatant hacmi 1 enzim ünitesi olarak kabul edildi. Aktivite tayini için 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7,8), 0,1 mM EDTA, 13 mM metiyonin, 75 μ M nitro blue tetrazolium, ve 2 μ M ribofilavin içeren karışıma 70 μ L enzim ekstraktı ilave edildi. Ribofilavin en son konularak tüplerin 10 dakika beyaz ışık altında tutulması ile reaksiyon sonlandırıldı. Oluşan reaksiyon ürünü 560 nm dalga boyunda spektrofotometrede okundu. SOD aktivitesi mg protein başına ünite enzim olarak ifade edildi.

2.2.8.3. GPX Aktivitesinin Tayini

Guaiakol peroksidaz (GPX, EC 1.11.1.7) aktivitesi, Urbanek vd. (1991)'nin yöntemine göre belirlendi. Enzim aktivitesi, 100 mM potasyum fosfat tamponu (pH

7,0), 0,1 mM EDTA, 5 mM guaiakol, 15 mM H₂O₂ ve 50 µL enzim ekstraktı içeren 3 mL'lik reaksiyon karışımının 470 nm'de 1 dakika süreyle ölçülmesiyle belirlendi. GPX aktivitesi 26,6 mM⁻¹cm⁻¹ epsilon katsayısının kullanılmasıyla hesaplandı ve sonuçlar mg protein başına verildi.

2.2.8.4. GR Aktivitesi Tayini

Glutasyon redüktaz (GR, EC 1.6.4.2) aktivitesi spektrofotometrik olarak Foyer ve Halliwell (1976)'e göre belirlendi. Substrat olarak 0,25 mM NADPH ve 1 mM oksitlenmiş glutasyon (GSSG) kullanıldı. Yükseltgenmiş glutasyonun enzim tarafından indirgenmesi için indirgeyici faktör olarak NADPH kullanıldı. Aktivite tayini için, 200 µL 0,5 mM EDTA içerisinde hazırlanmış 50 mM Tris-HCl (pH 7,8), 250 µL GSSG ve 500 µL NADPH ihtiva eden karışıma 50 µL enzim ekstraktı ilave edildi. NADPH'ın oksidasyonu 340 nm'de 5 dakika boyunca azalmanın ölçülmesiyle belirlendi. GR aktivitesi, NADPH için 6,22 mM⁻¹cm⁻¹ epsilon katsayısının kullanılmasıyla hesaplandı ve sonuçlar mg protein başına verildi.

2.2.8.5. KAT Aktivitesi Tayini

Katalaz (KAT, EC 1.11.1.6) aktivitesi, Aebi (1983)'nin yöntemine göre belirlendi. Enzim aktivitesi, 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7,0), 30 mM H₂O₂ ve 20 µl enzim ekstraktı içeren 1 ml'lik reaksiyon karışımının 240 nm'de 3 dakika süreyle ölçülmesiyle belirlendi. Katalaz aktivitesi, H₂O₂ için 39,4 mM⁻¹ cm⁻¹ epsilon katsayısının kullanılmasıyla hesaplandı ve sonuçlar mg protein başına verildi.

2.2.9. Klorofil Floresans Ölçümleri

Klorofil floresans ölçümleri OS5p klorofil florometresi (OptiScience Corporation, Tyngsboro, MA, USA) ile yapıldı. Her bir uygulamaya ait ölçümler 6 farklı yaprak kullanılarak alındı. Floresans ölçümlerinden önce yaprağın üst yüzeyindeki 1 cm²'lik dairesel bir bölge 20 dakika boyunca yaprak klipsleri kullanılarak karanlığa alıştırıldı. Karanlıktaki minimum floresans (Fo), karanlıktaki maksimum floresans (Fm), değişken floresans (Fv) ve Fv/Fm oranları ölçüldü. Karanlık ölçümlerinin ardından PAR (Photosynthetic Active Radiation) klipi

kullanılarak PS II'nin fotokimyasal reaksiyonunun verimi (Φ PSII), ETO, qP ve NPQ değerleri 10 tekrarlı olarak ölçüldü.

2.2.10. İstatistiksel Analizler

Analizlerin sonucunda elde edilen veriler Statistical Package for Social Sciences (SPSS for İOS 26.0) paket programı içerisinde yer alan Tek-Yönlü Varyans Analizi (One-way ANOVA) ile analiz edilerek, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortalamalar arasındaki farklar $p \leq 0,05$ önemli olarak tespit edildi.

2.3. Bulgular

2.3.1. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber Çeşitlerine Ait Büyüme Parametreleri

Capsicum annuum L.'ye ait Yükselince, Tural, Burdem ve Varol çeşitlerinin kuraklık stresi ve poliamin uygulamalarına bağlı olarak gövde uzunlukları, gövde yaş ve kuru ağırlıklarında meydana gelen değişiklikler Tablo 4'de ve morfolojik değişiklikler ise Şekil 10'da gösterildi.

Kuraklık stresine maruz bırakılan biber çeşitlerinin gövde uzunluklarında kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak önemli ölçüde azalma belirlendi. Yükselince çeşidinin gövde uzunluğunda %10,38, Tural çeşidinde %12,78, Burdem çeşidinde %17,68 ve Varol çeşidinde %15,25 azalma meydana geldi.

Poliamin ile ön muamele edilmiş ve kuraklık stresi uygulanmış Yükselince ve Varol çeşitlerinin gövde uzunluklarında, sadece kuraklık stresi uygulanmış bitkilere kıyasla istatistiksel bakımından önemli bir fark olmazken, Tural çeşidinde SPM uygulamasının etkili olduğu belirlendi. SPM ile ön muamele yapılan Tural çeşidine ait bitkilerin gövde uzunluklarının sadece kuraklık stresi uygulananlara nazaran %18,89 oranında arttığı saptandı. Ayrıca SPM ve PUT ile ön muamele yapılan Burdem çeşidine ait bitkilerin gövde uzunluğunda kuraklık etkisiyle meydana gelen azalmanın önemli ölçüde giderildiği tespit edildi. SPM ve PUT ile ön muamele yapılan ve kuraklık stresi uygulanan Burdem çeşidine ait bitkilerin gövde uzunluklarının sadece kuraklık stresi uygulananlara kıyasla sırasıyla %18,51 ve %24,81 oranında arttığı kaydedildi.

Kuraklık stresine maruz bırakılan biber çeşitlerinin gövde yaş ağırlıklarının kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı belirlendi. Yükselince çeşidinin gövde yaş ağırlığında % 37,21, Tural çeşidinde % 43,94, Burdem çeşidinde %44,75 ve Varol çeşidinde %39,98 azalma meydana geldi. Poliamin ile ön muamele edilmiş ve kuraklık stresi uygulanmış olan fidelerin gövde yaş ağırlıkları ile sadece kuraklık stresi uygulanan fideler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı tespit edildi.

Kuraklık stresine maruz bırakılan biber çeşitlerinin gövde kuru ağırlığında da kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak önemli ölçüde azalma belirlendi. Yükselince çeşidinin gövde kuru ağırlığında %28,75, Tural çeşidinde %36,6, Burdem çeşidinde %39,74 ve Varol çeşidinde %44,79 oranında azalma meydana geldi.

Poliamin ile ön muamele edilmiş ve kuraklık stresi uygulanmış Yükselince, Tural ve Varol çeşitlerinin gövde kuru ağırlıklarında sadece kuraklık stresi uygulananlara kıyasla istatistiksel bakımından önemli bir fark olmazken, Burdem çeşidinde SPM uygulamasının kuraklık etkisiyle meydana gelen azalmayı önemli ölçüde giderdiği tespit edildi.

Tablo 4. Poliaminle ön muamele edilmiş ve kuraklık stresi uygulanmış biber çeşitlerinde (Yükselince, Tural, Burdem ve Varol) gövde uzunlukları, gövde yaş ve kuru ağırlıkları

Çeşitler	Gruplar	Gövde Uzunluğu (cm/bitki)	Gövde Yaş Ağırlığı (g/bitki)	Gövde Kuru Ağırlığı (g/bitki)
YÜKSELİNCE	Kontrol	19,25 ± 0,35 g	8,465 ± 0,40 c	1,165 ± 0,23 d
	Stres	17,25 ± 0,35 def	5,315 ± 0,03 ab	0,830 ± 0,07 c
	SPM+Stres	17,55 ± 0,70 ef	4,995 ± 0,71 ab	0,760 ± 0,01 bc
	PUT+Stres	16,15 ± 0,91 bcd	5,255 ± 0,92 ab	0,670 ± 0,01 bc
TURAL	Kontrol	17,60 ± 0,56 ef	8,260 ± 0,15 c	1,120 ± 0,07 d
	Stres	15,350 ± 0,49 b	4,630 ± 0,31 a	0,710 ± 0,01 bc
	SPM+Stres	18,25 ± 0,35 fg	4,505 ± 0,17 a	0,805 ± 0,13 bc
	PUT+Stres	15,95 ± 0,77 bcd	4,730 ± 0,69 ab	0,810 ± 0,01 c
BURDEM	Kontrol	16,40 ± 0,14 bcde	7,530 ± 0,07 c	0,780 ± 0,01 bc
	Stres	13,50 ± 0,70 a	4,160 ± 0,41 a	0,470 ± 0,04 a
	SPM+Stres	16,00 ± 0,70 bcd	4,560 ± 0,39 a	0,675 ± 0,03 bc
	PUT+Stres	16,85 ± 0,49 cde	5,035 ± 0,27 ab	0,640 ± 0,04 abc
VAROL	Kontrol	18,35 ± 0,21 fg	8,540 ± 0,59 c	1,105 ± 0,09 d
	Stres	15,55 ± 0,63 bc	5,125 ± 0,03 ab	0,610 ± 0,01 ab
	SPM+Stres	16,70 ± 0,42 cde	5,810 ± 0,14 b	0,775 ± 0,02 bc
	PUT+Stres	16,60 ± 0,70 bcde	5,255 ± 0,92 ab	0,730 ± 0,05 bc

±Üç tekerrürlü ortalamaların standart sapması. Aynı harflerle gösterilen değerler önemli ölçüde farklı değildir (P≤0,05). Ortalamalar satır olarak değil, her bir sütun kendi içinde karşılaştırılmıştır (Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi).

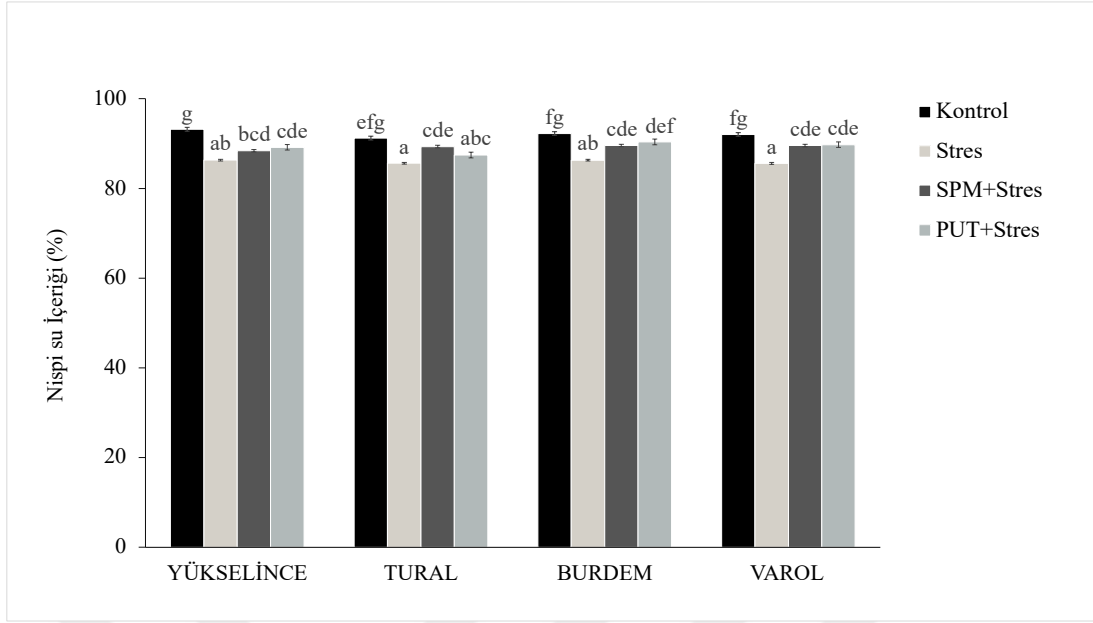


Şekil 10. Yükselince (a), Tural (b), Burdem (c) ve Varol (d) çeşitlerine ait morfolojik görünüm.
Her bir çeşide ait saksılar sırasıyla kontrol, stres, SPM+stres, PUT+stres şeklindedir.

2.3.2. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber Çeşitlerine Ait Nispi Su İçerikleri

Çalışmada kullanılan dört biber çeşidine ait nispi su içeriği sonuçları Şekil 11’de verildi. Kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin nispi su içeriklerinin önemli ölçüde azaldığı belirlendi. Yükselince çeşidinde %93,19 olan nispi su içeriğinin 10 günlük kuraklık stresi sonunda %86,3, Tural çeşidinde %91,22 olan nispi su içeriğinin %85,61, Burdem çeşidinde %92,25 olan nispi su içeriğinin %86,3, Varol çeşidinde de %92,03 olan nispi su içeriğinin %85,59 olduğu bulundu.

SPM ve PUT ile ön muamele yapılan Varol ve Burdem çeşitlerinde, kuraklık etkisiyle nispi su içeriğinde meydana gelen azalma istatistiki bakımdan önemli ölçüde giderilirken, Yükselince çeşidinde PUT uygulamasının, Tural çeşidinde ise SPM uygulamasının daha etkili olduğu tespit edildi.

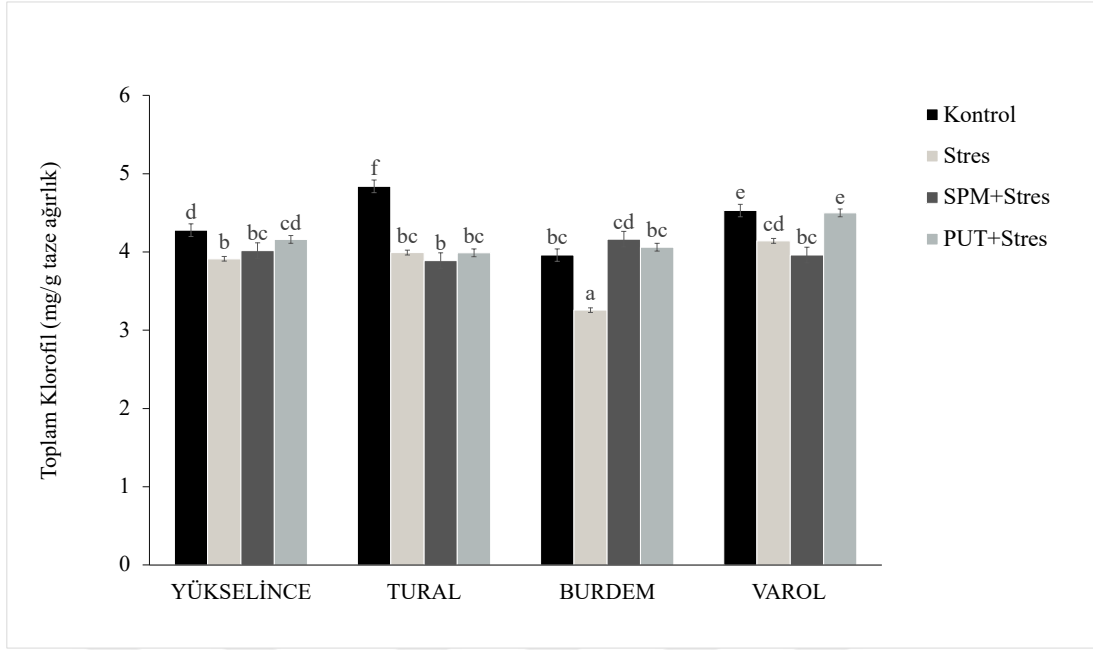


Şekil 11. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin nispi su içeriklerindeki değişimler.
(Barlar üç tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark %5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

Yükselince çeşidinde kuraklık stresi durumunda %86,3 olan nispi su içeriği miktarının SPM+stres uygulanan fidelerde % 88,4, PUT+stres uygulananlarda ise % 89,17 olduğu, Tural çeşidinde kuraklık stresi durumunda %85,61 olan nispi su içeriğinin SPM+stres uygulanan fidelerde % 89,33 PUT+stres uygulananlarda ise %87,44 olduğu belirlendi. Burdem çeşidinde kuraklık stresi durumunda %86,3 olan nispi su içeriğinin SPM+stres uygulamasında %89,58, PUT+stres uygulamasında %90,36 olduğu ve Varol çeşitinde kuraklık stresi durumunda %85,59 olan nispi su içeriğinin SPM+stres uygulanan fidelerde %89,55, PUT+stres uygulanan fidelerde ise %89,75 olduğu bulundu.

2.3.3. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber Çeşitlerine Ait Fotosentetik Pigment İçerikleri

Yükselince, Tural, Burdem, Varol çeşitlerinin PA uygulaması ve kuraklık stresine bağlı fotosentetik pigmentlerindeki değişimler ile ilgili bulgular Şekil 12 (toplam klorofil) ve Şekil 13 (toplam karotenoid)'de verildi.

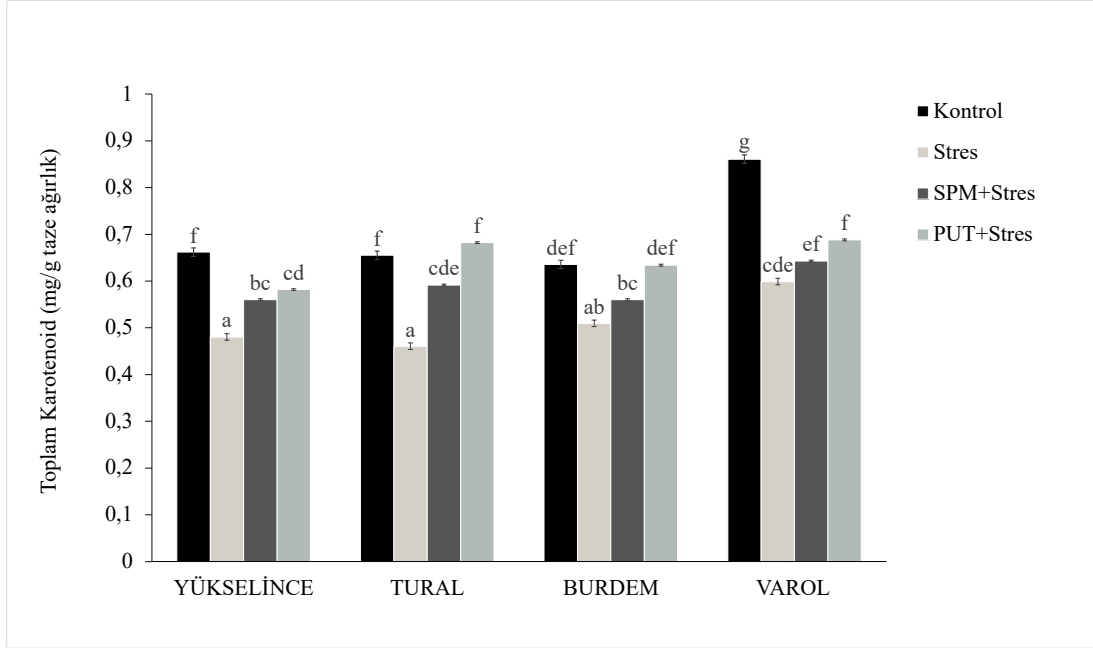


Şekil 12. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin toplam klorofil miktarlarındaki değişimler. (Barlar üç tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

Yükselince çeşidinin kontrol grubuna ait fidelerinde toplam klorofil miktarı 4,278 iken kuraklık stresi uygulanan fidelerin toplam klorofil miktarı 3,912, Tural çeşidine ait fidelerin toplam klorofil miktarları 4,838, kuraklık stresi uygulanan fidelerde ise 3,992 olarak belirlendi. Burdem çeşidinde kontrol grubuna ait fidelerde 3,96 olan toplam klorofil miktarı, kuraklık stres grubuna ait fidelerde 3,256, Varol çeşidinde ise kontrol grubuna ait fidelerde 4,529 iken kuraklık stres grubuna ait fidelerde 4,141 olarak bulundu. Kuraklık stresi uygulanan çeşitlerin kontrol gruplarına kıyasla en fazla azalış %17,77 ile Burdem çeşidinde bulunurken, Tural çeşidinde bu değer %17,48, Varol'da %8,56, Yükselince'de ise %8,55 olarak hesaplandı.

Poliamin ile ön muamele edilmiş ve kuraklık stresi uygulanmış Yükselince çeşidinde PUT ile ön muamele yapılan fidelerdeki toplam klorofil miktarının sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekenden istatistiki bakımdan önemli ölçüde fazla olduğu, Tural çeşidinde ise poliaminlerle ön muamele yapılan fidelerle sadece kuraklık stresi uygulananlar arasında istatistiki olarak önemli ($P \leq 0,05$) bir farklılık olmadığı belirlendi. Burdem çeşidinde PUT ve SPM ile ön muamele edilen fidelerdeki toplam klorofil miktarının sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekenden önemli ölçüde fazla olduğu, Varol çeşidinde ise kuraklık stresi etkisi ile toplam klorofil miktarında

meydana gelen azalmanın PUT ile ön muamele edilen fidelerde önemli ölçüde giderildiği tespit edildi.



Şekil 13. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin toplam karotenoid miktarlarındaki değişimler. (Barlar üç tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

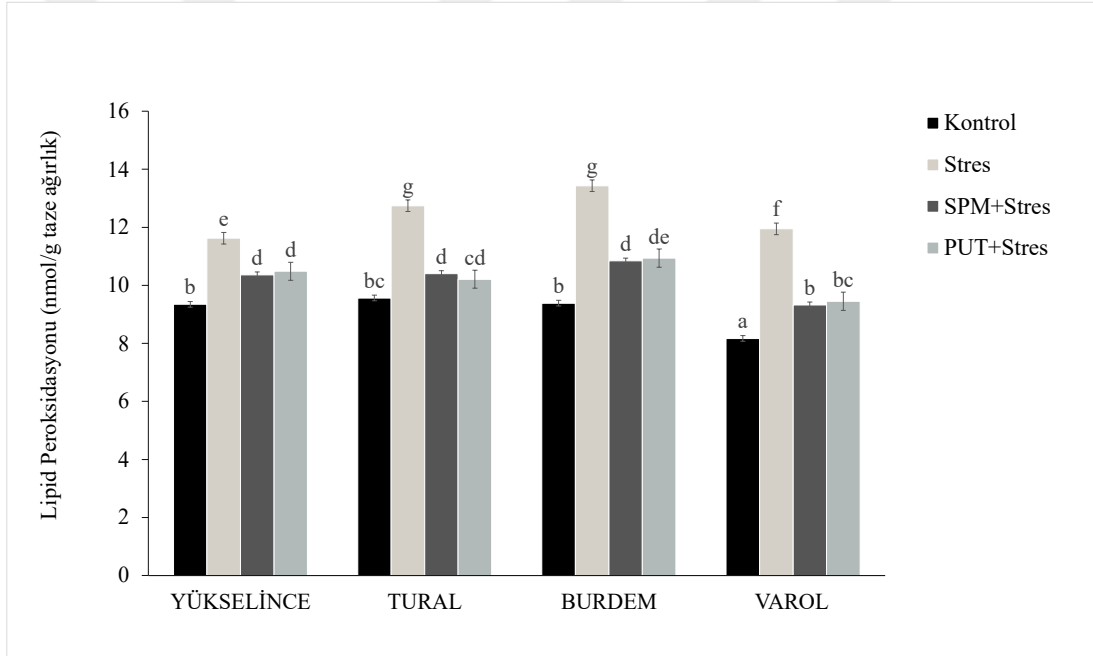
Kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerindeki toplam karotenoid miktarlarının önemli ölçüde azaldığı tespit edildi. Yükselince çeşidinin kontrol grubuna ait fidelerinde toplam karotenoid miktarı 0,662 iken kuraklık stresi uygulanan fidelerin toplam karotenoid miktarı 0,4803, Tural çeşidine ait fidelerin toplam karotenoid miktarları 0,6552, kuraklık stresi uygulanan fidelerde 0,4606 olarak belirlendi. Burdem çeşidinde kontrol grubuna ait fidelerde 0,6356 olan toplam karotenoid miktarı kuraklık stres grubuna ait fidelerde 0,5095, Varol çeşidinde ise kontrol grubuna ait fidelerde 0,8608 iken kuraklık stres grubuna ait fidelerde 0,5988 olarak bulundu. Kuraklık stresi uygulanan çeşitlerin kontrol gruplarına kıyasla en fazla azalış %30,43 ile Varol çeşidinde bulunurken, Tural çeşidinde bu değer %29,71, Yükselince’de %27,44, Burdem’de ise %19,83 olarak hesaplandı.

SPM ile ön muamele edilmiş Yükselince çeşidine ait fidelerin toplam karotenoid miktarı sadece kuraklık stresi uygulananlara kıyasla %16,69, PUT ile ön muamele edilmiş olanlarda ise % 21,15 oranında artış gösterdi. Tural çeşidine ait SPM ile ön muamele edilmiş fidelerin karotenoid miktarları sadece kuraklık stresi

uygulanana göre %28,39, PUT ile ön muamele yapılan fidelerde ise %48,11 oranında artışı belirlendi. Burdem çeşidinin SPM uygulamasında %9,97 lik bir artış olurken, PUT uygulamasında %24,41'lik bir artış saptandı. Varol çeşidinde ise SPM uygulamasındaki artış %7,39 iken PUT uygulamasında bu artış %14,91olarak bulundu.

2.3.4. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber Çeşitlerine Ait Lipid Peroksidasyonu Verileri

Çalışmada kullanılan biber çeşitlerinin poliamin uygulaması ve kuraklık stresine maruz bırakılması durumunda lipid peroksidasyonu miktarlarında meydana gelen değişim Şekil 14'de gösterildi.



Şekil 14. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait lipid peroksidasyonu miktarlarındaki değişimler. (Barlar üç tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark %5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

Yükselince çeşidine ait kontrol grubu fidelerinde, lipid peroksidasyonu ürünü olan malondialdehit miktarı 9,34 iken kuraklık stresi uygulanan fidelerde 11,62, Tural çeşidinde kontrol gurubuna ait fidelerde 9,56 olan malondialdehit miktarı, kuraklık stresi uygulanan fidelerde 12,74 olarak bulundu. Burdem çeşidinin kontrol grubu fidelerinin malondialdehit miktarı 9,38 iken kuraklık stresi uygulananlarda 13,43, Varol çeşidinin kontrol gurubuna ait fidelerin malondialdehit miktarı 8,16 iken

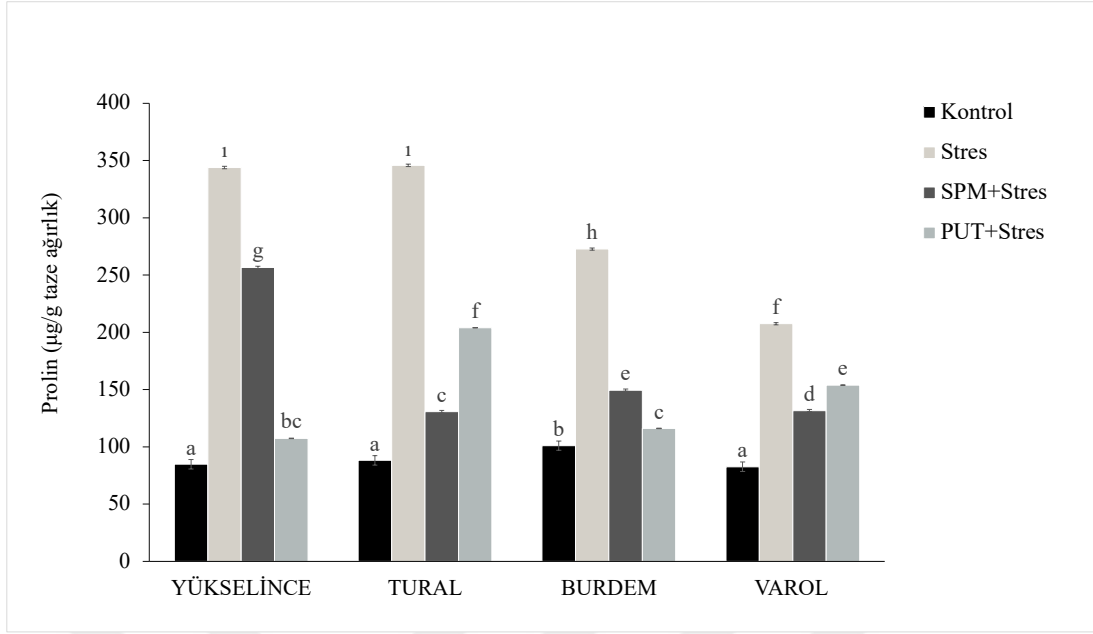
kuraklık stresi uygulananlarda 11,94 olarak kaydedildi. Kuraklık stresi uygulanan çeşitlerin kontrol gruplarına kıyasla en fazla artış Varol çeşidinde %46,32 olarak bulundu. Diğer çeşitler de ise Burdem’de %43,17, Tural’da %33,26 Yükselince’de ise %24,41 oranında artış hesaplandı.

PUT ve SPM ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz bırakılan biber çeşitlerindeki lipid peroksidasyon miktarının sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekine oranla önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde azaldığı belirlendi. SPM ile ön muamele edilmiş Yükselince çeşidine ait fidelerin malondialdehit miktarı sadece kuraklık stresi uygulananlara kıyasla %10,85, PUT ile ön muamele edilmiş olanlarda ise %9,81 oranında azalış gösterdi. Tural çeşidine ait SPM ile ön muamele edilmiş fidelerin malondialdehit miktarları sadece kuraklık stresi uygulananlara göre %18,35, PUT ile ön muamele yapılan fidelerde ise %19,87 oranında azaldığı belirlendi. Burdem çeşidinin SPM uygulamasında %19,27’lik bir azalış olurken, PUT uygulamasında %18,55’lik bir azalış saptandı. Varol çeşidinde ise SPM uygulamasında malondialdehit miktarındaki azalış %21,96 iken PUT uygulamasında bu azalış %20,89 olarak bulundu.

2.3.5. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber Çeşitlerine Ait Prolin İçerikleri

Çalışmada kullanılan deneysel gruplardaki biber çeşitlerinin yapraklarına ait prolin miktarları istatistiksel olarak incelendiğinde gruplar arasında önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde fark olduğu belirlendi. 10 gün süresince kuraklık stresi uygulanan fidelerin yapraklarına ait prolin miktarları Şekil 15’de gösterildi.

Yükselince çeşidine ait kontrol grubu fidelerinde, prolin miktarı 84,83 iken kuraklık stresi uygulanan fidelerdeki prolin miktarı 343,88, Tural çeşidinde kontrol gurubuna ait fidelerde 88,15 iken, kuraklık stresi uygulanan fidelerde 345,75 olarak bulundu. Burdem çeşidinin kontrol grubu fidelerinin prolin miktarı 101 iken kuraklık stresi uygulanan fidelerde 272,65, Varol çeşidinin kontrol gurubuna ait fidelerin prolin miktarı 82,58, kuraklık stresi uygulanan fidelerde ise 207,51 olarak kaydedildi. Kuraklık stresi uygulanan çeşitlerin kontrol gruplarına kıyasla en fazla artış Yükselince çeşidinde 4 kat olarak bulundu. Diğer çeşitler de ise Tural’da 3,9 kat, Burdem’de 2.7 kat, Varol’da ise 2,5 katlık bir artış hesaplandı.



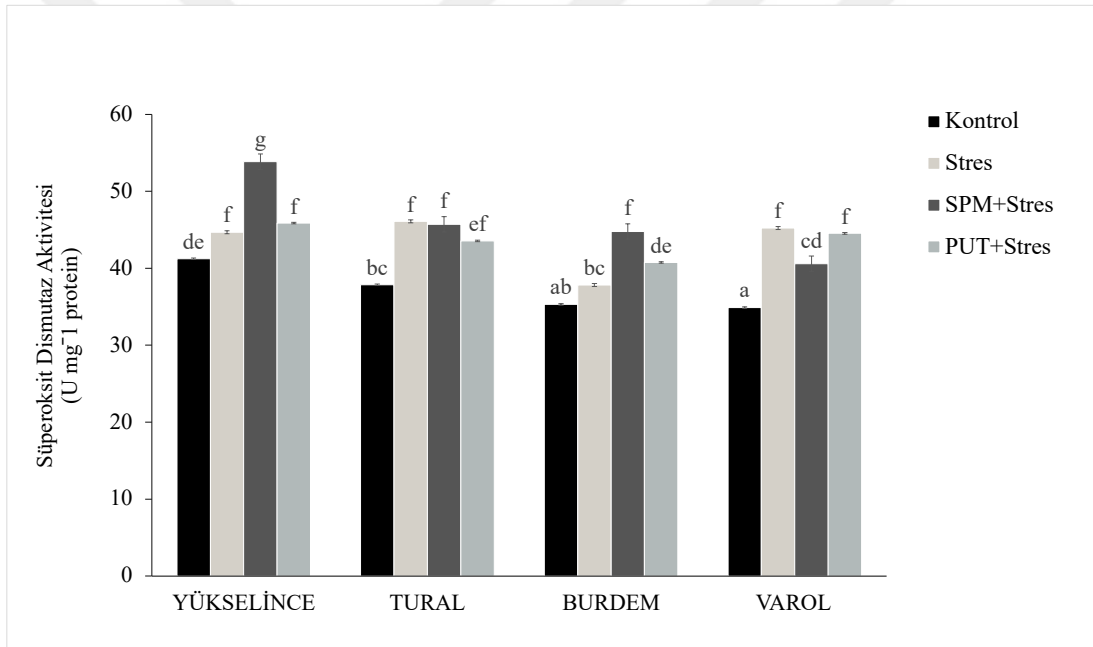
Şekil 15. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait prolin miktarlarındaki değişimler. (Barlar üç tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

PUT ve SPM ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz bırakılan biber çeşitlerindeki prolin miktarının sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekine oranla önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde azaldığı belirlendi. SPM ile ön muamele edilmiş Yükselince çeşidine ait fidelerin prolin miktarı sadece kuraklık stresi uygulananlara kıyasla %25,36, PUT ile ön muamele edilmiş olanlarda ise %68,74 oranında azalış gösterdi. Tural çeşidine ait SPM ile ön muamele edilmiş fidelerin prolin miktarları sadece kuraklık stresi uygulananlara göre %62,18, PUT ile ön muamele yapılan fidelerde ise %41,03 oranında azaldığı belirlendi. Burdem çeşidinin SPM uygulamasında %45,17'lik bir azalış olurken, PUT uygulamasında %57,36'lık bir azalış saptandı. Varol çeşidinde ise SPM uygulamasında prolin miktarındaki azalış %36,55 iken, PUT uygulamasında bu azalış %25,82 olarak bulundu.

2.3.6. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber Çeşitlerine Ait Antioksidan Enzim Aktiviteleri

2.3.6.1. Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi

Yükselince, Tural, Burdem ve Varol çeşitlerine 10 günlük kuraklık stresi uygulandığında SOD aktivitelerinde meydana gelen değişim Şekil 16’de gösterildi. Kuraklık stresi durumunda dört biber çeşidinin yapraklarındaki SOD aktivitesinin önemli ölçüde arttığı belirlendi. Yükselince çeşidine ait fidelerde kuraklık stresi durumunda kontrol grubu fidelerine kıyasla %8,38, Tural çeşidinde % 21,75 oranında artış kaydedildi. Burdem çeşidine ait kuraklık stresi uygulanan fidelerin SOD aktivitesindeki artış %7,10 iken, Varol çeşidinde bu artış %29,60 olarak hesaplandı.



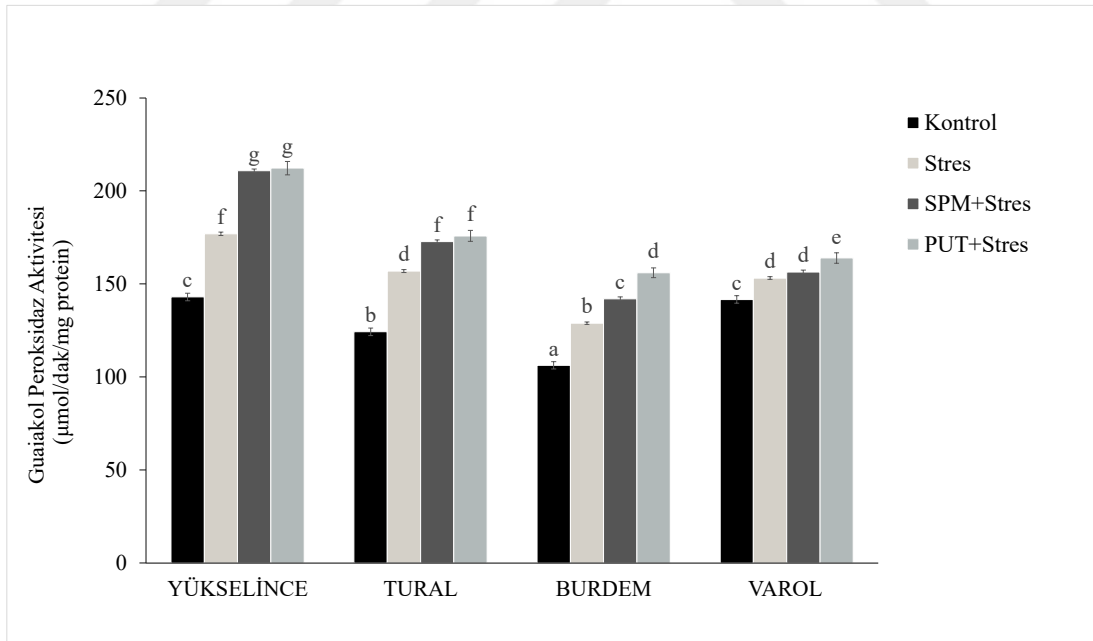
Şekil 16. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait SOD aktivitelerindeki değişimler.
(Barlar dört tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark %5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

Burdem çeşidine ait SPM ve PUT ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz bırakılan biber fidelerindeki SOD aktivitelerinde sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekine oranla önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde bir artış belirlenirken, Tural çeşidinde istatistiki bakımdan önemli bir artış belirlenemedi. Burdem çeşidinin SPM uygulamasında %18,42’lik bir artış olurken, PUT uygulamasında %7,77’lik bir artış saptandı. Yükselince çeşidine ait SPM ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz

bırakılan biber fidelerindeki SOD aktivitesinde sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekine oranla önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde artış belirlenirken, PUT uygulamasındaki artışın istatistiki bakımdan önemli olmadığı bulundu. SPM ile ön muamele edilmiş Yükselince çeşidine ait fidelerin SOD aktivitesi, sadece kuraklık stresi uygulananlara kıyasla %20,52 oranında arttı. Varol çeşidinin SPM uygulamasının SOD aktivitesinde sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekine kıyasla %10,26'lık bir azalış belirlenirken, PUT uygulaması durumunda görülen azalışın istatistiki bakımdan önemli olmadığı bulundu.

2.3.6.2 Guaiakol Peroksidaz (GPX) Aktivitesi

Çalışmada kullanılan deneysel gruptaki biber çeşitlerinin yapraklarına ait GPX aktiviteleri incelendiğinde gruplar arasında önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde fark olduğu belirlendi. 10 gün süresince kuraklık stresi uygulanan fidelerin yapraklarına ait GPX aktivitelerinde meydana gelen değişim Şekil 17'de gösterildi. Kuraklık stresi durumunda dört biber çeşidinin yapraklarındaki GPX aktivitesinin önemli ölçüde arttığı belirlendi.



Şekil 17. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait GPX aktivitelerindeki değişimler.

(Barlar altı tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

Yükselince çeşidine ait fidelerde kuraklık stresi durumunda kontrol grubu fidelerine kıyasla %23,73, Tural çeşidinde % 26,23 oranında artış kaydedildi. Burdem çeşidine ait fidelerin yapraklarındaki GPX aktivitesindeki artış kuraklık stresi durumunda %21,29 iken, Varol çeşidinde bu artış %8,13 olarak hesaplandı.

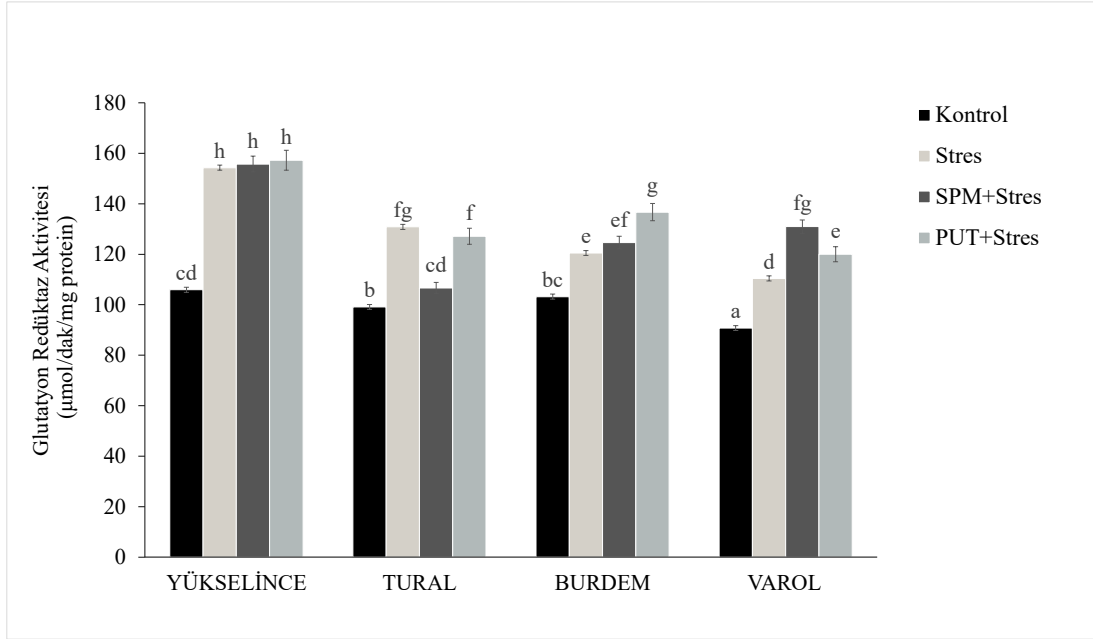
Yükselince, Tural ve Burdem çeşitlerinin PUT ve SPM ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz bırakılan fidelerinde GPX aktivitelerinde sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekine oranla önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde bir artış belirlendi. SPM ile ön muamele edilmiş Yükselince çeşidine ait fidelerin GPX aktivitesi sadece kuraklık stresi uygulananlara kıyasla %19,13, PUT ile ön muamele edilmiş olanlarda ise %19,95 oranında artış gösterdi. Tural çeşidine ait SPM ile ön muamele edilmiş fidelerin GPX aktivitesi sadece kuraklık stresi uygulananlara göre %10,09, PUT ile ön muamele yapılan fidelerde ise %12,07 oranında arttığı belirlendi. Burdem çeşidinin SPM uygulamasında %10,19'luk bir artış olurken, PUT uygulamasında %21,02'lik bir artış saptandı. Varol çeşidinde sadece PUT ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz bırakılan fidelerinde GPX aktivitesi sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekine oranla önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde arttığı belirlenirken bu artış %7,01 olarak bulundu.

2.3.6.3 Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesi

Yükselince, Tural, Burdem ve Varol çeşitlerine 10 günlük kuraklık stresi uygulandığında GR aktivitelerinde meydana gelen değişim Şekil 18'de gösterildi. Kuraklık stresi durumunda dört biber çeşidinin yapraklarındaki GR aktivitesinin önemli ölçüde arttığı belirlendi. Yükselince çeşidine ait fidelerde kuraklık stresi durumunda kontrol grubu fidelerine kıyasla %45,68 Tural çeşidinde % 32,01 oranında artış kaydedildi. Burdem çeşidine ait fidelerin yapraklarındaki GR aktivitesindeki artış kuraklık stresi durumunda %16,76 iken, Varol çeşidinde bu artış %21,66 olarak hesaplandı.

SPM ve PUT ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz bırakılan Yükselince çeşidindeki GR aktivitelerinde sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekine kıyasla ölçülen artışın istatistiki bakımdan önemli olmadığı, Varol çeşidindeki artışların ise önemli ölçüde olduğu ($P \leq 0,05$) belirlendi. SPM ile ön

muamele edilen Varol fidelerindeki GR aktivitesinde %18,58 artış belirlenirken, PUT ile ön muamele edilenlerde ise %8,68 artış kaydedildi.

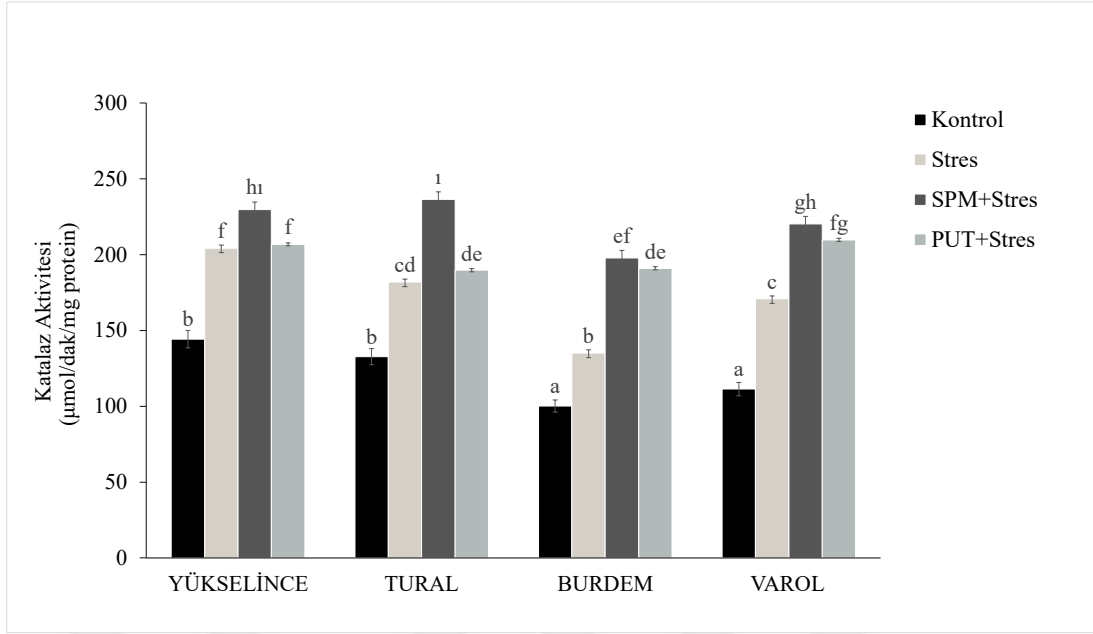


Şekil 18. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait GR aktivitesindeki değişimler. (Barlar altı tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

Tural çeşidinin PUT ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz bırakılan fidelerindeki GR aktivitesinde, sadece kuraklık stresi uygulanan fidelere nazaran istatistiki bakımdan önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde bir değişim olmazken, SPM uygulamasında azalış olduğu görüldü. Burdem çeşidi fidelerinde ise SPM ön muamelesinde önemli bir değişim olmazken, PUT ile ön muamele edilenlerde %13,42 oranında artış olduğu kaydedildi.

2.3.6.4. Katalaz (KAT) Aktivitesi

Çalışmada kullanılan deneysel gruplardaki biber çeşitlerinin yapraklarına ait KAT aktiviteleri incelendiğinde gruplar arasında önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde fark olduğu belirlendi. 10 gün süresince kuraklık stresi uygulanan fidelerin yapraklarına ait KAT aktivitesinde meydana gelen değişim Şekil 19’da gösterildi. Kuraklık stresi durumunda dört biber çeşidinin yapraklarındaki KAT aktivitesinin önemli ölçüde arttığı belirlendi.



Şekil 19. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin KAT aktivitelerindeki değişimler. (Barlar altı tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

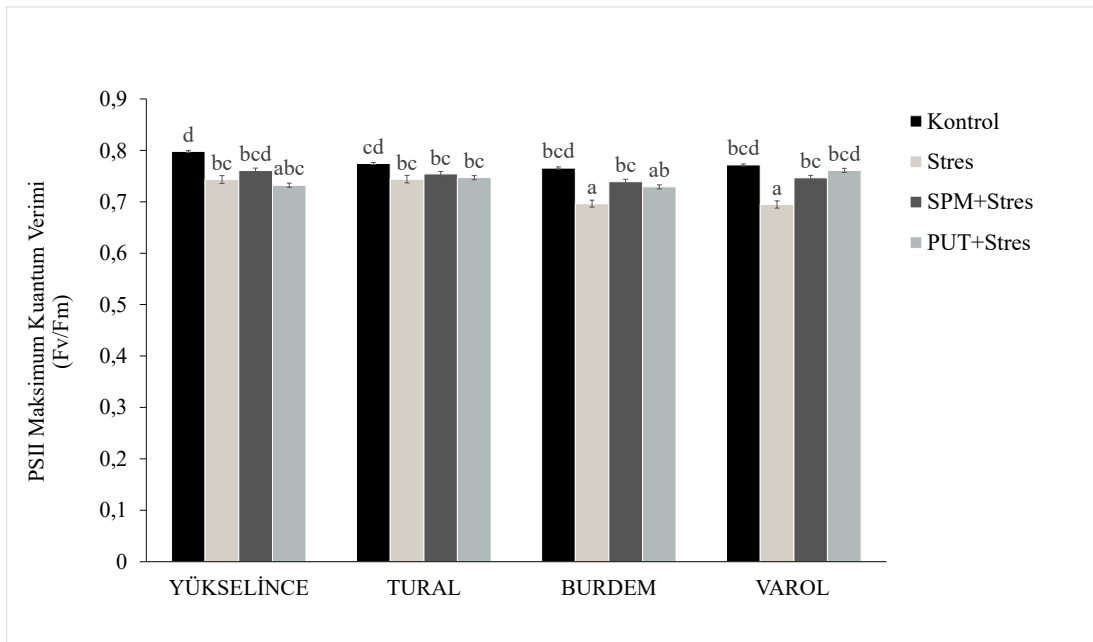
Yükselince çeşidine ait fidelerde kuraklık stresi durumunda kontrol grubu fidelerine kıyasla %41,65, Tural çeşidinde %37,12 oranında artış kaydedildi. Burdem çeşidine ait fidelerin yapraklarındaki KAT aktivitesindeki artış kuraklık stresi durumunda %34,85 iken, Varol çeşidinde bu artış %53,42 olarak hesaplandı.

Yükselince ve Tural çeşitlerinin SPM ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz bırakılan biber fidelerinin KAT aktivitelerinde sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerine oranla önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde bir artış belirlendi. Bu artış SPM ile ön muamele edilmiş Yükselince çeşidine ait fidelerde sadece kuraklık stresi uygulananlara kıyasla %12,45, Tural çeşidinin SPM ile ön muamele edilmiş fidelerinde ise %29,98 olarak belirlendi. Burdem ve Varol çeşitlerinin PUT ve SPM ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz bırakılan fidelerindeki KAT aktivitelerinde sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerine oranla önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde artış tespit edildi. Burdem çeşidinin SPM uygulamasında %46,30'lık bir artış olurken, PUT uygulamasında %41,29'lık bir artış saptandı. Varol çeşidinde ise SPM uygulamasında KAT aktivitesindeki artış %28,89 iken, PUT uygulamasında bu artış %22,78 olarak bulundu.

2.3.7. Poliamin ile Muamele Edilmiş ve Kuraklık Stresi Uygulanmış Biber Çeşitlerine Ait Klorofil Floresans Ölçümü Verileri

2.3.7.1. PSII Maksimum Kuantum Verimi (Fv/Fm)

Çalışmada kullanılan deneysel gruptaki biber fidelerinin yapraklarına ait PSII maksimum kuantum verimi (Fv/Fm) sonuçları istatistiksel olarak incelendiğinde gruplar arasında önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde fark olduğu görüldü. 10 gün süresince kuraklık stresi uygulanan fidelerin yapraklarına ait Fv/Fm sonuçları Şekil 20’de gösterildi.



Şekil 20. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait Fv/Fm sonuçlarındaki değişiklikler.

(Barlar dokuz tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

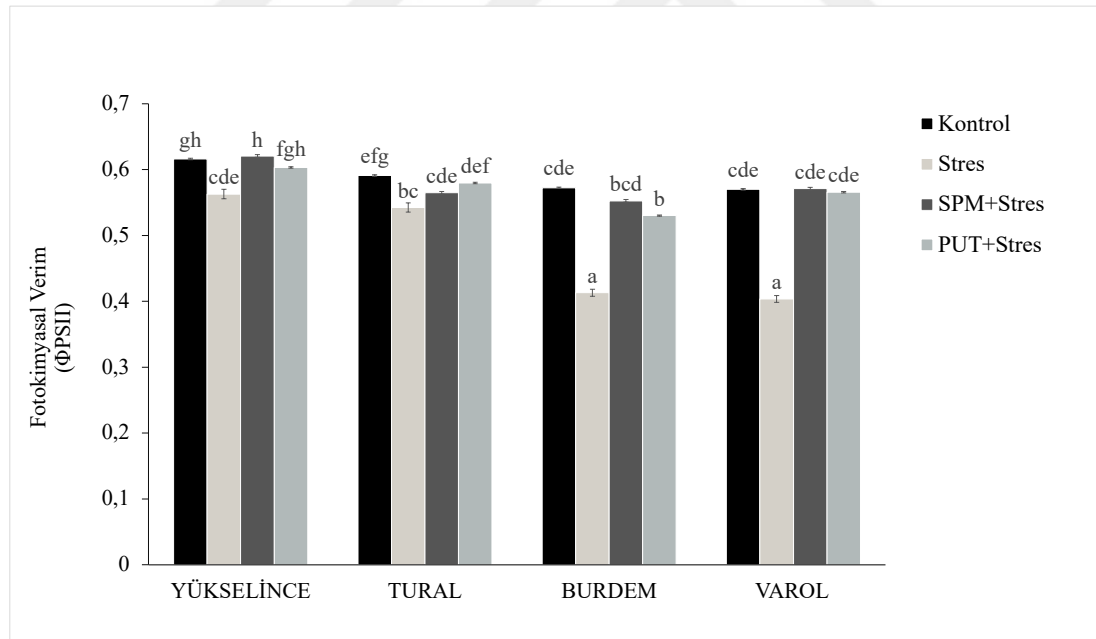
Kuraklık uygulamasının 10. gününde biber çeşitlerinde ölçülen Fv/Fm değerlerinin kontrol fidelerine kıyasla istatistiki bakımdan önemli ölçüde ($P \leq 0,05$) azaldığı bulundu. Yükselince çeşidinin kontrol grubuna ait biber fidelerinin yapraklarındaki Fv/Fm değerine kıyasla, kuraklık stresine maruz bırakılmış fidelerdeki Fv/Fm değerinde %6,84, Tural çeşidinde %3,92 oranında azalış belirlendi. Burdem ve Varol çeşitlerinin kontrol grubu fidelerinin yapraklarında ölçülen Fv/Fm sonuçlarına nazaran kuraklık stresi uygulanan fidelerin yapraklarındaki Fv/Fm sonuçlarının Burdem’de %9,06 ve Varol’da ise %9,96 azaldığı belirlendi.

Poliaminle ön muamele edilmiş ve kuraklık stresi uygulanmış Yükselince ve Tural çeşitlerinde Fv/Fm oranında sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerle kıyasla istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. Burdem çeşidinde SPM'nin istatistiki bakımından etkili olduğu, Varol çeşidinde ise her iki poliamininde istatistiki bakımından önemli ölçüde artırıcı etkisi olduğu belirlendi.

Burdem çeşidinin SPM uygulanan fidelerinde %6,14 oranında artış belirlenirken, Varol çeşidine ait SPM uygulanmış fidelerde Fv/Fm oranında, sadece kuraklık stresine maruz bırakılan fidelere kıyasla %7,49'luk, PUT uygulanmış fidelerde ise %9,52 oranında artış gösterdiği belirlendi.

2.3.7.2. Fotokimyasal Verim (Φ PSII)

Çalışmada kullanılan dört farklı biber çeşidine ait fidelerin yapraklarındaki fotokimyasal verimi (Φ PSII) sonuçları istatistiksel olarak incelendiğinde gruplar arasında önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde fark olduğu belirlendi. 10 gün süresince kuraklık stresi uygulanan fidelerin yapraklarına ait Φ PSII sonuçları Şekil 21'de gösterildi.



Şekil 21. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait Φ PSII sonuçlarındaki değişiklikler.
(Barlar dokuz tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

Φ PSII değerinde kuraklık stresinin etkisi ile azalma meydana geldiği belirlendi. Bu azalış Yükselince çeşidinin kuraklık stresine maruz bırakılan fidelerinde

kontrole kıyasla %8,65, Tural çeşidinde %8,20, Burdem çeşidinde %27,84 ve Varol çeşidinde ise %29,20 olarak hesaplandı.

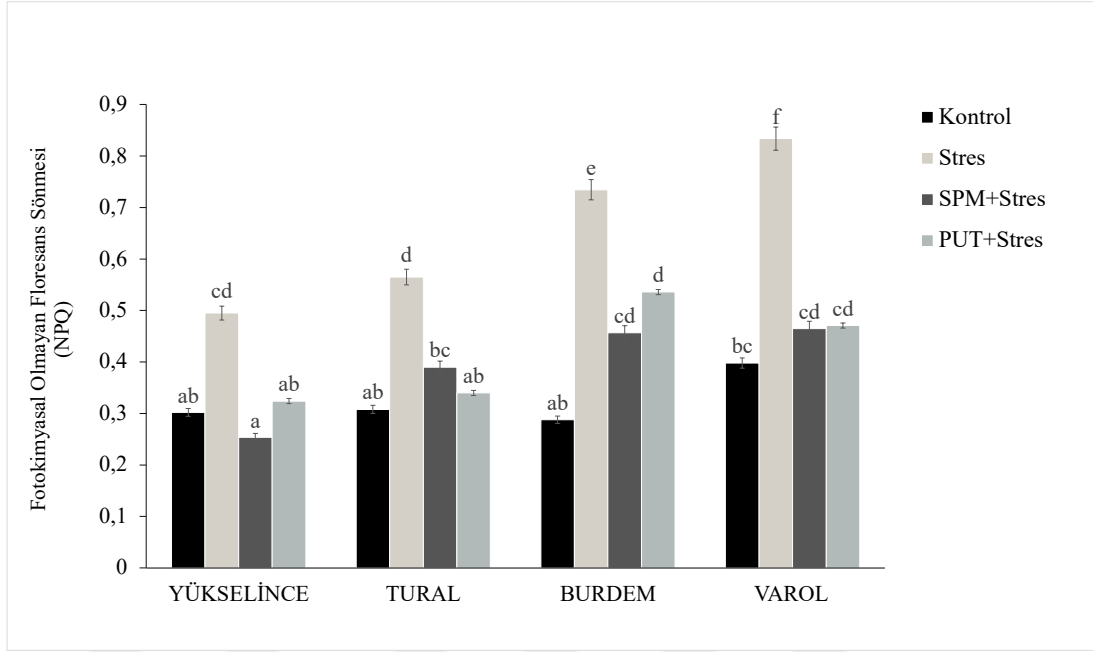
Kuraklık stresinin fotokimyasal verim üzerindeki olumsuz etkisini poliaminlerin giderici etkisi olduğu ($P \leq 0,05$) belirlendi.

SPM ve PUT ile ön muamele edilmiş ve 10 gün kuraklığa maruz bırakılan biber fidelerinin yapraklarındaki fotokimyasal verim, yalnızca kuraklığa maruz bırakılmış fidelerin yapraklarındakiyle kıyaslandığında Yükselince çeşidi SPM uygulamasında %10,27'lik PUT uygulamasında %7,16'lık bir artışa neden olurken, Tural çeşidinin PUT uygulamasında %6,83'lük bir artış belirlendi. Burdem çeşidinin SPM uygulamasında %33,77'lik, PUT uygulamasında %28,37'lik bir artış saptandı. Varol çeşidinin SPM ile muamele edilmiş ve 10 gün kuraklığa maruz bırakılan biber fidelerinin yapraklarındaki fotokimyasal verim, yalnızca kuraklığa maruz bırakılmış fidelerdekine kıyasla %41,47'lik, PUT ile muamele edilende %40,21'lik artışa neden olduğu belirlendi.

2.3.7.3. Fotokimyasal Olmayan Floresans Sönmesi (NPQ)

Çalışmada kullanılan deneysel gruplardaki biber fidelerine ait fotokimyasal olmayan floresans sönmesi (NPQ) sonuçları istatistiksel olarak incelendiğinde gruplar arasında önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde fark olduğu gözlemlendi. 10 gün süresince kuraklık stresi uygulanan fidelerin yapraklarına ait NPQ sonuçları Şekil 22'de gösterildi.

Fotokimyasal olmayan floresans sönmesinin kuraklık stresi sonucunda arttığı kaydedildi. Yükselince çeşidinin kontrol grubuna ait fidelerinde ölçülen fotokimyasal olmayan floresans sönmesi 0,302 iken, yalnızca kuraklık stresi uygulanan fidelerdeki fotokimyasal olmayan floresans sönmesinin 0,495 olduğu bulunarak 1,63 katlık bir artış belirlendi. Tural çeşidinin kontrol grubuna ait fidelerinde ise bu değer 0,308 iken kuraklık stresine maruz bırakılan fidelerinde 0,565 bulunarak 1,83 katlık, Burdem çeşidinin kontrol grubu fidelerinde 0,288, kuraklık stresi durumunda 0,734 olarak ölçülerek 2,55 katlık bir artış saptandı. Varol çeşidinin kontrol grubuna ait fidelerinde ölçülen fotokimyasal olmayan floresans sönmesi 0,398, yalnızca kuraklık stresi uygulanan fidelerinde de 0,834 olarak ölçülerek 2,09 katlık bir artış hesaplandı.

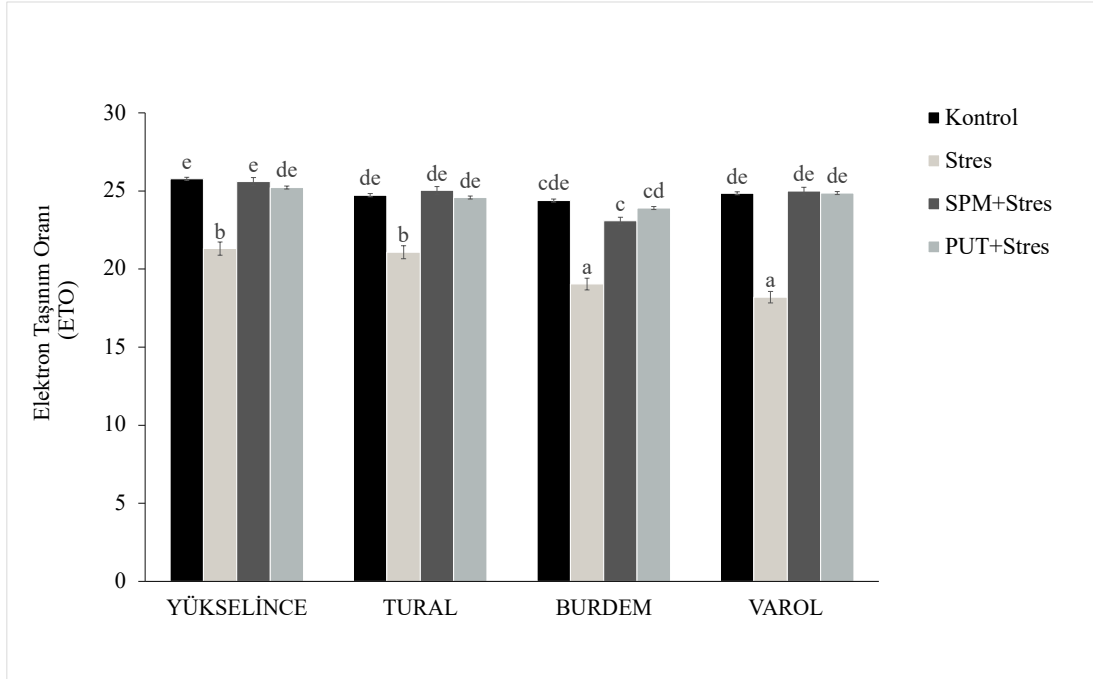


Şekil 22. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinin NPQ sonuçlarındaki değişiklikler. (Barlar dokuz tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

Poliamin ile ön muamele edilmiş fidelerde kuraklık stresinin neden olduğu artışı azaltmaya yönelik istatistiki bir fark belirlendi. Yükselince çeşidinin SPM uygulamasında sadece kuraklık stresi uygulanan fidelere kıyasla %48,72 lik oranında PUT uygulamasında da %34,54'lük oranda azaltıcı etkisi olduğu görüldü. Tural çeşidinin SPM uygulamasında %30,97'lik PUT uygulamasında %39,82 oranında azaltıcı etkisi olduğu hesaplandı. Bu azalış burdem çeşidinin SPM uygulamasında %37,78 PUT uygulamasında %27,03 oranında olurken, Varol çeşidinin SPM uygulamasında %44,24'lik PUT uygulamasında %43,52'lik oranında azalma olduğu tespit edildi.

2.3.7.4. Elektron Transfer Oranı (ETO)

Çalışmada kullanılan deneysel gruplardaki biber fidelerine ait elektron transfer oranı (ETO) sonuçları istatistiksel olarak incelendiğinde gruplar arasında önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde fark olduğu belirlendi. Yükselince, Tural, Burdem ve Varol çeşitlerine 10 günlük kuraklık stresi uygulandığında elektron transfer oranında meydana gelen değişim Şekil 23'de gösterildi.



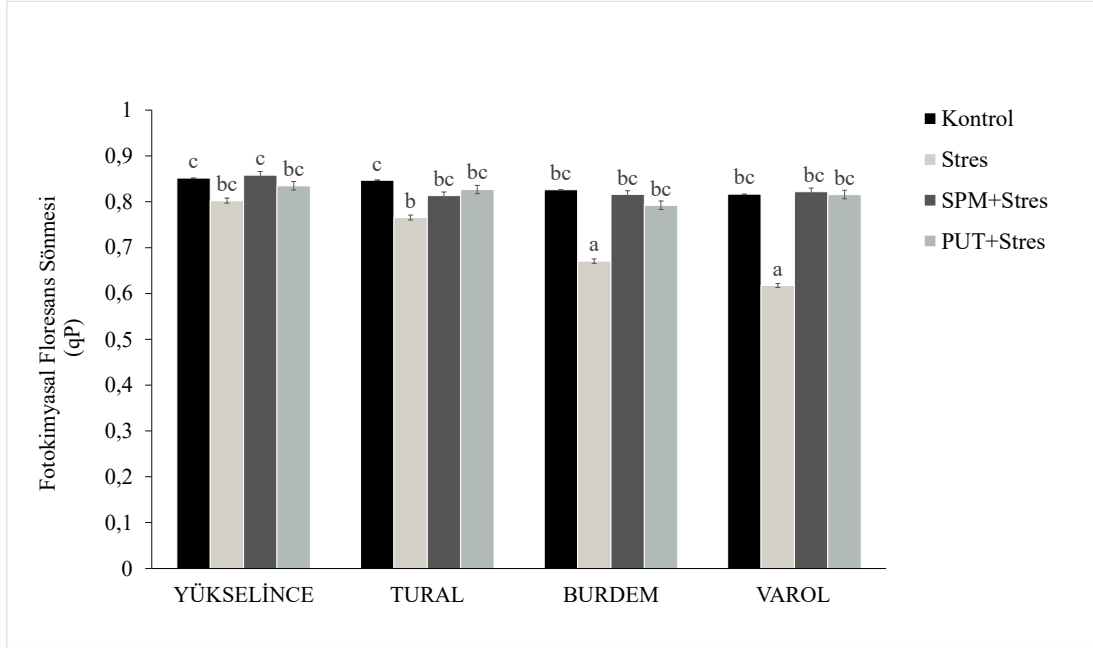
Şekil 23. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait ETO sonuçlarındaki değişiklikler.
(Barlar dokuz tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

Yükselince çeşidine ait fidelerde kuraklık stresi durumunda kontrol grubu fidelerine kıyasla %17,33, Tural çeşidinde %14,75’lik azalış kaydedildi. Burdem çeşidine ait 10 günlük kuraklık stresine bırakılan fidelerin yapraklarındaki elektron transfer oranındaki azalış kontrol grubuna göre %21,92, Varol çeşidinde %26,76’lık olarak hesaplandı.

SPM ve PUT ile ön muamele edilip kuraklık stresine maruz bırakılan biber fidelerinde elektron transfer oranında, sadece kuraklık stresi uygulanan fidelere oranla önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde artış belirlendi. Yükselince çeşidinde kuraklık etkisiyle ETO değerinde meydana gelen azalmanın SPM ön muamelesiyle %20,13, PUT ile ön muamelesinde ise %18,34 oranında bir artış ile giderildiği bulundu. Tural çeşidinin SPM ile ön muamele edilmiş fidelerinde %18,78, PUT ile ön muamele edilmiş fidelerinde %16,6’lık bir artış saptandı. Burdem çeşidinin sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerindeki ETO değerindeki azalmanın SPM ön muamelesi ile %21,25 oranında PUT ön muamelesinde %25,56’lık bir artış ile giderilirken, Varol çeşidinin SPM ön muamelesinde %37,30, PUT ön muamelesinde %36,64 lük bir artışla giderildiği belirlendi.

2.3.7.5. Fotokimyasal Kullanılma (qP)

Çalışmada kullanılan deneysel gruplardaki biber fidelerinin yapraklarına ait fotokimyasal kullanılma (qP) sonuçları istatistiksel olarak incelendiğinde gruplar arasında önemli ($P \leq 0,05$) ölçüde fark olduğu belirlendi. 10 gün süresince kuraklık stresi uygulanan fidelerin yapraklarına ait qP sonuçları Şekil 24’de gösterildi.



Şekil 24. Poliamin ile ön muamele edilen ve kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerine ait qP sonuçlarındaki değişiklikler.
(Barlar dokuz tekerrürlü ölçümlerin standart sapmalarını göstermektedir. Aynı harflerle gösterilen sütunlar arasındaki fark % 5 ($P \leq 0,05$) seviyesinde önemsizdir.)

Fotokimyasal kullanılmanın (qP), kuraklık stresi sonucunda azaldığı ($P \leq 0,05$) kaydedildi. Yükselince çeşidinin fidelerinde kuraklık stresi durumunda qP değerinde kontrole kıyasla %5,77’lik bir azalma olmasına rağmen istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır. Tural çeşidinde %9,60’lık, Burdem çeşidinde %24,90’lık, Varol çeşidinde ise %24,42 oranında azalma belirlendi.

Poliamin ile ön muamele edilmiş ve kuraklık stresi uygulanmış Yükselince ve Tural çeşitlerinin qP değerinde sadece kuraklık stresi uygulanan fidelere kıyasla istatistiksel olarak önemli olmayan bir artış belirlendi. Burdem ve Varol çeşitlerine ait fidelere ise kuraklık stresinin etkisiyle qP değerinde meydana gelen azalmanın PUT ve SPM ön muamelesiyle giderildiği tespit edildi. Burdem çeşidinin SPM ile muamele edilmiş ve kuraklık stresine maruz bırakılan fidelerindeki fotokimyasal kullanılma

oranında, yalnızca kuraklık stresi uygulanmış fidelere kıyasla %21,70, PUT ile ön muamele edilenlerde ise %18,16 lık bir artış belirlendi. Varol çeşidinin SPM ile muamele edilmiş ve kuraklık stresine maruz bırakılan fidelerindeki fotokimyasal kullanılma oranı, yalnızca kuraklık stresi uygulanmış fidelere kıyasla %33,19, PUT ile ön muamele edilenlerde ise %32,15 oranında artış gösterdi.



3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Küresel iklim değişikliği günümüzde çevre için en yıkıcı tehdit olarak görülüyor ve tarım üzerindeki büyük etkisi nedeniyle çiftçiler, araştırmacılar ve politika yapıcılar tarafından büyük ilgi görüyor. Küresel ısınmadan dolayı tarımı etkileyen en şiddetli abiyotik streslerden biri, mahsul bitkilerinin büyümesi ve gelişmesi üzerinde belirgin olumsuz etkileri olan kuraklıktır. Kuraklık stresinin etkilerinin, iklim değişikliğindeki artışlar ve büyüyen su kriziyle daha da artması beklenmektedir. Kuraklık stresi genellikle, bitkilerde meydana gelen kuraklığa bağlı birçok morfolojik, fizyolojik ve metabolik değişiklikten kaynaklanabilen mahsul veriminde azalmalara yol açmaktadır. Çoğu mahsulün ortalama verimi, potansiyel verimlerinin yaklaşık yarısı kadardır; bu verim açığı, biyotik ve abiyotik streslerin neden olduğu kayıplardan kaynaklanmaktadır. Bu abiyotik stresler arasında kuraklık, küresel ölçekte en karmaşık ve yıkıcı olanıdır ve iklim değişikliğinin bir sonucu olarak sıklığının artması beklenmektedir. Bu nedenle, kuraklığın bitkiler üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması, tarımda gelişmiş yönetim uygulamaları ve yetiştirme çabalarının oluşturulması ve iklim değişikliği altında doğal bitki örtüsünün kaderinin tahmin edilmesine olanak sağladığı için hayati önem taşımaktadır (Hasanuzzaman vd., 2014). Olumsuz çevresel koşullar altında gıda üretimini sürdürmek için uygun stratejiler geliştirmek amacıyla mahsul bitkilerinin kuraklık stresine karşı fizyolojik tepkisini incelemek gereklidir (Kuşvuran, 2012). Çoğu mahsul bitkisinin kuraklık stresine tepkisi geniş bir genotipik değişkenlik gösterir ve neticede her bir genotipin ürün kaybı farklı oranda olmaktadır. Bu nedenle ekonomik önemi olan bitkilerin kuraklık stresine toleranslı olan çeşitlerinin belirlenmesi verimlilik açısından önem arz etmektedir.

Ayrıca bütün canlılarda doğal olarak bulunan ve çeşitli bitkilerde abiyotik streslere karşı bitki toleransını artırıcı etkisi olduğu belirlenen poliaminlerin, dışarıdan uygulanması neticesinde kuraklık stresinin olumsuz etkilerini azaltabilecekleri konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Mevcut çalışmada *Capsicum annuum*'a ait 4 farklı çeşidin kuraklık stresine karşı gösterdikleri toleransın düzeyi ve kuraklık stresine verilen yanıtı karşı poliaminlerin rolü, antioksidan sistem ve fotosentetik parametrelerdeki değişimler incelenerek aydınlatılmaya çalışılmıştır. Kuraklık

stresinin 4 biber çeşidine ait gövde uzunluklarını önemli ölçüde azalttığı ve en fazla azalmanın %17, 68 oranında Burdem çeşidinde olduğu belirlenmiştir. En az azalma ise %10,38 oranında Yükselince çeşidinde bulunmuştur. Gövde yaş ve kuru ağırlıklarında da en az azalmanın sırasıyla %37,21 ve %28,75 oranında Yükselince çeşidinde olduğu, gövde yaş ağırlığında en fazla azalmanın %44,75 oranında Burdem çeşidinde, gövde kuru ağırlığında ise en fazla azalmanın %44,79 oranında Varol çeşidinde olduğu tespit edilmiştir.

Kuraklık altında daha fazla bitki yaş ve kuru ağırlıkları arzu edilen karakterlerdir. Su ve tuz stresinin mahsul bitkileri üzerindeki yaygın bir olumsuz etkisi, taze ve kuru biyokütle üretimindeki azalmadır. Kuraklık, hücre bölünmesini ve büyümesini azaltarak ve bitki besin alınımlı ve büyüme oranlarını gerileterek bitki büyümesini engellemektedir (Farooq vd., 2009a). Nitekim, farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda kuraklık stresinin bitki büyümesini azalttığı kaydedilmiştir (Zeid ve Shedeed, 2006; Díaz-López vd., 2012; Hassan vd., 2020)

Poliamin uygulanan biber çeşitlerinden Burdem’de gövde uzunluğunda kuraklık stresi etkisiyle meydana gelen azalmanın istatistiki bakımdan önemli ölçüde engellendiği, Tural çeşidinde ise SPM’nin etkili olduğu bulunmuştur. Yükselince ve Varol çeşitlerinde ise kuraklık stresinin etkisiyle gövde uzunluğunda meydana gelen azalmanın poliamin ön muamelesiyle birlikte istatistiki bakımdan önemli ölçüde giderilmediği tespit edilmiştir. Yükselince, Tural ve Varol çeşitlerinin gövde yaş ve kuru ağırlığında kuraklık etkisiyle meydana gelen azalmanın PUT ve SPM ön muamelesiyle beraber istatistiki bakımdan önemli ölçüde giderilmediği ancak Burdem çeşidinin kuru ağırlığında SPM’nin etkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte kuraklık stresine maruz bırakılan yonca bitkisinde gövde ve kök uzunluğu ile yaş ve kuru ağırlıklarında meydana gelen azalmanın PUT uygulamasıyla önemli ölçüde giderildiği kaydedilmiştir (Zeid ve Shedeed, 2006). Farooq vd. (2009b)’nin pirinç bitkisinde yaptıkları çalışmada, tohumla muamele edilen ve foliar olarak uygulanan poliaminlerin pirinç bitkisinin fide boyu, taze ve kuru ağırlıklarında kuraklık stresi etkisiyle meydana gelen azalmaları önemli ölçüde giderdiği ve kuraklık toleransının önemli ölçüde iyileştirildiği belirlenmiştir. İki farklı şekilde yapılan poliamin uygulamasından foliar uygulamanın daha etkili olduğu ve uygulaması yapılan PUT, SPD ve SPM arasında SPM’nin en etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, buğday

bitkilerine foliar olarak uygulanan poliaminlerin kuraklık stresinin büyüme parametrelerinde meydana getirdiği azalmayı giderdiği belirlenmiştir (Ebeed vd., 2017). Başka bir çalışmada, eksojen olarak uygulanan poliaminlerin soya fasulyesi ve nohutta su stresi hasarını azalttığı, stresli bitkilerin su içeriği ve büyüme oranlarını artırdığı kaydedilmiştir (Nayyar vd., 2005).

Bitkilerde stres koşullarında değişen ve bitkinin su durumunu gösteren parametrelerden biri nispi su içeriğidir (RWC). Bu çalışmada, dört biber çeşidinde de uygulanan kuraklık stresine bağlı olarak RWC'nin literatür çalışmaları ile benzerlik gösterecek şekilde azaldığı tespit edilmiştir (Keyvan, 2010; Çelik vd., 2017; Hassan vd., 2018; Sundararajan vd., 2022). Poliaminlerle ön muamele yapıldıktan sonra kuraklık stresine maruz bırakılan Burdem ve Varol çeşitlerindeki RWC miktarının sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerdekinden istatistiki bakımdan önemli ölçüde fazla olduğu, Yükselince çeşidinde PUT'un, Tural çeşidinde ise SPM'nin daha etkili olduğu bulunmuştur. PUT, SPM ve PUT+SPM'nin foliar ve tohumla muamele edilerek uygulandığı buğday bitkisinde de kuraklık stresi durumunda RWC'deki azalmanın foliar uygulamanın yapıldığı fidelerde önemli ölçüde giderildiği, tohumla muamelede ise PUT+SPM karışımının etkili olduğu kaydedilmiştir (Ebeed vd., 2017). Bu çalışmada foliar uygulamanın buğday bitkisinin büyümesinde daha etkili olduğu vurgulanmış ve Farooq vd. (2009b)'nin de pirinç bitkisinde benzer sonuca vardığı belirtilmiştir. Ayrıca SPM ile ön muamele yapılan çimlerde kuraklık durumunda RWC'de meydana gelen azalmanın önemli ölçüde engellendiği kaydedilmiştir (Tan vd., 2022). Poliamin biyosentezi inhibitörü uygulanan beyaz yonca bitkisinde ise içsel poliamin miktarının azalmasıyla birlikte kuraklık uygulanmasıyla azalan RWC'nin daha da azaldığı belirlenmiştir (Li vd., 2018a).

Kuraklık stresinin etkilediği önemli parametrelerden birisi de fotosentetik pigment miktarıdır. Bu çalışmada 10 günlük kuraklık uygulanan 4 biber çeşidinde de toplam klorofil ve karotenoid miktarlarının önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur. PUT ve SPM ile ön muamele yapılan Burdem çeşidinde kuraklık etkisiyle toplam klorofil miktarında meydana gelen azalmanın istatistiki bakımdan önemli ölçüde engellendiği, Yükselince ve Varol çeşitlerinde PUT'un etkili olduğu, Tural çeşidinde ise poliaminlerle ön muamele yapılan fidelerle stres uygulananlar arasında istatistiki bir fark olmadığı tespit edilmiştir. PUT, SPM ve PUT+SPM'nin tohumla muamele

edildiği veya foliar olarak uygulandığı buğday bitkisinde, tohumla muamelenin kuraklık stresi durumunda klorofil (a+b) miktarında meydana gelen azalmayı engellemediği, ancak foliar uygulamanın etkili olduğu kaydedilmiştir (Hassan vd., 2020). Bu çalışmada uygulama yapılan poliaminlerin benzer etki yaptığı belirtilmiştir. Başka bir çalışmada su stresi durumunda azalan RWC ve toplam klorofil miktarının foliar uygulanan poliaminler tarafından iyileştirildiği vurgulanmıştır (Hassan vd., 2018). Elbar vd. (2019) foliar olarak farklı konsantrasyonlarda PUT uyguladıkları kekik bitkisinde klorofil miktarında kuraklık stresi altında meydana gelen azalmanın önemli ölçüde engellendiğini kaydetmişlerdir. Bu çalışmada kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerinde toplam karotenoid miktarında meydana gelen azalmanın poliaminlerle ön muamele yapılan fidelerde önemli ölçüde giderildiği bulunmuştur. Başka çalışmalarda da benzer sonuçlar tespit edilmiştir (Zeid ve Shedeed, 2006; Shaddad vd., 2011; Hassan vd., 2020).

Poliaminler bitki büyüme ve gelişmesindeki rollerinin yanı sıra antioksidan özelliğe sahip olduklarından reaktif oksijen türlerinin olumsuz etkilerinden bitkileri koruyabilirler (Gill ve Tuteja, 2010; Hussain vd., 2011; Chen vd., 2019). Nitekim poliaminlerin abiyotik stres koşullarında lipid peroksidasyonunu azalttığı çeşitli çalışmalarda kaydedilmiştir (Velikova vd., 2000; Ghassemi vd., 2018; Baniasadi vd., 2018; Sundararajan vd., 2022). Poliaminler, asit nötralize edici ve antioksidan özelliklerinden dolayı yaşlanmayı önleyici ve stres önleyici etkilerinin yanı sıra membran ve hücre duvarını stabilize etme yetenekleriyle iyi bilinirler (Besford vd., 1993; Liu vd., 2007; Zhao ve Yang, 2008). Bu çalışmada da kuraklık stresiyle biber fidelerinde MDA içeriğinin arttığı ve poliaminlerle ön muamele yapılan fidelerde ise MDA içeriğinin sadece kuraklık stresi uygulanan fidelerle kıyaslandığında istatistiki olarak önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur. Çalışılan dört biber çeşidinde stres durumunda MDA içeriğinde meydana gelen artışın en az Yükselince çeşidinde olduğu, stres öncesi uygulanan PUT ve SPM'nin ise dört biber çeşidinde de MDA içeriğini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Farooq vd. (2009b), foliar ve tohumla muamele ederek poliamin uyguladıkları pirinçte kuraklık stresi durumunda artan MDA içeriğinin azaltıldığını ve foliar olarak uygulanan SPM'nin daha etkili olduğunu kaydetmişlerdir. Buğday bitkisinde de foliar olarak uygulanan PUT, SPM ve PUT+SPM karışımının kuraklık etkisiyle MDA içeriğinde meydana gelen artışı

giderdiği ve membran kararlılığını artırdığı tespit edilmiştir (Hassan vd., 2020). Polikasyonik doğası nedeniyle, poliaminler hücre zarındaki negatif yüklü gruplara bağlanabilir, böylece stres uygulamasından sonra faz değişimi tamponlanabilir (Liu vd., 2007).

Bitkilerin kuraklık stresine adaptasyonlarından biri, ozmoregülasyon için şekerler ve amino asitler gibi organik çözünenlerin artan içeriğidir. Prolin birikiminin uyarılması, bitkilerin şiddetli stres koşullarını tolere etmesi için önemli bir mekanizma olabilir (Ruan vd., 2004). Bu çalışmada kuraklık stresi uygulanan dört biber çeşidinde de prolin miktarının istatistiki bakımdan önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. Yükselince yapraklarında 4,05, Tural'da 3,92, Burdem'de 2,69 ve Varol çeşidinde ise 2,51 kat artış bulunmuştur. Kuraklığa toleranslı olan bitkilerin prolin içeriğinin duyarlı olan bitkilerden daha fazla olduğu kaydedilmiştir (Saeedipour, 2013). Prolin hücrede oluşan reaktif oksijen türlerini (ROS) ortadan kaldırarak antioksidan görevi görebilir ve böylece bitkinin su eksikliği stresini önlemesine veya tolere etmesine yardımcı olabilir (Seki vd., 2007). Ayrıca, kuraklığa ve tuzluluğa toleransın genellikle hücrelerde prolin gibi çözünen maddelerin birikmesi nedeniyle düşük ozmotik potansiyellerin gelişiminden kaynaklandığı bilinmektedir (Kuşvuran, 2012). Nitekim, transgenik bitkilerde prolin sentezinin baskılanması, su eksikliğine karşı artan hassasiyetle sonuçlanmıştır (De Ronde vd., 2000).

PUT ve SPM ile ön muamele yapılan biber çeşitlerindeki prolin miktarındaki artışın sadece stres uygulanan fidelerdekenden daha az olduğu tespit edilmiştir. Poliaminlerin de prolin gibi osmolit ve antioksidan özelliği olduğundan stres esnasında doğrudan koruyucu özellik gösterdikleri ve bu nedenle prolin birikiminin sadece stres uygulanan fidelere nazaran az olduğu düşünülmektedir. Nitekim, Tan vd. (2022) SPM ile ön muamele ettikleri *Agrostis stolonifera* bitkisinde kuraklık toleransının anahtar düzenleyici mekanizmasının, prolin birikiminden ziyade, SPM etkisiyle artan prolin metabolizmasından kaynaklandığını vurgulamışlardır. Bu durumda su eksikliği koşullarında aminoasitlerin geliştirilmiş glutamat döngüsü ve metabolik homeostazi faydalı olacaktır. Ayrıca, SPM sentezleyemeyen Arabidopsis mutant bitkilerinin kuraklık stresine daha duyarlı olduğu belirlenmiştir (Yamaguchi vd., 2007). Bu sonuçlar, SPM'nin stres yollarında çeşitli değişiklikleri indükleyerek bitkilerde kuraklık stresine karşı toleransı düzenlediğini göstermiştir. Dışsal olarak uygulanan

poliaminler sadece absorpsiyonla değil aynı zamanda poliamin sentezi enzimlerinin aktivitesini artırarak da içsel poliamin miktarını kuraklık koşulları altında artırmaktadırlar (Tan vd., 2022). Strese dayanıklı bitkilerin, içsel poliamin seviyelerini hassas olanlardan daha fazla arttırdığı gösterilmiştir (Lee, 1997).

Bu çalışmada kuraklık stresi uygulanan biber çeşitlerindeki bazı antioksidan enzim aktiviteleri üzerine poliamin ön muamelesinin etkisi de araştırılmıştır. Çalışılan antioksidan enzimlerden SOD süperoksit radikalini hidrojen peroksit'e dönüştürmekte, GPX ve KAT ise hidrojen peroksiti temizlemektedirler. Bu enzimler bitkilerdeki antioksidan savunma sisteminin önemli bileşenleri olup stres durumunda oluşabilecek oksidatif hasardan bitkilerin korunmasına katkı sağlamaktadırlar (Farooq vd., 2009b). Çalışılan dört biber çeşidinde de kuraklık stresi sırasında SOD, GPX ve KAT aktivitelerinin arttığı belirlenmiştir. SOD ve KAT aktivitelerindeki en fazla artışın Varol çeşidinde olduğu belirlenmiş olmasına rağmen, lipid peroksidasyon oranının fazla olması, ilgili enzimlerin aktivitelerindeki önemli artışların tek başına kuraklık stresine tolerans sağlamada yeterli olmadığını göstermektedir. Nitekim GPX aktivitesindeki en az artış Varol çeşidinde, en fazla artış ise Tural çeşidinde kaydedilmiştir. Aktivitesi ölçülen diğer bir antioksidan enzim ise GR'dir. GR elektron verici olarak NADPH'ı kullanarak yükseltgenmiş glutatyonun (GSSG) indirgenmesini (GSH) katalizleyen enzimdir (Creissen vd., 1994). GSH önemli bir antioksidan olmasının yanı sıra glutatyon peroksidaz enziminin substratı olarak hidrojen peroksitin temizlenmesinde rol almakta ve askorbat-glutatyon yoluna da katılmaktadır (Durmuş, 2003). Ayrıca GR enziminin katalizlediği reaksiyonda NADPH'ın kullanılması, NADP⁺/NADPH oranının ayarlanmasını sağlayarak oksijene daha az elektron akışı olacağından ROT üretimini azaltacaktır (Verma ve Mishra, 2005). Dolayısıyla GR aktivitesi artışının da stres koşullarına tolerans üzerinde olumlu etkileri olacaktır. Çalışılan biber çeşitleri arasında, Yükselince'de GR aktivitesindeki artışın en fazla, lipid peroksidasyonunun ise en az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Yükselince'deki GPX aktivitesinin Burdem ve Varol'dan, KAT aktivitesinin ise Tural ve Burdem'den daha fazla olduğu belirlenmiştir. Antioksidan enzim aktiviteleri ve lipid peroksidasyonu sonuçları birlikte değerlendirildiğinde Yükselince çeşidinin Burdem ve Varol'dan daha toleranslı çeşit olduğu söylenebilir. Nitekim oksidatif hasarın az olduğu kuraklık stresine toleranslı çeşitlerdeki lipid peroksidasyonunun duyarlı

çeşitlerden daha az olduğu kaydedilmiştir (Sairam ve Saxena, 2000; Sanchez-Rodriguez vd., 2010). Hücre zarı kararlılığının derecesi, kuraklık stresi toleransının en iyi fizyolojik göstergelerinden biri olarak kabul edilir ve kuraklığa dayanıklı genotipleri taramak için kullanılabilir (Kocheva vd., 2004).

Poliaminler antioksidan ve membran kararlılaştırıcı özelliklerinden dolayı kuraklık stresi durumunda oluşabilecek oksidatif hasarı önleyebilecekleri gibi antioksidan enzim aktivitelerini düzenleyerek de etkili olabilirler (Hussain vd., 2011). Nitekim, poliaminlerin antioksidan enzim aktivitelerinin düzenlenmesinde yer alan koruyucu bir mekanizmanın bileşeni olduğu ileri sürülmüştür (Groppa ve Benavides, 2008). Bu nedenle, çeşitli streslere maruz kalan bitkilerde, poliaminler ile antioksidan enzimlerin aktiviteleri arasındaki ilişki araştırılmıştır (Verma ve Mishra, 2005; Kubis, 2008; Duan vd., 2008; Zhang vd., 2009). Foliar veya tohuma uygulanan poliaminlerin pirinç fidelerinin enzimatik antioksidan aktivitelerini büyük ölçüde indüklediği ortaya konulmuştur (Farooq vd., 2009b). Shu vd., (2013)'de *Cucumis sativus* fidelerine foliar SPM uygulamasının SOD, POD ve APX aktivitelerini önemli ölçüde artırdığını ve tuz stresli kloroplastlarda süperoksit ve MDA seviyelerini azalttığını belirlemişlerdir. Ayrıca, foliar olarak SPD ve SPM uygulanan *Cerasus humilis* fidelerinde içsel poliamin miktarının arttığı ve kuraklık etkisiyle azalan SOD aktivitesinin eski durumuna geldiği, artan POD aktivitesinin ise daha ileri derecede arttığı kaydedilmiştir (Yin vd., 2014). Bu çalışmada da PUT ve SPM ile ön muamele yapılan biber fidelerinde SOD ve GR aktivitesinde çalışılan çeşide göre farklı etki olduğu, GPX ve KAT aktivitelerinin ise genel olarak poliamin uygulamasıyla daha fazla arttığı kaydedilmiştir. Poliaminlerin teşvik ettiği daha yüksek antioksidan enzim aktivitelerinin, farklı bitki türlerinde daha iyi kuraklık toleransı ile doğrudan ilişkili olduğu kaydedilmiştir (Li vd., 2016; Farooq vd., 2009b; Yin vd., 2014).

Kuraklık stresi, UV ve/veya görünür radyasyon ile etkileşimi yoluyla fotosentetik aparata zarar verebilir (Garcia-Plazaola ve Becerril, 2000). Klorofil floresansı, fotosentez reaksiyon merkezlerindeki klorofil aktivitesi ile doğrudan ilişkilidir ve fotosistem etkinliğini ölçmek için bir kriter olarak kullanılabilir (Baniasadi vd., 2018). Bu çalışmada ölçülen klorofil floresans parametrelerinden Fv/Fm, ETO, qP ve Φ PSII değerlerinin kuraklık stresi durumunda azaldığı NPQ değerinin ise arttığı belirlenmiştir. Fv/Fm oranı, fotosentez ile ilgili ışık

reaksiyonlarının ne kadar verimli ilerlediğini gösteren önemli bir katsayıdır. Bu çalışmada kuraklık stresi durumunda F_v/F_m 'deki azalma fotokimyasal aktivitenin inhibisyonunu ve PSII'de fotosentezin potansiyel inhibisyonunu gösterir. ETO'daki azalma, aşırı uyarma enerjisinin üretilmesine yol açar ve bu da kuraklık stresi koşulları altında fotoinhibisyonu şiddetlendirir. qP parametresi, açık olan PSII reaksiyon merkezlerinin oranını yansıtır ve fotokimyasal elektron transferi için kullanılan enerjiyi temsil eder. $\Phi PSII$, Chl a tarafından fotosentez için kullanılan uyarma enerjisinin etkinliğinin belirlenmesine izin verir. Kuraklık stresi durumunda qP ve $\Phi PSII$ değerlerinin azalması absorbe edilen ışığın fotokimyasal reaksiyon yoluyla etkili bir şekilde kullanılmadığını gösterir (Maxwell ve Johnson, 2000). NPQ, bitkiler tarafından fotosentetik aparatı hasardan korumak için absorbe edilen fazla ışık enerjisini dağıtmak için kullanılan önemli bir fizyolojik işlemidir. Tilakoidlerdeki proton konsantrasyonu ile ilişkilidir ve ksantofil döngüsü yoluyla termal enerjinin söndürülmesine neden olur. Kuraklık stresi durumunda NPQ değeri arttığında diğer fotosentetik parametrelerin azalması beklenir (Maxwell ve Johnson, 2000; Li vd., 2018b). Bu çalışmada F_v/F_m , $\Phi PSII$, ETO ve qP değerlerindeki en fazla azalma ve NPQ değerindeki en fazla artış Burdem ve Varol çeşitlerinde tespit edilmiştir. Kuraklığa dirençli ve duyarlı mısır bitkilerinde ölçülen F_v/F_m , ETO, qP ve $\Phi PSII$ değerlerinin dirençli olan fidelerde daha yüksek olduğu ve duyarlı fidelerin fotoinhibisyona dirençli fidelerden daha hassas olduğu kaydedilmiştir (Li vd., 2018b). Kuraklık stresi altında dirençli mısır fidelerindeki PSII performansının duyarlı olan fidelerden daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Pakdel vd. (2020) kuraklığa hassas ve toleranslı mısır bitkilerinde yaptıkları çalışmada NPQ değerinin artmasıyla primer fotokimyasal reaksiyonların azaldığını ve hassas olan çeşitteki azalmanın daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Benzer sonuçlar arpa genotipleriyle yapılan çalışmada da kaydedilmiştir (Ghotbi-Ravandi vd., 2016). Fasulye çeşitleriyle yapılan çalışmada ise kuraklık stresinin bütün çeşitlerdeki $\Phi PSII$ ve qP 'yi azalttığı en fazla azalmanın en hassas çeşitte olduğu tespit edilmiştir (Terzi vd., 2010). Fotosistem II (PSII), fotosentezin kuraklık stresine bitki tepkisinde kritik bir rol oynar ve PSII ile ilgili fotokimyasal reaksiyonların kuraklığa karşı daha savunmasız olduğu gösterilmiştir (Baker, 2006). PSII bileşeni üzerindeki kuraklık stresinin ana hedefleri, D1 ve D2 proteinlerinin yanı sıra oksijen açığa çıkaran komplekslerdir. PSII aktivitesindeki

sınırlama, elektron üretimi ve kullanımı arasında dengesizliğe neden olur ve bu durum kuantum veriminde önemli değişikliklere sebep olur. PSII'nin fotokimyasındaki değişiklikler, sonunda reaktif oksijen türlerinin oluşmasına neden olabilir (Peltzer vd., 2002).

PUT ve SPM ile ön muamele yapılan biber çeşitlerinde genel olarak Φ PSII ve ETO değerlerinin bütün çeşitlerde arttığı, Fv/Fm ve qP değerlerinde ise çeşide bağlı farklı sonuçlar olduğu tespit edilmiştir. NPQ değerinde kuraklık etkisiyle meydana gelen artışın ise bütün çeşitlerde poliamin uygulanmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda spermidin uygulanan *Festuca arundinacea* bitkisinde kuraklık stresi durumunda fotosistem II cevabı ölçülmüş ve spermidinin fotosentetik sistemi desteklediği sonucuna varılmıştır (Liu vd., 2021). Ayrıca, eksojen SPD'nin, tuzluluk-alkalinite stresinin neden olduğu büyüme inhibisyonunu ve tilakoid membran fotohasarını hafifletebileceği gösterilmiştir (Hu vd., 2014). Stres koşulları altında eksojen SPD uygulanmasıyla NPQ'nin azalmasına karşılık qP'nin artması, PSII antenlerindeki uyarma enerjisinin dağılımını azaltabilir. Neticede poliaminler, stres koşullarında PSII'nin fotokimyasal etkinliğini artırarak fotosentetik kapasiteyi artırabilir. Yüksek net pozitif yüke sahip eksojen poliaminler, fotoinhibisyon koşulları altında D1 ve D2 gibi PSII proteinlerini stabilize edebilir (Hamdani vd., 2011). Poliaminlerin membran proteinlerine bağlanması, stres sırasında protein yapısının kararlı olmasını sağlayarak fotosentetik aktiviteyi koruyabilir. Nitekim poliaminlerin olumsuz çevre faktörlerine yanıt olarak fotosentetik aparatın yapısını ve işlevini stabilize ettikleri kaydedilmiştir (Shu vd., 2012; Shu vd., 2013, Li vd., 2018b). Poliaminlerin fotosentetik aparatın düşük sıcaklıklara veya ozon veya UVB radyasyonu gibi diğer çevresel streslere karşı tolerans derecesi üzerindeki etkisi, yalnızca antioksidan özelliklerinden dolayı değil, aynı zamanda fotosentetik aparatın yapı ve işleyişine dahil olmalarından dolayı da ortaya çıkabilir (Sfakianaki vd., 2006). Poliaminlerin tilakoid zarlarla, özellikle ıspanağın LHCII ve PSII kompleksi ile ilişkili olduğu iyi bilinmektedir. Tetramin SPM, esas olarak, oldukça saflaştırılmış PSII-çekirdek anteninde ve PSII'nin reaksiyon merkezi parçacıklarında önemli konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Kotzabasis vd., 1993). Ayrıca, bir plastidik transglutaminaz, poliaminlerin tilakoid membran ve stroma proteinlerine dahil edilmesini katalize ederek fotosentetik aparatın bu bileşenlerinin stabilizasyonuna

katkıda bulunur (Del Duca vd., 1994). Neticede poliaminler stres koşullarının olumsuz etkilerine karşı fotosentetik aparatı daha kararlı hale getirirler.

Sonuç olarak, Yükselince, Tural, Burdem ve Varol biber çeşitlerinin kuraklık stresi altında büyüme parametreleri, RWC, toplam klorofil ve karotenoid, lipid peroksidasyonu, antioksidan enzim aktiviteleri ve klorofil floresans parametrelerindeki değişiklikler ilk kez bu çalışmada tespit edilmiştir. Büyüme parametrelerinde ve toplam klorofildeki en düşük azalma, lipid peroksidasyonundaki en düşük artış, en yüksek prolin içeriği ve genel olarak yüksek antioksidan enzim aktiviteleri ile fotosentetik etkinlik Yükselince'nin kuraklığa en toleranslı çeşit olduğunu göstermiştir. Burdem ve Varol çeşitlerinin ise kuraklığı daha duyarlı çeşitler olduğu sonucuna varılmıştır. Chowdhury vd. (2017)'de kuraklığa toleranslı olan soya fasulyesi çeşitlerinde, duyarlı olan çeşittekinden daha yüksek prolin, çözünür şeker, klorofil içeriği ve hücre zarı kararlılığı olduğunu kaydetmişlerdir. Domates çeşitlerinde yapılan çalışmada lipid peroksidasyon analiz sonuçları yüksek olan çeşit kuraklığa duyarlı, az olan ise toleranslı olarak kabul edilmiştir (Çelik vd., 2017). *Phaseolus vulgaris* çeşitlerinin kuraklık direncini değerlendirmek için yapılan çalışmada ise su potansiyeli, stoma iletkenliği, fotosentez, büyüme, klorofil içeriği ve lipid peroksidasyonu gibi çeşitli özelliklerin kullanılmasının gerekliliğine işaret edilmiştir (Terzi vd., 2010). Farklı bitki türleri ve çeşitleri, kuraklık stresine karşı alternatif tepki stratejileri içerebilir. Bitkilerin kuraklık stresine karşı savunma mekanizmalarının araştırılması, yeni ıslah stratejilerinin ortaya çıkarılması açısından önem taşıyabilir (Farooq vd., 2009b). Bu çalışmada kullanılan biber çeşitlerinin kuraklık stresine karşı tolerans mekanizmalarını daha fazla detaylandırmak için, moleküler araçlar ve tekniklerle proteomik veya transkriptomik tabanlı çalışmalar yapılabilir.

Ayrıca bu çalışmada, poliamin ön muamelesinin biber çeşitlerinin kuraklığa toleranslarını çalışılan çeşit, poliamin ve parametreye bağlı olarak farklı oranlarda geliştirdiği söylenebilir. Poliaminlerin etkisiyle doğal olarak oluşan antioksidan bileşenlerin (enzimatik ve enzimatik olmayan) işlevlerinin artırılması, oksidatif hasarın azaltılması veya önlenmesi bitkilerin kuraklık direncinin iyileştirilmesine katkı sağlayabilir. Poliaminler fotosentetik etkinliği artırarak da kuraklık stresi hasarının hafifletilmesine ve büyümenin desteklenmesine yol açabilirler. Foliar PUT ve SPM

uygulamasý, biber çeřitlerindeki verimlilięi artýrmak için fidelerin stres toleransýnýn artırýlmasýnda etkili bir yaklařým olabilir. Artan dünya nüfusunu beslemek için ekonomik önemi olan bitkilerin strese toleranslý çeřitlerinin elde edilmesi ve toleranslarını artýracak uygulamaların yapılması gereklidir.



KAYNAKÇA

- Ali, M., ve Tsou, S. C. (1997). Combating micronutrient deficiencies through vegetables—a neglected food frontier in Asia. *Food Policy*, 22(1), 17-38.
- Acosta, J. D. (2002). Natural and moral history of the Indies. *Natural and Moral History of the Indies*. Duke University Press. <https://doi.org/10.1515/9780822383932>
- Aebi, H. E. (1983). Catalase. H. Bergmeyer, (Ed.), *Methods of Enzymatic Analysis*, Vol 3. Verlag Chemie, Weinheim, Germany, 273-277.
- Al-Snafi, A. E. (2015). The pharmacological importance of *Capsicum* species (*Capsicum annuum* and *Capsicum frutescens*) grown in Iraq. *Journal of Pharmaceutical Biology*, 5(3), 124-142.
- Alcamo, J., Flörke, M., ve Marker, M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52(2), 247-275.
- Alcázar, R., Altabella, T., Marco, F., Bortolotti, C., Reymond, M., Koncz, C., ve Tiburcio, A. F. (2010). Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta*, 231(6), 1237-1249.
- Alvino, A., Centritto, M., ve Lorenzi, F. D. (1994). Photosynthesis response of sunlit and shade pepper (*Capsicum annuum*) leaves at different positions in the canopy under two water regimes. *Functional Plant Biology*, 21(3), 377-391.
- An YY. ve Liang ZS. (2012). Staged strategy of plants in response to drought stress. *Yingyong Shengtai Xuebao*, 23(10).
- Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L., ve Zou, C. M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(3), 177-185.
- Arora, R., Gill, N. S., Chauhan, G., ve Rana, A. C. (2011). An overview about versatile molecule capsaicin. *International Journal of Pharmaceutical sciences and drug research*, 3(4), 280-286.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1.
- Ashraf, M. ve Iram, A. (2005). Drought stress induced changes in some organic substances in nodules and other plant parts of two potential legumes differing in salt tolerance. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 200(6), 535-546.

- Ashraf, M., Akram, N. A., Al-Qurainy, F., ve Foolad, M. R. (2011). Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. *Advances in Agronomy*, 111, 249-296.
- Baker, N. R. (Ed.). (2006). *Photosynthesis and the Environment* (Vol. 5). Springer Science & Business Media.
- Baniasadi, F., Saffari, V. R., ve Moud, A. A. M. (2018). Physiological and growth responses of *Calendula officinalis* L. plants to the interaction effects of polyamines and salt stress. *Scientia Horticulturae*, 234, 312-317.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., ve Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Beauchamp, C., ve Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44(1), 276-287.
- Besford, R. T., Richardson, C. M., Campos, J. L., ve Tiburcio, A. F. (1993). Effect of polyamines on stabilization of molecular complexes in thylakoid membranes of osmotically stressed oat leaves. *Planta*, 189(2), 201-206.
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1159-1168.
- Bosland, P. W. ve Votava, E. J. (2013). *Peppers: vegetable and spice capsicums* (Vol. 22). Cabi.
- Bouchereau, A., Aziz, A., Larher, F., ve Martin-Tanguy, J. (1999). Polyamines and environmental challenges: recent development. *Plant Science*, 140(2), 103-125.
- Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571), 443-448.
- Bradford, M. R. (1976). Rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein dye binding. *Annals of Clinical Biochemistry*, 72: 248-254, 1976.
- Bramley, P. M. (2000). Is lycopene beneficial to human health?. *Phytochemistry*, 54(3), 233-236.
- Bray, D. (2005). Social space and governance in urban China: The danwei system from origins to reform. Stanford University Press.
- Bray, E. A. (1997). Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science*, 2(2), 48-54.
- Brodersen, C. R., Roddy, A. B., Wason, J. W., ve McElrone, A. J. (2019). Functional status of xylem through time. *Annual Review of Plant Biology*, 70(1), 407-433.

- Byers, T., ve Perry, G. (1992). Dietary carotenes, vitamin C, and vitamin E as protective antioxidants in human cancers. *Annual Review of Nutrition*, 12(1), 139-159.
- Canto-Flick, A., Balam-Uc, E., Bello-Bello, J. J., Lecona-Guzman, C., Solís-Marroquín, D., Avilés-Viñas, S., ve Iglesias-Andreu, L. G. (2008). Capsaicinoids content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.): hottest known cultivars. *HortScience*, 43(5), 1344-1349.
- Capell, T., Bassie, L., ve Christou, P. (2004). Modulation of the polyamine biosynthetic pathway in transgenic rice confers tolerance to drought stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(26), 9909-9914.
- Castillo, F. J. (1996). Antioxidative protection in the inducible CAM plant *Sedum album* L. following the imposition of severe water stress and recovery. *Oecologia*, 107(4), 469-477.
- Chaves, M. M., Flexas, J., ve Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4), 551-560.
- Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., ve Zheng, B. (2019). Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1945.
- Chimenti, C. A., Marcantonio, M., ve Hall, A. J. (2006). Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. *Field Crops Research*, 95(2-3), 305-315.
- Choi, M., Jacobs, J. M., Anderson, M. C., ve Bosch, D. D. (2013). Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables. *Journal of Hydrology*, 476, 265-273.
- Chowdhury, J. A., Karim, M. A., Khaliq, Q. A., ve Ahmed, A. U. (2017). Effect of drought stress on bio-chemical change and cell membrane stability of soybean genotypes. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 42(3), 475-485.
- Cornic, G. (2000). Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture—not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science*, 5(5), 187-188.
- Costa, D.L., Delle Vedove, G., Gianquinto, G., Giovanardi, R., ve Peressotti, A. (1997). Yield, water use efficiency and nitrogen uptake in potato: influence of drought stress. *Potato Research*, 40(1), 19-34.
- Cowtan, K., ve Way, R. G. (2014). Coverage bias in the HadCRUT4 temperature series and its impact on recent temperature trends. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(683), 1935-1944.

- Creissen, G., Edwards, E.A. ve Mullineaux, P.M., 1994. Glutathione Reductase and Ascorbate Peroxidase. *Causes of Photooxidative Stress and Amelioration of Defence Systems in Plants*, CRC Press, 22(1), 343-364.
- Çelik, Ö., Ayan, A., ve Atak, Ç. (2017). Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties against drought stress. *Botanical Studies*, 58(1), 1-13.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018), *Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı, <http://webdosya.csb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 12. 10.2021).
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2017), *Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı, <http://webdosya.csb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 10.10.2021).
- De Ronde, J. A., Spreeth, M. H., ve Cress, W. A. (2000). Effect of antisense L-Δ1-pyrroline-5-carboxylate reductase transgenic soybean plants subjected to osmotic and drought stress. *Plant Growth Regulation*, 32(1), 13-26.
- Del Duca, S., Tidu, V., Bassi, R., Esposito, C., ve Serafmi-Fracassini, D. (1994). Identification of chlorophyll-a/b proteins as substrates of transglutaminase activity in isolated chloroplasts of *Helianthus tuberosus* L. *Planta*, 193(2), 283-289.
- Demir, İ., Kılıç, G., ve Coşkun, M. (2008). Türkiye ve Bölgesi için PRECIS Bölgesel İklim Modeli Çalışmaları. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 11-17.
- Demirevska, K., Zasheva, D., Dimitrov, R., Simova-Stoilova, L., Stamenova, M., ve Feller, U. (2009). Drought stress effects on Rubisco in wheat: changes in the Rubisco large subunit. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(6), 1129-1138.
- Dennis, E. S., Dolferus, R., Ellis, M., Rahman, M., Wu, Y., Hoeren, F. U., ve Peacock, W. J. (2000). Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. *Journal of Experimental Botany*, 51(342), 89-97.
- Díaz-López, L., Gimeno, V., Simón, I., Martínez, V., Rodríguez-Ortega, W. M., ve García-Sánchez, F. (2012). *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. *Agricultural Water Management*, 105, 48-56.
- Duan, J., Li, J., Guo, S., ve Kang, Y. (2008). Exogenous spermidine affects polyamine metabolism in salinity-stressed *Cucumis sativus* roots and enhances short-term salinity tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 165(15), 1620-1635.
- Durmuş, N., (2003). Büyümeyi düzenleyici maddelerin oksidatif stres üzerine etkileri. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon*.

- Durmuş, N., ve Bekircan, T. (2015). Pretreatment with polyamines alleviate the deleterious effects of diuron in maize leaves. *Acta Biologica Hungarica*, 66(1), 52-65.
- Ebeed, H. T., Hassan, N. M., ve Aljarani, A. M. (2017). Exogenous applications of polyamines modulate drought responses in wheat through osmolytes accumulation, increasing free polyamine levels and regulation of polyamine biosynthetic genes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 438-448.
- Eckert, G. P., Schaffer, S., Schmitt-Schillig, S., ve Müller, W. E. (2003) Geistig fit durch mediterrane Kost? Forschung Frankfurt, 2003(1), 12
- Elbar, O. H., Farag, R. E., ve Shehata, S. A. (2019). Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 129-137.
- Engle, N. L., De Bremond, A., Malone, E. L., ve Moss, R. H. (2014). Towards a resilience indicator framework for making climate-change adaptation decisions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(8), 1295-1312.
- Erdost, H. (2004). Capsaicin. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 23, 149-155
- Epstein, P. R., ve Mills, E. (2005). *Climate change futures: health, ecological and economic dimensions*. The Center for Health and the Global Environment, Harvard Medical School.
- Esmailpour, A., Van Labeke, M. C., Samson, R., Ghaffaripour, S., ve Van Damme, P. (2015). Comparison of biomass production-based drought tolerance indices of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings in drought stress conditions. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7(2), 36-44.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., ve Clark, R. B. (2002). Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, 77, 185-268.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim Tarihi: 29.01.2023).
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. Fujita, D., ve Basra, S. M. A. (2009a). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture* (pp. 153-188). Springer, Dordrecht.
- Farooq, M., Wahid, A., ve Lee, D. J. (2009b). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(5), 937-945.

- Farrant, J. M. (2000). A comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species. *Plant Ecology*, 151(1), 29-39.
- Flexas, J. ve Medrano, H. (2002). Energy dissipation in C3 plants under drought. *Functional Plant Biology*, 29(10), 1209-1215.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., ve Sharkey, T. D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant biology*, 6(03), 269-279.
- Foyer, C. H., Descourvieres, P., ve Kunert, K. J. (1994). Protection against oxygen radicals: an important defence mechanism studied in transgenic plants. *Plant, Cell & Environment*, 17(5), 507-523.
- Foyer, C. H. ve Fletcher, J. M. (2001). Plant antioxidants: colour me healthy. *Biologist*, 48(3), 115-120.
- Foyer, C. H., ve Halliwell, B. (1976). The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. *Planta*, 133, 21-25.
- Garcia-Plazaola, J. I., ve Becerril, J. M. (2000). Effects of drought on photoprotective mechanisms in European beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings from different provenances. *Trees*, 14(8), 485-490.
- Garg, B. K. (2003). Nutrient uptake and management under drought: nutrient-moisture interaction. *Current Agriculture Research Journal*, 27(1/2), 1-8.
- Ghassemi, S., Farhangi-Abriz, S., Faegi-Analou, R., Ghorbanpour, M., ve Lajayer, B. A. (2018). Monitoring cell energy, physiological functions and grain yield in field-grown mung bean exposed to exogenously applied polyamines under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(4), 1108-1125.
- Ghotbi-Ravandi, A. A., Shahbazi, M., Pessarakli, M., ve Shariati, M. (2016). Monitoring the photosystem II behavior of wild and cultivated barley in response to progressive water stress and rehydration using OJIP chlorophyll a fluorescence transient. *Journal of Plant Nutrition*, 39(8), 1174-1185.
- Gifford, R. M. (2003). Plant respiration in productivity models: conceptualisation, representation and issues for global terrestrial carbon-cycle research. *Functional Plant Biology*, 30(2), 171-186.
- Gill, S. S., ve Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909-930.
- Gimenez, C., Gallardo, M., ve Thompson, R. B. (2005). Plant-water relations. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 231-238.

- Groppa, M. D. ve Benavides, M. P. (2008). Polyamines and abiotic stress: recent advances. *Amino Acids*, 34(1), 35-45.
- Guil-Guerrero, J. L., Martínez-Guirado, C., del Mar Reboloso-Fuentes, M., ve Carrique-Pérez, A. (2006). Nutrient composition and antioxidant activity of 10 pepper (*Capsicum annuum*) varieties. *European Food Research and Technology*, 224(1), 1-9.
- Guóth, A., Benyó, D., Csiszár, J., Gallé, Á., Horváth, F., Cseuz, L., ve Tari, I. (2010). Relationship between osmotic stress-induced abscisic acid accumulation, biomass production and plant growth in drought-tolerant and-sensitive wheat cultivars. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(4), 719-727.
- Gupta, S., Agarwal, V. P., ve Gupta, N. K. (2012). Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18(4), 331-336.
- Halliwell, B ve Gutteridge, J. M., (1989). Iron toxicity and oxygen radicals. *Bailliere's Clinical Haematology*, 2(2), 195-256. [https://doi.org/10.1016/S0950-3536\(89\)80017-4](https://doi.org/10.1016/S0950-3536(89)80017-4)
- Hamdani, S., Yaakoubi, H., ve Carpentier, R. (2011). Polyamines interaction with thylakoid proteins during stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 104(1-2), 314-319.
- Hasan, M. M., Skalicky, M., Jahan, M. S., Hossain, M. N., Anwar, Z., Nie, Z. F., ve Fang, X. W. (2021). Spermine: its emerging role in regulating drought stress responses in plants. *Cells*, 10(2), 261.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M., Bhowmik, P. C., Hossain, M., Rahman, M. M., ve Fujita, M. (2014). Potential use of halophytes to remediate saline soils. *BioMed Research International*, 2014.
- Hassan, F. A. S., Ali, E. F., ve Alamer, K. H. (2018). Exogenous application of polyamines alleviates water stress-induced oxidative stress of *Rosa damascena* Miller var. *trigintipetala* Dieck. *South African Journal of Botany*, 116, 96-102.
- Hassan, N., Ebeed, H., ve Aljaarany, A. (2020). Exogenous application of spermine and putrescine mitigate adversities of drought stress in wheat by protecting membranes and chloroplast ultra-structure. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(2), 233-245.
- Hassanein, R. A., El-Khawas, S. A., Ibrahim, S. K., El-Bassiouny, H. M., Mostafa, H. A., ve Abdel-Monem, A. A. (2013). Improving the thermo tolerance of wheat plant by foliar application of arginine or putrescine. *Pakistan Journal of Botany*, 45(1), 111-118.
- He, L., Nada, K., ve Tachibana, S. (2002). Effects of spermidine pretreatment through the roots on growth and photosynthesis of chilled cucumber plants (*Cucumis*

- sativus* L.). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 71(4), 490-498.
- Heath, R. L., ve Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198.
- Horváth, E., Pál, M., Szalai, G., Páldi, E., ve Janda, T. (2007). Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. *Biologia Plantarum*, 51(3), 480-487.
- Houghton, J. (2005). Global warming. *Reports on Progress in Physics*, 68(6), 1343.
- Hu, L., Xiang, L., Zhang, L., Zhou, X., Zou, Z., ve Hu, X. (2014). The photoprotective role of spermidine in tomato seedlings under salinity-alkalinity stress. *PLoS One*, 9(10), e110855.
- Huang, B. ve Fu, J. (2000). Photosynthesis, respiration, and carbon allocation of two cool-season perennial grasses in response to surface soil drying. *Plant and Soil*, 227(1), 17-26.
- Hussain, M., Malik, M. A., Farooq, M., Khan, M. B., Akram, M., ve Saleem, M. F. (2009). Exogenous glycinebetaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(2), 98-109.
- Hussain, S. S., Ali, M., Ahmad, M., ve Siddique, K. H. (2011). Polyamines: natural and engineered abiotic and biotic stress tolerance in plants. *Biotechnology Advances*, 29(3), 300-311.
- Igarashi, K. ve Kashiwagi, K. (2015). Modulation of protein synthesis by polyamines. *IUBMB Life*, 67(3), 160-169.
- IPCC, International Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014 synthesis report: Summary for policymakers*. <http://www.ipcc.ch/pdf/> (Erişim Tarihi: 10 Aralık 2021)
- IPCC, International Panel on Climate Change. (2021). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/> (Erişim Tarihi: 30 Eylül 2021)
- Ito, K., Nakazato, T., Yamato, K., Miyakawa, Y., Yamada, T., Hozumi, N., ve Kizaki, M. (2004). Induction of apoptosis in leukemic cells by homovanillic acid derivative, capsaicin, through oxidative stress: implication of phosphorylation of p53 at Ser-15 residue by reactive oxygen species. *Cancer Research*, 64(3), 1071-1078.

- Jaimez, R. E., Vielma, O., Rada, F., ve García-Núñez, C. (2000). Effects of water deficit on the dynamics of flowering and fruit production in *Capsicum chinense* Jacq in a tropical semiarid region of Venezuela. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185(2), 113-119.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Lakshmanan, G. M. A., Gomathinayagam, M., ve Panneerselvam, R. (2008). Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 61(2), 298-303.
- Jaspars, E. M. J. (1965). Pigmentation of tobacco crown-gall tissues cultured in vitro in dependence of the composition of the medium. *Physiologia Plantarum*, 18(4), 933-940.
- Juhel, G., Batisse, E., Hugues, Q., Daly, D., van Pelt, F. N., O'Halloran, J. ve Jansen, M. A. (2011). Alumina nanoparticles enhance growth of *Lemna minor*. *Aquatic Toxicology*, 105(3-4), 328-336.
- Kadıoğlu, A. (2016). Bitki fizyolojisi. Trabzon: *Gündüz Yayıncılık*, 365-366
- Kage, H., Kochler, M., ve Stützel, H. (2004). Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. *European Journal of Agronomy*, 20(4), 379-394
- Kaiser, W. (1976). The effect of hydrogen peroxide on CO₂ fixation of isolated intact chloroplasts. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 440(3), 476-482.
- Kakkar, R. K. ve Sawhney, V. K. (2002). Polyamine research in plants—a changing perspective. *Physiologia Plantarum*, 116(3), 281-292.
- Kalefetoğlu, T. ve Ekmekci, Y. (2005). The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. *Gazi University Journal of Science*, 18(4), 723-740.
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., ve Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10(16), 5692.
- Kaur, G. ve Asthir, B. J. B. P. (2015). Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia plantarum*, 59, 609-619.
- Kaur-Sawhney, R., Tiburcio, A. F., Altabella, T., ve Galston, A. W. (2003). Polyamines in plants: an overview. *Cellular and Molecular Biology*, 2, 1-12.
- Katerji, N., Mastrorilli, M., ve Hamdy, A. (1993). Effects of water stress at different growth stages on pepper yield. *International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 335* (pp. 165-172).

- Keyvan, S. (2010). The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 8(3), 1051-1060.
- Khan, F. A., Mahmood, T., Ali, M., Saeed, A., ve Maalik, A. (2014). Pharmacological importance of an ethnobotanical plant: *Capsicum annuum* L. *Natural Product Research*, 28(16), 1267-1274.
- Kıran, S., Kuşvuran, Ş., Özkay, F., ve Ellialtıoğlu, Ş. Ş. (2019). Change in physiological and biochemical parameters under drought stress insalt-tolerant and salt-susceptible eggplant genotypes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 43(6), 593-602.
- Kiani, S. P., Talia, P., Maury, P., Grieu, P., Heinz, R., Perrault, A., ve Sarrafi, A. (2007). Genetic analysis of plant water status and osmotic adjustment in recombinant inbred lines of sunflower under two water treatments. *Plant Science*, 172(4), 773-787.
- Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V., ve Karabaliev, M. (2004). Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 63(1-2), 121-124.
- Kopta, T., Sekara, A., Pokluda, R., Ferby, V., ve Caruso, G. (2020). Screening of chilli pepper genotypes as a source of capsaicinoids and antioxidants under conditions of simulated drought stress. *Plants*, 9(3), 364
- Kotzabasis, K., Fotinou, C., Roubelakis-Angelakis, K. A., ve Ghanotakis, D. (1993). Polyamines in the photosynthetic apparatus. *Photosynthesis Research*, 38(1), 83-88.
- Krishnamurthy, R., ve Bhagwat, K. (1989). Polyamines as modulators of salt tolerance in rice cultivars. *Plant Physiology*, 91(2), 500-504.
- Kubis, J. (2008). Exogenous spermidine differentially alters activities of some scavenging system enzymes, H₂O₂ and superoxide radical levels in water-stressed cucumber leaves. *Journal of Plant Physiology*, 165(4), 397-406.
- Kumar, S., Kumar, S., Singh, M., Singh, A. K., ve Rai, M. (2006). Identification of host plant resistance to pepper leaf curl virus in chilli (*Capsicum* species). *Scientia Horticulturae*, 110(4), 359-361.
- Kusano, T., Berberich, T., Tateda, C., ve Takahashi, Y. (2008). Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta*, 228(3), 367-381.
- Kuşvuran, Ş. (2012). Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 7(5), 775-781.

- Lantz, E. M. (1946). Effects of canning and drying on the carotene and ascorbic acid content of chile. *Bulletin of the New Mexico Agricultural Experiment Station*, (327).
- Lawlor, D. W., ve Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 275-294.
- Lee, C. Y. J., Kim, M., Yoon, S. W., ve Lee, C. H. (2003). Short-term control of capsaicin on blood and oxidative stress of rats in vivo. *Phytotherapy Research*, 17(5), 454-458.
- Lee, J. J., Crosby, K. M., Pike, L. M., Yoo, K. S., ve Leskovar, D. I. (2005). Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum* spp.). *Scientia Horticulturae*, 106(3), 341-352.
- Lee, S. H., Krisanapun, C., ve Baek, S. J. (2010). NSAID-activated gene-1 as a molecular target for capsaicin-induced apoptosis through a novel molecular mechanism involving GSK3 β , C/EBP β and ATF3. *Carcinogenesis*, 31(4), 719-728.
- Lee, T. M. (1997). Polyamine regulation of growth and chilling tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) roots cultured in vitro. *Plant Science*, 122(2), 111-117.
- Legocka, J., ve Kluk, A. (2005). Effect of salt and osmotic stress on changes in polyamine content and arginine decarboxylase activity in *Lupinus luteus* seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 162(6), 662-668.
- Lei, Y., Yin, C., ve Li, C. (2006). Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. *Physiologia Plantarum*, 127(2), 182-191.
- Li, J., Cang, Z., Jiao, F., Bai, X., Zhang, D., ve Zhai, R. (2017). Influence of drought stress on photosynthetic characteristics and protective enzymes of potato at seedling stage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 82-88.
- Li, Z., Zhang, Y., Peng, D., Peng, Y., Zhang, X., Ma, X., ve Yan, Y. (2018a). The inhibition of polyamine biosynthesis weakens the drought tolerance in white clover (*Trifolium repens*) associated with the alteration of extensive proteins. *Protoplasma*, 255, 803-817.
- Li, L., Gu, W., Li, J., Li, C., Xie, T., Qu, D., ve Wei, S. (2018b). Exogenously applied spermidine alleviates photosynthetic inhibition under drought stress in maize (*Zea mays* L.) seedlings associated with changes in endogenous polyamines and phytohormones. *Plant Physiology and Biochemistry*, 129, 35-55.
- Li, W. X., Oono, Y., Zhu, J., He, X. J., Wu, J. M., Iida, K., ve Zhu, J. K. (2008). The *Arabidopsis* NFYA5 transcription factor is regulated transcriptionally and

- posttranscriptionally to promote drought resistance. *The Plant Cell*, 20(8), 2238-2251.
- Li, Y. (2008). Kinetics of the antioxidant response to salinity in the halophyte *Limonium bicolor*. *Plant Soil Environ*, 54(11), 493-497.
- Li, Y. ve He, J. (2012). Advance in metabolism and response to stress of polyamines in plant. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 27, 240-245.
- Li, Z., Zhang, Y., Zhang, X., Peng, Y., Merewitz, E., Ma, X., ve Yan, Y. (2016). The alterations of endogenous polyamines and phytohormones induced by exogenous application of spermidine regulate antioxidant metabolism, metallothionein and relevant genes conferring drought tolerance in white clover. *Environmental and Experimental Botany*, 124, 22-38.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382).
- Lisar, S. Y., Motafakkerazad, R., Hossain, M. M., ve Rahman, I. M. (2012). Causes, effects and responses. *Water Stress*, 25(1), 33.
- Liu, H. P., Dong, B. H., Zhang, Y. Y., Liu, Z. P., ve Liu, Y. L. (2004). Relationship between osmotic stress and the levels of free, conjugated and bound polyamines in leaves of wheat seedlings. *Plant Science*, 166(5), 1261-1267.
- Liu, H., Yang, H., Zheng, J., Jia, D., Wang, J., Li, Y., ve Huang, G. (2012). Irrigation scheduling strategies based on soil matric potential on yield and fruit quality of mulched-drip irrigated chili pepper in Northwest China. *Agricultural Water Management*, 115, 232-241.
- Liu, J. H., Kitashiba, H., Wang, J., Ban, Y., ve Moriguchi, T. (2007). Polyamines and their ability to provide environmental stress tolerance to plants. *Plant Biotechnology*, 24(1), 117-126.
- Liu, K., Fu, H., Bei, Q., ve Luan, S. (2000). Inward potassium channel in guard cells as a target for polyamine regulation of stomatal movements. *Plant Physiology*, 124(3), 1315-1326.
- Liu, Y., Hao, C., Wang, G., Li, Q., ve Shao, A. (2021). Exogenously spermidine alleviates damage from drought stress in the photosystem II of tall fescue. *Plant, Soil and Environment*, 67(10), 558-566.
- Luo, L. J. (2010). Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China. *Journal of Experimental Botany*, 61(13), 3509-3517.
- Mahajan, S. ve Tuteja, N., 2005, Cold, Salinity and Drought Stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*., 444, 139-158.

- Man, D., Bao, Y. X., Han, L. B., ve Zhang, X. (2011). Drought tolerance associated with proline and hormone metabolism in two tall fescue cultivars. *HortScience*, 46(7), 1027-1032.
- Mardani, S., Tabatabaei, S. H., Pessarakli, M., ve Zareabyaneh, H. (2017). Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40(10), 1453-1464.
- Marin, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F. A., ve Gil, M. I. (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 3861-3869.
- Matsufuji, H., Ishikawa, K., Nunomura, O., Chino, M., ve Takeda, M. (2007). Antioxidant content of different coloured sweet peppers, white, green, yellow, orange and red (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 42(12), 1482-1488.
- Maxwell, K. ve Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659-668.
- Mckersie, B. D., ve Leshem, Y. A. Y. (1994). Chilling stress. In *Stress and stress coping in cultivated plants* (pp. 79-103). Springer, Dordrecht.
- McWilliams, D. (2003). Drought strategies for cotton, cooperative extension service circular 582, College of Agriculture and Home Economics. *New Mexico State University, USA*.
- Mehler, A. H. (1951). Studies on reactions of illuminated chloroplasts: I. Mechanism of the reduction of oxygen and other hill reagents. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 33(1), 65-77.
- Menconi, M. C. L. M., Sgherri, C. L. M., Pinzino, C., ve Navari-Lizzo, F. (1995). Activated oxygen production and detoxification in wheat plants subjected to a water deficit programme. *Journal of Experimental Botany*, 46(9), 1123-1130.
- Meng, D., Hou, L., Yang, S., Meng, J. J., Guo, F., ve Li, X. G. (2015). Exogenous polyamines alleviating salt stress on peanuts (*Arachis hypogaea*) grown in pots. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 39, 1209-1215.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). *Kuraklık analizleri*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi: 23.10.2022)
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2015). *Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi: 24.10.2022)
- Milly, P. C. D., Wetherald, R. T., Dunne, K. A., ve Delworth, T. L. (2002). Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, 415(6871), 514-517.

- Minocha, R., Majumdar, R. ve Minocha, S. C. (2014). Polyamines and abiotic stress in plants: a complex relationship. *Frontiers in Plant Science*, 5, 175.
- Mishra, A. K. ve Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Moller, I. M., Jensen, P. E., ve Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 58, 459-481
- NASA, National Aeronautics and Space Administration. (2022). *World of Change: Global Temperature*. <https://www.nasa.gov> (Erişim Tarihi: 28.12.2022).
- NASA, National Aeronautics and Space Administration. (2021). *Turkey Experiences Intense Drought*. <https://www.nasa.gov> (Erişim Tarihi: 8.10.2022).
- Nayyar, H., ve Walia, D. P. (2003). Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. *Biologia Plantarum*, 46(2), 275-279.
- Nayyar, H., Satwinder, K. A. U. R., Kumar, S., Singh, K. J., ve Dhir, K. K. (2005). Involvement of polyamines in the contrasting sensitivity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) to water deficit stress. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46
- Nejad, T. S. (2011). Effect of drought stress on shoot/root ratio. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 81, 598-600.
- Nonami, H. (1998). Plant water relations and control of cell elongation at low water potentials. *Journal of Plant Research*, 111, 373-382.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., ve Tran, L. S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, 5, 86.
- Pakdel, H., Hassani, S. B., Ghotbi-Ravandi, A. A., ve Bernard, F. (2020). Contrasting the expression pattern change of polyamine oxidase genes and photosynthetic efficiency of maize (*Zea mays* L.) genotypes under drought stress. *Journal of Biosciences*, 45(1), 1-12.
- Palevitch, D., ve Craker, L. E. (1996). Nutritional and medical importance of red pepper (*Capsicum* spp.). *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 3(2), 55-83.
- Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., ve Hanson, C. (Eds.). (2007). Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4). Cambridge University Press.
- Peltzer, D., Dreyer, E., ve Polle, A. (2002). Differential temperature dependencies of antioxidative enzymes in two contrasting species: *Fagus sylvatica* and *Coleus blumei*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40(2), 141-150.

- Penella, C. ve Calatayud, A. (2018). Pepper crop under climate change: Grafting as an environmental friendly strategy. *Climate Resilient Agriculture: Strategies and Perspectives. IntechOpen, London*, 129-155.
- Perucka, I. ve Materska, M. (2007). Antioxidant vitamin contents of *Capsicum annuum* fruit extracts as affected by processing and varietal factors. *ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6(4), 67-73.
- Prabhavathi, V. R. ve Rajam, M. V. (2007). Polyamine accumulation in transgenic eggplant enhances tolerance to multiple abiotic stresses and fungal resistance. *Plant Biotechnology*, 24(3), 273-282
- Prakash, U. N. S. ve Srinivasan, K. (2012). Enhanced intestinal uptake of trace minerals in spice pretreated rats. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 27, 184-190.
- Ragab, R. ve Prudhomme, C. (2002). Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: prospective and challenges for the 21st century. *Biosystems Engineering*, 81 (1), 3–34.
- Rahman, I.M.M. ve Hasegawa, H. (2012). Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses. *Water stress*, 1-14
- Rao, K., Raghavendra, A., ve Reddy, K. (2006). *Physiology and molecular biology of stress tolerance* (pp. 1-14). Springer: Dordrecht, Netherlands.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., ve Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161(11), 1189-1202.
- Riebsame, W. E., Changnon, S. A., ve Karl, T. R. (2019). *Drought and natural resources management in the United States: impacts and implications of the 1987-89 drought* (1). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429045332>
- Rosado, J. L. (1999). Separate and joint effects of micronutrient deficiencies on linear growth. *The Journal of Nutrition*, 129(2), 531S-533S
- Ruan, H. H., Shen, W. B., ve Xu, L. L. (2004). Nitric oxide involved in the abscisic acid induced proline accumulation in wheat seedling leaves under salt stress. *Acta Botanica Sinica-English Edition*-, 46(11), 1307-1315.
- Saeedipour, S. (2013). Relationship of grain yield, ABA and proline accumulation in tolerant and sensitive wheat cultivars as affected by water stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 83(3), 311-315.
- Saglam, A., Kadioglu, A., Demiralay, M., ve Terzi, R. (2014). Leaf rolling reduces photosynthetic loss in maize under severe drought. *Acta Botanica Croatica*, 73(2), 315-323.

- Sairam, R. K. ve Saxena, D. C. (2000). Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184(1), 55-61.
- Saleethong, P., Sanitchon, J., Kong-Ngern, K., ve Theerakulpisut, P. (2013). Effects of exogenous spermidine (SPD) on yield, yield-related parameters and mineral composition of rice (*oryza sativa* L. Ssp.'indica') grains under salt stress. *Australian Journal of Crop Science*, 7(9), 1293-1301.
- Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., ve Ruiz, J. M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, 178(1), 30-40.
- Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., ve Panneerselvam, R. (2007). Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *Acta Botanica Croatica*, 66(1), 43-56.
- Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., ve Panneerselvam, R. (2008). Relative efficacy of water use in five varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench under water-limited conditions. *Colloids and Surfaces Biointerfaces*, 62(1), 125-129.
- Scandalios, J. G. (2005). Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 38, 995-1014.
- Schneider, S. H. (2011). *Encyclopedia of climate and weather* (Vol. 1). Oxford University Press.
- Seki, M., Umezawa, T., Urano, K., ve Shinozaki, K. (2007). Regulatory metabolic networks in drought stress responses. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(3), 296-302.
- Sfakianaki, M., Sfichi, L., ve Kotzabasis, K. (2006). The involvement of LHCII-associated polyamines in the response of the photosynthetic apparatus to low temperature. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 84(3), 181-188.
- Sgherri, C. L., Pinzino, C., ve Navari-Izzo, F. (1996). Sunflower seedlings subjected to increasing stress by water deficit: changes in $O_2^{\cdot-}$ production related to the composition of thylakoid membranes. *Physiologia Plantarum*, 96(3), 446-452.
- Sgherri, C., Quartacci, M. F., Izzo, R., ve Navari-Izzo, F. (2002). Relation between lipoic acid and cell redox status in wheat grown in excess copper. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40(6-8), 591-597.
- Shaddad, M. A. K., Abd El-Samad, M. H., ve Mohammed, H. T. (2011). Interactive effects of drought stress and phytohormones or polyamines on growth and yield

- of two M (*Zea maize* L.) genotypes. *American Journal of Plant Sciences*, 2(06), 790.
- Shao, C. G., Wang, H., ve Yu-Fen, B. I. (2015). Relationship between endogenous polyamines and tolerance in *Medicago sativa* L. under heat stress. *Acta Agrestia Sinica*, 23, 1214-1219.
- Sharma, P. ve Dubey, R. S. (2005). Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, 46(3), 209-221.
- Shen, W., Nada, K., ve Tachibana, S. (2000). Involvement of polyamines in the chilling tolerance of cucumber cultivars. *Plant Physiology*, 124(1), 431-440.
- Shi, H., Ye, T., ve Chan, Z. (2013). Comparative proteomic and physiological analyses reveal the protective effect of exogenous polyamines in the bermudagrass (*Cynodon dactylon*) response to salt and drought stresses. *Journal of Proteome Research*, 12(11), 4951-4964.
- Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y., ve Yoshimura, K. (2002). Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of Experimental Botany*, 53(372), 1305-1319.
- Shu, S., Guo, S. R., Sun, J., ve Yuan, L. Y. (2012). Effects of salt stress on the structure and function of the photosynthetic apparatus in *Cucumis sativus* and its protection by exogenous putrescine. *Physiologia Plantarum*, 146(3), 285-296.
- Shu, S., Yuan, L. Y., Guo, S. R., Sun, J., ve Yuan, Y. H. (2013). Effects of exogenous spermine on chlorophyll fluorescence, antioxidant system and ultrastructure of chloroplasts in *Cucumis sativus* L. under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63, 209-216.
- Sies, H. (1991). Oxidative stress: from basic research to clinical application. *The American Journal of Medicine*, 91(3), S31-S38
- Simova-Stoilova, L., Pecheva, D., ve Kirova, E. (2020). Drought stress response in winter wheat varieties—changes in leaf proteins and proteolytic activities. *Acta Botanica Croatica*, 79(2), 121-130.
- Sinclair, T. R., ve Muchow, R. C. (2001). System analysis of plant traits to increase grain yield on limited water supplies. *Agronomy Journal*, 93(2), 263-270.
- Sigge, G. O., Hansmann, C. F., ve Joubert, E. (1998). Effect of temperature and relative humidity on the drying rates and drying times of green bell peppers (*Capsicum annuum* L). *Drying Technology*, 16(8), 1703-1714.
- Singh, B. ve Singh, G. (2004). Influence of soil water regime on nutrient mobility and uptake by *Dalbergia sissoo* seedlings. *Tropical Ecology*, 45(2), 337-340.

- Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V. P., ve Prasad, S. M. (2015). Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(3), 407-426.
- Singh, H. P. ve Ti, T. C. (Eds.). (2002). Report of the FAO-CRIDA Expert Group Consultation on Farming Systems and Best Practices for Drought-prone Areas of Asia and the Pacific Region. Central Research Institute for Dryland Agriculture.
- Smirnoff, N. (1993). Tansley Review No. 52. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*, 27-58.
- Subramanian, K. S., Santhanakrishnan, P., ve Balasubramanian, P. (2006). Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Scientia Horticulturae*, 107(3), 245-253.
- Sundararajan, S., Shanmugam, R., Rajendran, V., Sivakumar, H. P., ve Ramalingam, S. (2022). Sodium Nitroprusside and Putrescine Mitigate PEG-Induced Drought Stress in Seedlings of *Solanum lycopersicum*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 1019-1032.
- Taiz, L., ve Zeiger, E. (2008). Bitki Fizyolojisi. s: 505. *Palme Yayıncılık* ISBN, 978-9944.
- Tan, M., Hassan, M. J., Peng, Y., Feng, G., Huang, L., Liu, L., ve Li, Z. (2022). Polyamines metabolism interacts with γ -aminobutyric acid, proline and nitrogen metabolisms to affect drought tolerance of creeping bentgrass. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5), 2779.
- Tanguilig, V. C., Yambao, E. B., O'toole, J. C., ve De Datta, S. K. (1987). Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. *Plant and Soil*, 103(2), 155-168.
- Terzi, R., Sağlam, A., Kutlu, N., Nar, H., ve Kadioğlu, A. (2010). Impact of soil drought stress on photochemical efficiency of photosystem II and antioxidant enzyme activities of *Phaseolus vulgaris* cultivars. *Turkish Journal of Botany*, 34(1), 1-10.
- Tian, J., Wang, L. P., Yang, Y. J., Sun, J., ve Guo, S. R. (2012). Exogenous spermidine alleviates the oxidative damage in cucumber seedlings subjected to high temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 137(1), 11-19.
- Todorova, D., Katerova, Z., Alexieva, V., ve Sergiev, I. (2015). Polyamines—possibilities for application to increase plant tolerance and adaptation capacity to stress. *Genetics and Plant Physiology*, 5(2), 123-144.

- Tolan, I., Ragoobirsingh, D., ve Morrison, E. S. A. (2001). The effect of capsaicin on blood glucose, plasma insulin levels and insulin binding in dog models. *Phytotherapy Research*, 15(5), 391-394.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., ve Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21(5), 821-833.
- Tsakiris, G. (2015). The status of the European waters in 2015: a review. *Environmental Processes*, 2, 543-557
- Tsui, H., Razavi, R., Chan, Y., Yantha, J., ve Dosch, H. M. (2007). 'Sensing' autoimmunity in type 1 diabetes. *Trends in Molecular Medicine*, 13(10), 405-413
- Türkeş, M. (2012). Kuraklık, çölleşme ve Birleşmiş Milletler çölleşme ile savaşım sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi. *Marmara Üniversitesi Avrupa Topluluğu Enstitüsü Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 20(1), 7-55.
- Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı (TürKomp). (2022). T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı. <http://www.turkomp.gov.tr> (Erişim Tarihi: 14.12.2022)
- UNFCCC, (2021). *State of Climate in 2021: Extreme Events and Major Impacts* <https://unfccc.int/news/> (Erişim Tarihi: 20.11.2022)
- Urbanek, H., Kuzniak-Gebarska, E., ve Herka, K. (1991). Elicitation of defence responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. *Acta Physiologiae Plantarum*, 13(1)
- Velikova, V., Yordanov, I., ve Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151(1), 59-66.
- Verma, S. ve Mishra, S. N. (2005). Putrescine alleviation of growth in salt stressed *Brassica juncea* by inducing antioxidative defense system. *Journal of Plant Physiology*, 162(6), 669-677.
- Vural, H., Eşiyok, D., ve Duman, İ. (2000). *Kültür Sebzeleri (Sebze Yetiştirme)* Ege Üniversitesi Basımevi.
- Wang, H. ve Yamauchi, A. (2006). Growth and function of roots under abiotic stress soils. *Plant-environment interactions*, 271-320.
- Wang, X., Shi, G., ve Xu, Q. (2003). Toxic effects of Cr⁶⁺ on *Nymphoides peltatum* mitigated by exogenous polyamine. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 23, 689-693.
- Wang, Z., Yang, J., Zhang, J., Liu, K., ve Liu, L. (2007). Involvement of polyamines in the drought resistance of rice. *Journal of Experimental Botany*, 58(6), 1545-1555.

- Webster, K. E., Kratz, T. K., Bowser, C. J., Magnuson, J. J., ve Rose, W. J. (1996). The influence of landscape position on lake chemical responses to drought in northern Wisconsin. *Limnology and Oceanography*, 41(5), 977-984.
- Wilhite, D. A. ve Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.
- Wu, M. ve Yuan, L. (2008). Research progress in the relationship between polyamine and plant resistance. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 36, 3516–3518. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2008.09.020
- Wu, Y. ve Cosgrove, D. J. (2000). Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Journal of Experimental Botany*, 51(350), 1543-1553
- Xing, W. ve Rajashekar, C. B. (1999). Alleviation of water stress in beans by exogenous glycine betaine. *Plant Science*, 148(2), 185-192.
- Xu, C., Wu, X., ve Zhang, H. (2009). Impact of D-Arg on drought resistance and endogenous polyamines in mycorrhizal *Pinus massoniana*. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 33(4), 19-23.
- Yamaguchi, K., Takahashi, Y., Berberich, T., Imai, A., Takahashi, T., Michael, A. J., ve Kusano, T. (2007). A protective role for the polyamine spermine against drought stress in *Arabidopsis*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 352(2), 486-490.
- Yang, L., Liang, H., Lv, X., Liu, D., Wen, X., ve Liao, Y. (2016). Effect of polyamines on the grain filling of wheat under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 100, 113-129.
- Yang, Y. ve Yang, X. (2002). Effect of temperature on endogenous polyamine content in leaves of Chinese Kale Seedlings. *Journal of South China Agricultural University*, 23, 9-12.
- Yin, Z. P., Li, S., Ren, J., ve Song, X. S. (2014). Role of spermidine and spermine in alleviation of drought-induced oxidative stress and photosynthetic inhibition in Chinese dwarf cherry (*Cerasus humilis*) seedlings. *Plant Growth Regulation*, 74(3), 209-218.
- Yuni, W., Ana-Rosa, B., Enny, S., Raoul, B. J., ve Arnaud, B. G. (2013). Secondary metabolites of *Capsicum* species and their importance in the human diet. *Journal of Natural Products*, 2013(76), 783–793.
- Zapata, P. J., Serrano, M., Pretel, M. T., Amorós, A., ve Botella, M. Á. (2004). Polyamines and ethylene changes during germination of different plant species under salinity. *Plant Science*, 167(4), 781-788.
- Zeid, I. M. ve Shedeed, Z. A. (2006). Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biologia plantarum*, 50(4), 635-640.

- Zhang, Y., Cheng, G., Li, X., Jin, H., Yang, D., Flerchinger, G. N., ve Liang, J. (2017). Influences of frozen ground and climate change on hydrological processes in an alpine watershed: a case study in the upstream area of the Heihe River, Northwest China. *Permafrost and Periglacial Processes*, 28(2), 420-432.
- Zhang, X., Ervin, E. H., Evanylo, G. K., ve Haering, K. C. (2009). Impact of biosolids on hormone metabolism in drought-stressed tall fescue. *Crop Science*, 49(5), 1893-1901
- Zhao, H. ve Yang, H. (2008). Exogenous polyamines alleviate the lipid peroxidation induced by cadmium chloride stress in *Malus hupehensis* Rehd. *Scientia Horticulturae*, 116(4), 442-447.
- Zhen, Y., Li, S., ve Su, X. (2000). Polyamine changes and chilling injury in cold-stored loquat fruits. *Journal of Integrative Plant Biology*, 42(8), 824.
- Ziegler, R. G., Mason, T. J., ve Stemhagen, A., Hoover, R., Schoenberg, J. B., Gridley, G., ve Fraumeni JR, J. F. (1986). Carotenoid intake, vegetables, and the risk of lung cancer among white men in New Jersey. *Journal of Ethnopharmacology*, 19(3), 338.