



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

IN VITRO ŞARTLARDA GARNEM VE MYROBOLAN 29C ANAÇLARININ KURAK STRESİNE KARŞI TEPKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Muzaffer İPEK

DOKTORA TEZİ

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

EYLÜL-2015
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

IN VITRO ŞARTLARDA GARNEM VE MYROBOLAN 29C ANAÇLARININ KURAK STRESİNE KARŞI TEPKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Muzaffer İPEK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Lütfi PIRLAK

2015, 142 Sayfa

Jüri
Danışmanın Prof. Dr. Lütfi PIRLAK
Prof. Dr. Ahmet EŞİTKEN
Prof. Dr. Yeşim YALÇIN MENDİ
Doç. Dr. Yaşar KARAKURT
Yrd. Doç. Dr. Mustafa YORGANCILAR

Bu çalışma ile *in vitro* şartlarda Garnem ve Myrobolan 29C anaçlarının farklı dozlardaki PEG (Polyethylene Glycol) içeren büyüme ortamlarında kuraklığa karşı morfolojik ve biyokimyasal tepkileri incelenmiştir. Çalışmada 3 farklı kuraklık seviyesi (-0.5MPa, -1.0MPa ve -1.5MPa) uygulanmıştır. Bitkilerde ölçümlerin yapılması ve yaprak örneklerinin alınması çalışmanın 0, 3, 5, 7, 9, 11, 13 ve 15. günlerinde gerçekleştirilmiştir. Myrobolan 29C anacının bitki boyunda en yüksek artış, kontrol grubuna ait bitkilerde (%4,04), en az artış ise -1,5MPa kuraklık stresinde (%1,98) meydana gelmiştir. Benzer sonuç Garnem anacında da elde edilmiş olup, en yüksek artış kontrol grubuna ait bitkilerde (%25,31) en az artış da -1,5MPa kuraklık stresinden (%3,88) meydana gelmiştir. Yaprakların membran geçirgenliği bakımından, Myrobolan 29C anacında en yüksek değer (%97,92) -1,5MPa, Garnem anacında da en yüksek membran geçirgenliği %97,43 ile -1,5MPa uygulamasından elde edilmiştir. Myrobolan 29C anacında yapılan protein analizlerinde tüm kuraklık uygulamalarında 3.güne kadar bir artış söz konusu olurken, bu zamandan itibaren çalışma sonuna kadar azalışlar olmuştur. Garnem anacında yapılan protein analizlerinde tüm uygulamalarda ilerleyen kuraklık döneminde protein miktarında azalışlar görülmüştür. Myrobolan 29C anacında -0,5MPa ve -1,0MPa uygulamalarında prolin miktarında 13.gün sonuna kadar bir artış olurken, -1,5MPa uygulamasında ise 9.günden sonra prolin miktarında azalmanın olduğu görülmektedir. Garnem anacında ise tüm uygulamalarda prolin miktarında artış meydana gelmiştir. Yapılan enzim analizleri sonuçlarına göre Myrobolan 29C anacında süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesin uygulamalarda 9.güne kadar artış gösterdiği, ancak devam eden süreçte aktivitenin azaldığı belirlenirken; Garnem anacında ise uygulamaların 13.gününe kadar enzim aktivitesinin artış gösterdiği, sonrasında ise azalmaların olduğu belirlenmiştir. Katalaz (KAT) enzim aktivitesi, Myrobolan 29C anacında belirli bir güne kadar artış göstermiş olsa da, devam eden süreçte azalmalar söz konusu olmuştur. Garnem anacında ise KAT enzim aktivitesi çalışma süresince artış göstermiştir. Myrobolan 29C anacında peroksidaz (POD) enzim aktivitesi 11.güne kadar artış gösterirken, 11.günden sonra azaldığı görülmüştür. Buna karşın Garnem anacında ise POD enzim aktivitesi çalışma sonuna kadar artış göstermiştir. En yüksek glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesi her iki anaçta da -1,5MPa'dan elde edilmiştir. Myrobolan 29C anacında en yüksek askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesi 9. günde 60,98µmolg^{-1}TA ile -1,5MPa uygulamasından elde edilirken, Garnem anacında ise en yüksek değer benzer şekilde -1,5MPa uygulamasından (34,61µmolg^{-1}TA) elde edilmiştir. En yüksek malondialdehit (MDA) miktarı Myrobolan 29C'de -1,0MPa (0,786nmolml^{-1}) uygulamasından elde edilirken, Garnem anacında ise -1,0MPa'dan (0,158nmolml^{-1}) elde edilmiştir. Myrobolan 29C anacında hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında artışın olduğu gözlemlenirken, en fazla artış

%66,27 ile -1,5MPa'dan elde edilmiştir. Benzer uygulama Garnem anacında da, en fazla H_2O_2 miktarına sahip olmuştur. Myrobolan 29C anacında askorbik asit (AsA) miktarındaki en az değişim kontrol grubuna ait bitkilerde (%47,33) olurken, en fazla değişim -1,0MPa kuraklık stresinde (%193,27) meydana gelmiştir. Garnem anacına ait bitkilerde ise en az değişim kontrol grubuna ait bitkilerde, en fazla değişim ise -1,0MPa kuraklık stresinde meydana gelmiştir. Myrobolan 29C anacında makro besin elementlerinden kalsiyum, potasyum, fosfor ve magnezyum miktarları tüm kuraklık uygulamalarında azalışlar göstermiştir. Ancak -1,0MPa kuraklık uygulamasında sodyum ve kükürt miktarları diğer uygulamalara göre daha yüksek bir değere sahip olmuştur. Mikro besin elementi içerikleri incelendiğinde bor, bakır, demir, mangan ve çinko içerikleri kontrol grubuna kıyasla kuraklık uygulamalarında daha düşük değerlere sahip olmuşlardır. Garnem anacında makro elementlerden kalsiyum, potasyum, sodyum, fosfor ve magnezyum miktarlarında azalmalar tespit edilirken, kuraklık uygulamalarının tümünde kükürt miktarı kontrol grubuna göre daha yüksek değere sahip olmuştur. Mikro besin elementi içerikleri incelendiğinde bor, bakır, demir, mangan ve çinko içerikleri tüm kuraklık uygulamalarının değerleri kontrol grubuna göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak Garnem anacının kuraklık stresine Myrobolan 29C anacına göre daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresinin artmasıyla bitkilerin morfolojik gelişimleri ve biyokimyasal içerikleri olumsuz yönde etkilenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Garnem, Myrobolan 29C, Doku Kültürü, Kuraklık, Enzim aktivitesi

ABSTRACT

Ph. D THESIS

DETERMINATION OF GARNEM AND MYROBOLAN 29C ROOTSTOCKS REACTIONS AGAINST DROUGHT STRESS *IN VITRO* CONDITIONS

Muzaffer İPEK

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
DOCTOR OF PHILOSOPHY IN HORTICULTURE

Advisor: Prof. Dr. Lütfi PIRLAK

2015, 142 Pages

Jury
Advisor: Prof. Dr. Lütfi PIRLAK
Prof. Dr. Ahmet EŞİTKEN
Prof. Dr. Yeşim YALÇIN MENDİ
Asst. Prof. Dr. Yaşar KARAKURT
Asst. Prof. Dr. Mustafa YORGANCILAR

We investigated the morphological and biochemical responses of the Garnem and Myrobolan 29C rootstocks to drought stress. Three polyethylene glycol (PEG) levels (-0.5MPa, -1.0MPa, -1.5MPa) were used to model drought stress. Morphological characteristics were measured and leaf samples collected at 0, 3, 5, 7, 9, 11, 13, and 15 days. In Myrobolan 29C, the highest plant height growth rate was obtained by control (4.04%), while the lowest growth was observed in the -1.5MPa group (1.98%); similar results were observed in the Garnem rootstock control (25.31%) and -1.5MPa (3.88%) groups. Leaf membrane permeability was highest after -1.5MPa treatment for both the Myrobolan 29C (97.92%) and Garnem (97.43%) rootstocks. In Myrobolan 29C, the total protein levels decreased in all drought applications to the end of the study, after which the total protein levels increased until 3 days post-stress; total protein levels decreased during drought and did not recover in the Garnem rootstock. In Myrobolan 29C, the proline content decreased the -0.5MPa and -1.0MPa groups until day 13, but the proline content decreased after day 9 in the -1.5MPa group; in Garnem, the proline content increased until the end of the study. Superoxide dismutase (SOD) enzyme activity increased in Myrobolan 29C after 9 days of treatment and in Garnem after 13 days of treatment; SOD activity decreased afterward. Catalase (CAT) activity started to decrease on day 9 for Myrobolan 29C, though it increased on day 7 for all 3 treatments. CAT activity increased in Garnem across the study. Peroxidase activity decreased in Myrobolan 29C until day 11, after which it decreased; peroxidase activity increased in Garnem. Glutathione reductase (GR) and ascorbate peroxidase (APX) activities were highest in Myrobolan 29C and Garnem rootstocks treated with -1.5MPa culture media. The highest levels of malondialdehit (MDA) enzyme activity were obtained from the -1.0MPa culture medium for both Myrobolan 29C and Garnem; their enzyme activity levels were 0.786 nmol ml^{-1} and 0.158 nmol ml^{-1}, respectively. The -1.5MPa treatment induced the highest levels of hydrogen peroxidase in Myrobolan 29C (66.27%) and Garnem (86.52%). Ascorbic acid (AsA) content changed the least in control plants (47.33%) and the most in the Myrobolan 29C (193.27%) and Garnem rootstocks treated with -1.0 MPa. Garnem rootstock showed similar results with Myrobolan 29C on changing of AsA content. When calcium, potassium, bhosphorus and magnesium content increased in all drought treatments, sodium and sulphur content had more than other macro elements on -1,0MPa group; in Myrobolan 29C. Micro element contents (boron, copper, iron, manganese and zinc) in all drought stress applications had lower than control; in Myrobolan 29C. While calcium, potassium, sodium, bhosphorus and magnesium content were decreased by all drought applications, sulphur content had more than control in all drought

applications; in Garnem. According to the micro element contents, boron, copper, iron, manganese and zinc content had lesser than control in all drought treatments.

As a result of, it was determined that Garnem rootstock had more tolerant to drought than Myrobolan 29C. While drought stress level was increasing, morphological development and biochemical content of plants were affected negatively.

Keywords: Garnem, Myrobolan 29C, Plant Tissue Culture, Drought, Enzyme Activity

ÖNSÖZ

Kuraklık, abiyotik stresler içerisinde bitki yaşamını sınırlandıran en önemli faktörlerden birisidir. Günümüzde kuraklık, dünya nüfusunun artması, iklim değişikleri, orman tahribatları ve küresel ısınma ile birlikte çevre ve ülkeleri tehdit eden toplumsal ve ekonomik boyutlara ulaşmıştır. Bu bağlamda meyve yetiştiriciliğinde kuraklığa dayanıklılık sağlayan anaçların varlığı ve mevcut anaçların kuraklığa dayanımlarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışma ile yaygın olarak kullanılan Garnem ve Myrobolan 29C anaçlarının *in vitro* şartlarda farklı kuraklık seviyelerine vermiş oldukları morfolojik ve biyokimyasal tepkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, Garnem anacının Myrobolan 29C anacına göre kuraklığa daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmanın her aşamasında desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Lütfi PIRLAK'a, Prof. Dr. Ahmet EŞİTKEN'e ve Yrd. Doç. Dr. Mustafa YORGANCILAR'a, çalışmada yer alan analizlerimin yapılmasında katkı sağlayan sevgili öğrencilerime ve ayrıca doktora tez çalışmam süresince manevi desteğini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Muzaffer İPEK
KONYA-2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **vi**

ÖNSÖZ ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xiii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **6**

2.1. Bitkilerde Kuraklık Stresinin Etkileri 6
2.1.1. Mekanik etki 6
2.1.2. Metabolik etki 7
2.1.3. Oksidatif etki 7
2.2. Kuraklığın Bitki Morfolojisi Üzerine Etkileri 9
2.3. Kuraklığın Bitki Fizyolojisi Üzerine Etkileri 9
2.4. Kuraklık Stresine Karşı Geliştirilen Uyum Mekanizmaları 12
2.4.1. Enzimatik olmayan antioksidanlar 13
2.4.1.1. Askorbik asit (Vitamin C) 13
2.4.1.2. Glutatyon 14
2.4.1.3. Tokoferoller (Vitamin E) 14
2.4.1.4. Karotenoidler 14
2.4.1.5. Fenolik bileşikler 15
2.4.2. Enzimatik antioksidanlar 15
2.4.2.1. Süperoksit Dismutaz (EC:1.15.1.1) (SOD) 15
2.4.2.2. Katalaz (EC:1.11.1.6) (KAT) 16
2.4.2.3. Peroksidaz (EC:1.11.1.7) (POD) 16
2.4.2.4. Askorbat Peroksidaz (EC:1.11.1.11) (APX) 17
2.4.2.5. Glutatyon Peroksidaz (EC:1.11.1.7) (GPX) 17
2.4.2.6. Glutatyon Redüktaz (EC:1.6.4.2) (GR) 17
2.5. Kuraklık Stresi İle İlgili Yapılan Çalışmalar 21

3. MATERYAL VE YÖNTEM **40**

3.1. Bitkilerin *In Vitro* Şartlarda Yetiştirilmesi 41
3.1.1. Çeliklerin yüzey sterilizasyonu 42
3.1.2. Sürgünlerin çoğaltılması 44
3.1.3. Sürgünlerin köklendirilmesi 46
3.1.4. Kuraklık uygulamalarının yapılması 47
3.2. Denemede Yapılan Gözlem ve Ölçümler 49
3.2.1. Bitki boyunun ölçülmesi 49
3.2.2. Bitki nispi ağırlıklarının belirlenmesi 49
3.2.3. Yaprak alanının belirlenmesi 49
3.2.4. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi 50

3.2.5. Membran geçirgenliği tayini 50
3.2.6. Klorofil miktarı tayini 50
3.2.7. Çözünebilir protein miktarının tayini 51
3.2.8. Prolin miktarı tayini 52
3.2.9. Süperoksit dismutaz aktivitesinin belirlenmesi 53
3.2.10. Katalaz aktivitesinin belirlenmesi 54
3.2.11. Peroksidaz aktivitesinin belirlenmesi 55
3.2.12. Glutatiyon redüktaz aktivitesinin belirlenmesi 55
3.2.13. Askorbat peroksidaz aktivitesinin belirlenmesi 55
3.2.14. Malondialdehit miktarının belirlenmesi 56
3.2.15. Hidrojen peroksit miktarının belirlenmesi 56
3.2.16. Askorbik asit miktarının belirlenmesi 57
3.2.17. Bitki besin elementi miktarlarının belirlenmesi 57
3.3. İstatistiksel Analizler 58

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 59

4.1. Araştırma Sonuçları 59
4.1.1. Bitki boylarında (cm) meydana gelen değişimler 59
4.1.1.1. Myrobolan 29C anacının bitki boylarında (cm) meydana gelen değişimler 59
4.1.1.2. Garnem anacının bitki boylarında (cm) meydana gelen değişimler 60
4.1.2. Bitki nispi ağırlığında (%) meydana gelen değişimler 61
4.1.2.1. Myrobolan 29C anacının bitki nispi ağırlığında (%) meydana gelen değişimler 61
4.1.2.2. Garnem anacının bitki nispi ağırlığında (%) meydana gelen değişimler 62
4.1.3. Yaprak alanlarında (cm^2) meydana gelen değişimler 63
4.1.3.1. Myrobolan 29C anacının yaprak alanlarında (cm^2) meydana gelen değişimler 63
4.1.3.2. Garnem anacının yaprak alanlarında (cm^2) meydana gelen değişimler 64
4.1.4. Membran geçirgenliğinde (%) meydana gelen değişimler 65
4.1.4.1. Myrobolan 29C anacının membran geçirgenliğinde (%) meydana gelen değişimler 65
4.1.4.2. Garnem anacının membran geçirgenliğinde (%) meydana gelen değişimler 66
4.1.5. Yaprak Oransal Su İçeriğinde (%) meydana gelen değişimler 67
4.1.5.1. Myrobolan 29C anacının yaprak oransal su içeriğinde (YOSİ) (%) meydana gelen değişimler 67
4.1.5.2. Garnem anacının yaprak oransal su içeriğinde (YOSİ) (%) meydana gelen değişimler 68
4.1.6. Klorofil miktarında meydana gelen değişimler 69
4.1.6.1. Myrobolan 29C anacının klorofil miktarında meydana gelen değişimler 69
4.1.6.2. Garnem anacının klorofil miktarında meydana gelen değişimler 70
4.1.7. Protein miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 71
4.1.7.1. Myrobolan 29C anacında protein miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 71
4.1.7.2. Garnem anacında protein miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 72

4.1.8. Prolin miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 73
4.1.8.1. Myrobolan 29C anacında prolin miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 73
4.1.8.2. Garnem anacında prolin miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 74
4.1.9. Hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 75
4.1.9.1. Myrobolan 29C anacında hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 75
4.1.9.2. Garnem anacında hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 76
4.1.10. Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 77
4.1.10.1. Myrobolan 29C anacında süperoksit dismutaz (SOD)enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 77
4.1.10.2. Garnem anacında süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 78
4.1.11. Katalaz (KAT) enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler 79
4.1.11.1. Myrobolan 29C anacında katalaz (KAT) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 79
4.1.11.2. Garnem anacının katalaz (KAT) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 80
4.1.12. Peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 81
4.1.12.1. Myrobolan 29C anacında peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 81
4.1.12.2. Garnem anacında peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 82
4.1.13. Glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesinde (nmol g^{-1} dk^{-1} TA) meydana gelen değişimler 83
4.1.13.1. Myrobolan 29C anacında glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesinde (nmol g^{-1} dk^{-1} TA) meydana gelen değişimler 83
4.1.13.2. Garnem anacında glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesinde (nmol g^{-1} dk^{-1} TA) meydana gelen değişimlerin ölçülmesi 84
4.1.14. Askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesinde (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 85
4.1.14.1. Myrobolan 29C anacında askorbat peroksidaz (APX) enzim (µmol g^{-1} TA) aktivitesinde meydana gelen değişimler 85
4.1.14.2. Garnem anacında askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesinde (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler 86
4.1.15. Malondialdehit (MDA) miktarında (nmol ml^{-1}) meydana gelen değişimler 87
4.1.15.1. Myrobolan 29C anacında malondialdehit (MDA) miktarında (nmol ml^{-1}) meydana gelen değişimler 87
4.1.15.2. Garnem anacında malondialdehit (MDA) miktarında (nmol ml^{-1}) meydana gelen değişimler 88
4.1.16. Askorbik asit (AsA) miktarında (µg g^{-1}TA) meydana gelen değişimler 89
4.1.16.1. Myrobolan 29C anacında askorbik asit (AsA) miktarında (µg g^{-1}TA) meydana gelen değişimler 89

4.1.16.2. Garnem anacında askorbik asit (AsA) miktarında (µg g^{-1}TA) meydana gelen değişimler 90
4.1.17. Bitki besin elementi miktarlarında meydana gelen değişimler 91
4.1.17.1. Myrobolan 29C anacında bitki besin elementi miktarlarında meydana gelen değişimler 91
4.1.17.2. Garnem anacının bitki besin elementi miktarlarında meydana gelen değişiklikler 92
4.2. Tartışma 93

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 105

KAYNAKLAR 107

ÖZGEÇMİŞ 127

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	Yüzde
µ	Mikro
°C	Santigrad derece
α	Alfa
ΨW	Su potansiyeli

Kısaltmalar

ABA	Absisik Asit
APX	Askorbat Peroksidaz
AsA	Askorbik Asit
BAP	Benzil Amino Pürin
Ca	Kalsiyum
cm	Santimetre
CO_2	Karbondioksit
Cu	Bakır
DHA	Dehidroaskorbat
DHAR	Dehidroaskorbat Redüktaz
dk	Dakika
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
EC	Elektriksel İletkenlik
EDTA	Etilen Diamin Tetra Asetikasit
Fe	Demir
g	Gram
GA_3	Giberellik Asit
GPX	Glutatyon Peroksidaz
GR	Glutatyon Redüktaz
GSH	Glutatyon
GSSG	Okside Glutatyon
H_2O	Su
H_2O_2	Hidrojen Peroksit
ha	Hektar
IAA	İndol Asetik Asit
IBA	İndol Bütirik Asit
K	Potasyum
KAT	Katalaz
kg	Kilogram
l	Litre
M	Molar
MDA	Malondialdehit
MDHA	Mono Dehidro Askorbat
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mM	Milimolar
Mn	Mangan
MPa	Mega Paskal
NADP	Nikotinamid Adenin Dinükleotid Fosfat
NH_3	Amonyak
nm	Nanometre
NSİ	Nispi Su İçeriği
O_2	Serbest Oksijen
O_2^-	Süperoksit

OH^-	Hidroksil Radikalleri
PBZ	Paklobutrazol
PEG	Polietilen Glikol
POD	Peroksidaz
RNA	Ribo Nükleik Asit
ROS	Rekatif Oksijen Türleri
rpm	Dakikada devir
RWC	Oransal Su İçeriği
SNP	Sodyum Nitroprusid
SOD	Süperoksit Dismutaz
U	Ünite
YOSİ	Yaprak Oransal Su İçeriği
Zn	Çinko

1. GİRİŞ

Canlılar doğaları gereği dış çevre ile sürekli ilişki halindedirler. İçinde bulundukları çevrede uygun olmayan koşullar oluşması durumunda adaptasyon eksikliğine bağlı olarak stres koşullarına maruz kalırlar (Büyük ve ark., 2012). Stres, önemli fizyolojik ve metabolik değişimlere yol açarak bitkilerde büyüme ve gelişmeyi olumsuz şekilde etkileyerek ürün kalitesinin ve miktarının azalmasına ve bitkinin veya organlarının ölümüne yol açabilmektedir. Bitki büyüme ve gelişmesini azaltan veya olumsuz yönde etkileyen çevre faktörlerindeki değişmeler olarak tanımlanabilen stres; fiziksel, kimyasal veya biyolojik kaynaklı olabilmektedir (Çerçi, 2012). Bir ekosistem içerisinde bitkileri etkileyen pek çok stres faktörü bulunabilir. Bu faktörler abiyotik ve biyotik stresler olarak iki grupta sınıflandırılır (Levitt, 1980) (Çizelge 1).

Çizelge 1. Bitkiler için başlıca stres kaynakları

Abiyotik Stresler		**Biyotik Stresler**
Fiziksel Stresler	**Kimyasal Stresler**	
Kuraklık	Hava kirliliği	Rekabet
Sıcaklık	Allelokimyasallar	Allelopati
Radyasyon	Besinler (inorganik maddeler)	Simbiyosis
Sel	Pestisitler, Toksinler	İnsan tahribi
Makineler, Elektrik	Tuzlar	Hastalık etkenleri
Manyetik alan, Rüzgâr	Toprağın pH'sı	Böcekler

Abiyotik stres, çevresel faktörlerin bozulmasıyla yetiştiricilik açısından önemli tehditler içermekte olup, bitkilerde olumsuz değişiklikler yaratarak, dünyadaki ürün kaybının ve verim düşüklüğünün %50'den daha fazlasına sebep olmaktadır (Wang ve ark., 2001; Wang ve ark., 2003). Abiyotik stresler içerisinde ise kuraklık stresi bitki yaşamını sınırlandıran en önemli faktörlerden biridir.

Günümüzde kuraklık, dünya nüfusunun artması, iklim değişiklikleri, orman tahribatları ve küresel ısınma ile birlikte çevre ve ülkeleri tehdit eden toplumsal ve ekonomik boyutlara ulaşmıştır. Kuraklık insan ve çevreye en çok zarar veren, büyük kayıplara yol açan tabii afetlerin en başında yer almaktadır. Ülkemizin küresel ısınmanın muhtemel etkileri açısından, risk grubu ülkeler arasında yer aldığı, gelecekte özellikle Akdeniz ve İçanadolu bölgelerimizin iklim değişikliğinden daha çok etkileneceği tahmin edilmektedir. Ülkemiz, coğrafi konumu ve yapısı nedeniyle çok farklı iklim bölgelerine ve mikroklima alanlarına sahiptir. İklim elemanları ve özellikle üretim üzerinde en büyük

etkiye sahip olan yağış faktörü, zamansal ve mekânsal olarak çok büyük değişimler göstermektedir. Türkiye'de yıllık yağış ortalaması 640 mm civarında olmasına rağmen yağış dağılımının düzensizliğinden dolayı birçok bölgede su sıkıntısı ve kuraklık yaşanmaktadır **(**Kapluhan, 2013). Türkiye'de kuraklığa etki eden belli başlı etmenler arasında atmosferik şartlar, fiziki coğrafya etmenleri ve iklim koşulları yer almaktadır (Anonim, 2008). Bitkinin normal olarak büyüyebilmesi ve yaşam döngüsünü tamamlayabilmesi için gerekli olan nemin bulunmamasından kaynaklanan kuraklık stresi; yağışların düzensiz olduğu ve sulamanın zayıf olduğu bölgelerde yaygındır (Sircelj ve ark., 2007).

Yağışa bağlı iklim sınıflandırmalarında genelde kabul edilen esaslara göre, yıllık ortalama yağışı 250 mm'den az olan yerler kurak, 250-500 mm arası olan yerler ise yarı kurak iklime sahip olarak tanımlanmıştır. Buna göre, Türkiye'de İç Anadolu'nun tamamı, Doğu Akdeniz, Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin bir kısmı kurak özelliğe sahip olup, yer yer çöl ve çok kurak özellik gösterdiği bildirilmiştir **(**Kapluhan, 2013).

Kuraklık, yağışların önemli ölçüde kaydedilen normal seviyelerinin altına düşmesi sonucunda, arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve hidrolojik dengede bozulmalara sebep olan doğal bir iklim olayıdır. Kuraklık başta meteorolojik olmak üzere tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik olarak 4 şekilde kendini gösterir (Anonim, 2008).

Meteorolojik kuraklık: Uzun bir zaman aralığı içinde yağışın belirgin şekilde normal değerlerin altına düşmesi olarak tanımlanır. Nem azlığının derecesi ve uzunluğu meteorolojik kuraklığı belirler ve bölgeden bölgeye gelişiminde farklılıklar gözlenir. Diğer bir ifade ile meteorolojik kuraklık yağışın aylık, mevsimlik veya yıllık toplamlarının ortalamadan olan farklarıdır (Kapluhan, 2013).

Tarımsal kuraklık: Toprakta bitkinin ihtiyacını karşılayacak miktarda su bulunmaması olarak tanımlanan tarımsal kuraklık, nem kaybı ve su kaynaklarında kıtlık oluştuğu zaman meydana gelir. Ürün miktarında azalmaya, büyümelerinde değişime ve hayvanlar için tehlikeye sebep olur (Kapluhan, 2013).

Hidrolojik kuraklık: Yeraltı su kaynakları, yüzey suları veya yağış periyotlarının etkisi ile ilişkilidir. Meteorolojik kuraklığın uzaması durumunda hidrolojik kuraklıktan söz edilir. Hidrolojik kuraklık, uzun süreli yağış azlığının bir sonucu olarak su kaynaklarının seviyelerinde, yüzey akışlarında ve toprak neminde kendisini gösterir. Yeraltı suları, nehirler ve göllerin seviyesinde keskin bir düşüşe sebep olur. İnsan, bitki ve hayvan yaşamı için büyük bir tehlike yaratır (Kapluhan, 2013).

Sosyo- ekonomik kuraklık: Meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık unsurlarının bazı ekonomik malların arzı ve talebine olan etkileriyle ilgilidir. Su yetersizliği insanları ve onların hayatını etkilediğinde sosyoekonomik kuraklıktan bahsedilir (Kapluhan, 2013).

Eriş (1990), kuraklığı genel ilkeler içerisinde, ağır kuraklık, sürekli (kronik) kuraklık ve fizyolojik kuraklık olarak tanımlamıştır.

Ağır kuraklık, kuvvetli güneşlenme ve rüzgârdan ileri gelmektedir. Böyle durumlarda susuzluk kendini şiddetle gösterir ve özellikle genç bitkiler ve tohumlar kurur. Yaşlı bitkiler asimilasyon yetersizliğinden dolayı solar, sürgün uçları kurur, verimleri azalır ve kalitesizleşir, büyüme yavaşlar ve durur. Kuraklığın en erken belirtisi solgunluktur. Bu durumdaki bitkiye su verildikçe solgunluk geçer, aksi halde bitki ölür.

Kronik kuraklık, toprakta taban suyunun düşmesi sonucu görülür. Böyle bölgelerde bulunan bitkiler bir taraftan taban suyunun düşmesi, diğer taraftan da hastalık ve zararlıların etkisiyle zayıf düşerler. Sürekli kuraklıktan dolayı bitkilerde önce solgunluk, daha sonra ise ağaçların tepelerinden başlayarak aşağıya doğru inen kuruma hali görülür. Bu tip kuraklık özellikle çok yıllık bitkiler için önemlidir.

Fizyolojik kuraklık ise toprakta yeterli suyun bulunmasına karşın çeşitli sebeplerden ötürü bitkinin bu sudan faydalanamayışı olarak tanımlanmaktadır. Kış aylarında toprak soğuk ve donmuş, fakat toprak üstü havasının sıcaklığı daha fazla olursa, bitki toprak üstü organlarıyla transprasyon yaparak kaybettiği suyu kökleriyle topraktan alamaz. Bazen de bitkiler (özellikle çok yıllık ağaçlar) toprak altındaki geçirimsiz sert bir tabakadan ötürü normal su alımlarını gerçekleştiremezler.

Bitkisel üretimi sınırlandıran önemli faktörlerden biri kuraklık stresidir. Bitkilerde kuraklık stresi, fotosentezin engellenmesi nedeniyle klorofil miktarının ve bileşenlerinin bazı değişikliklere neden olmasıyla birlikte fotosentez işleyişinde de bozuklukların meydana gelmesiyle ortaya çıkar. Ayrıca Kelvin döngüsünde görevli enzim ve fotokimyasal aktivitelerde aksaklıklara yol açmaktadır. Bitkinin fotosentez işleyişinde oluşan aksamalar sonucu reaktif oksijen radikalleri (ROS) ile antioksidan savunma mekanizmaları arasındaki denge bozulur. Stres sonucu, ROS birikimine neden olarak proteinlerin ve diğer hücresel bileşenlerin yapısı bozulmaktadır (Kuşvuran, 2010). Kuraklık stresine maruz kalan bitkiler, antioksidan savunma sistemlerin aktivasyonu ile oksidatif stresin üstesinden gelebilirler. Fakat radikal üretimi, antioksidan savunma sisteminin kapasitesini aşacak kadar fazla olursa, o zaman bitkide meydana gelecek hasar geri dönüşümsüz olmaktadır (Özfidan, 2010).

Bitkinin kuraklık stresine girmesindeki en önemli olgu topraktaki su potansiyelinin azalmasıdır. Topraktaki su miktarı "devamlı solma noktasında" ise (toprakta bulunan su miktarının bitkinin kaybettiği su miktarından çok düşük olması) bitkide solma gerçekleşir. Devamlı solma noktasında toprağın su potansiyeli çoğu yerlerde -1 MPa ile -2 MPa arasında, ortalama olarak -1,5 MPa'dır. Topraktaki su potansiyeli daimi solma noktasına geldiğinde (-1,5 MPa) yaprakların su potansiyeli kökün ve toprağın su potansiyelinin aşağısındadır. Toprakta yeterli su bulunamaz ve bitki transprasyonla su kaybetmeye devam ederken tolerans mekanizmalarını çalıştıramazsa su stresi başlar. Yani bitki su alamaz ve solmaya başlar. Bu, uzun süre devam ederse bitki kuruyarak ölür. Toprakta su çok azaldığında, toprak kolloidlerince daha fazla çekildiğinden, köklerin emme gücü kolloidlerin emme gücünü yenemez ve su alımı olmaz. Böylece yaprak ve köklerde daimi solma noktasında, solma gerçekleşmiş olur (Kocaçalışkan, 2008).

Kuraklık, genel anlamda meteorolojik bir olgu olup toprağın su içeriği ile bitki gelişiminde gözle görülür azalmaya neden olacak kadar uzun süren yağışsız dönemdir. Yağışsız dönemin kuraklık oluşturması; toprağın su tutma kapasitesi ve bitkiler tarafından gerçekleştirilen evapotranspirasyon hızına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Kuraklık genel olarak su noksanlığı ve kuruma olarak iki tipe ayrılabilir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Buna göre:

1. Su noksanlığı, stomalarda kapanmaya ve gaz değişiminde kısıtlamaya neden olan orta düzeydeki su kaybıdır. Oransal su kapsamının yaklaşık %70'te kaldığı hafif su noksanlığına maruz kalan bitkilerde stomaların kapanmasına bağlı olarak karbondioksit alımı kısıtlanmaktadır.

2. Kuruma, metabolizma ve hücre yapısının tamamen bozulmasına ve sonunda enzimle katalizlenen reaksiyonların durmasına neden olabilecek potansiyele sahip olan aşırı miktardaki su kaybı olarak tanımlanabilir.

Tarımın alt sektörlerinden biri olan meyvecilik, ülkemizin birçok bölgesi için önemli geçim kaynağıdır. Meyvecilikte bahçe tesisi genel olarak aşılı fidan, dolayısıyla anaç kullanımı ile gerçekleştirilmektedir. Bunun iki önemli nedeni vardır. Birincisi; toprak kökenli hastalıklar, böceklerle taşınan hastalık veya zararlılar, ekstrem soğuk veya sıcaklıklar, düşük kaliteli topraklar, düşük kaliteli veya yetersiz su koşullarına dayanıklılık sağlamak ve ikincisi ise üzerine aşılı çeşitten daha yüksek verim ve kalite elde etmektir (Ferguson ve ark., 1990). Bu nedenlerden ötürü meyvecilikte anaç kullanımı önem arz etmektedir.

Yörelere ve türlere göre değişik problemler söz konusu olsa da ülkemizde meyve yetiştiriciliği kurak ve yarı kurak alanlarda da yapılmaktadır. Bununla birlikte küresel iklim değişikliği ile birlikte oluşan sulama sularında azalma ile birlikte ortaya çıkan kuraklık son yıllarda meyve yetiştiriciliğinde verimin ve kalitenin azalmasına neden olmuştur. Bununla birlikte nüfus yoğunluğunun gittikçe artması ve ekilebilir alanların azalması sebebiyle gelecekte gıda sıkıntılarının yaşanabileceği dünyamızda strese bağlı ürün kayıplarının azaltılması oldukça önem kazanmıştır. Bunun sonucu olarak meyve yetiştiriciliğinde kuraklıkla ilgili bir takım önlemlerin alınması zorunlu hale gelmiştir. Bu önlemlerin en kısa vadeli ve kolay olanı suyun daha ekonomik şekilde kullanımıdır. Ancak kısa vadeli çözümlerden ziyade stres faktörlerine dayanıklı özellikle kurak koşullara tolerant anaçların belirlenmesi, savunma mekanizmalarının anlaşılması ve bu anaçlara aşılı çeşitler ile bahçe tesisi ile ürün kayıplarının en aza indirilmesi oldukça etkili ve kalıcı bir adım olacaktır.

Meyve türlerinde kurağa dayanıklılık çalışmaları uzun zaman ve masrafı gerektirmektedir. Bu nedenle son yıllarda *in vitro* şartlarda stres faktörlerine dayanıklılık çalışmaları ve genetikle ilgili araştırmalar yoğunluk kazanmıştır. Buna rağmen bahçe bitkilerinde *in vitro* şartlarda kuraklık stresi üzerine yapılan çalışma sayısı çok azdır. Genellikle tarla bitkilerinde *in vitro* şartlarda kuraklığa dayanıklı genotiplerin seleksiyonuna yönelik çalışmalar ağırlık kazanmıştır.

Bu bilgilerin ışığında yapmış olduğumuz bu çalışmada *in vitro* şartlarda Garnem ve Myrobolan 29C anaçlarının farklı kuraklık seviyelerinde morfolojik ve biyokimyasal tepkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Genel olarak bitkiler yaşamları boyunca tuzluluk, kuraklık, kirlilik, sıcak, soğuk gibi benzer birçok faktörle karşılaşır ve normal büyümeleri ile gelişimleri olumsuz yönde etkilenir. Bitkilerde bu koşullarda meydana gelen değişiklikler stres olarak tanımlanır. Stres faktörleri, bitkiler üzerine etkilerini çoğunlukla, eş zamanlı ve kombine şekilde göstermektedirler (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Abiyotik streslerden kuraklık %26'lık pay ile dünya üzerindeki kullanılabilir tarım alanlarını en fazla etkileyen stres faktörüdür (Blum, 1986). Bu nedenle kuraklık, bitki büyümesini sınırlandıran en önemli stres faktörüdür. Kuraklık stresi farklı morfolojik (yaprak alanının azalması, yaprak kıvrılması), fizyolojik (transpirasyonun azalması, su kullanım verimliliğinin azalması, stomaların kapanması ve ozmotik düzenleme) ve biyokimyasal (prolin, poliamin ve trehaloz gibi moleküllerin birikimi) etkileşimlere neden olan karmaşık bir olgudur (Özer ve ark., 1997; Mitra, 2001; Farooq ve ark., 2009).

2.1. Bitkilerde Kuraklık Stresinin Etkileri

Kuraklık, dünyada etkili olan doğal afetlerin karakteristik özellikleri ve etki derecelerine göre yapılan değerlendirmede ilk sırada yer almaktadır. Kuraklık stresi, su içeriğinde, turgorda ve toplam su potansiyelinde azalma, solma, stomaların kapanması ve hücre büyümesi ve gelişmesinde azalma ile karakterize edilmektedir. Şiddetli kuraklık fotosentezin duraklaması, metabolizma bozukluğu ve son olarak da ölüme neden olabilmektedir (Bohnert ve Jensen, 1996). Bitkilerde kuraklık stresi; mekanik, metabolik ve oksidatif etkiler olarak görülmektedir.

2.1.1. Mekanik etki

Kuraklık, bitki hücrelerinde belirgin su kaybı gerçekleştiği zaman, bitkide turgor kaybıyla kendini gösteren birincil strestir (Levitt, 1980). Su kaybına bağlı olarak hücrede hacim azalır ve plazma membranı hücre duvarından ayrılarak yalnız plazmodezmalar aracılığıyla ilişkisini sürdürür (plazmoliz). Hücre özsuyu konsantrasyonu artar ve protoplazmada artan bir dehidrasyona neden olur. Hücrenin ozmotik su kaybıyla protoplast hücre çeperinden ayrılır. Gerilim altındaki plazma membranı ve tonoplastta

gerçekleşen çökme, yırtılmalara yol açabilir (McKersie ve Leshem, 1994) ve bu durumda zarlar üzerinde yerleşmiş olan hidrolitik enzimler serbest kalarak, sitoplazmanın otolizine neden olabilir (Salisbury ve Ross, 1992). Bu zarar normal hücresel metabolizmayı genelde kalıcı olarak bozar. Su eksikliğinde, bitkilerin büyümeyle ve özellikle de uzamada yavaşlamalar ve turgorlarında azalmalar meydana gelmektedir (Özcan ve ark., 2004; Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

2.1.2. Metabolik etki

Metabolik etki ise, hücrede aşırı su kaybının olması durumunda hücresel metabolizmanın bozulmasıyla kendini gösteren ikincil strestir. Su kaybına bağlı olarak gerçekleşen iyon birikimi membran bütünlüğünün ve proteinlerin yapısının bozulmasına yol açarak hücreye zarar verebilmektedir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Kuraklık stresi ile bitkinin protein metabolizmasında proteinlerin parçalanması ve protein sentezinin azalması şeklinde bozulma meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak da proteinlerin yapısında bulunan hidrofobik ve hidrofilik aminoasitlerin su ile etkileşimleri bozulmaktadır. Bu durum protein denatürasyonlarına ve enzimlerin yavaşlamasına neden olmaktadır (Bray, 1997). Proteinlerin parçalanmasıyla dokularda aminoasitler birikir, enzim kayıpları meydana gelir, ABA artar ve en önemlisi NH_3 gibi toksik bir bileşik ortaya çıkar. NH_3 bitkide metabolik dengenin bozulmasına neden olur (Çıra ve Esendal, 2006).

2.1.3. Oksidatif etki

Suyun kısıtlı olduğu dönemlerde vejetatif bitki dokularında oksidatif stresin en yaygın nedeninin kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleri olduğu belirtilmektedir (Kutlu, 2010). Kuraklığın bitkilerde neden olduğu oksidatif etki, oksijenin reaktif oksijen türleri oluşturarak, *in vivo* makro moleküllerde geri dönüşümsüz hasar meydana getirmesi olarak tanımlanmaktadır (Çavdar ve ark., 1997). Oksijenden kaynaklanan bu oksitleyici radikaller protein, lipit, karbonhidrat ve nükleik asitler gibi makro moleküllerle reaksiyona girerek hücrelerde hasar meydana getirirler (Smirnoff, 1993; Wise, 1995; Bartosz, 1997).

Bitkilerde kuraklık stresi süresince fotosentetik elektron taşınmasının değişmesi süperoksit radikalinin oluşmasına neden olur. Fotosentetik elektron taşınması kuraklık stresini tolere etmesine rağmen, bitkilerin yaklaşık %20-30'u bu işlevi yapamaz. Kuraklık belirgin bir şekilde pigment kaybına neden olmaz, fakat tilakoid membranların organizasyonunu bozar (Ledjal ve ark., 2000).

Serbest radikaller, atomik ya da moleküler yapılarda eşlenmemiş elektron taşıyan moleküller olup, oldukça reaktiftirler (McKersie ve Leshem, 1994). Özellikle aktif oksijen türlerinin (süperoksit molekülü (O_2^-), singlet oksijen ($^1O_2$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikallerinin (OH^-)) oluşumunu içerir. Reaktif oksijen türleri (ROS), oksijenin elektron alarak indirgenmesi sonucu oluşmakta ve en az bir çift eşleşmemiş elektrona sahip oldukları için kararsız haldedirler. ROS'lar, DNA, pigmentler, proteinler ve lipitler gibi diğer hücresel moleküllerle ve metabolitlerle etkileştiklerinden doğada oldukça reaktiftirler (McCord, 2000; Mittler, 2002). Bu şekilde metabolizmaya zarar verirler, ancak sinyal iletiminde ikincil mesajcı olarak da görev yapabilmektedirler (Ashraf, 2009). ROS'lar normal koşullarda metabolik olaylar esnasında üretilirler, ancak düşük konsantrasyonlarda bitkilerin faaliyetlerini etkilemezler.

Su kısıtlı hale gelirken, bitki daha fazla su kaybetmemek için, genelde, stomalarını kapatır. Bu da fotosentezle fiksasyon için gerekli CO_2'nin alımının kısıtlanmasına neden olur. Bu durum fotosentetik reaksiyon merkezlerindeki enerjinin aşırılığına neden olur (Stuhfaulth ve ark., 1990). Sonuçta, $NADP^+$ (fotosentezdeki e-akseptörü) kısıtlı hale gelir ve ferrodoksin, $NADP^+$ yerine oksijeni redükler böylece, fotosistem I (PSI)'in elektronları O_2'ye transferi sonucunda reaktif O_2^- radikali üretilir (Mehler reaksiyonu) (Tambussi ve ark., 2000). Birçok türde su stresi altında artan O_2^- oluşum hızı lipid peroksidasyonuna, yağ asidi doygunluğuna ve sonuçta membranların bütünüyle zarar görmesine neden olur (Sgherry ve ark., 1996). Süperoksitin kendisi fazla reaktif değildir ve daha çok H_2O_2 ve daha sonra OH^- oluşturmak suretiyle etkili olur (Halliwel ve Gutteridge, 1989). Hidrojen peroksit Calvin döngüsünün birçok enziminin inaktivasyonuna yol açmaktadır (Charles ve Halliwel, 1980; Kaiser, 1979). Süperoksit ve hidrojen peroksidin OH^- radikalini oluşturmak üzere tepkimesi sırasında (Haber-Weiss reaksiyonu), artan demir ya da bakır gibi diğer geçiş metalleri, bu reaksiyonları hızlandırmak suretiyle oksidatif hasarı daha da artırabilir (Fenton reaksiyonu) (Smirnoff, 1993; Asada, 1999). Bunların yanı sıra, fotosistem II (PS II)'deki suyu parçalayan bölgede de serbest radikaller oluşabilir.

Haber-Weiss: $O_2^- + H_2O_2 \rightarrow O_2 + OH + OH^-$ (2.1)

Fenton: $Fe^{3+} + O_2^- \rightarrow Fe^{2+} + O_2$ (2.2)

$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + O_2 + OH + OH^-$ (2.3)

2.2. Kuraklığın Bitki Morfolojisi Üzerine Etkileri

Kurak şartlar altında yapraklarda meydana gelen morfolojik değişimler, transprasyonla kaybedilen su miktarındaki azalma; köklerde oluşan morfolojik değişimler ise topraktaki suyu daha yüksek bir kuvvetle absorbe etme olarak ortaya çıkar (Çırak ve Esendal, 2006; Kutlu, 2010).

Kuraklık stresinde bitkiler su kaybını azaltabilmek için yapraklarını dökmek suretiyle toplam yaprak alanlarını küçülterek transpirasyonu azaltmaya çalışmaktadırlar. Böylece bitki su kaybını en aza indirmekte ve topraktan su ile birlikte iyon alınımına da engel olmaktadır. Buna ilaveten bitkide yaprakların üzeri sık tüylerle kaplanır. Bu tüyler, alttaki hücrelerin sıcaklığını 1-2 °C düşürerek transprasyon hızını azaltır. Ayrıca yaprak üzerinde mum üretimi artar, kütikula tabakası güneş ışınlarını yansıtarak sıcaklığın etkisini azaltır ve böylece transprasyon hızı azalır (Göksoy ve Turan, 1991). Yaprak alanındaki azalmanın yanında birim alandaki CO_2 fiksasyonu da azalmaktadır. Böylece bitki daha az fotosentez yaparak harcadıklarını yerine koyamadığı için gelişme ve büyüme geriler (Costa-França ve ark. 2000; Türkan ve ark., 2005).

Kuraklık stresi altında köklerde meydana gelen değişimler ise mantara benzer kalın bir doku tabakasıyla örtülmeleridir. Bu tabaka, alttaki canlı hücreleri, kurak ve sıcak toprağın etkisinden korumaktadır. Ayrıca kök gelişimi hızlanır ve kökün gövdeye oranı artar. Kurak şartlarda fotosentez yavaşlar ve bunun sonucu olarak sürgün gelişimi zayıflar. Fotosentez ürünlerinin büyük bölümü kök gelişimi için köklere taşınır. Böylece kök gelişimi hızlanır ve kökün gövdeye oranı artar (Öztürk ve Seçmen, 1992).

2.3. Kuraklığın Bitki Fizyolojisi Üzerine Etkileri

Kuraklık sırasında fotosentezin gerilemesi büyük ölçüde iki nedene bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bunlar; orta düzeydeki su noksanlığı koşulları altında stomaların kapanmasına bağlı olarak gerçekleşen stomatal sınırlamalar ve genellikle daha uzun süreli

ve daha şiddetli streslerde ortaya çıkan stomatal olmayan sınırlamalardır (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

Kuraklık stresi altında fotosentezdeki ilk azalma, stomaların kapanması ve CO_2 absorbsiyonunun azalmasıyla ortaya çıkar. Bitki, su kaybını önlemek amacıyla stomalarını kapadığında fotosentez için gerekli CO_2'nin alımı da önlenmiş olur Kuraklık stresi ile bitkideki yaprak alanı azalmakta ve buna bağlı olarak fotosentez yavaşlamakta ve azalmaktadır (Çırak ve Esendal, 2006). Kuraklık stresinde stoma boyutu azalırken, stoma sayısının; stoma geçirgenliği, net CO_2 asimilasyonu ve su kullanım etkinliği ile pozitif ilişkili olduğu belirtilmiştir (Xu ve Zhou, 2008).

Kuraklık, bitkilerde hücrelerde turgorite kaybıyla beraber ozmotik potansiyelin de azalmasına neden olmaktadır. Su noksanlığına bir cevap olarak ortaya çıkan bu durum, bitkide çeşitli bazı eriyebilir organik çözeltilerin birikimine neden olmakta ve vakuolden yapraklara su ile birlikte taşınan ozmotik maddelerin miktarlarında artışlara neden olmaktadır. Bu durum kök bölgesindeki ozmotik potansiyel olarak tanımlanmaktadır (Pesserakli ve ark., 1987). Ozmotik uyum inorganik iyonlar, şekerler ve aminoasitler ile yakından ilişkilidir. Hong Bo ve ark. (2006), yaptıkları bir araştırmada, 10 farklı buğday genotipini farklı düzeylerde (% 45, 55 ve 75 tarla kapasitesi) kuraklık stresine tabi tutmuşlardır. Genotiplerin K alımını inceleyen araştırıcılar, genotipler düzeyinde farklılıkların olduğunu, K'nın kuraklığa toleransla bağlantılı olabileceğini ifade etmişlerdir.

Stomaların bitki fizyolojisindeki önemi yaprağın hücreler arası boşluğu ile atmosfer arasındaki gaz alışverişinin sağlanmasından ve su buharı çıkışına izin vermesinden kaynaklanır. Bitki çeşidine göre değişmekle beraber düşük su potansiyelinde (-0.3 ile -0.8 MPa) yapraktaki hücrelerin turgor basıncı düşmekte ve hücrede absisik asit birikimine yol açmaktadır (Davies ve ark., 1994). Buna bağlı olarak stomalar kapanmaktadır. Stomaların kapalı olmasına bağlı olarak da bitkinin fotosentez etkinliği azalmaktadır (Özer ve ark., 1997). Teiz ve Zeiger (1998), bitkilerin hidrolik sinyaller (yaprak su potansiyeli, hücre turgoru) ve kimyasal sinyaller (absisik asit) nedeniyle stomalarını kapattığını ifade etmektedirler. Hu ve Schmidhalter, (2005) ile Türkan ve ark., (2005), bitki su potansiyelinin azalması ve stomaların açılıp kapanmasındaki düzensizlikler nedeniyle fotosentez etkinliğindeki azalmanın bitki gelişiminde gerilemelere neden olduğunu belirtmişlerdir. Yine benzer şekilde Smirnoff (1993) ve Bray (1997) ise kuraklık ve tuzluluk gibi stres faktörlerinin stomaların

kapanmasına neden olduğunu, kloroplastların yapısını da bozarak CO_2 fiksasyonunun azalmasına yol açtığını, bunların fotosentezi olumsuz etkilediğini bildirmektedirler.

Kuraklık stresi altındaki bitkilerde hormonal dengelerde bazı değişiklikler meydana gelir. Bitki hormonlarının değişimi ozmotik uyum açısından oldukça önemlidir (Kutlu, 2010).

Absisik asit (ABA), stres hormonu olarak adlandırılır ve kuraklık, düşük sıcaklık, yüksek sıcaklık ve tuzluluk gibi abiyotik streste yer alır ve bu stres şartlarına bitkilerin yanıtının düzenlenmesinde önemli bir rol oynar. Bitkiler çevresel strese maruz kaldığı zaman ABA stomaların kapanmasını, böylece transprasyonun önlenmesini sağlar, ayrıca protein, RNA ve DNA'nın çeşitli aşamalarda sentezlenmesini önler. Ayrıca stresle ilgili birçok genin ifadesinin uyarılmasına da neden olur (Thompson ve ark., 2000). Strese yanıt olarak özellikle köklerde ABA seviyesi artar (Shashidhar ve ark., 1996). Kuraklık stresinde etilen seviyesi yükselir ve bitkide yaşlanma başlar. Sitokinin ve giberellik asit stomaların uyarılarak açılmasına neden olmaktadır. Kuraklığa dayanımda genel olarak bitki bünyesinde ABA miktarı artarken, sitokininler ve giberellik asit ve IAA miktarı azalmaktadır (Livne ve Vaadia, 1965; Cummins, 1973; Hsiao, 1973; Aharoni ve ark., 1977).

Kuraklık stresi bitkide proteinlerin yapısının bozulmasına yol açarak hücreye zarar verebilir. Su kaybı sonucunda; proteinlerin yapısında bulunan hidrofobik ve hidrofilik aminoasitlerin su ile etkileşimleri bozulur (Campbell, 1991). Bu durum proteinlerin parçalanması ve protein sentezinin azalması şeklinde görülür. Dokularda aminoasitler birikir, enzim kayıpları ortaya çıkar, ABA artar ve en önemlisi amonyak ($NH_{3)}$ gibi toksik bir bileşik ortaya çıkar. NH_3 bitkide metabolik dengenin bozulmasına neden olduğu gibi, suyun yukarı doğru taşınmasına da engel olmaktadır (Çırak ve Esendal 2006; Kutlu, 2010).

Kuraklık stresi sırasında meydana gelen başka bir hasar da, DNA ve RNA gibi nükleik asitlerin ve CO_2 fiksasyonunda görev alan ribuloz bifosfat karboksilaz (RuBPCase) enziminin parçalanmasıdır. Kessler (1961)'e göre, kuraklık stresine maruz kalmış olan yapraklarda RNAaz aktivitesi artmakta ve bu da nükleik asitlerin parçalanmasına neden olduğu gibi ribozomları tutan messenger RNA'yı da tahrip etmektedir.

Bitkilerde kuraklık stresi ile birlikte nitratı (NO_3) indirgeyen enzim aktivitesinin azalmasıyla nitrat indirgenme aktivitesi azalmaktadır. Bu durumda bitkiler tarafından Nitrat ve Amonyum formlarında alınan azotun bitki bünyesinde indirgenerek amin (NH_2)

formuna dönüştürülmesi engellenerek aminoasitlerin oluşumu ve böylece proteinlerin de meydana gelmesi engellenmiş olmaktadır.

2.4. Kuraklık Stresine Karşı Geliştirilen Uyum Mekanizmaları

Kurak koşullarda bitkinin hayatta kalmasını sağlayan ve vejetatif dokularda su stresine karşı geliştirilen iki ana savunma mekanizması bulunmaktadır. Bunlar; stresten kaçınma ve stres toleransıdır (Levitt, 1980; Laffray ve Louguet, 1990; Cruz de Carvalho ve ark., 1998). Kaçınma; stres faktörlerinin bitki dokusuna girişinin önlenmesini veya azaltılmasını ifade eder. Tolerans ise stres faktörlerinin etkisini ortadan kaldırma, azaltma veya tamir etme mekanizmalarını kapsamaktadır (Güzel, 2006). Stresten kaçınan bitkiler, sadece orta şiddetteki kuraklık stresi durumunda hayatta kalırken, strese toleranslı bitki grupları ise koruyucu mekanizmalarını çalıştırmak suretiyle çok daha şiddetli kuraklık stresi durumlarında hayatta kalabilirler (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

Kuraklıktan kaçınma; su sıkıntısında hayatta kalmak için çok önemli bir adaptasyondur. Bitkinin çevreyle temasta olan yüzeylerindeki morfolojik ve kimyasal yapıdaki değişiklikler ile bitki yaşamı ve üretkenliği korunur (Jenks ve Hasegawa, 2005). Kuraktan sakınım mekanizmasına sahip bitkilerde geniş bir kök sistemi meydana gelmekte, stomalar kapanmakta ve daha etkili bir su kullanımı gerçekleşmektedir (Kuşvuran ve ark., 2011). Bitkiler dokularındaki uygun su içeriğini koruyabilmek için, topraktan su alımı, difüzyona dayanıklılıkta erken ve etkili bir artış, transprasyon yüzeyinin azalması sonucu meydana gelebilen su kaybının azaltılması, yüksek bir su iletim kapasitesi veya su depolaması gibi kuraklıktan kaçınma için gerekli fonksiyonel önlemler almaktadırlar (Kuşvuran, 2010).

Hücresel seviyedeki kurağa tolerans mekanizmalarının en önemlileri ozmotik denge ve membran sisteminin korunmasıdır (Mullet ve Whitsitt, 1996; Costa-França ve ark., 2000). Kuraklık toleransına sahip bitkiler sürekli stomalarını açık tutar ve bu yüzden de şiddetli su kaybederler (Brestic ve ark., 1995). Böyle bitkiler CO_2 alımına devam ederler ve hatta şiddetli kuraklık durumunda bile fotosentez mekanizmalarının iyi gelişmiş olmasından dolayı su kaybetmeye karşı dayanıklıdırlar. Moleküler ve fotosentetik seviyedeki değişiklikler kuraklığın neden olduğu zararı baskılayabilir (Cornic 2000; Özcan ve ark., 2004). Kuraklık toleransının kazanılmasında enzimatik ve

enzimatik olmayan antioksidanlar, toksik oksijen türlerini ortadan kaldırmada önemli bir işleve sahiptirler (Ingram ve Bartels, 1996).

Bitkiler oksidatif stres altında yaşamlarını devam ettirebilmek ve stresle başa çıkabilmek için ROS'un kontrolünü sağlayan ve zararlı etkisinin üstesinden gelmek için hem enzimatik, hem de enzimatik olmayan bileşenlerden oluşan antioksidan savunma sistemlerine sahiptir (Reddy ve ark., 2004). Antioksidanlar düşük konsantrasyonlarda oksidasyon yapabilen ve diğer bir substratın oksidasyonunu azaltan (elektron aktarımıyla) veya engelleyen yani oksidasyona karşı mücadele eden maddelerdir. Bunlar enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar olmak üzere iki kısımda incelenmektedir (Büyük ve ark., 2012). Enzimatik olmayanlar, askorbik asit (AsA), tokoferoller (vitamin E), karotenoidler, glutatyon ve fenolik bileşiklerdir. Enzimatik antioksidanlar ise süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon peroksidaz (GPX) ve katalaz (KAT) olarak bilinmektedir (Halliwel ve Gutteridge, 1989; Bowler ve ark., 1992; Shalata ve ark., 2001; Schafer ve ark., 2002).

2.4.1. Enzimatik olmayan antioksidanlar

2.4.1.1. Askorbik asit (Vitamin C)

Askorbik asit, bitkilerde toksik etki yapan ROS'a bağlı olarak meydana gelen hasarın etkilerini önlemede rol oynayan hücrelerdeki en etkili ve en bol hidrofilik antioksidandır (Foyer ve ark., 1995; Çakmak ve Marschner, 1992; Athar ve ark., 2008). Bitkilerde özellikle fotosentetik hücrelerde ve meristemlerde fazla miktarda bulunurken, normal fizyolojik koşullar altında yaprak ve kloroplastlarda düşük seviyededir. Ancak stres koşullarına maruz kalan bitki hücrelerinde konsantrasyonu artar ve O_2^- ve OH^-'ın direkt temizlenmesinde rol oynayarak, oksidatif strese karşı tolerans sağlamada görev alır ve tokoperoksiradikallerden tokoferol oluşturarak membran yapısını korumaktadır (Aono ve ark., 1993; Hollander-Czytko ve ark., 2005).

Askorbik asit önemli bir antioksidandır ve askorbat peroksidaz enzimi aracılığıyla hidrojen peroksiti suya direkt olarak döndürmektedir. Ayrıca O_2^-, OH^- ve lipid hidroperoksitlerine karşı tepki verir (Halliwel, 1978). Bundan dolayı bitki metabolik süreçlerin düzenlenmesi ve oksidatif strese karşı koymak için hücredeki içsel askorbik asit düzeyleri önem kazanmaktadır.

2.4.1.2. Glutatyon

Glutatyon (GSH) bitkilerde oksidatif strese karşı rolü olan en önemli metabolitlerden birisidir. Askorbat ile birlikte singlet oksijen, süperoksit ve hidroksil radikalleri ve H_2O_2'in detoksifikasyonunda etkindir. Ayrıca lipit peroksidasyonu sırasında membran yapısının kararlılığına katkı sağlar (Davies, 2000; Cicerali, 2004).

Bitki dokularında en fazla kloroplastta bulunmakla birlikte sitozol, endoplazmik retikulum, vakuol, mitokondri, peroksizom gibi neredeyse bütün hücre kısımlarında bulundukları gözlenmiştir. Normal koşullar altında sülfat taşınımının düzenlenmesi, sinyal iletimi, ksenobiyotiklerin detoksifikasyonu ve stresle ilişkili genlerin ekspresyonu gibi birçok fizyolojik süreçte rol oynamaktadırlar (Jimenez ve ark., 1998; Rausch ve Wachter, 2005). Aynı zamanda yapılan araştırmalara göre glutatyon bitkilerde hücre farklılaşması, hücre ölümü, patojen direnci ve enzimatik düzenleme gibi birçok büyüme ve gelişme ile ilgili olayda da merkezi bir role sahiptir.

2.4.1.3. Tokoferoller (Vitamin E)

Lipid radikallerinin ve ROS'ların temizlenmesinde rol oynadığı bilinen tokoferoller biyolojik membranlarda özellikle kloroplastların tilakoid membranlarında yoğun olarak bulunmaktadır. Bitkilerde bulunan dört izomeri arasında (α-, β-, γ- ve δ-) yer alan α-tokoferoller; moleküler yapılarında üç metil grubu içermeleri sebebiyle en yüksek antioksidatif aktiviteye sahip olanıdır (Kamal-Eldin ve Appelqvist, 1996; Wu ve ark., 2007). İyi bir membran stabilizasyonu sağlar. Serbest yağ asitleri ile kompleks oluşturabilme özelliklerinden dolayı süperoksit anyonu (O_2^-) gibi ROS çeşitlerine karşı membran kararlılığının korunmasında kritik öneme sahiptirler (McKersie, 1996; Büyük ve ark., 2012).

2.4.1.4. Karotenoidler

Karotenoidler doğada 600'ün üzerinde çeşidi olan bitki ve mikroorganizmalarda bulunan pigmentlerdir. Kloroplastlarda yardımcı pigment olarak görev alan ve antioksidan özellikleriyle fotosistemleri ışığın zararlı etkilerinden koruyan karotenoidlerin en önemlileri karoten ve ksantofillerdir. Karoten pigmentler lipofilik antioksidandır ve bunlar fotosentetik sistemlerin temel bileşenleridir (Foyer ve ark.,

1994). Karotenoidlerin etkisi oksidatif stresin neden olduğu zararların ortadan kaldırılması (Boo ve Jung, 1999) ve PSII pigmentlerindeki fazla enerjinin dağıtılması (Demming-Adams ve Adams, 1996) yönündedir. Karotenoidler, singlet oksijeni temizlerler ve enerjiyi ısı şeklinde dağıtırlar (Mathis ve Kleo, 1973). Lipit peroksidasyon ürünleriyle reaksiyona girerler ve böylece lipid peroksidasyonundan membranların korunmasına katkı sağlarlar (Burton ve Ingold, 1984).

2.4.1.5. Fenolik bileşikler

Bitkilerdeki en önemli ikincil metabolit gruplarından biri olan fenolik bileşikler antioksidan fonksiyona sahiptirler ve farklı gruplara (fenolik asitler ve flavonoidler) ayrılmaktadırlar. Flavonoidlerden biri olan izoflavonların ve diğer bazı flavonoidlerin sentezinin bitki enfekte olduğunda, yaralandığında, düşük sıcaklıklar altında ve düşük besin koşullarında artış gösterdiği belirlenmiştir. Aynı zamanda UV-B etkisinden korunmak amacıyla bitkilerin UV-absorbe eden flavonoidleri epidermal hücrelerin vakuollerinde biriktirdikleri de bilinmektedir.

2.4.2. Enzimatik antioksidanlar

2.4.2.1. Süperoksit Dismutaz (EC:1.15.1.1) (SOD)

SOD'lar olağanüstü katalitik etkinlikte çalışan metalloproteinlerdir (Fridovich, 1986). Serbest oksijen radikallerinin detoksifikasyonundan sorumlu enzimlerdir. O_2^- (süperoksit radikali)'yi H_2O_2 ve O_2'ye dönüştürme rolü olan SOD'ların aktif merkezlerinde yer alan metal iyonlarına göre üç izoenzimi vardır. Bunlar kloroplast, sitoplazma ve hücrelerarası boşlukta bulunan ve bakır ve çinko içeren Cu/Zn-SOD, mitokondri ve peroksizomlarda bulunan ve mangan içeren Mn-SOD ve plastitlerde bulunan ve demir içeren Fe-SOD'lardır (Bowler ve ark., 1992; Sairam ve Srivastava 2000; Alscher ve ark., 2002; Eyidoğan ve ark., 2003; Minibaeva ve Gordon 2003; Molassiotis ve ark., 2006). Stres koşulları altındaki bitkilerde SOD ifadesindeki artışların biyotik ve abiyotik strese bağlı oluşan oksidatif stresle başa çıkmaya ve canlılığı sürdürmesine katkı sağladığı bildirilmiştir (Harinasut ve ark., 2003; Attia ve ark., 2009).

2.4.2.2. Katalaz (EC:1.11.1.6) (KAT)

Katalaz yüksek konsantrasyondaki H_2O_2'nin 2 elektronunu kullanarak su (H_2O) ve oksijene (O_2) direkt olarak indirgenmesini katalizleyen demir porfirin içeren hücreleri strese karşı korumada görevli en önemli enzimatik antioksidanlardan biridir (McClung 1997; Dionisio-Sese ve Tobita, 1998; Chaudiere ve Ferrari-Iliou 1999). Esas olarak peroksizomlarda ve aynı zamanda glioksizomlarda bulunur (Mittler 2002, Del Rio ve ark., 2003). Ancak az miktarda da mitokondride ve apoplast bölgede de yerleşmiştir (Taşğın ve ark., 2006) ve yapısında 4 adet *hem* molekülü bulunan bir hemoproteindir.

KAT'ın temel fonksiyonu, moleküler O_2 mevcudiyetinde metabolizmanın bazı kademelerinde sentezlenen, radikal karakterli H_2O_2'nin ve ROOH gibi bir peroksitin radikalliğini gidererek özellikle membranlarda oluşturabilecekleri geri dönüşümsüz hasarları engellemektir (Scandalios, 1993; Chaudiere ve Ferrari-Iliou, 1999).

Stres altındaki birçok bitkide farklı katalaz izozimlerini kodlayan genlerin davranışları incelendiğinde bu enzimi kodlayan genlerin stresle ilişkili olarak ifade düzeylerinin de arttığı gözlenmiştir (Matsumura ve ark., 2002; Millar ve ark.; 2003).

2.4.2.3. Peroksidaz (EC:1.11.1.7) (POD)

H_2O_2'yi kullanarak fenoller ve hidrokinonlar gibi çok sayıda aromatik bileşenlerin dehidrojenasyonunu katalizleyen *hem* yapısına sahip proteinlerdir (Bergmeyer ve Grabl, 1983; Banci 1997; Kim ve ark., 2000). Peroksidazlar *hem*'i çevreleyen iki farklı kısma bölünmüş ve birbirine sarılıp dönen 10-11 α-heliksten oluşmuştur (Çuvaş, 2007).

Peroksidazlar hidrojen peroksit ile çeşitli indirgeyicilerin arasında indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonlarını katalizleyen enzim sınıfıdır ve askorbat peroksidaz (APX) ve guasiol tip peroksidazlar (GPX) antioksidan sistemle ilgili önemli olanlarıdır (Seçkin, 2010).

POD, elverişsiz dış faktörler altında üretilen zararlı oksijen radikallerinin seviyesini düzenler ve süperoksit dismutaz ve katalazı da içeren bitki hücresinin koruyucu enzim kompleksinin parçasıdır (Bakardjieva ve Christov, 1996). Bitkisel POD; yapraklarda, yaralanan gövdelerde, kotiledon yapraklarda, çiçek saplarında bulunur ve bu doku hücrelerinde nükleus, mitokondri, ribozom, hücre duvarı ve hücre membanlarında yer alır (Bergmeyer ve Grabl 1983; Banci 1997; Hamed ve ark.,1998; Kim ve ark., 2000; Taşğın ve ark., 2006). POD'un; ligninleşme, IAA'nın bozulmasında, hücre duvarındaki

polisakkaritlerin çapraz bağlanması ve proteinlerin toplanması gibi pek çok sayıda fizyolojik olayda rol oynadığı ve birçok metabolik olayın gerçekleşmesine yardımcı olduğu bildirilmiştir (Çuvaş, 2007; Şahin, 2009).

2.4.2.4. Askorbat Peroksidaz (EC:1.11.1.11) (APX)

Yüksek bitkiler, algler, kamçılılar gibi birçok organizmada ROS'a karşı gerçekleştirilen savunmada önemli role sahip olduğu düşünülen enzimatik antioksidanlardandır (Mobin ve Khan, 2007). Hücrede kloroplast stromasındaki çözünebilir (sAPX), tillakoyide bağlı (tAPX), sitosolik (cAPX) ve glioksizom membranına (gmAPX) bağlı olmak üzere 4 farklı APX tespit edilmiştir (Campa, 1991; Madhusudhan ve ark., 2003). Askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) enzimleri birlikte askorbat-glutatyon döngüsünde hidrojen peroksitin detoksifikasyonunda belirleyici rol oynamaktadır (Cakmak ve ark., 1993; Cakmak, 1994; Foyer ve Noctor 2005; Cho ve ark., 2009). Kloroplastlardaki başlıca peroksidaz, elektron alıcısı olarak askorbik asiti (AsA) kullanan APX'tir ve burada H_2O_2, APX tarafından savuşturulmaktadır (Shigeoka ve ark., 2002).

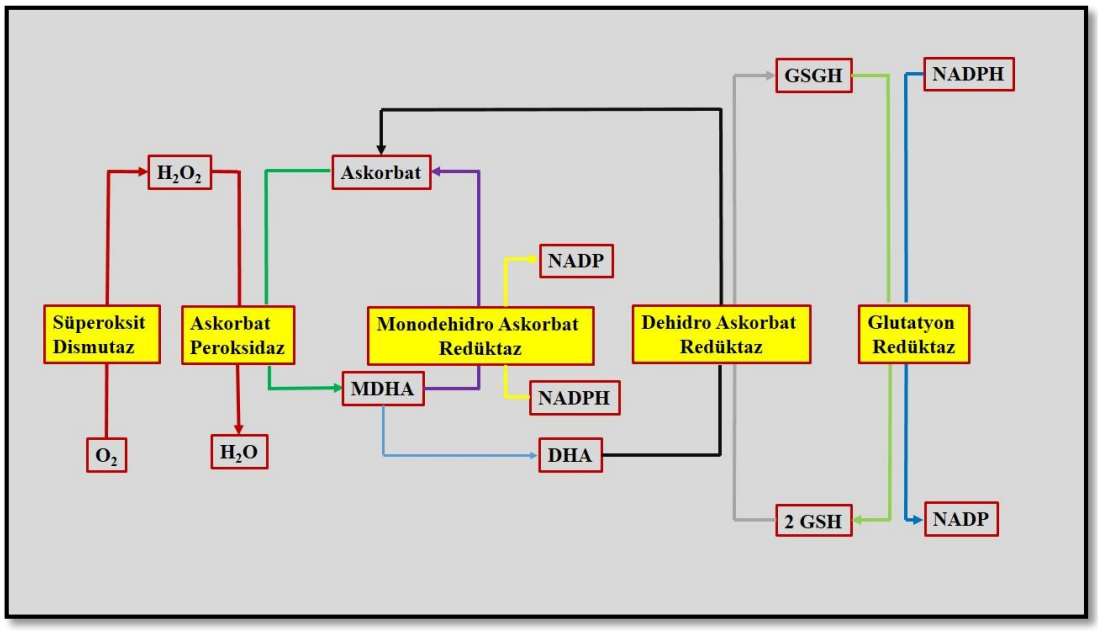
2.4.2.5. Glutatyon Peroksidaz (EC:1.11.1.7) (GPX)

Glutatyon peroksidaz bitkilerdeki çoklu gen familyası tarafından kodlanan, glutatyonu H_2O_2, organik ve lipit hidroperoksitlerin miktarını azaltmada kullanan *hem* içeren bir glikoproteindir. Sitozolde, vakuolde ve hücre duvarında yer almaktadır. Fenolik bileşikleri ve askorbatı substrat olarak kullanarak hidrojen peroksitin indirgenmesini katalize etmektedir (Hiraga ve ark., 2001; Dixit ve ark., 2001; Leisinger ve ark., 2001).

2.4.2.6. Glutatyon Redüktaz (EC:1.6.4.2) (GR)

Glutatyon redüktaz , çoğunlukla kloroplastlarda yer alırken okside glutatyonun (GSSG) glutatyona (GSH) indirgenmesini katalizleyen bir enzimdir (Creissen ve ark., 1994; Srivalli ve ark., 2003). GR kloroplast, sitozol ve aynı zamanda da mitokondride yer almaktadır (Hausladen ve Alscher 1993). Glutatyon redüktaz, H_2O_2 uzaklaştırmada sınırlayıcı bir enzimdir ve askorbatın yeniden üretiminde istenen yüksek GSH/GSSG oranının korunmasında gereklidir (Sudhakar ve ark., 2001). Kuraklığa cevapta GR

aktivitesinin artan seviyeleri, $NADP^+$/ NADPH oranını artırabilir ve böylece fotosentetik elektron taşıma zincirinden elektronları kabul edecek $NADP^+$'nın bulunabilirliğini sağlar (Jung, 2004).

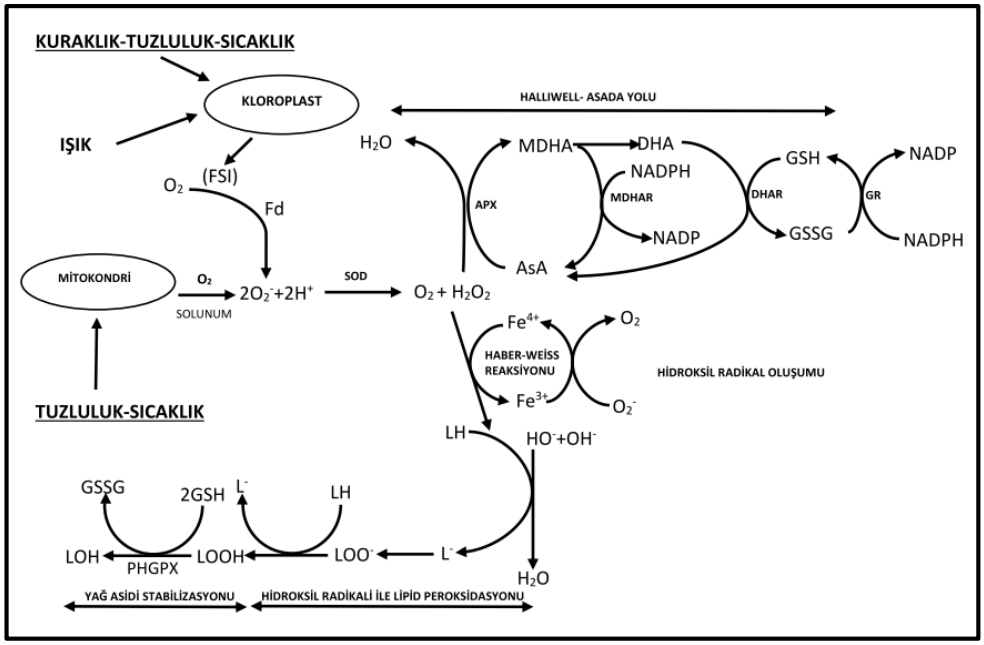


Şekil 2.1. Askorbat-glutasyon döngüsü: Halliwell-Asada yolu (McKersie, 1996)

Stres sonucu bitki hücrelerinde oluşan süperoksit radikali (O_2^-) SOD'un enzimatik reaksiyonu sonucu H_2O_2 ve O_2'ye dönüşür (Bowler ve ark, 1992; Dixit ve ark., 2001; Mittiova ve ark., 2002). Oluşan H_2O_2 belirli metal iyonları ve şelatların varlığında yüksek derecede reaktif OH^- radikalini oluşturduğunda hücreye zarar vermemesi için hemen ortamdan uzaklaştırılması gereklidir. Bu nedenle H_2O_2 katalaz (CAT) enzimi yada askorbat-glutatyon döngüsünde askorbatı elektron vericisi olarak kullanan askorbat peroksidaz (APX) enzimi tarafından hızlıca H_2O'ya indirgenir (Bowler ve ark., 1992; Mathur ve ark., 2009). Bu reaksiyon sonucu okside olan askorbat, monodehidroaskorbata (MDHA) yükseltgenir. MDHA monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR) tarafından yeniden askorbata dönüştürülür. Böylece ortamdaki askorbat miktarı belirli bir düzeyde tutulur (Foyer ve ark., 1994). Bununla birlikte monodehidroaskorbat'ın iki molekülü bir radikal olduğu için hızlı bir şekilde enzimatik olmayan bir başka yol ile dehidroaskorbata (DHA) indirgenir. DHA, dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) enzimi tarafından okside glutatyon (GSSG) ve askorbata indirgenir (Asada, 1994). Bu yolda indirgenmiş glutatyon (GSH), dehidroaskorbat redüktaz aktivitesi ile yükseltgenmiş glutatyona (GSSG) ve GSSG'de glutatyon redüktaz enzimi (GR) ile tekrar indirgenmiş form olan GSH'ye

dönüştürülür (Şekil 2.1.)(Askorbat-glutasyon döngüsü: Halliwell-Asada yolu) (Asada, 1994; Gossett ve ark., 1994; Apel ve Hirt, 2004; Miller ve ark., 2010; Jaleel ve ark., 2009).

Bitkilerin en önemli ROS süpürücü mekanizmaları SOD, APX ve KAT'ı içerir. Hücrelerde SOD, APX ve KAT arasındaki düzenleme süperoksit radikali ve H_2O_2'in denge düzeyini belirlemede önemlidir. Bu düzenleme Haber-Weiss ve Fenton reaksiyonlarıyla üretilen OH^- radikalinin oluşmasını engellemek için önemlidir (Foyer ve ark., 1994). Tilakoit membranda bulunan SOD, süperoksitin H_2O_2 ve O_2'ye dönüşümünü katalizleyerek savunma sisteminde anahtar bir rol oynar (Şekil 2.2) (Bowler ve ark., 1992; Demiral, 2003; Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005; Seçkin, 2010).



Şekil 2.2. Reaktif Oksijen Türlerinin Oluşturulması (Seçkin, 2010)

APX ve KAT reaksiyonları ise her bir enzimin substratlarını yükseltgeme ve indirgeme özelliğine dayanmaktadır. APX, ROS sinyallemesinde rol oynarken, KAT stres süresince ROS'ların temizlenmesinden sorumludur (Mittler, 2002).

Kuraklık stresine maruz kalan bitkiler, yüksek antioksidan enzim düzeyleri ile hem azalan hem de artan ROS'ların oluşturduğu oksidatif hasara karşı tolerans gösterebilirler (Parida ve Das, 2005). Ancak radikal üretimi, antioksidan savunma sisteminin kapasitesini aşacak kadar fazla olursa, o zaman bitkide meydana gelecek hasar geri dönüşümsüz olmaktadır (Alexieva, 2003).

Kuraklık stresi altındaki bitkilerde stomaların kapanmasını denetleyen hormonal kontrol ve iyon kontrolü olarak adlandırılan iki mekanizmanın var olduğu bildirilmektedir (Çırak ve Esendal, 2006; Taiz ve Zeiger, 2008).

ABA kurak şartlarda stomaların kapanmasını sağlayan bir hormondur. Kuraklık stresine uğrayan bitkilerde stoma hücrelerinde ABA miktarı artmakta, bunun sonucu olarak suda çözünmeyen nişasta oluşmakta ve K^+ iyonu azalmaktadır. Böylece ozmotik değeri azalan stoma hücreleri turgorunu kaybederek kapanmaktadır. Bu mekanizma, hormonal kontrol olarak adlandırılır. Stoma hücrelerindeki K^+ iyonu miktarı da stoma hareketleri üzerine etkide bulunmaktadır. Bitki turgor durumunda iken stoma hücrelerine komşu hücrelerden K^+ iyonları alınır. Böylece ozmotik değeri artan stomalar açılır. Bitkide turgor sona erdiğinde ise, stoma hücrelerindeki K^+ iyonları tekrar bitişik hücrelere geçer ve bu şekilde ozmotik değeri azalan stoma hücreleri turgorunu kaybederek kapanır. Bu mekanizma da iyon kontrolü olarak adlandırılır (Çırak ve Esendal, 2006).

Hücreden suyun kaybı, hücresel bir sinyal iletim yolunu tetiklemektedir. Bu durumda su kaybının hücresel algılanmasını takiben, bir sinyal mekanizması ile özel genler aktive edilmektedir (Bray, 1997). Su kaybı ABA üretimini tetikler ve sentezlenen ABA çeşitli genleri uyarır. Kuraklık stresi altında indüklenen genler, metabolik proteinler üreterek hücreleri su noksanlığından korumada ve kuraklık stresine cevapta görev almaktadırlar (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Bu genlerin ürünleri iki gruba ayrılır. İlk grup stres toleransında işlev gösteren proteinleri içermektedir: Bu kapsamda su kanal proteinleri, ozmotik koruyucuların (şekerler, prolin, glisin-betain) biyosentezinde görev alan enzimler, LEA (geç embriyogenez) proteinleri, şaperonlar, proteazlar, detoksifikasyon enzimleri yer almaktadır. İkinci grup ise strese cevapta rol oynayan genlerin ifadesinde ve sinyal iletiminin düzenlenmesinde yer alan proteinleri içermektedir: Bu grup örnekleri ise protein kinazlar, transkripsiyon faktörleri ve fosfolipaz C oluşturur (Shinozaki ve Yamaguchi-Shinozaki, 1997).

Bitkiler, ozmotik düzenleme olarak bilinen bir süreç ile susuzluk stresinin üstesinden gelmektedirler. Ozmotik düzenleme, hücresel çevrenin su potansiyelindeki düşüşe cevap olarak, hücrede "ozmolitler" veya "ozmotik koruyucular" olarak bilinen organik ve inorganik katıların aktif birikimini içermektedir (Sánchez ve ark., 2004). Ozmotik düzenleme, su noksanlığına cevapta, katıların net birikimlerine bağlı olarak, ozmotik potansiyelin düşürülmesini ifade etmekte ve büyüme, fotosentez ve stomaların açılması gibi fizyolojik fonksiyonlar üzerinde stresin etkilerinin sınırlanmasını sağlayan yüksek bir turgor potansiyeli devamıyla sonuçlanmaktadır (Chimenti ve ark., 2002; Mahajan ve Tuteja, 2005). Ozmolitlere örnek olarak; prolin, betainler, dimetilsülfoniopropionat (DMSP), polyoller (mannitol, sorbitol, pinitol), trehaloz ve fruktanlar verilebilir (Smirnoff, 1998). Bunlardan prolin, strese cevapta en sık gözlenen

amino asitlerden biridir. Stres ile birlikte prolin artışı ya biyosentez genlerinin uyarılması ya da katabolizmasındaki genlerin baskılanması sonucu gerçekleşir (Verslues ve Bray, 2006). Prolin ozmotik bir koruyucu olup, subselluler yapıların korunması ile serbest radikallerin uzaklaştırılmasında ve stres süresince vakuol ve sitoplazmada birikerek OH^-'nin oluşturduğu hasara karşı protein, DNA ve zarları korur (Matysik ve ark., 2002).

Ayrıca prolin kuraklıkta lipid peroksidasyonunun önlenmesinde, glutamatın NADPH'ı indirgenmesinde elektron alıcısı olarak ve PSII'nin fotokimyasal etkinliğinin korunmasında da rol oynar (Molinari ve ark., 2007).

2.5. Kuraklık Stresi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Farklı PEG konsantrasyonlarında (0, 30, 60 g/L) su kültüründe yetiştirilen pamuk bitkisinde kuraklık stresinin bitki gelişimi üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada bitkilerde yaş ağırlık bakımından kontrol bitkilerine oranla %27-42 oranlarında kayıplar meydana gelmiştir. Ayrıca nispi büyüme oranı, stomal geçirgenliği ve net fotosentez oranında da kontrol bitkilerine oranla kayıplar ortaya çıktığı belirlenmiştir. Kuraklıkla birlikte yaprak alanındaki azalmanın esas olarak nispi büyüme oranındaki azalıştan kaynaklandığı belirtilmiştir (Fernández-Conde ve ark., 1998).

Kaynaş ve Eriş, (1998) yaptıkları çalışmada Nemaguard anacı üzerine aşılı Independence, Nectared-4 ve Nectared-8 nektarin çeşitlerinin farklı kurak koşullarda gösterdikleri bazı biyokimyasal değişimleri incelemişlerdir. Cam serada saksılar içindeki bitkilere faydalı suyun % 100, % 75, % 50 ve % 25'i düzeyinde su verilmiştir. Bitkilere verilen suyun kısıtlanmasıyla yaprak klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil miktarında azalmalar görüldüğü bildirilmiştir. Deneme sonunda klorofil miktarında en fazla azalış Nectared-8 çeşidinde olmuştur. Bitkilere verilen su miktarı azaldıkça genel olarak yaprak toplam şeker miktarında artış ve toplam nişasta miktarında azalmalar tespit edilmiştir. Yaprak absisik asit (ABA) miktarı ile bitkilere verilen su miktarı arasında ters bir ilişki saptanmıştır.

Yakushiji ve ark. (1998), kuraklık stresi altındaki Satsuma mandarinin meyvesinde şeker birikim mekanizmasını incelemişlerdir. 3 yaşlı mandarin bitkileri sera şartlarında iyi sulanan (-0,35 MPa), orta kuraklık seviyesi (-0,60 MPa) ve şiddetli kuraklık seviyesi (1,00 MPa) olmak üzere 3 sulama seviyesinde tutulmuştur. Fotosentez hızı ve somata iletkenliği iyi sulanan koşullara göre orta ve şiddetli kuraklık stresinde

önemli derecede azalış göstermiştir. Fakat meyvelerdeki toplam şeker içeriğinin tüm kuraklık seviyelerine göre orta kuraklık stresinde daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Nogués ve Baker (2000), kuraklık stresinin zeytin, lavanta ve biberiyede fotosentetik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Kuraklık stresi için 2 yaşlı bitkileri sera şartlarında susuz bırakmışlardır. Su stresi boyunca yapraklardaki net karbon asimilasyonu, interselüler CO_2 konsantrasyonu, stomatal sınırlanma değerlerini incelemişlerdir. İncelenen tüm bitkilerde kuraklık denemesinin yaprak alanını önemli derecede azalttığı, kuraklık stresinde fotosentetik üretkenliğindeki azalışın önemli bir faktör olduğu bildirilmiştir.

3 farklı buğday genotipinin kullanıldığı bir çalışmada su stresine toleransta bitkilerdeki antioksidan sistemlerinin rolü incelenmiştir. Bitkiler anthesisten sonraki farklı aşamalarda su stresine maruz bırakılmıştır. Sonuçta lipid peroksidasyonda artış, hücresel stabilite, klorofil ve karotenoid içeriğinde azalma görülmüştür. Ayrıca su stresi altında antioksidan enzimlerden APX, GR ve POD' da önemli artışlar meydana geldiği belirlenmiştir (Sairam ve Saxena, 2000).

Su stresi altındaki buğday yapraklarının tilakoidlerindeki oksidatif olarak zararlanan proteinleri belirlemek için bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla 4 haftalık buğday bitkileri 10 gün susuz bırakılarak yaklaşık olarak -2,0 MPa su basıncı elde edilmiştir. Su stresi altındaki yaprakların tilakoidlerinde oksidatif zararlanmanın arttığı tespit edilmiştir. Oksidatif zararlanmanın, fotosentetik elektron taşıma aktivitesindeki ve fotosistem II (PSII) etkinliğindeki (F_v/F_m) azalma ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Tambussi ve ark., 2000).

Alexieva ve ark. (2001), yapmış oldukları çalışmada buğday ve bezelyede % 10 PEG 6000 ile oluşturulan kuraklık stresi ve ultraviyole-B (UV-B) radyasyonun bitki gelişiminde meydana getirdiği değişimleri incelemişlerdir. Kuraklık stresi ile her iki türde de kontrol bitkilerine göre yaş ve kuru ağırlıkta ve yaprak su içeriğinde azalma, prolin miktarlarında ise artış meydana gelmiştir. Ölçülen fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerde UV-B uygulamasının kuraklık stresinde tutulan her iki türden daha fazla zararlanma meydana getirdiği bildirilmiştir.

30 günlük iki bamya çeşidi (Sabzpari ve Chinese-red), iki sulama seviyesinde (%100 ve %60 tarla kapasitesi) 30 gün süre ile sulanarak bitkilerin su stresine gösterdiği tepkiler incelenmiştir. Yaprak su potansiyeli ve ozmotik potansiyel her iki çeşitte de kuraklık stresi ile önemli derecede azalmıştır. Her iki sulama seviyesinde de klorofil-a içeriğinde klorofil-b'ye kıyasla artış olduğu, fakat klorofil-a/klorofil-b oranında azalış

meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca kuraklık stresi özellikle Sabzpari çeşidinde net fotosentez oranı, transprasyon oranı, stomatal iletkenlik ve su kullanım etkinliğinde önemli derecede azalışa neden olmuştur (Ashraf ve ark., 2002).

Rahman ve ark., (2002)'nın 2 domates çeşidinde yürüttükleri çalışmada su stresinin süresi uzadığında yaprak oransal su içeriğinde azalmalar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bitki kuru ağırlığında da azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Yapılan SOD enzim analizinde stres süresi sonunda aktivitenin en yüksek seviyeye (yaklaşık 600Umg^{-1} protein) ulaştığı da belirlenmiştir.

In vitro şartlarda 2 ay DKW (Driver ve Kuniyuki Ceviz ortamı)'de yetiştirilen *Olea europaea* spp. *maderensis* sürgünleri 0,1 M (orta kuraklık stresi) ve 0,2 M (şiddetli kuraklık stresi) sorbitol kullanılarak DKW ortamında kuraklık stresi altında bırakılmıştır. Orta şiddetteki kuraklık stresinin (0,1 M) sürgün gelişimini etkilemediğini ve K içeriği artırarak ozmotik düzenlemeyi teşvik ettiği, ancak şiddetli kuraklık seviyesinin (0,2 M) gelişmeyi azalttığı belirtilmiştir. 0,2 M sorbitol konsantrasyonunda lipid peroksidasyon artmış, fakat su ve çözünebilir protein içeriği azalmıştır. Aynı zamanda 0,2 M sorbitol konsantrasyonunda sürgünlerdeki K ve Cu içeriği azalırken, Mg ve Zn içeriği her iki sorbitol konsantrasyonunda azalmıştır (Brito ve ark., 2003)

Tsuji ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada üç sorgum çeşidinin kuraklık stresine toleransını ve kuraklık stresine karşı fizyolojik tepkilerindeki farklılıkları incelemişlerdir. Gadambalia, Arous elRimal ve Tabat çeşitlerinin kullanıldığı çalışmada, bitki kuru ağırlıklarının kontrol bitkilerine oranla sırasıyla %43, %46 ve %58 oranında ve yaprak alanının ise %28, %54 ve 63 oranında azaldığı belirlenmiştir. Kuraklık stresinde net fotosentez oranı, stomatal iletkenlik ve transpirasyon oranında en düşük değerler Gadambalia, en yüksek değerler ise Tabat çeşidinde bulunmuştur.

Ismail ve ark., (2004)'nın muz bitkisinde yürütmüş oldukları kuraklık çalışmasında sulama yapılan ve sulama yapılmayan bitkilerde gelişme, prolin içeriği ve stoma iletkenliği incelenmiştir. Sulama yapılmayan bitkilerde yapılan boy ölçümlerinde bitkilerin kontrol grubuna göre daha kısa olduğu, gövde çaplarının sulama yapılan bitkilere göre daha ince olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kuraklığın ilerlemesiyle stoma iletkenliği başlangıçtaki değerine göre daha düşük değerlere sahip olmuştur. Prolin miktarı ile YOSİ'nin etkileşimi incelendiğinde YOSİ'deki artış prolin miktarını azaltırken, YOSİ'nin azalması prolin içeriğini artırmıştır.

4 haftalık *Arabidopsis* bitkilerinin genç ve olgun yaprakları 7 gün boyunca -2,54 MPa'lık kuraklık stresine maruz bırakıldığı bir çalışmada kuraklık stresi ile genç ve olgun

yapraklardaki enzimatik olmayan antioksidanlarda artış gözlenirken, enzimatik antioksidanlardan KAT, POD, SOD ve GR' de sadece olgun yapraklarda artış olmuştur. Çalışma sonucunda kuraklık stresinden olgun yaprakların genç yapraklara göre daha fazla etkilendiği ve bu nedenle yaprakların gelişim evrelerinin kuraklığa maruz kalan bitkilerde oksidatif hasarın önlenmesinde katkı sağlayabileceği belirtilmiştir (Jung 2004).

Larbi ve Mekliche (2004)'in iki buğday çeşidinde yürüttükleri çalışmada stres koşullarında yaprak oransal su içeriğinde azalmaların olduğunu, bu azalmanın stres şartlarının devam eden günlerinde daha da fazla olduğunu belirlemişlerdir.

Liu ve Stützel (2004)'in 4 farklı horozibiği bitkisinde yaptığı kuraklık çalışması sonucunda kuraklık stresinde bulunan bitkilerde stresin ilerleyen günlerinde bitki kuru ağırlığı, yaprak alanı ve kök kuru ağırlığında azalmaların olduğunu tespit etmişlerdir.

Munné-Bosch ve Peñuelas (2004) tarafından kocayemiş bitkisinde yapılan çalışmada; kuraklık çalışması öncesi ayda 100 mm sulama ile bitkiler kuraklık stresine hazırlanmıştır. Toplamda 60 gün süren çalışma sonucunda yaprak oransal su içeriği denemenin ilerleyen günlerinde azalmaya başlamıştır. YOSİ içeriğine bağlı olarak klorofil içeriğinde de azalmalar tespit edilmiştir.

5 farklı dut çeşidinin yaprak su potansiyeli -2,5 MPa'a ulaşıncaya kadar susuz bırakılarak oluşturulan kuraklık stresinin araştırıldığı çalışmada askorbat, antioksidan enzim aktiviteleri, prolin, glisin-betain, absisik asit, lipid peroksidasyonu oranı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda su stresi altındaki yapraklarda SOD, KAT, APX, POD, GR ve MDAR aktivitelerinde önemli artışlar olmuştur. Çeşitlerin hepsinin kısıtlı suya verdikleri tepkide askorbat ve monodehidroaskorbat içeriklerinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Ayrıca yine kuraklığa tepki olarak çeşitler arasında prolin, glisin-betain ve askorbik asit içeriğinde kantitatif farklılıklar tespit edilmiştir (Reddy ve ark., 2004).

Sanchez ve ark., (2004) PEG 6000 kullanarak oluşturdukları kuraklık stresinde bezelye epikotillerinin gelişiminde önemli azalmalar olduğunu bildirmişlerdir. PEG'in yüksek konsantrasyonunda ozmotik düzenleme ile turgor düzenlemesi arasında bir korelasyon olduğunu ortaya koymuşlardır. Kuraklık stresinin epikotillerde çözülebilir şeker birikimini teşvik ettiği, aynı zamanda epikotillerdeki serbest prolinde de artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Sera şartlarında yapılan bir çalışmada iki farklı baklagil türünün nodüllerindeki ve diğer bitki bölümlerindeki metabolik değişimler ve bitki gelişimine su stresinin etkisi araştırılmıştır. 45 gün kısıtlı sulama altında tutulan 15 günlük *Phaseolus vulgaris* ve *Sesbania aculeata* türlerinin her ikisinde de sürgün ve nodül ağırlığının azaldığı, fakat *S.*

aculeata'ya göre azalışın *P. vulgaris*'de daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Nitrat redüktaz aktivitesi *P. vulgaris*'in nodüllerinde ve yapraklarında *S. aculeata*'ya göre daha fazla azalırken, çözülebilir proteinler ise *P. vulgaris*'e göre *S. aculeata*'da daha fazla azalmıştır. Prolin ve beta-glisinin ise kuraklık stresi altında *S. aculeata*'nın nodüllerinde ve diğer bitki bölümlerinde arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak *S. aculeata*'nın *P. vulgaris*'e göre kuraklığa daha dayanıklı bir tür olduğu belirlenmiştir (Ashraf ve Iram, 2005).

İki farklı kahve türünde yapılan kuraklık çalışmasında bitkilere kuraklık uygulaması, kuraklık sonrası sulama uygulaması ve sulama uygulaması yapılarak bitkilerin tepkileri incelenmiştir. Bitkilerin yaprak oransal su içeriği incelendiğinde kuraklıkla devam eden sürede YOSİ değeri daha düşük çıkmıştır. Kuraklık stresinde APX, SOD ve MDA içerikleri diğer uygulamalara göre daha yüksek değerlere sahip olmuştur. Klorofil içerikleri bakımından türler incelendiğinde kuraklık stresindeki bitkilerde klorofil içerikleri diğer uygulamalara göre daha düşük değerler ortaya çıkarmışlardır (Cai ve ark., 2005).

Chai ve ark.,(2005)'nın in vitro şartlarda çoğalttıkları 2 muz çeşidinde yapmış oldukları çalışmada %40 PEG ile sağladıkları kuraklık stresinde bitkilerin tepkilerini ölçmüşlerdir. Yapılan analizler sonucunda bitkilerde YOSİ, membran stabilitesinde ve SOD enzim aktivitesinde azalmalar olurken, KAT, APX, MDA ve GR aktivitelerinde kuraklığın ilerleyen aşamalarında artışlar tespit edilmiştir.

Barbunya bitkisinde kuraklık stresinin etkisini belirlemek için yapılan çalışmada fotosentez, transpirasyon, stomatal iletkenlik ve klorofil florasans özellikleri incelenmiştir. 2 günlük su stresi ile bitkilerde fotosentez hızı, transpirasyon oranı ve stomatal iletkenlik hızla azaldığı ve 7 günlük su stresinden sonra ise klorofil florasans özelliklerinde F_v/F_m oranının ise biraz azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak çalışmada yaprak su potansiyeli ile fotosentez hızı, transpirasyon ve stomatal iletkenlik arasında yakın bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Miyashita ve ark., 2005).

Liu ve ark., (2005) yaptıkları çalışmada toprak kuruluğu boyunca soyada yaprak gaz değişiminin sürgün ve kök gelişimi üzerine etkisini ve kısıtlı toprak suyunda su kullanım etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmada iyi sulanan ve kurak stresi altındaki bitkilerde sürgün kuru ağırlığı, transpirasyon, stomatal iletkenlik, yaprak su potansiyeli, yaprak ozmotik potansiyeli, yaprak turgor basıncı, kök su potansiyeli ve ksilemdeki ABA konsantrasyonunu incelemişlerdir. Toprak kuruluğu boyunca kök su potansiyelinin azalması ile ksilemdeki ABA konsantrasyonunun göreceli olarak arttığını ve ABA

konsantrasyonunun artması ile birlikte stomatal iletkenlikte 1,0'dan 0,40'a doğrusal bir azalma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca bu azalma ile göreceli olarak azalan yaprak turgor basıncı arasında doğrusal bir korelasyon olduğunu belirtmişlerdir.

Stoyanov (2005), su stresi altındaki fasulye bitkilerinin genç yapraklarındaki su ilişkilerini incelemiştir. Toprak ozmotik potansiyeli -0,9 MPa düzeyine ulaşıncaya kadar bitkiler 14 gün süresince kuraklık stresinde tutulmuştur. Su eksikliği ile bütün çeşitlerin trifoliat yapraklarında ozmotik potansiyelde azalma meydana gelmiştir. Kuraklık stresinde ozmotik düzenlemede Dobrudjanski çeşidi en düşük değerleri gösterirken Plovdiv 10 ve Prelom çeşitleri yüksek değerler vermiştir. Çalışma sonucunda, fasulyede ozmotik düzenlemenin kuraklık stresinin karşı temel mekanizma olduğu ve turgor düzenlemesinden dolayı fasulye çeşitlerin arasında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Phaseolus vulgaris ve *Phaseolus acutifolius* türlerinin kullanıldığı bir çalışmada bitkilerin PEG ile oluşturulan kuraklık stresine tepkileri incelenmiştir. 14 gün devam eden kuraklık stresinden, *Phaseolus vulgaris* türünün kök ve gövde kuru ağırlığı *Phaseolus acutifolius* türüne göre daha fazla etkilenmiştir. Yaprak nispi su içeriği ve stoma geçirgenliği daha yüksek olan *Phaseolus acutifolius* türünün kuraklık stresine daha tolerant olduğu bildirilmiştir (Türkan ve ark., 2005).

Ünyayar ve Çekiç (2005) kuraklık stresine maruz bırakılan domates fidelerinin genç ve olgun yapraklarındaki antioksidan enzimler üzerine ABA uygulamasının etkisini incelemişlerdir. Kuraklık stresi uygulanan mutant domates çeşidi *Notabilis*'in genç yapraklarında absisik asit APX, GR ve KAT aktivitelerini arttırırken, Ailsa Craig'in genç ve olgun yapraklarında KAT aktivitesini değiştirmediğini bildirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre kuraklık stresi ve ABA uygulanan yapraklarda antioksidan enzim aktivitelerinin ABA içeriğine bağlı olarak üretilen aktif oksijen türleri ile değişebileceğini ve yaprakların gelişim evrelerinin kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde oksidatif hasarın önlenmesine katkı sağlayabileceğini tespit etmişlerdir.

Riesling üzüm çeşidinde yürütülen bir çalışmada, kuraklık stresinin bitkiler üzerinde fizyolojik etkileri araştırılmıştır. Bitkilerde yapılan analizler sonucunda kontrol grubuna ait bitkilerde yaprak alanı, yaprak ağırlığı, klorofil miktarı ve toplam protein miktarı kuraklık uygulamasındaki bitkilere göre daha yüksek değerlere sahip olmuştur. Prolin miktarı incelendiğinde ise kuraklık stresindeki bitkilerde daha yüksek değerler ölçülmüştür (Bertamini ve ark., 2006).

Güzel (2006), yaptığı çalışmada *Lycopersicon esculentum* Mill. ve *Lycopersicon chilense* türlerinde absisik asit ve/veya kalsiyum (Ca^{2+}) uygulamalarının kuraklık stresi

koşullarında bazı fizyolojik parametreler, antioksidan savunma sistemi ve lipid peroksidasyonu üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışma bulgularına göre; kuraklık stresinde kök ve gövde uzunluğu azalırken, Ca^{2+} uygulandığında kök ve gövde uzamasındaki engellemenin azaldığını belirlemiştir. Her iki domates türünde de oransal su içeriği kuraklık stresinde azalırken, bu azalmanın kuraklığa nispi duyarlı *L.esculentum*'da daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Uygulamanın beşinci gününde ABA+Ca^{2+} ve kuraklık uygulamalarında kuraklığa toleranslı olan *L.chilense*'nin kuraklığa nispeten duyarlı *L.esculentum*'a göre özellikle süperoksit dismutaz ve askorbat peroksidaz aktivitelerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Malondialdehit içeriğinin ise kuraklığa nispeten duyarlı olan türde Ca^{2+}, kurak+Ca^{2+} ve kurak+ABA+Ca^{2+} uygulamalarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Li-Ping ve ark., (2006)'nın mısırda yapmış oldukları çalışmada, 3 farklı kuraklık şiddeti uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda su stresi artış gösterdiğinde yaprak oransal su içeriği azalmıştır. Malondialdehit, peroksidaz ve süperoksit dismutaz enzim aktiviteleri incelendiğinde su stresi şiddetindeki artış bu enzimlerin miktarını da artırmıştır. Bu enzimlerin aksine katalaz enzim aktivitesinde ise düşüş gözlenmiştir.

PEG 6000 kullanılarak oluşturulan kuraklık stresinin incelendiği bir çalışmada üç çim çeşidinde stresin çimlenme ve bitki gelişimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. -0,3 MPa stres koşullarında üç çeşitte de çimlenme oranında ve sürgün uzunluğunda azalma meydana gelmiştir. Su stresinin kök gelişimine etkisinde de çeşitler arasında önemli farklar gözlenmiştir (Van den Berg ve Zeng, 2006).

Abdalla ve El-Khoshiban (2007), iki buğday çeşidinde 32 gün boyunca meydana getirdikleri kuraklık stresinde sürgün gelişim kriterleri, yaprak alanı ve sayısı, sürgünlerin yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak oransal su içeriğinde kademeli düşüşlerin olduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda her iki çeşidin hem kök hem de sürgünlerinde klorofil–a, klorofil-b ve toplam klorofilde, polisakkarit değerlerinde ve toplam şekerde, bazı element içeriklerinde (fosfor, potasyum, magnezyum ve kalsiyum) ve katalaz aktivitesinde önemli azalışlar tespit etmişlerdir. Fakat su stresinin adventif kök gelişimini uyardığı ve buna ek olarak ABA, karotenoidler, prolin, şekerler, sodyum ve demir konsantrasyonları ve oksidatif enzim aktivitelerini artırdığı belirlenmiştir.

Kuraklığa dayanıklı (C306) ve hassas (Moti) iki buğday çeşidinde yapraklardaki oksidatif stresin rolünü değerlendirmek için yapılan çalışmada bitkiler şiddetli su stresine doğrudan ya da artan yoğunlukta kesintili yeniden sulamaya maruz bırakılarak kuraklık stresi oluşturulmuştur. Anthesis dönemi boyunca ciddi su stresi sonrasında vejetatif

büyüme sırasında hafif su stresindeki C306 çeşidinin Moti çeşidinden daha iyi uyum sağladığı belirlenmiştir. Şiddetli su stresi sırasında en düşük H_2O_2 birikiminden dolayı en az membran zararlanması kuraklığa dayanıklı C306 çeşidinde görülmüştür. Bunun aksine kuraklığa hassas Moti çeşidinde şiddetli su stresi şartları düşük turgor potansiyeli, yüksek H_2O_2 seviyesi ve zayıf antioksidan enzim aktivitesine tepki olarak membran zararlanmalarına yol açmıştır (Khanna-Chopra ve Selote, 2007).

Sankar ve ark., (2007) 5 bamya çeşidinin kuraklık stresi altında su kullanım etkinliğini gözlemlemişlerdir. Bitkiler ekimden sonra kuraklık stresinde % 60 tarla kapasitesinde 30-70 gün arasında tutulmuştur. Kontrol bitkileri ise % 100 tarla kapasitesinde tutulmuştur. Su noksanlığı altında biomas, verim, yaprak alanı, su kullanım etkinliği, net asimilasyon oranı, transpirasyon oranı ve hasat indeksi incelenmiştir. Sınırlı sulama şartlarında bütün bamya çeşitlerinde su kullanım etkinliği önemli derecede artmıştır. Kuraklık stresi ile çalışılan bütün bamya çeşitlerinde biomas, verim, yaprak alanı, su kullanım etkinliği, net asimilasyon oranı, transpirasyon oranı ve hasat indeksinde azalış tespit edilmiştir. Fakat incelenen çeşitler arasından JK Haritha'nın en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.

Elsanta, Elkat ve Salut çilek çeşitlerinin kuraklık stresine gösterdiği tepkilerin araştırıldığı çalışmada verim, yaprak alanı, kök gelişimi, yaprak gaz değişimi, yaprak su potansiyeli parametreleri incelenmiştir. Bitkiler optimum sulama ve azaltılmış sulama olmak üzere iki şekilde sulanmıştır. Kısıtlı su şartlarında Elsanta çeşidi yüksek net fotosentez hızı ile yüksek su kullanım etkinliği göstermiştir. Kuraklık stresinde bütün çeşitlerde yaprak alanı azalmıştır. Fakat kök gelişimi yalnızca Elkat çeşidinde gerçekleşmiştir. Su noksanlığı şartlarında en yüksek verim Elsanta, en düşük verim Elkat çeşidinden elde edilmiştir. İncelenen çeşitler arasında Elsanta kuraklığa en dayanıklı olarak belirlenmiştir (Klamkowski ve Treder, 2008).

Laboratuvar koşullarında saksılarda yetiştirilen kuraklığa tolerant Giza 2 ve hassas olan Trihybrid 321 mısır genotipleri, 21 gün süre ile 0, -5, -10 ve -20 bar olacak şekilde PEG solüsyonu ile sulanarak kuraklık stresi oluşturulmuştur. Su stresi şartları altında tolerant olan Giza 2 genotipinde SOD, KAT ve POD enzim aktivitelerinde artış ile ilişkili olarak MDA ve H_2O_2 birikimi de azalmıştır. Yine benzer şekilde en yüksek su tutma kapasitesi ve en düşük membran zararlanması Giza 2 genotipinde bulunurken, kuraklık stresi ile glisin-betain ve prolin birikimi her iki çeşitte de gözlemlenmiştir. Su stresinde fotosentetik aktivite seviyesi Giza 2 genotipinde Trihybrid 321'den daha fazla

artmıştır. Çalışmada stres toleransı mekanizmasının mısır genotiplerinin fide safhasında olduğu sonucuna varılabileceği belirtilmiştir (Moussa ve Abdel-Aziz, 2008).

Özpay (2008), *Phaseolus vulgaris* L. türüne ait 10 farklı fasulye genotipinin kuraklık stresine tolerans mekanizmalarını ve kurağa toleransta kullanılabilecek etkin seçim parametrelerini belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Kuraklık stresi uygulaması için besin çözeltisine %10 oranında polietilen glikol (PEG 6000) eklenmiştir. Uygulama sonrasında yapraklarda nispi su içeriği (NSİ), klorofil miktarı ile antioksidatif enzim aktiviteleri incelenmiştir. Antioksidan enzim aktivitelerinin kurağa tolerans üzerinde çok etkili olduğu; kurak koşullarda yaşayabilen fasulye genotiplerinin, antioksidatif enzim sistemlerini duyarlı genotiplere göre çok daha aktif kullandıkları tespit edilmiştir. Ayrıca MDA ve toplam klorofil miktarlarının, enzim aktiviteleri ile paralel sonuçlar verdiği de belirlenmiştir.

Sivritepe ve ark., (2008) yapmış oldukları çalışmada, Gisela 5 anacını in vitro şartlarda PEG-8000'nin farklı konsantrasyonlarında (0, %1, %2, %4) yetiştirmişler ve 6 hafta sonunda bitkilerde morfolojik ve biyokimyasal değişimleri incelemişlerdir. Kullanılan PEG dozları incelendiğinde %4'lük PEG dozunda bitkilerde zararlanma, bitki kuru ağırlığı, prolin miktarı, SOD aktivitesi, KAT aktivitesi, POX aktivitesi, APX aktivitesi, GR aktivitesi ve MDA içeriği en yüksek değerlere ulaşmıştır. Yapılan element analizlerinde fosfor, magnezyum, sodyum ve bakır içeriklerinde uygulamaların istatistiki olarak önemsiz olduğu ortaya çıkarken, potasyum içeriği en fazla kontrol uygulamasında, kalsiyum %1'lik PEG uygulamasında, demir kontrol ve %1 PEG uygulamasında, çinko %1 PEG uygulamasında ve mangan %4'lük PEG uygulaması hariç tüm uygulamalarda en yüksek değeri almıştır.

Kuraklık stresinin etkilerini araştırmak için yapılan bir çalışmada 5 Amerikan asma anacı (1103P, 110R, 140Ru, 41B, 1613C) ve 3 yerli şaraplık asma çeşidi (Kalecik karası, Çal karası, Boğazkere) 10 gün boyunca kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda Boğazkere ve 1613C bitkilerinde kontrol göre ortalama yaş ve kuru ağırlık değerlerinin önemli derecede azaldığı, ayrıca Çalkarası, 41B ve 1613C çeşitlerinde ise bağıl su içeriğinin de dikkate değer oranda azaldığı tespit edilmiştir. Kuraklık stresi altında, 1613C, Kalecik karası ve Çal karası çeşitlerinde prolin miktarının, 1103P, Boğazkere, 110R, 1613C, Çal karası ve 140Ru çeşitlerinde ise malondialdehit içeriğinin arttığı belirlenmiştir (Yağmur, 2008).

Tuz ve kuraklık streslerinin antioksidan enzimlerin aktiviteleri üzerinde etkilerini incelemek amacıyla yapılan çalışmada strese dirençli Bayraktar ve strese duyarlı Atay

buğday çeşitleri kullanılmıştır. Her iki çeşitte de stres koşullarında SOD aktivitesinde önemli bir değişim olmadığı fakat prolin seviyesinin önemli derecede arttığı belirlenmiştir. Tuz stresinde GR aktivitesinin yaklaşık olarak iki kat arttığı, ancak kuraklık stresinde değişmediği de tespit edilmiştir (Yediyıldız, 2008).

Asghari ve ark., (2009)'nın şikori bitkisinde yürüttükleri kuraklık çalışmasında sulama sıklığı ve bitki yoğunluğunun bitkilerin morfolojik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Bitki yoğunluğunun artması ve sulama sıklığının azalması sonucunda bitki boyunda azalmaların ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Isıtılmayan sera şartlarında su eksikliğinin hıyarda verim üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan çalışmada bitkiler 2 gün arayla 4 farklı düzeyde (%100, %75, %50, %25 ve %0) sulanmıştır. Sulama suyu seviyeleri etkisinin; verim, meyve uzunluğu, meyve çapı, meyve ağırlığı ve kuru madde içeriği üzerinde önemli olduğu bulunmuştur. En yüksek verim 148 ton ha^{-1} ile %100 sulamadan elde edilirken, bunu 108 ton ha^{-1} ile %75 sulama uygulaması takip etmiştir (Ayaş ve Demirtaş, 2009).

24-epibrassinolide (24-EBL) uygulamasının kuraklık stresi altındaki domates bitkilerinde bazı biyokimyasal ve antioksidan parametrelerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla bitkilere 0, 3 ve 5 gün su verilmemiştir. Çalışma sonucunda lipid peroksidasyonunun, hidrojen peroksidin ve prolin içeriğinin arttığı ve protein içeriğinin azaldığı belirlenmiştir. Kuraklık stresi altındaki bitkilerde POD ve APX enzim aktivitelerinde azalma, SOD, GR ve KAT aktivitelerinde ise artış gözlemlenmiştir. Hem 24- epibrassinolide uygulaması hem de kuraklık stresi altındaki bitkilerin her ikisinde de lipid peroksidasyonu ve H_2O_2'de azalma meydana gelmiştir. Çalışmada kuraklık stresinin neden olduğu zararın azaltılmasında 24-epibrassinolide'in rolü olduğu belirtilmiştir (Behnamnia ve ark., 2009).

Efeoğlu ve ark., (2009)'nın 3 mısır çeşidinde yaptıkları çalışmada 12 gün boyunca sulama yapılmayan bitkilere 12.günden sonra 6 gün sulama yaparak kuraklık stresinde bitkilerde meydana gelen değişimleri incelenmiştir. 12.gün sonunda bitki ağrılıklarında azalmalar meydana gelirken, 18.günde ise bitki ağırlığı başlangıç seviyesinden daha yüksek değere sahip olmuştur. Bitki kuru ağırlığı incelendiğinde 12.günde, 18.gün sonundan daha düşük bulunmuştur. Yaprak oransal su içeriği bitkilerde 12.günde en düşük, 18.günde ise en yüksek değere ulaşmıştır. Çeşitlerde toplam klorofil içeriği incelendiğinde kuraklık stresi döneminde daha düşük olan klorofil miktarı, yeniden sulanan bitkilerde ise artış göstermişlerdir. Mısır çeşitlerinde 12.günde prolin miktarı en

yüksek değere ulaşırken, kuraklık sonrası sulama döneminde ve başlangıç seviyesinde miktarlar daha düşük değerlere sahip olmuşlardır.

Kuraklık stresi altında susam bitkisine paclobutrazol (PBZ) ve absisik asit uygulamalarının etkisinin incelendiği bir çalışmada bitkinin farklı bölümlerindeki enzimatik olmayan antioksidan (askorbik asit, tokoferol) değişimleri araştırılmıştır. Sonuçlara göre askorbat ve tokoferolün kuraklık şartlarındaki susamda önemli derecede arttığı belirlenmiştir. PBZ'nin kuraklık ve iyi sulama şartlarında bu antioksidan enzimlerinin artmasına neden olduğu, aksine ABA uygulaması ise enzimatik olmayan antioksidanları azalttığı tespit edilmiştir (Somasundaram ve ark., 2009).

Boutra ve ark., (2010)'nın 4 farklı buğday çeşidinde yürüttükleri çalışmada, 3 farklı kuraklık stresi uygulamışlardır. Kuraklık şiddetinin artmasıyla bitki boyunda, yaprak alanında, bitki kuru ağırlığında, kök kuru ağırlığında ve yaprak oransal su içeriğinde azalmalar meydana gelmiştir.

Cunhua ve ark., (2010)'nın kazayağı bitkisinde yürüttükleri kuraklık stresi çalışmasında süperoksit dismutaz enzim aktivitesi su stresinin şiddeti yükseldikçe artış gösterirken, stresin ilerleyen dönemlerinde ise düşüş göstermiştir. Kuraklık stresi en yüksek seviyede olduğunda SOD enzim aktivitesi en yüksek değere ulaşmıştır. Peroksidaz enzim aktivitesi ise en yüksek değere tolere edilebilir kuraklık uygulamasında ulaşırken, su stresinin en şiddetli olduğu uygulamada ise 15.günden itibaren azalmalar tespit edilmiştir. Katalaz enzim aktivitesinde en yüksek değere 40.günde tolere edilebilir kuraklık stresinden elde edilirken, kuraklık stresinin en şiddetli olduğu uygulamada ise 40.güne kadar artış göstermiş, fakat sonrasında düşüş görülmüştür. Bitkilerde yapılan membran geçirgenliği analizinde ise 50 gün boyunca kontrol grubu dışındaki tüm kuraklık uygulamalarında membran geçirgenliği artış göstermiştir. En yüksek değere şiddetli kuraklık uygulaması sahip olurken, onu tolere edilebilir kuraklık ve hafif kuraklık uygulamaları takip etmiştir. Malondialdehit miktarı 50 gün boyunca tüm uygulamalarda artarken, en yüksek değere şiddetli kuraklık uygulaması sahip olmuş ve onu tolere edilebilir kuraklık, hafif kuraklık ve kontrol uygulamaları takip etmiştir.

Hayatu ve Mukhtar (2010) 7 farklı börülce genotipinde yapmış oldukları çalışmada, 3 farklı kuraklık uygulamasının etkisini araştırmışlardır. Yapılan kuraklık uygulamaları sonucunda tüm genotiplerde bitki ağırlığında en yüksek değere kontrol grubu sahip olurken, en düşük değer şiddetli kuraklık uygulamasında bulunmuştur. Kuraklık şiddetinin artmasıyla genotiplerin klorofil içeriğinde azalmaların ortaya çıktığı da belirlenmiştir.

Emam ve ark., (2010)'nın yürüttükleri çalışmada 2 farklı fasulye genotipinde kuraklık stresinin morfolojik özelliklerde meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir. Sera şartlarında yürütülen denemede sulama tarla kapasitesinin %25, %50, %75 ve %100 olduğu miktarlarda yapılmıştır. Her iki çeşitte de sulama suyu miktarı azaldığında bitki boyunda da azalmalar meydana gelmiştir. Benzer şekilde, iki genotipte de sulama suyu miktarındaki azalış yaprak alanını da azaltmıştır. Ayrıca sulama suyu miktarı arttıkça bitki kuru ağırlığında da artışlar meydana gelmiştir.

In vitro koşullarda 4 farklı ıtır çeşidinde yapılan kuraklık stresi çalışmasında, bitkiler doku kültürü şartlarında çoğaltılmış ve köklendirilmiştir. Köklü bitkileri iki farklı besi ortamında (sıvı ve katı) PEG ve mannitol kullanarak hazırlanan kurak koşullara, köprü sistemi kullanılarak bitkilerin transferi gerçekleştirilmiştir. Mannitol'un %14,6 (800mM) konsantrasyonu dışında bitkiler canlılığını sürdürürken, PEG ile hazırlanan kurak şartlarda (PEG %10, %15 ve %20) tüm bitkiler canlılığını sürdürmüştür. PEG ve mannnitolün artan konsantrasyonlarında bitkilerde uzama daha yavaş olmuştur. Bitki kuru ağırlıkları bakımından da artan kuraklık şiddetinde azalmalar görülmüştür (Hassanein 2010).

Keyvan (2010)'nın 3 farklı buğday çeşidinde yürüttüğü çalışmada 4 farklı gelişim evresinde su stresi uygulanmıştır. Buğdayın gelişiminin son evresinde yaprak oransal su içeriğinin azaldığı belirlenmiştir. Bunun aksine büyüme evresinin son döneminde ise prolin ve toplam klorofil içeriğinin arttığı tespit edilmiştir.

Kuşvuran (2010), 31 kavun genotipi içinden seçilen tolerant ve hassas kavun genotiplerini tuz ve kuraklık stres koşullarında yetiştirmiştir. Araştırmacı bitkilerin bu stres şartları altında geliştirdikleri korunma mekanizmalarını araştırmış ve iki stres koşuluna toleransın fizyolojik mekanizmaları arasındaki ilişkileri ile antioksidatif enzim aktivitelerinin kuraklık ve tuzluluğa toleransta etkilerinin araştırılmasını amaçlamıştır. Çalışma sonucunda, tuz ve kuraklığın kavun genotiplerinde bitki büyüme ve gelişmesini engellediği, genotiplerin stres faktörlerine karşı farklı tepkiler verdiği belirlenmiştir. Özellikle KAT ve GR enzim aktiviteleri ile sitrullinin kavunlarda tuz ve kuraklığa toleransta oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir.

Arabidopsis thaliana'nın *aba1* ve *aba2* mutantlarının kullanıldığı çalışmada kuraklık stresi sinyalinin iletilmesinde ABA, ROS ve antioksidan savunma sisteminin arasındaki etkileşim araştırılmıştır. Bu amaçla, kuraklık stresiyle birlikte 50µM ABA uygulanarak O_2^-, H_2O_2 ve OH^- gibi ROS miktarları ve SOD, KAT, APX ve GR gibi antioksidan enzim aktiviteleri; büyüme, stoma iletkenliği, yaprak ozmotik potansiyeli,

fotosentetik verim, bağıl su içeriği, lipid peroksidasyonu ve prolin içeriği gibi diğer fizyolojik ve biyokimyasal parametreler ile ilişkilendirilmiştir. *aba1* ve *aba2* mutantlarında kuraklık stresi, stoma iletkenliğinin artmasına, yetersiz prolin birikimine, fotosentetik verimde azalmaya, su içeriğindeki azalmaya ve özellikle CAT ve APX aktivitelerinin artmasına neden olduğu belirtilmiştir. Dışarıdan uygulanan ABA' nın, kuraklık stresiyle bağıl su miktarında, ozmotik potansiyelde ve prolin miktarı üzerinde oluşan hasarı önlediği de tespit edilmiştir (Özfidan, 2010).

Özkur (2010) yapmış olduğu çalışmada *Capparis ovata* bitkisinin kuraklık stresi koşullarında antioksidan enzim aktivitesini belirlemek amacıyla kontrol ve stres uygulama grubu bitki yapraklarında büyüme parametreleri, bağıl su içeriği, klorofil fluoresansı (fotosentetik verim), lipid peroksidasyonu ve SOD, KAT, APX, GR, POX enzimlerini incelemiştir. Bu amaçla *Capparis ovata* bitkileri %20'lik PEG 6000 uygulaması ile kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. Bitkide kuraklık stresi uygulaması sonrasında büyüme parametreleri, RWC ve klorofil fluoresansında azalma belirlerken, lipid peroksidasyonu ve antioksidan enzim aktivitelerinde ise artış gözlemlemiştir.

5 farklı domates çeşidi ile yapılan çalışmada bitkilerin orta seviyedeki su stresinin meydana getirdiği oksidatif etkiye tepkileri araştırılmıştır. Sonuçlara göre strese dayanıklı olan Zarina domates çeşidi, daha iyi biomas ve yaprak oransal su içeriği ve yüksek enzim aktivitesi göstermiştir. Ayrıca çalışmada büyüme oranı ile yaprak oransal su içeriğinde pozitif ve MDA, H_2O_2 aktiviteleri, prolin ve fenol içerikleri arasında negatif bir korelasyon olduğu bulunmuştur. Araştırıcılar su stresine toleranslı domates bitkileri seçiminde belirleyici fizyolojik bir süreç olarak lipit peroksidasyonunun önemini vurgulamışlardır (Sanchez-Rodriguez ve ark., 2010).

Kuraklık stresi altındaki çeltik bitkisinde sodyum nitroprusid (SNP; nitric oxide donor) etkisinin araştırıldığı çalışmada kuraklık stresi %5, %10, %15 ve %20 konsantrasyonlarında polietilen glikol ile sağlanmıştır. Çeltik bitkilerine PEG'in 4 konsantrasyonu ve 100 µM SNP birlikte uygulanmıştır. Sonuçlarda kuraklık şartları arttıkça lipid peroksidasyonun teşvikiyle oksidatif zararlanmaya tepki olarak H_2O_2 ve MDA gibi stres sinyallerinin arttığı belirlenmiştir. Su potansiyelinde azalma ve aynı zamanda ASA ve GSH içeriğinde artış gözlemlemişlerdir. Bütün PEG ve nitrik oksit uygulamalarında toplam fenol içeriği ve PAL aktivitesi önemli derecede artmıştır. Buna ek olarak SOD, APX, GR ve KAT aktivitelerinde artış olduğu belirtilmiştir (Shehab ve ark., 2010).

Alizadeh ve ark., (2011)'nın bir yaşlı dört farklı elma anacında (M9, MM106, Gami, Azayesh) yürüttükleri kuraklık stresi çalışmasında 3 farklı su rejimi uygulanmıştır. Stres şiddetinin artmasıyla prolin içeriğinde artışlar elde edilirken, klorofil miktarında ise aksine azalmalar elde edilmiştir. Yaprak oransal su içeriği su rejimi ile doğru orantılı olarak devam etmiştir. Bitki boyunda gelişim sulama suyu miktarının artmasıyla artış göstermiştir. Aynı şekilde yaprak alanı da sulama suyu miktarıyla artmıştır.

Isıtılmayan sera şartlarında su eksikliğinin brokolide verim üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan çalışmada bitkiler 2 gün aralıklarla 4 farklı düzeyde (%100, %75, %50, %25 ve %0) sulanmıştır. Sulama suyu seviyeleri etkisinin; verim, baş yüksekliği, baş çapı, baş ağırlığı ve kuru madde içeriği üzerinde önemli olduğu bulunmuştur. En yüksek su kullanım etkinliği ve sulama suyu kullanım etkinliği değerleri 6,71 ve 6,50 kg m^{-3} olarak % 75 sulama seviyesinden elde edilmiştir (Ayaş ve ark., 2011).

Ghaderi ve Siosemardeh (2011)'in iki farklı çilek çeşidinde yürütmüş oldukları çalışmada 4 farklı sulama rejimi uygulamışlardır. En yüksek yaprak oransal su içeriği kontrol grubundan elde edilmiştir. Sulama suyu miktarının azalmasıyla bitkilerde prolin miktarında artışlar olduğu belirlenmiştir.

Kavun genotipleri arasında kuraklığa tolerans bakımından genotipsel farklılığın ortaya konulması amacıyla yapılan çalışmada 30 farklı genotip ile bir adet kavun çeşidi (Galia F_1) kullanılmıştır. Stres koşullarında yetiştirilen kavun bitkilerinde kontrole göre bitki boyu ve çapı, yaprak sayısı ve yaprak alanında azalışların olduğu belirlenmiştir (Kuşvuran ve ark., 2011).

4 farklı nohut çeşidinde yürütülen bir çalışmada kuraklık stresinin şiddetini azaltmak için 3 farklı salisilik asit dozu uygulanmıştır. Salisilik asit uygulamaları stres şartlarında yaprak oransal su içeriğini artırmıştır. KAT, SOD, POD APX, MDA, AsA ve H_2O_2 enzim aktiviteleri ve prolin içeriği stres şartlarında artış göstermiştir. Bunun yanında membran geçirgenliği değerleri kurak şartlarda daha yüksek değere sahip olmuştur (Patel ve ark., 2011).

Abbaspour ve ark., (2012) Antepfıstığında mikorizal inokulasyonun kuraklık stresine karşı bitkilere sağladığı direnci incelemişlerdir. Elde edilen veriler bakımından mikoriza inoküle edilmiş bitkiler kurak şartlarda yaprak alanı, klorofil içeriği, kök ve sürgün ağırlıkları bakımından mikoriza uygulanmamış bitkilere göre daha yüksek değerlere sahip olmuşlardır. Benzer sonuçlar iyi sulama yapılan şartlarda mikoriza uygulaması yapılan bitkilerden de elde edilmiştir. Bitkilerin besin elementi içerikleri bakımından da incelendiğinde kurak şartlarda mikoriza uygulaması yapılan bitkilerde Mg

hariç diğer elementlerin (N, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu) değerleri mikoriza uygulaması yapılmayan bitkilerden daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Kurak şartlarda bulunan bitkilerin prolin içerikleri incelendiğinde mikoriza uygulanmış bitkilerin köklerinde biriken prolin miktarı mikoriza uygulanmayan bitkilere göre daha düşük değere sahip olmuştur. Bitkilerin kök bölgeleri sürgünlere göre daha az prolin içerdiği de belirlenmiştir. Sulama yapılan bitkilerde prolin içeriği kurak stresine maruz bırakılan bitkilere göre daha düşük değerlere sahip olmuşlardır.

Arjenaki ve ark., (2012)'nın 6 buğday çeşidinde yürüttükleri çalışmada, çeşitleri yaprak oransal su içeriği ve besin elementi içerikleri bakımından dayanıklı ve duyarlı olarak iki gruba ayırmışlardır. Çalışmada 3 çeşidi dayanıklı ve 3 çeşidi de duyarlı olarak belirlemişlerdir. Çeşitler YOSİ değerleri bakımından değerlendirildiğinde kuraklık şartlarında dayanıklı çeşitler %50 üzerinde değer alırken duyarlı olanlar %50 altında değerler almışlardır. Bitki besin elementi bakımından ise dayanıklı çeşitlerde potasyum, sodyum, magnezyum ve kalsiyum içerikleri duyarlı çeşitlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

6 değişik turunçgil anaçlarında kuraklık stresinin bazı fotosentetik parametreler ve bitki besin elementi konsantrasyonları üzerine etkilerinin incelendiği çalışmada anaçların kuraklığa tolerans düzeylerinin belirlenmesinde, yaprak skala değerleri, bitki boyu, bitki çapı, bitkilerin oransal büyüme oranları, fotosentez hızı, SPAD değeri, lipid peroksidasyonu, çözünür protein düzeyi ve makro ve mikro element konsantrasyonları incelenmiştir. İncelenen tüm parametreler sonucunda Carrizo ve Troyer sitranjlarının kuraklığa tolerant; Tuzcu 31-31 turuncu ve Swingle sitrumelo'nun ise kuraklığa duyarlı olduğu tespit edilmiştir (Çerçi, 2012).

Filek ve ark., (2012)'nın Polonya'da 10 buğday çeşidinde yaptıkları çalışmada kuraklık stresi polietilen glikol ve NaCl ile -1,5MPa' ya ayarlanmıştır. PEG ile ayarlanan ortamdaki bitkiler en düşük bitki ağrılığına sahip olurken, NaCl ile yapılan kuraklık stresi daha yüksek değere sahip olmuştur. Yine yaprak oransal su içeriği bakımından çeşitler incelendiğinde en yüksek su içeriği kontrol grubundan elde edilirken, bunu sırasıyla NaCl ve PEG takip etmiştir. Çeşitlerde yapılan malondialdehit analizlerinde ise PEG ile kurulan kuraklık uygulamasındaki bitkilerden en yüksek değer elde edilmiştir. Bitkilerde yapılan besin elementi analizleri sonucunda makro element (Na hariç) içeriği bakımından kontrol grubu bitkiler daha yüksek değerlere sahip olurken, bazı buğday çeşitlerinde PEG bazılarında ise NaCl ile yapılan kuraklık uygulamaları en düşük değere sahip olmuştur. Benzer sonuçlar mikro element analizlerinde de elde edilmiştir.

Karimi ve ark., (2012)'nın 5 farklı badem çeşidi ve GF 677 anacında yapmış oldukları çalışmada PEG dozunun artmasıyla bitki kuru ağırlığında ve gövde çaplarında azalmalar olduğu belirlenmiştir. Benzer sonuçlar bitki boyunda ve sürgün sayısında da ortaya çıkmıştır. Denemede kullanılan anaç ve çeşitlerin yaprak oransal su içeriği, membran stabilitesi ile yaprak alanları da kuraklık şiddetinin artmasıyla kontrol grubu bitkilere göre daha düşük değerlere sahip olmuşlardır. Yapılan prolin analizinde ise PEG yoğunluğunun artmasıyla bitkilerde biriken prolin miktarı artış göstermiştir.

8 bamya genotipinde kuraklık stresinin etkilerini belirlemek için yapılan çalışmada bitki gelişimi, oransal su içeriği, iyon konsantrasyonu ve antioksidan enzimlerden GR ve APX aktiviteleri incelenmiştir. Çalışmada kuraklık stresi, 4 gün boyunca sulama suyu miktarı azaltılarak elde edilmiştir. Kuraklık stresi bamya genotipleri arasında önemli farklar meydana getirmiştir. Okr-6, Okr-67 ve Okr-105 genotipleri sürgün ve köklerde yüksek antioksidan aktivitesi ve yüksek K ve Ca konsantrasyonu göstererek kuraklık stresi altında en iyi performansı göstermiştir. Fakat Okr-47 ve Okr-112 genotipleri düşük antioksidan aktivitesi ve düşük K ve Ca konsantrasyonu göstererek kuraklık stresi altında iyi sonuçlar vermemiştir (Kuşvuran, 2012).

Sayyari ve Ghanbari (2012)'nin biberde yapmış oldukları çalışmada, 4 farklı sulama sıklığı uygulanmış ve bu uygulamalar neticesinde daha sık sulanan bitkilerde boy daha uzun olmuştur. Bununla birlikte bitkilerde yaprak oransal su içeriği, yaprak alanı, klorofil içeriği, bitki kuru ağırlığı ve kök kuru ağırlığı da daha sık sulanan bitkilerde yüksek değere sahip olmuştur. Sulamanın 11 gün ara ile (en seyrek sulama aralığı) olduğu dönemde bitkiler en yüksek prolin içeriğine sahip olmuştur.

Rezaei ve ark., (2012)'nın domateste yürüttükleri çalışmada 3 farklı kuraklık şiddetindeki bitkilere glisin betain uygulaması yaparak kuraklık stresindeki bitkilerde dayanıklılığı artırmaya çalışmışlardır. Kuraklık şartlarında tutulan bitkilerde yaprak oransal su içeriği, yaprak alanı, bitki boyu ve bitki kuru ağırlığında azalmalar tespit edilirken, kuraklık uygulaması yapılmayan ve glisin betain uygulamaları yapılan bitkilerde ise bu özelliklerde artışlar meydana gelmiştir. Uygulamalardaki glisin betain konsantrasyonu artırıldığında bitkilerin morfolojik özelliklerinden elde edilen veriler kontrol grubuna göre daha yüksek değerler göstermiştir.

Zanjani ve ark., (2012)'nın kuraklık stresinde bulunan kabaklara zeolit ve selenyum uygulaması yaparak kuraklığa karşı direnci artırmaya çalışmışlardır. Kuraklık uygulamasını normal sulama, çiçek döneminde kuraklık ve meyve döneminde kuraklık

olarak planlamışlardır. Bitki gelişiminin devam eden safhalarında yaprak oransal su ve protein içeriği ile klorofil miktarında azalışlar meydana gelmiştir. Bunun aksine prolin ve katalaz miktarında ise artışlar meydana gelmiştir.

Farklı bor bileşiklerinden oluşan, kontrollü koşullarda yetiştirilen soya bitkilerinin kullanıldığı çalışmada fideler zamana bağlı olarak (kontrol, 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 gün) farklı kuraklık uygulamalarına maruz bırakılmıştır. Kuraklık stresine karşı bor bileşiklerinin uygulanması amacıyla yapılan araştırmada, yapraklarda klorofil, MDA, prolin ve iyon miktarları ölçülmüştür. Stres + potasyumlu bor grubunda, klorofil ve prolin miktarının arttığı, MDA miktarının kontrolle aynı seviyelerde olduğu tespit edilmiştir (Doğan ve Avu, 2013).

Yüksek sıcaklığa toleranslı Redlands Hope ve Camarosa ile yüksek sıcaklığa hassas olduğu belirlenen Festival ve CG3 çilek çeşitleri ile yapılan çalışmada, kuraklık ve bunu takiben geri kazanım uygulamalarının fizyolojik ve moleküler etkileri araştırılması amaçlanmıştır. Frigo fideler 8 hafta boyunca serada yetiştirildikten sonra, bitkiler 15 gün boyunca %10'luk PEG 6000 ile sulanmıştır. Daha sonra bitkilere iki hafta boyunca PEG'siz sulama suyu verilerek geri kazanım aşaması gözlenmiştir. PEG ve geri kazanım aşamalarının sonunda bitkilerden alınan yaprak örneklerinde yaprak oransal su içeriği, klorofil miktarı, APX, GR aktiviteleri saptanmıştır. Çalışma sonucunda 4 çilek çeşidinin bilinen yüksek sıcaklığa toleransları ile kuraklığa toleransları arasında paralellik olduğu tespit edilmiştir. Çeşitlerin kuraklığa toleransında artan APX ve GR enzimlerinin önemli rol oynadığı belirlenmiştir (Çetinkaya, 2013).

Karimi ve ark.,(2013), 5 badem çeşidi ve bir hibrit anaçta (GF 677) yürütmüş oldukları çalışmada, in vitro şartlarda bitkilerin ozmotik strese karşı tepkilerini incelemişlerdir. PEG 6000 ile oluşturulan 3 farklı kuraklık şiddetinde (0-%3,5-%7) bitkilerde yaprak alanı, YOSİ, toplam klorofil, gibi özellikler incelenmiştir. GF 677 anacı ve çeşitlerde incelenen kriterler, kuraklık stresinin şiddetinin artmasıyla kontrol grubuna göre daha düşük değelere sahip olmuşlardır.

Proietti ve ark., (2013) Maurino zeytin çeşidinde selenyumun kuraklık stresi üzerine koruyucu etkisini araştırmışlardır. Stres şartlarındaki bitkilerde yaprak oransal su içeriği diğer uygulamalara nazaran daha düşük değere sahip olmuştur. Askorbat peroksidaz enzim aktivitesi stres altındaki bitkilerde düşük değere sahip olurken, selenyum stres altındaki ve kontrol grubundaki bitkilerde daha fazla birikmiştir. Katalaz enzim aktivitesi de APX enzim aktivitesi gibi benzer sonuçlar vermiştir. Selenyum konsantrasyonu arttığında KAT aktivitesi de artmıştır. Selenyum uygulamaları

malondialdehit aktivitesinde ise etkili olmamıştır. Aksine, kontrol grubu bitkilerindeki MDA aktivitesi stres altındaki bitkilerdekinden daha yüksek değerlere sahip olmuştur.

Rostami ve Rahami (2013) 4 farklı incir çeşidinden aldıkları çelikleri köklendirerek kuraklık stresi çalışması yürütmüşlerdir. Kuraklık uygulamaları şu şekilde planlanmış; bitkilere 14 gün boyunca hiç su verilmemiş, kuraklığın 10. gününden sonra yeniden sulamaya başlanmıştır ve her gün sulama yapılarak toprak tarla kapasitesinde tutulmuştur. Bu uygulamalar sonucunda sulama yapılan bitkilerde sürgün uzunluğu, yaprak alanı ve yaprak oransal su içeriği en yüksek değere sahip olurken, onu kuraklık sonrası yeniden sulamaya başlanan bitkiler takip etmiştir. En düşük değer hiç sulama yapılmayan bitkilerden elde edilmiştir. Prolin içeriği bakımından çeşitlerin tepkisi incelendiğinde sulama yapılmayan bitkilerde en yüksek değerler elde edilirken, en düşük değerler her gün sulama yapılan bitkilerden elde edilmiştir. Bitki besleme bakımından çeşitler incelendiğinde potasyum iki çeşitte kuraklık sonrası sulanmaya başlayan bitkilerde en yüksek değere sahip olurken, diğer iki çeşitte kontrol grubunda en yüksek değerler elde edilmiştir. Sodyum içeriği bakımından değerler incelendiğinde, iki çeşitte kuraklık sonrası sulanmaya başlayan bitkilerde en yüksek değere sahip olurken, diğer iki çeşitte ise hiç sulama yapılmayan bitkilerden en yüksek değerler elde edilmiştir.

Tohamy ve ark., (2013)'nın Bronco fasulye çeşidinde yapmış oldukları çalışmada sitrik asidin farklı dozlarının (0,5g l^{-1}-1,0g l^{-1}-1,5g l^{-1}-2,0g l^{-1}) kuraklık stresi üzerine koruyucu etkisini araştırmışlardır. Yapılan stres uygulamasında bitkiler 7 gün boyunca sulanmamış ve 7.günden sonra sulanmaya başlanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda kuraklık uygulamasına maruz bırakılan bitkilerde sitrik asidin 1,5g l^{-1} dozuna kadar klorofil miktarında artış olurken, 2,0g l^{-1} dozunda düşüş yaşanmıştır. Ancak en düşük klorofil içeriği uygulama yapılmayan stres koşulundan, en yüksek değer ise sulama yapılan kontrol grubundan elde edilmiştir. Benzer sonuçlar yaprak oransal su içeriği için de geçerli olmuştur.

Farklı yetiştirme çevrelerinden alınan domates genotiplerinin kuraklık stresi altında gösterdiği eko fizyolojik tepkilerinin değerlendirilmesinin amaçlandığı çalışma iki farklı su seviyesi (normal, kısıtlı) ile saksılarda yürütülmüştür. Bitkiler saksılarda 5 hafta yetiştirildikten sonra yapraklardaki klorofil konsantrasyonu, daimi su içeriği ve yaprakların ozmotik potansiyeli, 8 hafta sonra ise yaş ve kuru ağırlık ve kök ve sürgünlerdeki daimi su içeriği incelenmiştir. En düşük yaş sürgün ve kök ağırlıkları stres altındaki bitkilerden elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan domates genotiplerinin önemli farklılıklar göstermediği bildirilmiştir (Allerstorfer, 2014).

Bolat ve ark., (2014) su stresinin elma (M9- Vista Bella) ve armut (MA-Santa Maria) fidanlarında göz verimliliği ve bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisini araştırmışlardır. Su stresi kontrol (%100), %75 sulama ve %50 sulama şeklinde planlanmıştır. Uygulama yapılan bitkilerde yapılan ölçümler sonucunda su stresinin artmasıyla her iki türe ait bitkilerde kuru ağırlık, yaprak oransal su içeriği ve klorofil içeriklerinde azalmalar olmuştur. Her iki türe ait bitkilerde yapılan enzim analizlerinde katalaz ve peroksidaz aktivitesinde artışlar bulunmuştur. Ayrıca bitkilerde prolin içerikleri de stresin şiddetinin artmasıyla artışlar göstermiştir.

In vitro mikroçoğaltım ortamına PEG 6000'nin 4 farklı dozunun (0- %2- %4- %6) eklenmesiyle kurulan kuraklık çalışmasında bitkisel materyal olarak MM 106 elma anacı ile armut kullanılmıştır. Her iki türde kuraklık şiddetinin artmasıyla sürgün uzunluğunda ve sürgün sayılarında azalmalar belirlenmiştir (Danial ve ark., 2014).

Zokaee- Khosroshahi ve ark., (2014) 5 farklı yabani badem türünde kuraklık stresi çalışmışlardır. Çalışmada 4 farklı kuraklık şiddeti uygulamışlardır. Kuraklık stresi arttığında badem türlerinin hepsinde yaprak oransal su içeriğinde azalmalar belirlenmiştir. Türlerde kuraklık şiddeti arttığında yaprak alanında azalmalar tespit edilmiştir.

Yunusa ve ark., (2014) 6 soya fasulyesi çeşidinde yapmış oldukları çalışmada kuraklık stresinin ilerleyen dönemlerinde genotiplerin bitki boyunda ve yaprak alanında azalmaların olduğunu tespit etmişlerdir.

Zonouri ve ark., (2014)'nın White Seedless ve Khoshnav üzüm çeşitlerinde kuraklık stresinden bitkileri korumak amacıyla 3 farklı askorbik asit uygulaması yapmışlardır. Her iki çeşitte de askorbik asit miktarları kuraklık stresinde kontrol grubuna göre daha fazla ölçülmüştür. Bununla birlikte MDA, protein ve APX miktarları da kuraklık uygulamasında en yüksek değerlere sahip olmuşlardır. Membran geçirgenliği ölçümü yapılan bitkilerde en yüksek geçirgenlik kuraklık stresindeki bitkilerde bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada bitkisel materyal olarak Myrobolan 29C ve Garnem anaçları kullanılmıştır.

Myrobolan 29C: Kaliforniya'da *Prunus cerasifera'*nın bir bireyi olarak seçilmiştir. Kök gelişimi ilk yıllarda yüzeysel olup, sonraki yıllarda derinlere gider. Tüm toprak tiplerine uygundur. Kuru topraklara ve düşük geçirgenliğe sahip ağır topraklara uyum sağlayabilir. Kuvvetli ağaçlar oluşturur. *Agrobacterium tumefaciens, Verticillium'a* orta derecede dayanıklıdır. *Pseudomonas syringae*'ya duyarlı olup kök ur nematodlarına karşı dayanıklıdır. Anaç, %8-9 aktif toprak kirecine karşı dayanıklılık gösterir. Tüm erik çeşitleri ile iyi bir aşı uyuşması gösterir ve bunun devamında oldukça yüksek verim sağlar. Dip sürgünü verme eğilimi düşüktür (Anonymous, 2015).



Şekil 3.1. Myrobolan 29C anacı ve sürgünü (Orjinal)

Garnem: Bu klon anacı, İspanya'da İspanyol bademi çeşidi Garfi ile Kuzey Amerika şeftalis çeşidi Nemared'in melezlenmesi ile elde edilmiştir. Bu klon anacı, öncelikle badem, şeftali ve nektarinle iyi bir aşı uyuşması gösterdiği için anaç olarak seçilmiştir. Anaç fidanlıkta GF 677 anacının yarısı kadar bir kuvvette çok iyi bir gelişme göstermektedir. Anaç çok az dikine büyür ve ilk büyüme yılında tüylülük özelliği göstermez. Yaprakları badem ve şeftali arasında kendine özgü geniş ve kırmızıdır. İlkbahar, yaz ve sonbaharda aşılama ve mikro aşılama için, iyi bir performans gösterir. Bilinen tüm badem, şeftali ve nektarin çeşitleri ile aşı başarısı yüksektir. Zayıf toprak

şartlarına ve kurak koşullara toleranslıdır. Bunun yanında GF 677'den daha düşük bir demir klorozuna dayanıklılığı vardır. Aşırı sudan kaynaklanan asfeksiye toleransı düşüktür. Üzerine aşı yapıldıktan sonra çeşit gelişimi GF 677'den daha güçlüdür. *Prunus* türlerinde etkili olan kök ur nematodlarına (*Meloidogine arenaria*, *M. hispanica*, *M. incognita* ve *M. javanica*) karşı toleranslıdır. Ancak kök lezyon nematodu *Pratylencus vulnus* ve kökboğazı tümörü *Agrobacterium tumefaciens*'e duyarlıdır. Bu anaç nematodla bulaşık topraklarda GF 677'nin yerini almaktadır. Fakat Garnem anacı aşırı kireç ve aşırı suya karşı dayanımının iyi olduğu bilinen GF 677'den daha düşük bir dayanıklılığa sahiptir (Anonymous, 2015).



Şekil 3.2. Garnem anacı ve sürgünü (Orjinal)

Çalışmada, *in vitro* şartlarda yetiştirilen Garnem ve Myrobolan 29C anaçlarında polietilen glikol uygulamalarıyla kuraklığa dayanıklılık, morfolojik ve biyokimyasal olarak incelenmiştir. Denemede bitkilere PEG-8000 ile oluşturulan 3 farklı kuraklık şiddeti (-0.5MPa, -1.0MPa ve -1.5MPa) uygulanmıştır. Morfolojik ve biyokimyasal analizler için bitkilerden yaprak örnekleri 0. 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 ve 15.günlerde alınmıştır.

3.1. Bitkilerin *In Vitro* Şartlarda Yetiştirilmesi

Doku kültüründe çoğaltılmış ve dış ortama alıştırılmış olan ana bitkiden alınan mikro çelikler (Şan ve ark., 2015) yüzey sterilizasyonu yapıldıktan sonra içerisinde 2mg/l BAP ve 0.5mg/l GA_3 olan Murashige ve Skoog (1962) (Çizelge 3.1) ortamına

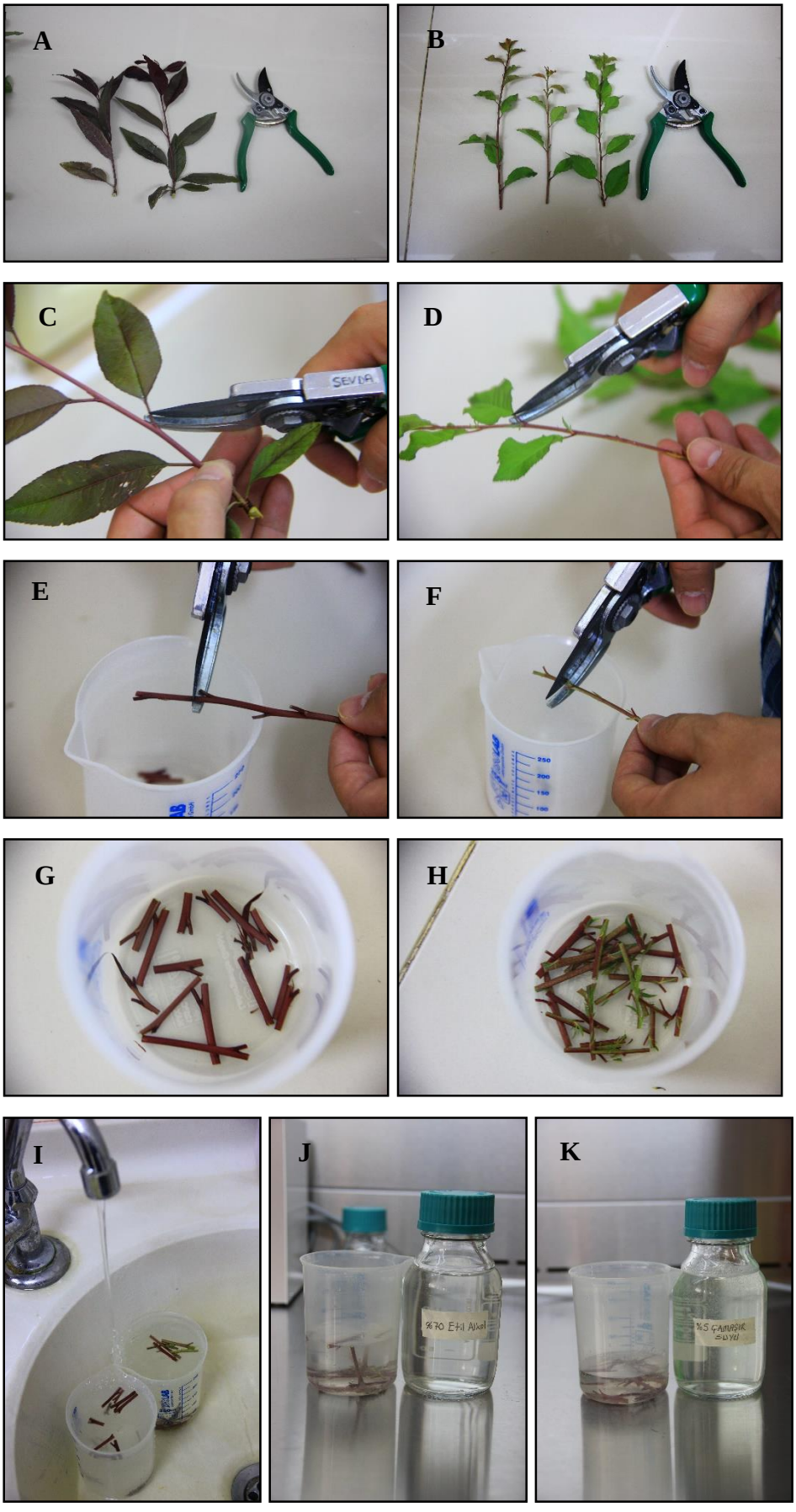
dikilmişlerdir. Dikimin ardından yaklaşık bir ay sonra tomurcukların sürmesiyle elde edilen sürgünler kardeşlendirme ortamına aktarılarak uygulamalar için gerekli bitki sayısına ulaşılmaya çalışılmıştır.

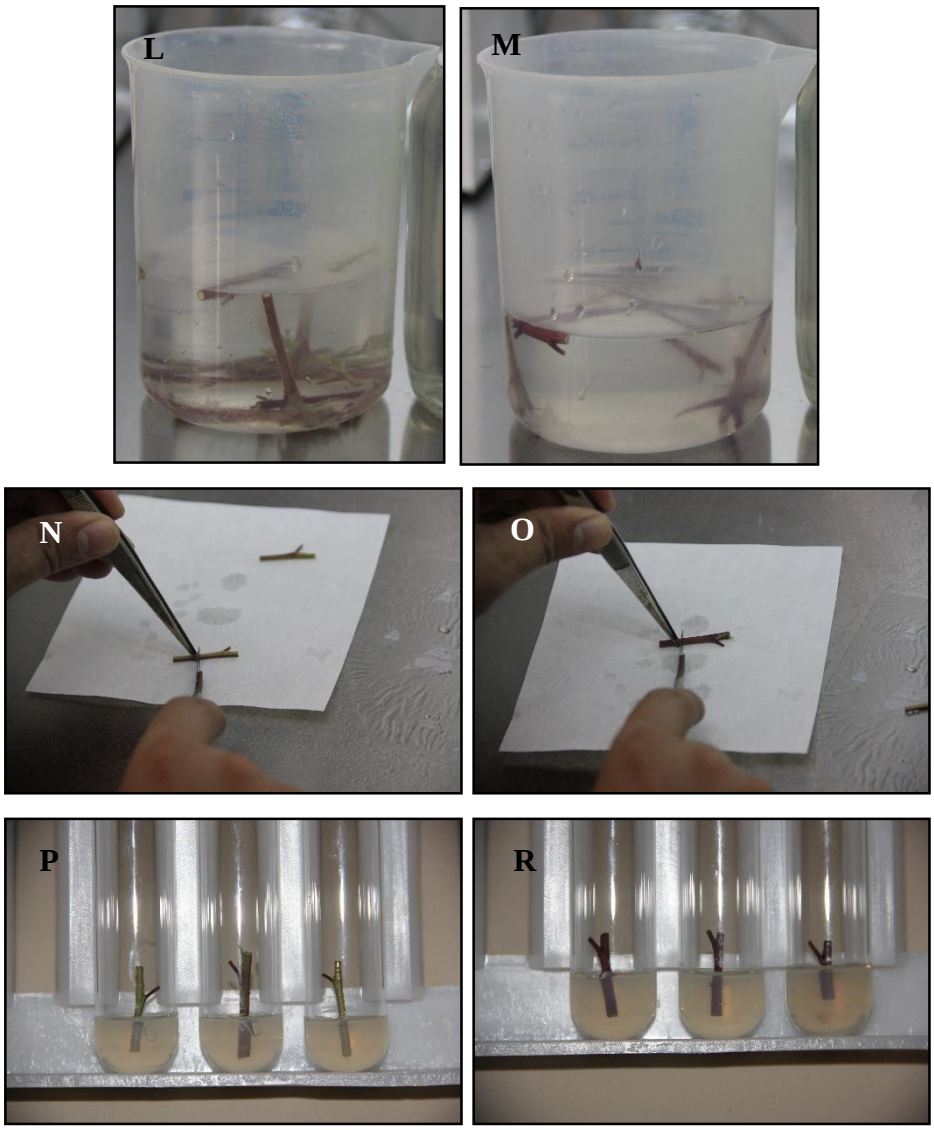
Çizelge 3.1. MS besi ortamları bileşenleri (**Murashige ve Skoog; 1962**)

	MS (mgl^{-1})
$CaCl_2$. $2H_2O$	332.02
KH_2PO_4	170.00
KNO_3	1900.00
$MgSO_4.7H_2O$	180.54
NH_4NO_3	1650.00
$CoCl_2.6H_2O$	0.025
$CuSO_4.5H_2O$	0.025
$FeSO_47H_2O$	27.80
Na_2EDTA $2H_2O$	37.30
H_3BO_3	6.20
KI	0.83
$MnSO_4.H_2O$	16.90
$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.25
$ZnSO_4.7H_2O$	8.60
Glycine	2.00
Myo-İnositol	100.00
Nicotinic Acid	0.50
Thiamine Hydrochloride	0.10
Pyridoxine	0.50

3.1.1. Çeliklerin yüzey sterilizasyonu

Çeliklerin yüzey sterilizasyonunda sürgünler üzerindeki yapraklar kesilerek akan musluk suyunda 30dk. bırakılmıştır. Tomurcukların yanlarındaki yaprakçıklar elle ve budama makası ile 3- 4 cm uzunluğunda tek nodlu parçalara ayrılmış ve saf suda 30dk. bekletilmiştir. Etil alkol (%70) ile 30sn muamele edildikten sonra, içerisine Tween-20 ilave edilmiş %10'luk sodyum hipoklorit ile hafif çalkalanarak 5dk. boyunca sterilizasyon yapılmıştır. Daha sonra, 3 kez steril saf su ile durulama yapılmıştır. Sterilizasyonu tamamlanan çelikler sürgün geliştirme ortamına aktarılmaya hazır hale getirilmiştir (Mendi ve ark., 2003; Hepaksoy, 2004).

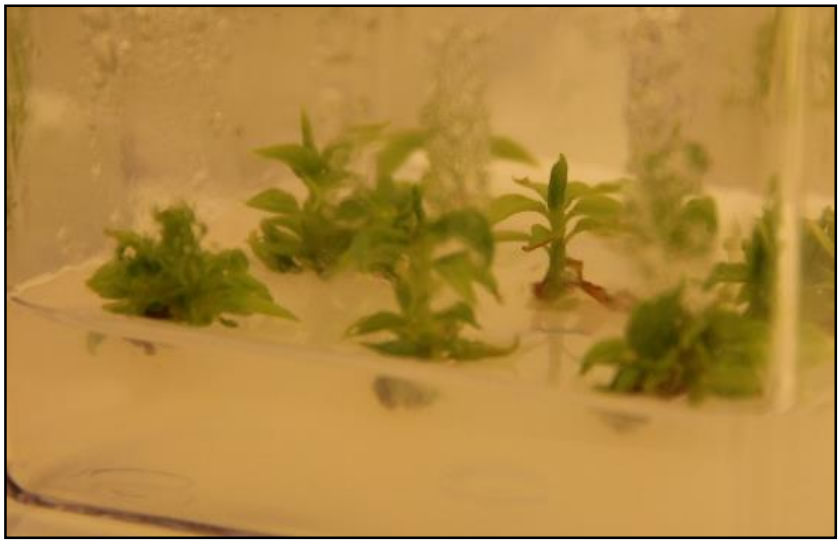

A
B
C
SEVİLA
D
E
F
G
H
I
J
%70 Etil Alkol
K



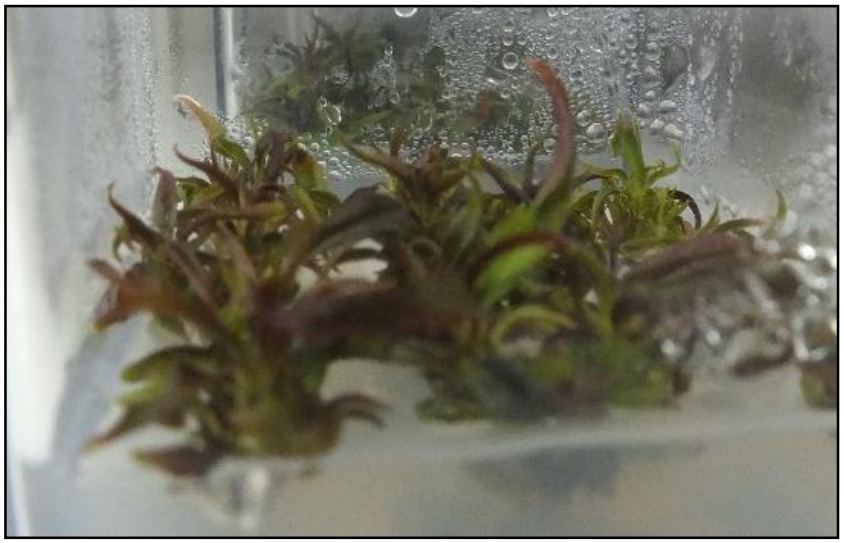
Şekil 3.3. Sürgünlerin alınması ve sterilizasyon sonrası kültüre alınması (**A**: Garnem Sürgünü, **B**: Myrobolan 29C sürgünü, **C-D**: Sürgünlerden yaprakların kesilmesi, **E-F**: Sürgünlerin mikroçeliklere ayrılması, **G-H-I**: Mikroçeliklerin akan çeşme suyu altında tutulması, **J**: Mikroçeliklerin steril kabin içinde %70 Etil alkol ile muamelesi, **K**: Mikroçeliklerin %10 çamaşır suyu ile muamelesi, **L-M**: Mikro çeliklerin durulanması, **N-O**: Mikroçeliklerin kültüre hazırlanması, **P-R**: Mikroçeliklerin sürgün ortamına aktarılması) (Orjinal)

3.1.2. Sürgünlerin çoğaltılması

Çeliklerden gelişen sürgünler, 2mg l^{-1} BAP içeren MS ortamında kültüre alınarak çoğaltılması sağlanmıştır (Ruzic ve ark., 2000) (Çizelge 3.2). 4 hafta çoğaltma ortamında tutulan bitkiler 4.hafta sonunda kültür ortamından alınarak yeni çoğaltma ortamına aktarılmıştır. Yeterli bitki sayısına ulaşıldıktan sonra elde edilen bitkiler köklendirme ortamına alınmışlardır.



Şekil 3.4 . Myrobolan 29C anacının kültür ortamında çoğaltılması (Orjinal)



Şekil 3.5. Garnem anacının kültür ortamında çoğaltılması (Orjinal)

Çizelge 3.2. Kardeşlendirme besi ortamının bileşenleri

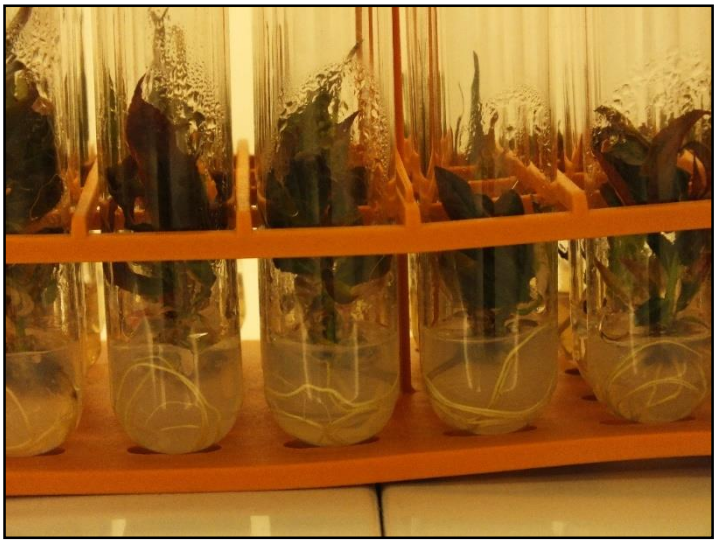
	MS (mgl^{-1})
$CaCl_2$. $2H_2O$	332.02
KH_2PO_4	170.00
KNO_3	1900.00
$MgSO_4.7H_2O$	180.54
NH_4NO_3	1650.00
$CoCl_2.6H_2O$	0.025
$CuSO_4.5H_2O$	0.025
$FeSO_47H_2O$	27.80
Na_2EDTA $2H_2O$	37.30
H_3BO_3	6.20
KI	0.83
$MnSO_4.H_2O$	16.90
$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.25
$ZnSO_4.7H_2O$	8.60
Glycine	2.00
Myo-İnositol	100.00
Nicotinic Acid	0.50
Thiamine Hydrochloride	0.10
Pyridoxine	0.50
BAP	2.00

3.1.3. Sürgünlerin köklendirilmesi

Yeterli bitki sayısına ulaştıktan sonra elde edilen bitkiler, $2mgl^{-1}$ IBA içeren MS ortamında kültüre alınmıştır. 4 hafta sonunda köklenen bitkiler kuraklık uygulamaları için kullanılmıştır (Çizelge 3.3).



Şekil 3.6. Myrobolan 29C anacının köklendirilmesi (Orjinal)



Şekil 3.7. Garnem anacının köklendirilmesi (Orjinal)

Çizelge 3.3. Köklendirme besi ortamının bileşenleri

	MS (mgl^{-1})
$CaCl_2$. $2H_2O$	332.02
KH_2PO_4	170.00
KNO_3	1900.00
$MgSO_4.7H_2O$	180.54
NH_4NO_3	1650.00
$CoCl_2.6H_2O$	0.025
$CuSO_4.5H_2O$	0.025
$FeSO_47H_2O$	27.80
Na_2EDTA $2H_2O$	37.30
H_3BO_3	6.20
KI	0.83
$MnSO_4.H2O$	16.90
$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.25
$ZnSO_4.7H_2O$	8.60
Glycine	2.00
Myo-İnositol	100.00
Nicotinic Acid	0.50
Thiamine Hydrochloride	0.10
Pyridoxine	0.50
IBA	2.00

3.1.4. Kuraklık uygulamalarının yapılması

PEG suyu bünyesinde tutan bir polimerdir. Çalışmamızda in vitro şartlarda köklendirilen bitkiler PEG içeren sıvı MS ortamına (agarsız) aktarılmıştır. Bitkilerin besin solüsyonu içerisinde tamamen batmaması için kaba filtre kâğıdından yapılan köprüler kullanılmıştır. Sıvı MS ortamına, Michel (1983) tarafından geliştirilen formüle

göre -0.5MPa için 198g/l PEG 8000, -1.0MPa için 287g/l PEG 8000 ve -1.5MPa için 355g/l PEG 8000 ilave edilmiştir.

OP= 1.29 x C^2 x T−140 x C^2−4 x C (3.1)

OP= Ozmotik potansiyel

C= PEG miktarı

T= Sıcaklık



Şekil 3.8. Myrobolan 29C ve Garnem anaçlarında köprü sisteminin oluşturulması ve bitkilerin kurak şartlara alınması (Orjinal)

3.2. Denemede Yapılan Gözlem ve Ölçümler

3.2.1. Bitki boyunun ölçülmesi

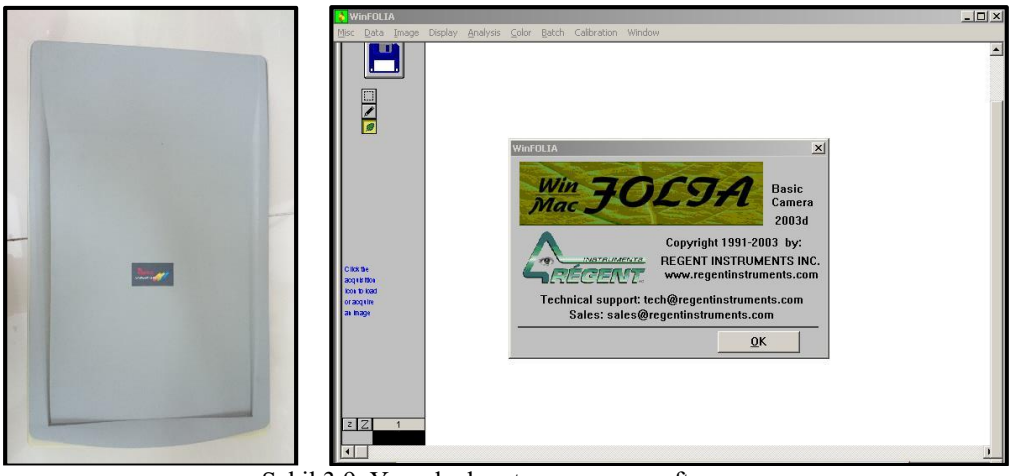
Bitkide kök boğazından büyüme ucuna kadar olan bölge cetvel yardımıyla ölçülerek mm cinsinden belirlenmiştir.

3.2.2. Bitki nispi ağırlıklarının belirlenmesi

Stres uygulamaları sonucunda seçilen bitkilerde hassas terazi yardımıyla kök ve bitki yaş ağırlıkları mg cinsinden belirlenmiştir. Aynı örnekler, 65ºC etüvde 48 saat süreyle kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları mg cinsinden belirlenmiştir (Sanchez ve ark., 2004).

3.2.3. Yaprak alanının belirlenmesi

Stres uygulamasına tabi tutulan bitkilerden örnekler alındığı dönemde yaprak alanları da bir tarayıcı aracılığıyla winfolia paket programı ile ölçülmüştür (Şekil 3.9) (İpek ve ark., 2009). Yaprak alanı, bir tarayıcı tarafından yaprakların taranması ile görüntünün bilgisayara aktarılıp yüklü winfolia paket programı ile hesaplanması esasına dayanmaktadır.



Şekil 3.9. Yaprak alanı tarayıcısı ve software programı

3.2.4. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi

Yaprak oransal su içeriği (YOSİ) (%) Sanchez ve ark., (2004) ile Demiral ve Türkan (2005)'e göre belirlenmiştir. Stres sırasında bitkilerden alınan yaprak örneklerinin oransal su içeriklerinin belirlenmesi için taze ağırlıkları alınmış, daha sonra alınan yaprak 4 saat süre ile saf su içerisinde bekletilmiş, bu süre sonunda turgor ağırlıkları saptanmıştır. Ağırlıkları belirlenen yaprak örnekleri, 65ºC etüvde 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları tartılmıştır. Elde edilen taze ve kuru ağırlıklar aşağıdaki formül yardımıyla oranlanarak yaprak oransal su içerikleri (%) hesaplanmıştır.

$$YOS\dot{I}(\%) = \frac{(TA-KA)}{TuA-KA}100 \qquad (3.2)$$

TA: Taze Ağırlık
KA: Kuru Ağırlık
TuA: Turgor Ağırlığı

3.2.5. Membran geçirgenliği tayini

Membran geçirgenliği için her biri 1 cm^2 büyüklüğünde 3 yaprak diski alınmış ve cam tüpler içerisinde 3 kez saf sudan geçirilmiştir. Bu işlemin ardından 10 ml su eklenip kapalı tüplerde 24 saat 25°C'de çalkalayıcıda çalkalanmıştır. Hemen ardından elektriksel iletkenlik (EC) ölçülmüş (C_1), aynı örnekler 20dk. 120°C'de otoklavda bekletildikten sonra 25°C'ye kadar soğumaları beklenmiş ve sonra yine EC ölçümü yapılmıştır (C_2). Membran geçirgenliği aşağıdaki formülle belirlenmiştir (Lutts ve ark., 1996).

$$\text{Membran Geçirgenliği} = \frac{C_1}{C_2} \times 100 \qquad (3.3)$$

3.2.6. Klorofil miktarı tayini

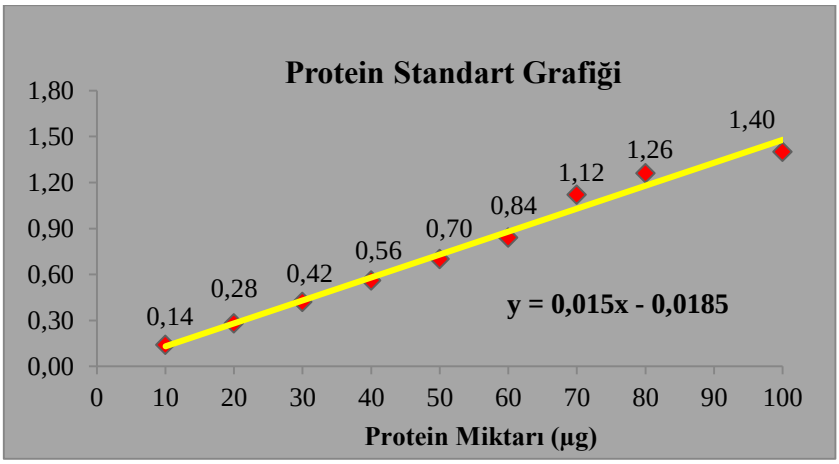
Yaprak örneklerinde klorofil tayini klorofil metre (SPAD–502, Konica Minolta Sensing, Inc., Tokyo, Japan) (Şekil 3.10) yardımıyla belirlenmiştir. Her bitkiden alınacak her yapraktan iki yerde ölçüm yapılmış, daha sonra ortalamaları alınmıştır (Khan ve ark., 2004).



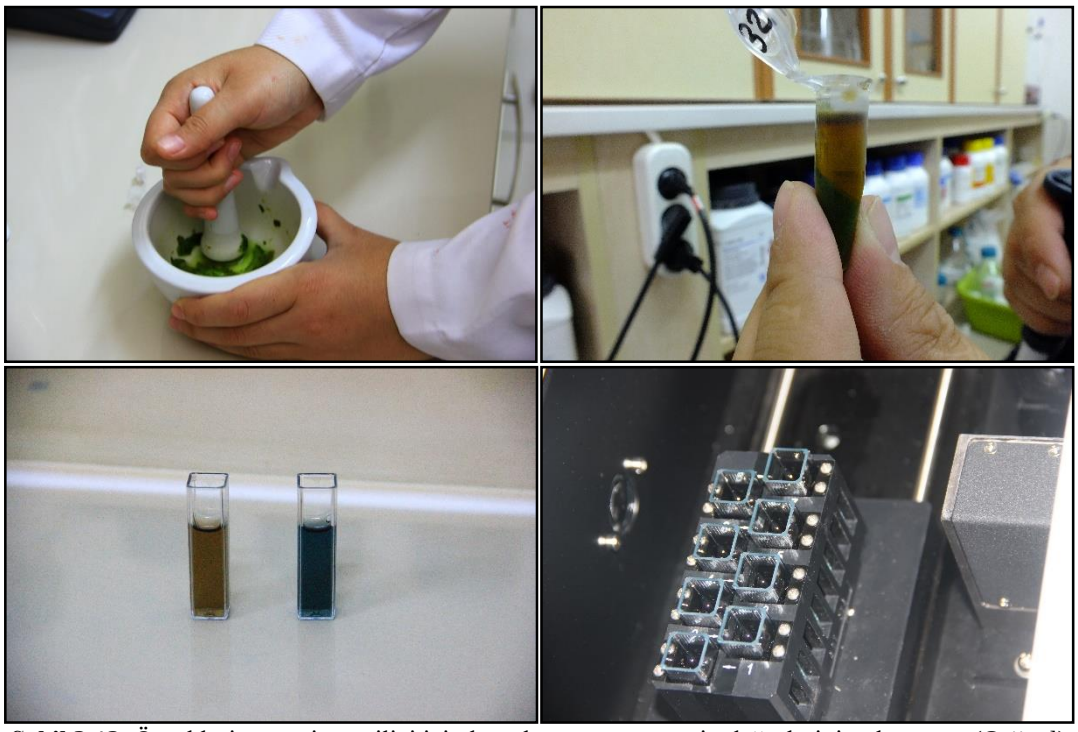
Şekil 3.10. SPAD metre

3.2.7. Çözünebilir protein miktarının tayini

Stres altındaki bitkilerde protein tayini, alınan 0,5g'lık bitki örnekleri kullanılarak "Bradford" (Bradford, 1976) metoduna göre yapılmıştır. Sonuçlar "mg protein/g" taze doku cinsinden hesap edilmiştir. Her bir uygulamaya ait 0.5g bitki örnekleri küçük parçalara ayrılmış ve 10 misli hacimdeki 0.05M fosfat tamponunda (pH: 6,5) havanda ezilerek homojenizasyon yapılmıştır. Homojenat, santrifüj tüplerine alınıp, 15.000rpm' de 20dk. boyunca santrifüj edilmiştir. Protein tayini için tüplerin üst kısmındaki sıvı faz (süpernatant) kullanılmıştır. Metot için gerekli standart grafik şu şekilde hazırlanmıştır; 1ml'sinde 1mg protein içeren standart sığır albumin çözeltisinden 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100µg protein içeren hacimler tüplere aktarılıp, saf su ile bütün tüplerin hacimleri 0.2ml'ye tamamlanmıştır. Bu tüplere 3'er ml'de Bradford tampon çözeltisi ilave edilip vorteks ile karıştırılmıştır. Kör numune olarak 0,2ml aynı tampondan ve 3ml Bradford tampon çözeltisinden oluşan karışım kullanılmıştır. Yapılan spektrofotometrik ölçümler sonucunda, 595nm'deki absorbans değerlerine karşılık gelen protein değerlerinden yararlanılarak standart grafik elde edilmiştir (Şekil 3.11). Standart grafik hazırlama çalışmasında olduğu gibi, bitki organlarından elde edilen özütlerden 0,2ml alınıp, 3ml Bradford tampon çözeltisi ile karıştırılmış ve 595nm'de absorbansları ölçülerek, standart grafikten yararlanılıp, 0,2ml özütdeki protein miktarları belirlenmiştir. Daha sonra, gerekli hesaplamalar yapılarak protein miktarları mg protein/g doku olarak hesaplanmıştır (Bradford, 1976).



Şekil 3.11. Protein standart grafiği

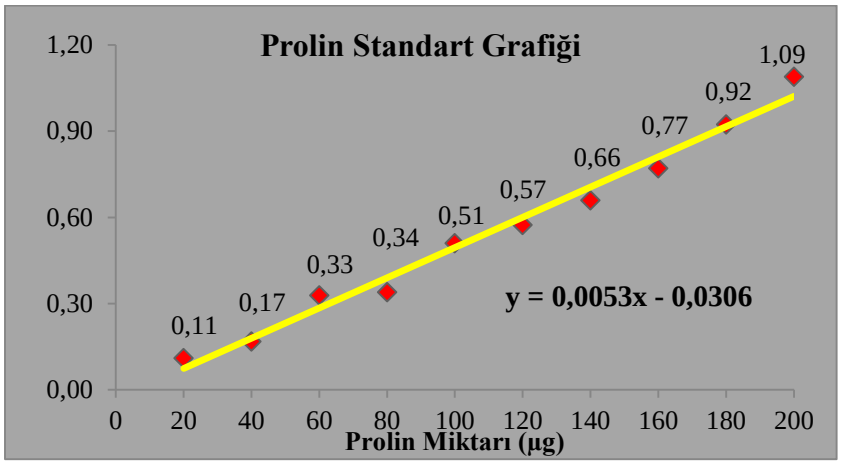


Şekil 3.12. Örneklerin protein anailizi için hazırlanması ve protein değerlerinin okunması (Orjinal)

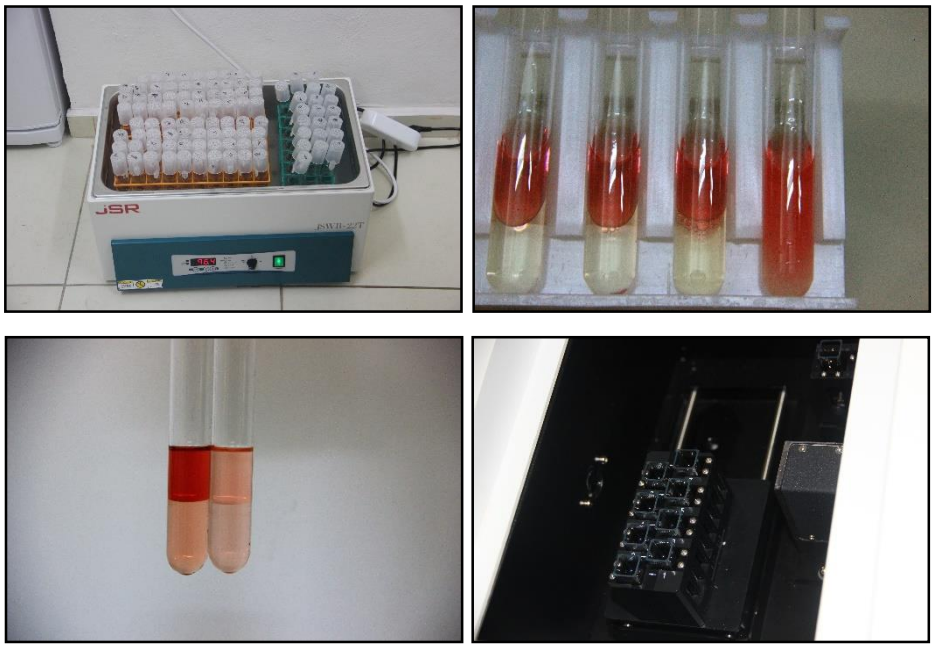
3.2.8. Prolin miktarı tayini

Prolin tayini, spektrofotometrik olarak asit-ninhidrin metoduyla yapılmıştır (Bates ve ark., 1973). 1ml'sinde 200µg prolin içeren stok çözeltiden tüplere 0,2- 0,4- 0,6- 0,8- 1,0- 1,2- 1,4- 1,6- 1,8 ve 2,0ml alınarak her tüpün üzeri saf su ile 2ml'ye tamamlanmıştır. Daha sonra tüplere 2ml glasiyal asetik asit ve 2ml asit-ninhidrin çözeltisi ilave edilmiştir. Sonrasında örnekler 100°C'ye ayarlı etüve alınmıştır. Bir saat sonra buz banyosunda 10dk. tutularak her tüpe 4ml toluen ilave edilmiş, bir vorteksle 20- 30sn karıştırılmıştır. Daha sonra her tüpte üstte kalan faz otomatik pipetle alınarak

520nm'de absorbansları ölçülmüştür. Kör numune için toluen kullanılmıştır. Yapraklarda prolin tayini için 0,1g doku 10 ml %3'lük sülfosalisilik asit içinde bir porselen havanda homojenize edilmiştir. Homojenat filtre kâğıdıyla analitik bir huniden süzülerek, süzüntüden 2ml alınmış yukarıda standart hazırlamada bahsedilen işlemlerden geçirilmiştir. Daha sonra 520nm'de okunan değerler standart grafik (Şekil 3.13) üzerinden µg prolin/g taze yaprak olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.13. Prolin standart grafiği



Şekil 3.14. Örneklerin hazırlanması ve prolin değerlerinin spektrofotometrede okunması (Orjinal)

3.2.9. Süperoksit dismutaz aktivitesinin belirlenmesi

Süperoksit dismutaz aktivitesi, nitro blue tetrazoliumun (NBT) süperoksit radikalleri ile mavi renkli formazona fotokimyasal indirgenmesi reaksiyonunun SOD

enzimi tarafından engellenmesinin spektrofotometrik olarak belirleme esasına dayanır. Reaksiyon karışımı (3mL); 50mM KH_2PO_4 (pH: 7.8), 13mM metiyonin, 63µM NBT, 13µM riboflavin ve 0.1mM EDTA içermelidir. Aktivite ölçümü için 3mL spektrofotometre küvetine yukarıdaki riboflavin içermeyen reaksiyon karışımında 2,58ml alınmış ve üzerine 30µL enzim ekstraktı pipetlenmiştir. Reaksiyon, tüp üzerine 13µM'lık riboflavin çözeltisinden 390µL pipetlenip karıştırıldıktan hemen sonra, beyaz bir ışık kaynağı önüne yerleştirmek suretiyle başlatılmıştır. Tüp, ışık kaynağının karşısında 15 dk. tutulmuş ve reaksiyon ışık kaynağının kapatılmasıyla durdurulmuştur. 15dk. içerisinde NBT'nin renk açılma yoğunluğu 560nm'de köre karşı okunmuştur. Kör; aynı işlemin enzimsiz örneğinden oluşmuştur. SOD aktivitesinin 1 ünitesi, 560nm'de gözlenen NBT indirgenmesinin % 50 inhibisyonuna neden olan enzim miktarı olarak kabul edilmiş ve değerler EU/g yaprak olarak sunulmuştur (Agarwal ve Pandey, 2004, Yordanova ve ark., 2004).

3.2.10. Katalaz aktivitesinin belirlenmesi

Katalaz'ın (KAT) aktivite tayini için Havir ve Mchale'nin (1987) Luck'e (1965) dayandırarak uyguladığı metot kullanılmıştır. Bu metot, katalazın ortamdaki H_2O_2'nin oksijen ve suya dönüşümünü sağlarken, meydana gelen absorbans değişiminin 240nm'de izlenmesi esasına dayanır. Önce reaksiyonda azalan H_2O_2 miktarını belirlemek için standart grafik hazırlanmıştır. Standart grafik hazırlamak için, 5mM H_2O_2 çözeltisinden 3mL'lik spektrofotometre tüplerine sırasıyla; 0,15- 0,3- 0,45- 0,6- 0,75- 0,9- 1,05- 1,2- 1,35 ve 1,5ml konulmuş, tüplerin hacimleri saf su ile 1,5ml'ye tamamlanmış ve her tüpe 1,47ml 103,5mM KH_2PO_4 ve 30µl su ilave edilmiştir. Küvet spektrofotometreye yerleştirildikten sonra 240nm'de absorbans köre karşı okunmuş ve absorbans değerlerine karşılık gelen µM H_2O_2 değerleri kullanılarak standart grafik elde edilmiştir. Aktivite ölçümü için 3ml'lik spektrofotometre küvetine, 103mM KH_2PO_4 tamponundan 1,475ml ve 40mM'lık H_2O_2 substrat çözeltisinden 1,5ml konulduktan sonra, 25µl enzim ekstraktı ilave edilmiştir. Küvet spektrofotometreye yerleştirildikten sonra 240nm'de 3dk. boyunca 1 dakika aralıklarla köre karşı absorbansı okunmuştur. Ölçümlerde absorbansın doğrusal olarak azaldığı aralıktan dakika başına absorbans azalması hesaplanmıştır. Bu ortalama absorbans değerleri, standart grafik yardımıyla µmol cinsinden H_2O_2 miktarına dönüştürülmüştür. 25^oC'de, 1 dakika içinde, absorbansı 1µmol azaltan enzim miktarı 1

enzim ünitesi olarak kabul edilmiş ve sonuçlar g yaprak başına düşen enzim ünitesi (EU g^{-1} TA) olarak sunulmuştur (Gong ve ark,. 2001).

3.2.11. Peroksidaz aktivitesinin belirlenmesi

Peroksidaz (POD) aktivite tayini, guaikol ve H_2O_2'nin substrat olduğu reaksiyonun ürünü olan renkli bileşiğin meydana getirdiği absorbans artışının 470nm'de izlenmesi esasına dayanmaktadır (Angelini ve Federico, 1989). Aktivite ölçümü için spektrofotometre küvetine; 100ml 0.1M, NaH_2PO_4 (pH: 5,5) ve 5mM guaikol ve 5mM H_2O_2 içeren substrat çözeltisinden 3ml konulduktan sonra, üzerine 10µl enzim ekstraktı ilave edilmiştir. 470nm'de 5dk. boyunca absorbans artışı 1 dakika aralıklarla kaydedilmiş ve absorbansın doğrusal olarak arttığı kısımdaki absorbans artışı bir dakikaya oranlanmıştır. 25^oC'de 1 dakikada, absorbansı 0.01 artıran enzim miktarı 1 enzim ünitesi olarak kabul edilmiş ve sonuçlar g yaprak başına düşen enzim ünitesi (EU g^{-1} TA) olarak sunulmuştur (Ye ve ark., 2003).

3.2.12. Glutatiyon redüktaz aktivitesinin belirlenmesi

Glutatiyon redüktaz aktivitesi, Çakmak ve Marschner (1992)'e göre 340nm'de (E=6.2mM cm^{-1}) NADPH'nın oksidasyonu esas alınarak ölçülmüştür. Buna göre, son hacmi 1ml olacak şekilde ayarlanan reaksiyon ortamına 0.1mM EDTA içeren 50mM'lık fosfor tamponu (pH= 7.6), 0.1ml 0.5mM okside glutatiyon (GSSG), 0.1ml 0.12mM NADPH ve enzim ekstraktı ilave edilerek NADPH oksidasyonu 340nm'de okunmuştur.

3.2.13. Askorbat peroksidaz aktivitesinin belirlenmesi

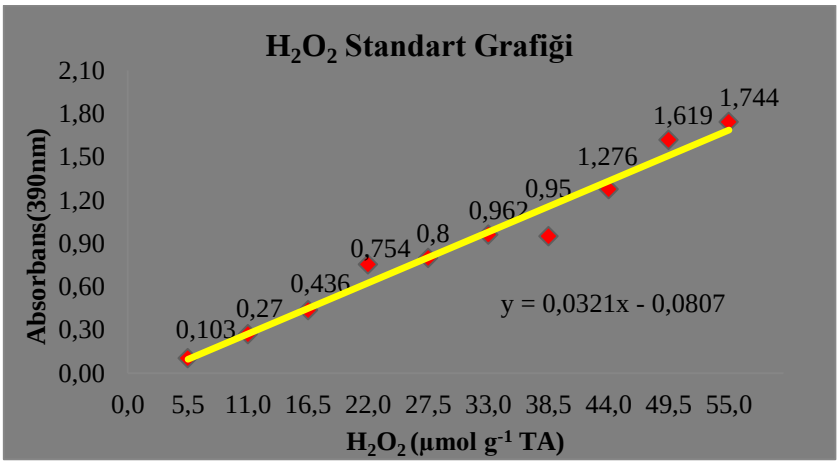
Askorbat peroksidaz aktivitesi Nakano ve Asada (1981) tarafından geliştirilen yönteme göre belirlenmiştir. Askorbat peroksidaz aktivitesinin belirlenmesinde 25mM potasyum fosfat (pH= 7.0), 0.25mM askorbik asit, 1mM H_2O_2 ve 0.1mM EDTA reaksiyon karışımı kullanılmıştır. Reaksiyonu başlatmak için küvete 100 µl olacak şekilde enzim ekstraktı ilave edilmiştir. Reaksiyon hacmi 2ml olarak belirlenmiştir. Kör olarak H_2O_2 ve askorbik asit kullanılmıştır. Reaksiyon 290nm'de 2 dakika boyunca spektrofotometrede okunmuştur.

3.2.14. Malondialdehit miktarının belirlenmesi

Yaprak dokularında lipid peroksidasyonu malondialdehit'in, başlıca bir 2-Thiobarbituric acid (TBAA) reaktif çeşidi ve lipid peroksidasyon ürününün ölçülmesiyle belirlenmiştir (Heath ve Packer, 1968). Yapraklar (0.2g) trikloroasetik asidin (%0,1'lik TCA) 3ml'sinde bekletilmiştir. Homojenat 10.000xg'de 10 dakika boyunca santrifüj edilmiş ve ml yüzeysel kalıntı parçası 4ml'lik %20 TCA ve %0.5'lik TBAA karışımına eklenmiştir. Karışım 30 dakika boyunca 95ºC sıcaklıkta ısıtılmasının ardından buzda serinletilerek 5 dakika boyunca 10.000xg'de santrifüj edilmiştir. Yüzeysel kalıntının geçirgenliği 532 ve 600nm'de ölçülmüştür.

3.2.15. Hidrojen peroksit miktarının belirlenmesi

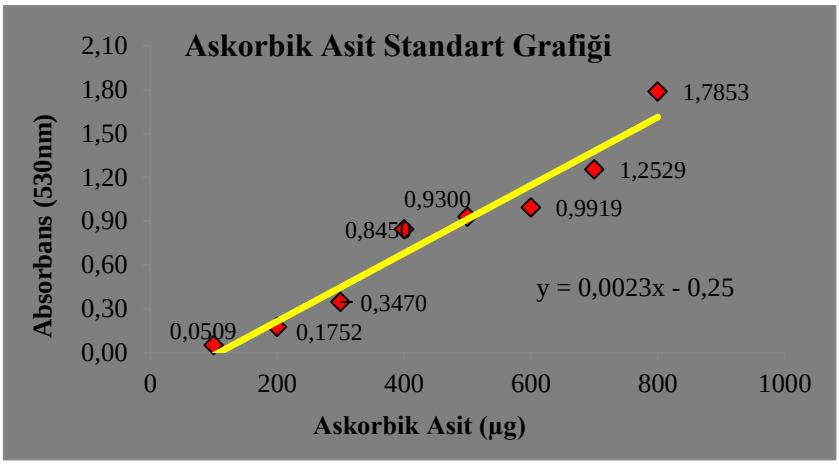
H_2O_2'nin konsantrasyonunun belirlenmesi için, yaprak dokusu (0.2g) buz banyosundaki 5ml %0.1 TCA ile bekletilmiş ve 15 dakika boyunca 12.000xg de santifüj edilmiştir (Velikova ve ark., 2000). Yüzeysel kalıntının 0.5ml'si pH'sı 7.0 olan 0.5ml fosfat tamponu ve 1ml 1M'lık KI karışımına eklenmiştir. Karışımın geçirgenliği 390nm'de okunmuştur. H_2O_2'nin konsantrasyonu standart grafikten hesaplanmıştır (Şekil 3.15). Standart konsantrasyon grafiği, mevcut protokolde bitki ekstrakı yerine hidrojen peroksitin 0- 50µmol konsantrasyonları kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 3.15. H_2O_2 standart grafiği

3.2.16. Askorbik asit miktarının belirlenmesi

0.25g yaprak örneği 10ml %6'lık trikloroasetik asit ile ekstrakte edilmiş, ekstraktın 4ml'lik kısmı 2ml %2'lik dinitrofenilhidrazin (asit ortam) ile karıştırılmış ve üzerine1 damla %10'luk thioüre (%70'lik etil alkolde çözülmüş) katılmıştır. Karışım 15dk. su banyosunda kaynatıldıktan sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve örnek üzerine, 0°C' de 5ml %80'lik H_2SO_4 ilave edilip 530nm'da absorbans belirlenmiştir. Askorbik asidin konsantrasyonu standart grafikten hesaplanmıştır (Şekil 3.16) (Mukherjee ve Choudhuri, 1983). Standart konsantrasyon grafiği, mevcut protokolde bitki ekstrakı yerine askorbik asidin 0- 1000µg konsantrasyonları kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 3.16. AsA standart grafiği

3.2.17. Bitki besin elementi miktarlarının belirlenmesi

Stres altındaki bitkilerden alınan yaprak örnekleri önce çeşme suyu, daha sonra 0.1N HCl, son olarak ta iki defa saf su ile yıkanıp fazla suları filtre kâğıdı ile kurulanıp 70ºC'de iki gün süreyle kurutulmuştur. Kurutulmuş yaprak örnekleri öğütülerek 5ml HNO_3 ve 2ml H_2O_2 karışımı ile mikrodalga sistemde (CEM-MarsXpress) yakılarak ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer) cihazında toplam makro ve mikro elementlerin tayinleri yapılmıştır (Soltanpour ve Workman 1981).

3.3. İstatistiksel Analizler

Tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuş olan çalışmada, elde edilen verilerin kıyaslanmasında %5 önem seviyesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Analizde SPSS 21.0 ve JMP 8.0 paket programı kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Sonuçları

4.1.1. Bitki boylarında (cm) meydana gelen değişimler

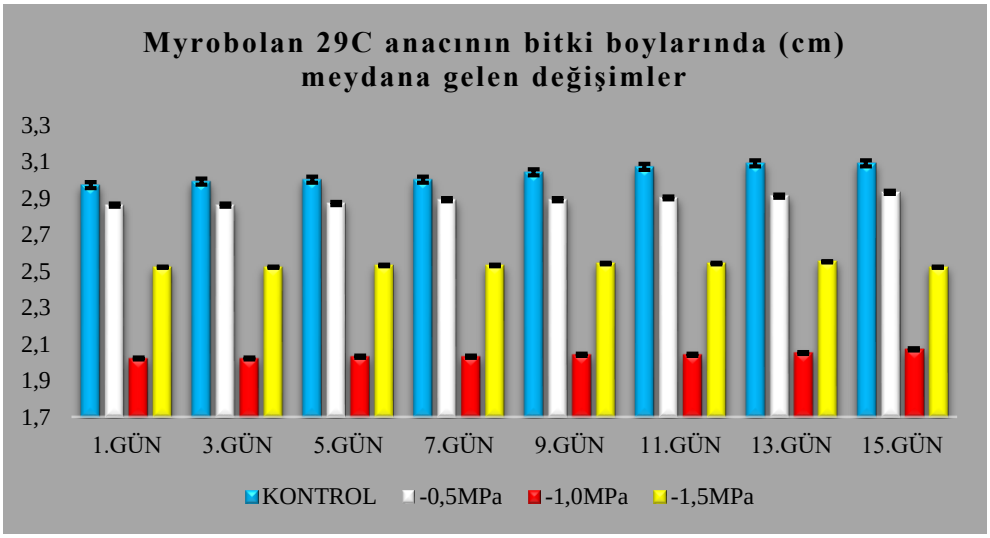
4.1.1.1. Myrobolan 29C anacının bitki boylarında (cm) meydana gelen değişimler

Bitki boyu üzerine uygulamaların etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur. Bitki boyları incelendiğinde birinci gün ile on beşinci gün arasındaki en yüksek artış kontrol grubuna ait bitkilerde olurken (% 4,04), en az artış -1,5MPa kuraklık stresinden (%1,98) elde edilmiştir (Çizelge 4.1). Kontrol grubunu, -1,0MPA (%2.47) ve -0,5MPa (%2,44) takip etmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kurak şartlardaki bitkilerin boyları, kontrol grubuna göre yaklaşık %50 daha az gelişim gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Myrobolan 29C anacına ait bitkilerin boylarında (cm) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	2,97 a	2,99 a	3,00 a	3,00 a	3,04 a	3,07 a	3,09 a	3,09 a
-0,5MPa	2,86 a	2,86 a	2,87 a	2,89 a	2,89 b	2,90 a	2,91 a	2,93 a
-1,0MPa	2,02 c	2,02 c	2,03 c	2,03 c	2,04 c	2,04 c	2,05 c	2,07 c
-1,5MPa	2,52 b	2,52 b	2,53 b	2,53 b	2,54 b	2,54 b	2,55 b	2,57 b
AÖF	0,40**	0,30***	0,82*	0,40**	0,33***	0,36***	0,39***	0,37***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.1. Myrobolan 29C anacına ait bitkilerin boylarında (cm) meydana gelen değişimler

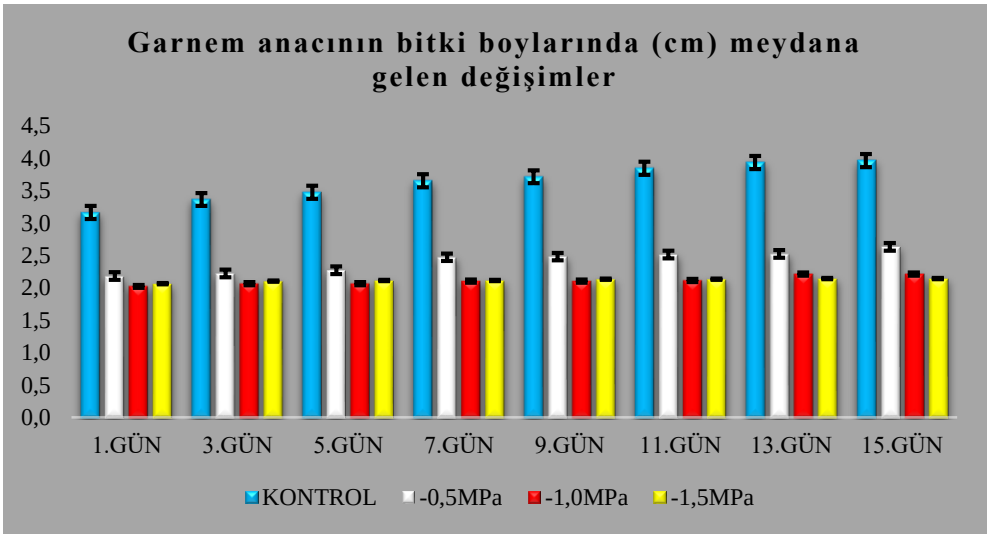
4.1.1.2. Garnem anacının bitki boylarında (cm) meydana gelen değişimler

Garnem anacında da uygulamaların bitki boyu üzerine etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur. Bitki boyları incelendiğinde, birinci gün ile on beşinci gün arasındaki en yüksek artış kontrol grubuna ait bitkilerde olurken (% 25,31), en az artış -1,5MPa kuraklık stresinden (%3,88) elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Bunu %9,40 ile -1,0MPa uygulaması ve %20,6 ile -0,5MPa uygulaması takip etmiştir. Bitki boyundaki gelişme ile kuraklık şiddeti arasında zıt bir ilişki elde edilmiş olup, kuraklık şiddeti arttığında bitki boyunda gelişme azalmıştır.

Çizelge 4.2. Garnem anacının bitki boyunlarında (cm) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	3,16 a	3,36 a	3,47 a	3,65 a	3,71 a	3,84 a	3,93 a	3,96 a
-0,5MPa	2,18 b	2,22 b	2,27 b	2,47 b	2,48 b	2,51 b	2,52 b	2,63 b
-1,0MPa	2,02 b	2,06 b	2,06 b	2,10 b	2,10 b	2,11 b	2,21 b	2,21 b
-1,5MPa	2,06 b	2,10 b	2,11 b	2,11 b	2,13 b	2,13 b	2,14 b	2,14 b
AÖF	0,786**	0,596***	0,661***	0,724***	0,740***	0,782***	0,830***	0,800***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.2. Garnem anacına ait bitkilerin boylarında (cm) meydana gelen değişimler

4.1.2. Bitki nispi ağırlığında (%) meydana gelen değişimler

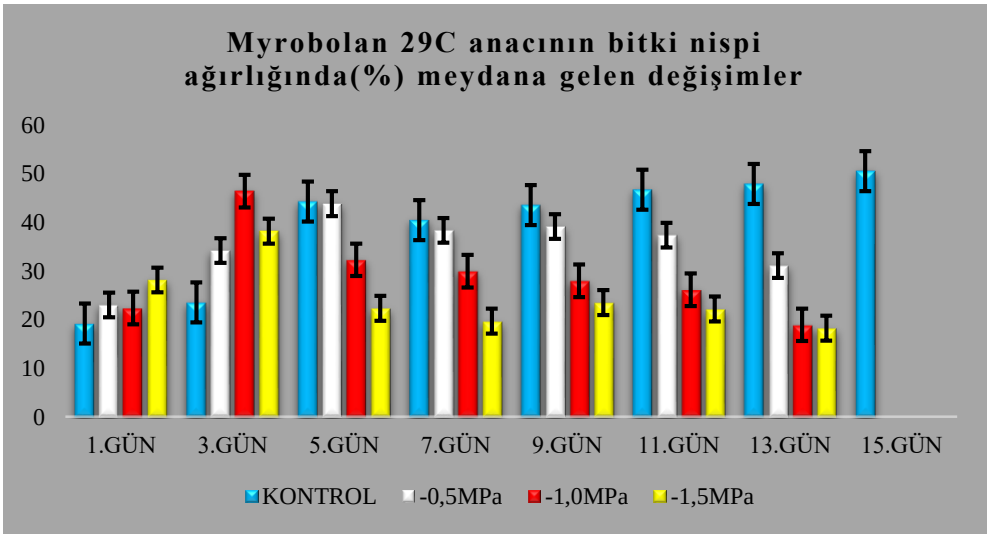
4.1.2.1. Myrobolan 29C anacının bitki nispi ağırlığında (%) meydana gelen değişimler

Myrobolan 29C anacında kuraklık uygulamalarında kontrol grubu dışındaki tüm bitkiler 13.gün sonrasın ölmüştür. Bu bağlamda yaprak ile ilgili morfolojik ve biyokimyasal ölçümlerin yapılması düşünülen 15.günde bu ölçümler gerçekleştirilememiştir. Uygulamaların bitki nisbi ağırlığı üzerine etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur. Bitki nispiağırlığında meydana gelen en yüksek artış kontrol grubunda (% 149,84), en az artış ise -0,5MPa (%35,10)'da olmuştur. (Çizelge 4.3). -1,0MPa kuraklık uygulamasında bitkilerde 5.günden sonra nispi ağırlıkta azalmalar başlarken, -1,5MPa kuraklık uygulamasında bu ölçümler dalgalı bir seyir izlemiş, fakat ölçüm yapılan her gün için, birinci ve üçüncü gün hariç diğer tüm günlerde en düşük değere sahip olmuştur.

Çizelge 4.3. Myrobolan 29C anacının bitki nispi ağırlığında (%) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	19,16 c	23,52 d	44,25 a	40,40 a	43,53 a	46,67 a	47,87 a	50,47 a
-0,5MPa	22,99 b	34,17 c	43,80 a	38,31 b	39,08 b	37,35 b	31,06 b	-
-1,0MPa	22,36 b	46,37 a	32,27 b	29,93 c	27,96 c	26,11 c	18,91 c	-
-1,5MPa	28,11 a	38,13 b	22,29 c	19,64 d	23,47 d	22,14 d	18,22 c	-
AÖF	2,12***	2,02***	2,33***	2,15***	2,32***	1,67***	1,67***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.3. Myrobolan 29C anacının bitki nispi ağırlığında (%) meydana gelen değişimler

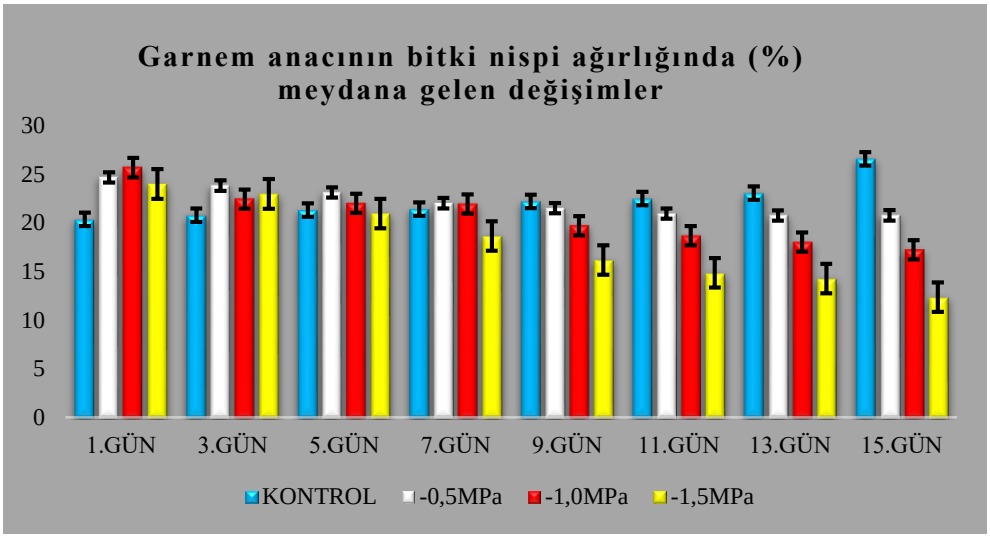
4.1.2.2. Garnem anacının bitki nispi ağırlığında (%) meydana gelen değişimler

Uygulamaların Garnem anacında bitki nispi ağırlığı üzerine etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur. Deneme süresince bitki nispi ağırlığında meydana gelen en yüksek artış % 30,64 ile kontrol grubuna ait bitkilerde olurken, tüm kuraklık uygulamalarında bitki nispi ağırlığı artışında azalmalar meydana gelmiştir Bu bakımdan veriler ele alındığında en fazla bitki nispi ağırlığında azalma %48,45 ile -1,5MPa uygulamasından elde edilirken, bunu %32,85 ile -1,0MPa ve % 15,81 ile -0,5MPa kuraklık stresi takip etmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Garnem anacının bitki nispi ağırlığında (%) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	20,33 b	20,76 b	21,30 b	21,41 a	22,19 a	22,47 a	23,04 a	26,56 a
-0,5MPa	24,66 a	23,82 a	23,10 a	22,01 a	21,49 a	20,93 a	20,74 b	20,76 b
-1,0MPa	25,66 a	22,42 a	21,98 ab	21,92 a	19,69 b	18,66 b	18,00 c	17,23 c
-1,5MPa	23,98 a	22,96 a	20,94 b	18,62 b	16,18 c	14,85 c	14,27 d	12,36 d
AÖF	1,266***	1,675**	2,033*	2,087**	1,926***	2,031***	1,947***	2,069***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.4. Garnem anacının bitki nispi ağırlığında (%) meydana gelen değişimler

4.1.3. Yaprak alanlarında (cm^2) meydana gelen değişimler

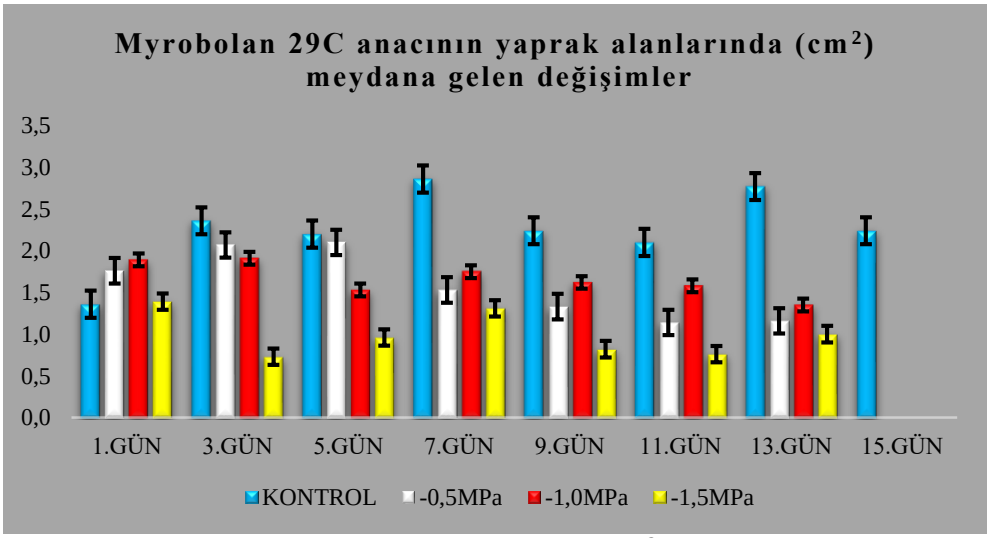
4.1.3.1. Myrobolan 29C anacının yaprak alanlarında (cm^2) meydana gelen değişimler

Myrobolan 29C anacına ait bitkilerden alınan yaprak örneklerinde yapılan alan ölçümlerine göre en fazla yaprak alanı kontrol grubu bitkilerinde belirlenmiştir. En düşük yaprak alanı ise -1,5MPa uygulamasında bulunmuş, bunu -0,5MPa ve -1,0MPa uygulamaları takip etmiştir (Çizelge 4.5). Çalışma süresince yapılan yaprak alanı ölçümlerindeki dalgalanmalar nedeniyle yaprak alanı üzerine kuraklık şiddetinin etkisi örneklerin alındıkları gün itibari ile yorumlanabilmiştir.

Çizelge 4.5. Myrobolan 29C anacının yaprak alanlarında (cm^2) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	1,36	2,36 a	2,20 a	2,86 a	2,24 a	2,10 a	2,77 a	2,24
-0,5MPa	1,76	2,07 a	2,10 ab	1,53 b	1,33 bc	1,14 bc	1,16 b	-
-1,0MPa	1,89	1,91 a	1,53 bc	1,75 b	1,62 b	1,58 b	1,35 b	-
-1,5MPa	1,39	0,73 b	0,96 c	1,31b	0,82 c	0,76 c	1,00 b	-
AÖF	Ö.D	1,36**	0,85**	1,07**	0,80**	0,71***	1,01**	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.5. Myrobolan 29C anacının yaprak alanlarında (cm^2) meydana gelen değişimlerin

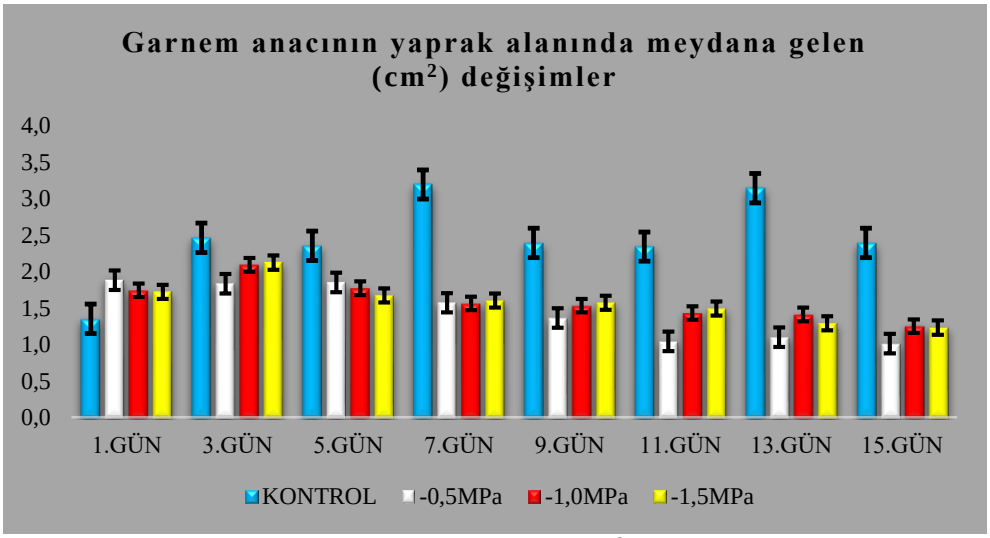
4.1.3.2. Garnem anacının yaprak alanlarında (cm^2) meydana gelen değişimler

Yaprak alanlarının ölçümünde, denemenin ilk 7 gününde yapılan analizler sonucunda istatistiki olarak önemli bulunmasa da devam eden günlerde uygulamaların istatistiki olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Bu durum denemeye alınan bitkilerden alınan yaprak örneklerindeki homojenliğin sağlanamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu zamandan itibaren ise en yüksek yaprak alanı kontrol grubuna ait bitkilerde (2,39 cm^2) bulunmuştur. Çalışmanın 15.gününde en düşük alana -1,5MPa uygulaması (1,01cm^2) sahip olurken, bunu sırasıyla -0,5MPa (1,23cm^2) ve -1,0MPa (1,25cm^2) uygulamaları takip etmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Garnem anacının yaprak alanlarında (cm^2) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	1,35	2,46	2,35	3,19 a	2,39 a	2,34 a	3,14 a	2,39 a
-0,5MPa	1,88	1,83	1,85	1,60 b	1,53 b	1,49 b	1,41 b	1,25 b
-1,0MPa	1,74	2,09	1,77	1,57 b	1,57 b	1,43 b	1,29 b	1,23 b
-1,5MPa	1,72	2,12	1,67	1,56 b	1,36 b	1,04 c	1,10 b	1,01 b
AÖF	Ö.D	Ö.D	Ö.D	1,064**	0,702**	0,500***	0,741***	0,728***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.6. Garnem anacının yaprak alanlarında (cm^2) meydana gelen değişimler

4.1.4. Membran geçirgenliğinde (%) meydana gelen değişimler

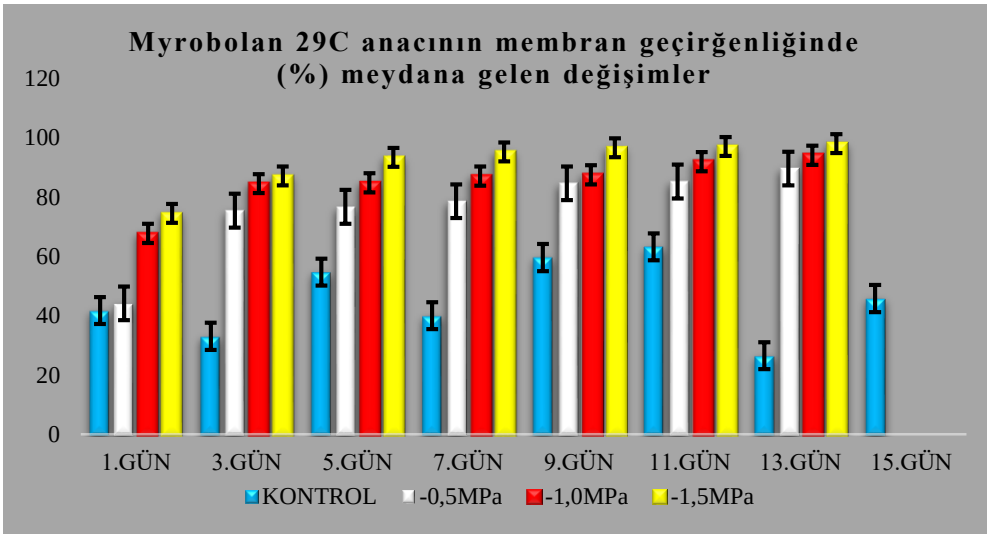
4.1.4.1. Myrobolan 29C anacının membran geçirgenliğinde (%) meydana gelen değişimler

Deneme süresince alınan yaprak örneklerinde yapılan membran geçirgenliğine ait ölçümler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu ölçümlere göre kontrol grubu bitkilerinde değerler dalgalı bir seyir izlemiş olsada stres durumu söz konusu olmamıştır. Ancak stres uygulamalarında ise periyodik olarak alınan yaprak örneklerindeki membran geçirgenliğinin giderek artış gösterdiği belirlenmiştir. Stres uygulamalarında kuraklık şiddetinin seviyesi arttıkça membran zararlanmalarının arttığı membran geçirgenliği yüzdelerinin artışı ile görülmektedir. Elde edilen verilere göre 13. günün sonunda en yüksek membran geçirgenliği %97,92 ile -1,5MPa kuraklık uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. Myrobolan 29C anacının membran geçirgenliğinde (%) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	41,67 d	33,01 d	54,65 d	39,95 d	59,55 d	63,16 d	26,50 d	45,75
-0,5MPa	44,12 c	75,37 c	76,63 c	78,55 c	84,60 c	85,17 c	89,55 c	-
-1,0MPa	67,69 b	84,48 b	84,71 b	86,98 b	87,40 b	91,91 b	94,06 b	-
-1,5MPa	74,43 a	87,07 a	93,28 a	95,12 a	96,58 a	96,96 a	97,92 a	-
AÖF	0,79***	0,36***	0,61***	0,76***	0,79***	0,46***	0,38***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.7. Myrobolan 29C anacının membran geçirgenliğinde (%) meydana gelen değişimler

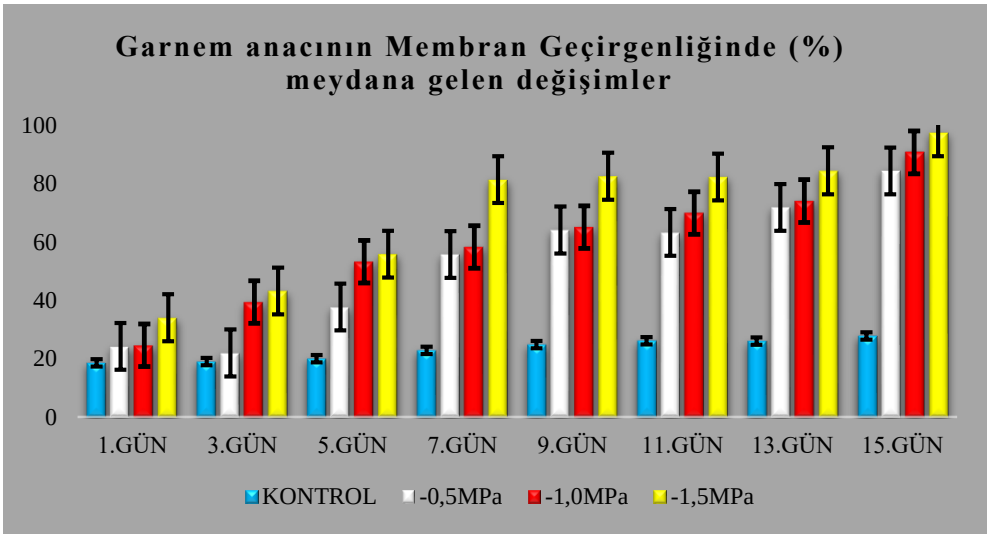
4.1.4.2. Garnem anacının membran geçirgenliğinde (%) meydana gelen değişimler

Garnem anacında yapılan membran geçirgenliği ölçümlerinde kontrol grubunda azda olsa bir artış sözkonusudur. Ancak bu artış bitkileri kuraklık stresine sokmamıştır. Mevcut kuraklık uygulamalarından elde edilen veriler, kontrol grubundan elde edilenin yaklaşık 3- 3,5 katı değerindedir. Elde edilen verilere göre 15.günün sonunda en yüksek membran geçirgenliği, %97,43 ile -1,5MPa kuraklık uygulamasından elde edilmiştir. Bunu %90,67 ile -1,0MPa ve %84,31 ile -0,5MPa kuraklık uygulamaları takip etmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Garnem anacının membran geçirgenliğinde (%) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	18,58 c	19,02 d	20,04 d	22,86 d	24,87 d	26,10 d	26,08 d	27,74 d
-0,5MPa	24,20 b	21,96 c	37,68 c	55,70 c	64,07 c	63,21 c	71,85 c	84,31 c
-1,0MPa	24,60 b	39,36 b	53,21 b	58,28 b	65,03 b	69,88 b	74,00 b	90,67 b
-1,5MPa	34,04 a	43,21 a	55,80 a	81,32 a	82,51 a	82,23 a	84,36 a	97,43 a
AÖF	0,889***	1,254***	0,811***	0,745***	0,417***	1,406***	1,447***	0,747***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.8. Garnem anacının membran geçirgenliğinde (%) meydana gelen değişimler

4.1.5. Yaprak Oransal Su İçeriğinde (%) meydana gelen değişimler

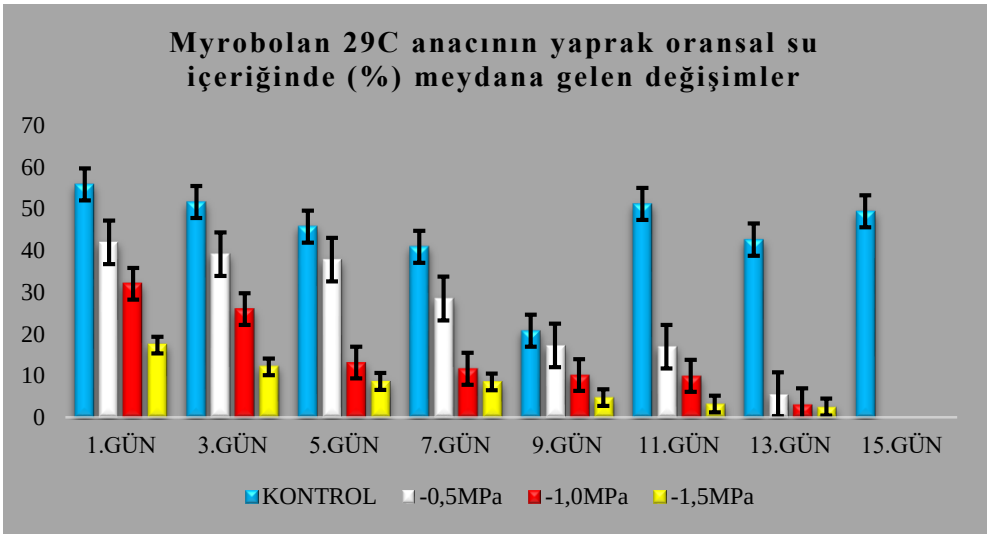
4.1.5.1. Myrobolan 29C anacının yaprak oransal su içeriğinde (YOSİ) (%) meydana gelen değişimler

Yaprak oransal su içeriği ölçümleri neticesinde uygulamaların istatistiki açıdan önemli olduğu bulunmuş, en yüksek su içeriği kontrol grubu bitkilerinde (% 42,58), en düşük su içeriği ise 13.günün sonunda -1,5MPa uygulamasında bulunmuştur (% 2,44). -1,5MPa uygulamasını sırasıyla -1,0MPa (%3,07) ve -0,5MPa (5,51) takip etmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Myrobolan 29C anacının yaprak oransal su içeriğinde (%) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	55,81 a	51,58 a	45,70 a	40,88 a	20,76 a	51,14 a	42,58 a	49,37
-0,5MPa	41,92 b	39,07 b	37,75 b	28,46 b	17,21 b	16,92 b	5,51 b	-
-1,0MPa	32,00 c	25,93 c	13,11 c	11,64 c	10,11 c	9,90 c	3,07 c	-
-1,5MPa	17,30 d	12,09 d	8,58 d	8,47 d	4,71 d	3,17 d	2,44 c	-
AÖF	1,63***	1,89***	1,84***	1,60***	1,87***	1,57***	1,40***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.9. Myrobolan 29C anacının yaprak oransal su içeriğinde (%) meydana gelen değişimler

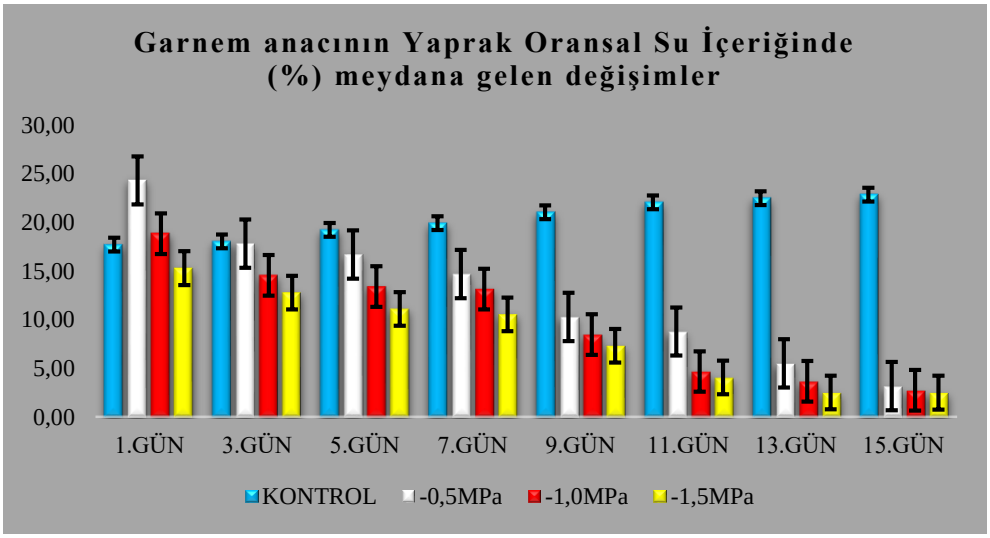
4.1.5.2. Garnem anacının yaprak oransal su içeriğinde (YOSİ) (%) meydana gelen değişimler

Yaprak oransal su içeriği ölçümlerinde uygulamaların istatistiki açıdan önemli olduğu bulunmuş, 15.günde en yüksek su içeriği kontrol grubunda (%22,82), en düşük ise 1,5MPa uygulamasında belirlenmiştir. -1,5MPa uygulamasını sırasıyla -1,0MPa (%2,73) ve -0,5MPa (3,14) takip etmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Garnem anacının yaprak oransal su içeriğinde (%) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	17,68 c	18,01 a	19,20 a	19,89 a	21,01 a	22,02 a	22,46 a	22,82 a
-0,5MPa	24,29 a	17,80 a	16,66 b	14,66 b	10,25 b	8,76 b	5,49 b	3,14 b
-1,0MPa	18,81 b	14,54 c	13,37 c	13,12 c	8,45 c	4,65 c	3,64 c	2,73 b
-1,5MPa	15,27 d	12,75 c	11,08 d	10,51 d	7,29 d	4,03 c	2,49 d	2,48 b
AÖF	0,980***	1,095***	0,665***	0,834***	1,000***	1,216***	1,290***	1,164***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.10. Garnem anacının yaprak oransal su içeriğinde (%) meydana gelen değişimler

4.1.6. Klorofil miktarında meydana gelen değişimler

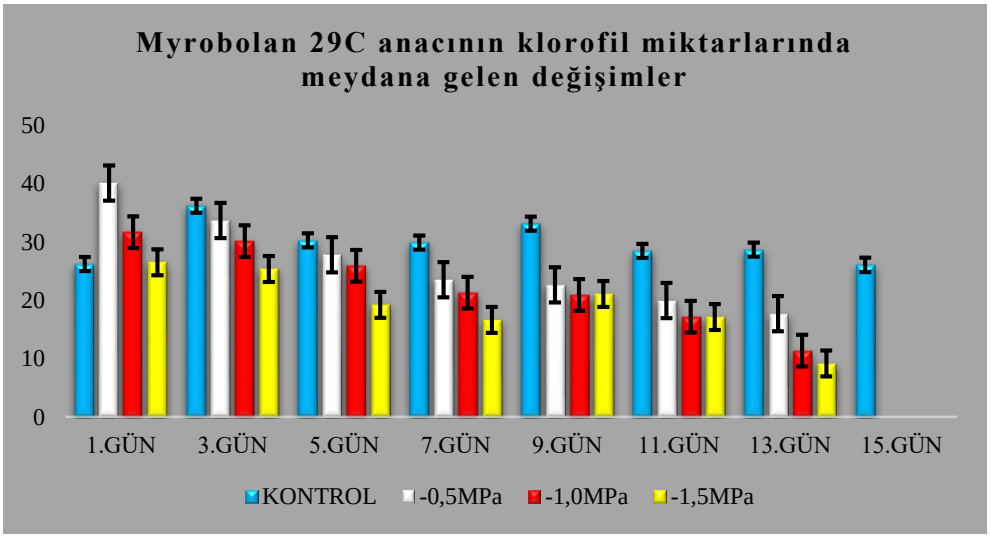
4.1.6.1. Myrobolan 29C anacının klorofil miktarında meydana gelen değişimler

Myrobolan 29C yapraklarında yapılan klorofil ölçümleri incelendiğinde, kontrol grubu hariç diğer tüm kuraklık stresi uygulamalarında günden güne azalma meydana geldiği görülmektedir. Kontrol grubunda 15 gün boyunca bitkilerdeki klorofil miktarında azalma olmazken, en fazla klorofil kaybı %65,32 ile -1,5MPa uygulamasında meydana gelmiş, bunu %64,05 ile -1,0MPa ve %55,86 ile -0,5MPa takip etmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Myrobolan 29C anacının klorofil miktarında meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	26,18 d	36,15 a	30,23 a	29,88 a	33,12 a	28,46 a	28,66 a	26,06
-0,5MPa	40,08 a	33,63 a	27,79 b	23,53 b	22,63 b	19,94 b	17,69 b	-
-1,0MPa	31,66 b	30,12 ab	25,89 c	21,29 c	20,89 c	17,18 c	11,38 c	-
-1,5MPa	26,50 d	25,36 b	19,19 d	16,61 d	21,06 c	17,14 c	9,19 d	-
AÖF	1,57***	10,72*	1,37***	1,67***	1,45***	1,46***	1,63***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.11. Myrobolan 29C anacının klorofil miktarında meydana gelen değişimler

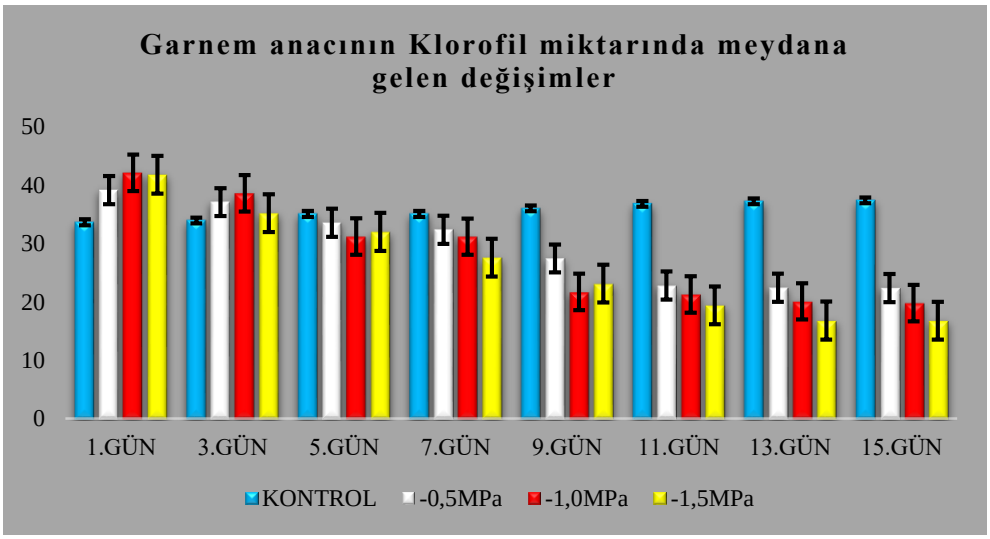
4.1.6.2. Garnem anacının klorofil miktarında meydana gelen değişimler

Garnem anacı yapraklarında yapılan klorofil ölçümlerine göre kontrol grubu hariç diğer tüm kuraklık stresi uygulamalarında günden güne azalma meydana gelmiştir. Kontrol uygulamalarında 15 gün boyunca bitkilerdeki klorofil miktarında azalmalar olmazken, en fazla klorofil kaybı %59,82 ile -1,5MPa uygulamasında olmuş, bunu %52,97 ile -1,0MPa ve %42,82 ile -0,5MPa takip etmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Garnem anacının klorofil miktarında meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	33,63 c	33,94 d	35,06 a	35,06 a	36,01 a	36,79 a	37,21 a	37,38 a
-0,5MPa	39,14 b	37,08 b	33,54 b	32,36 b	27,43 b	22,79 b	22,43 b	22,38 b
-1,0MPa	42,08 a	38,58 a	31,98 c	31,16 b	21,69 d	21,28 c	20,09 c	19,79 c
-1,5MPa	41,77 a	35,19 c	31,18 c	27,58 c	23,13 c	19,41 d	16,79 d	16,78 d
AÖF	1,559***	1,575***	1,598***	1,910***	1,610***	1,607***	1,675***	1,675***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.12. Garnem anacının klorofil miktarında meydana gelen değişimler

4.1.7. Protein miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

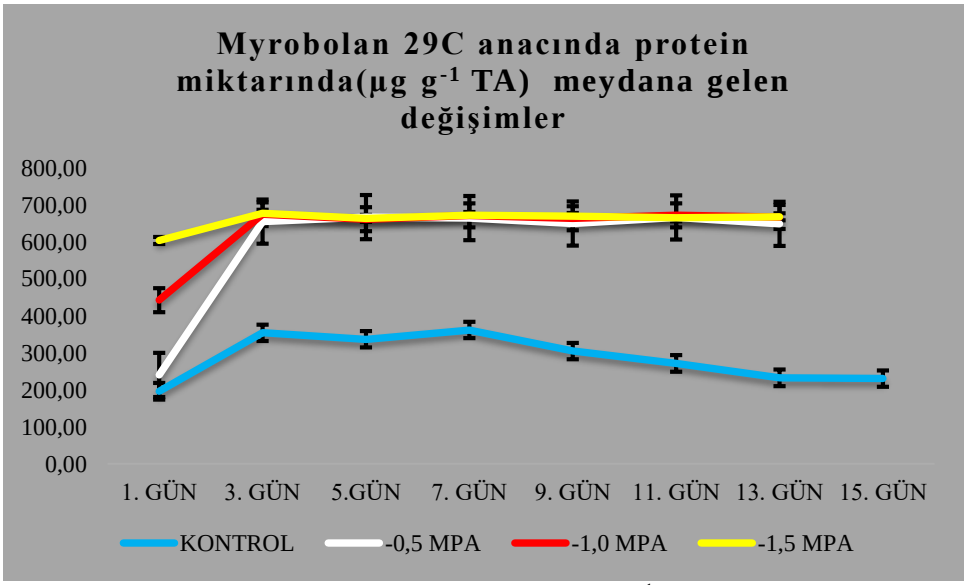
4.1.7.1. Myrobolan 29C anacında protein miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Myrobolan 29C anacında yapılan protein analizlerinde tüm kuraklık uygulamalarında 3.güne kadar bir artış söz konusu olurken, bu zamandan itibaren deneme sonlanıncaya kadar dalgalı bir seyir görülmüştür. Protein miktarı kontrol grubu bitkilerinde 7.günde en yüksek değere (361,53µg g^{-1} TA) ulaşırken, -1,5MPa (676,75µg g^{-1} TA) ile -1,0MPa (674,58µg g^{-1} TA) 3.günde ve -0,5MPa (666,73µg g^{-1} TA)'da 5.günde en yüksek protein değerine ulaşmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Myrobolan 29C anacında protein miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1. gün	**3. gün**	**5.gün**	**7. gün**	**9. gün**	**11. gün**	**13. gün**	**15. gün**
KONTROL	195,80 c	354,14 b	336,26 b	361,53 b	304,70 b	271,31 b	232,15 b	230,12
-0,5 MPa	240,30 c	654,25 a	666,73 a	663,78 a	649,52 a	665,67 a	648,30 a	-
-1,0 MPa	442,23 b	674,58 a	661,07 a	671,26 a	663,58 a	671,49 a	666,85 a	-
-1,5 MPa	603,82 a	676,75 a	663,01 a	671,47 a	668,87 a	665,06 a	667,73 a	-
AÖF	88,40***	70,82***	79,87***	47,74***	104,29***	52,75***	43,13***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.13. Myrobolan 29C anacında protein miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

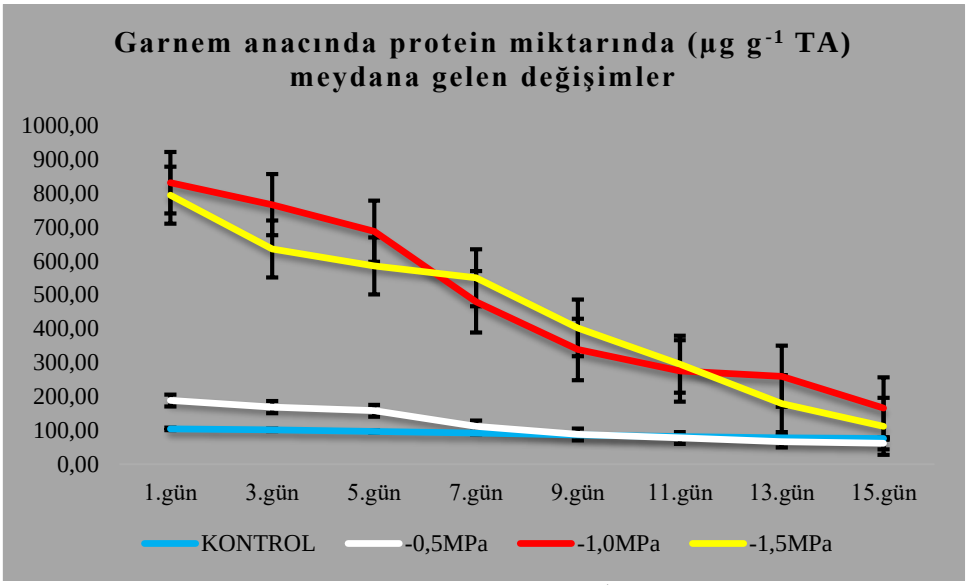
4.1.7.2. Garnem anacında protein miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Garnem anacında yapılan protein analizlerinde tüm uygulamalarda ilerleyen kuraklık döneminde protein miktarında azalışlar görülmüştür. -1,0MPa ve -1,5MPa uygulamalarındaki azalış diğer uygulamalara nazaran daha fazla olmuştur. En yüksek protein miktarı; -1,0 MPa uygulamasından (830,55µg g^{-1} TA) elde edilirken, bunu 793,57µg g^{-1} TA ile-1,5 MPa takip etmiştir. Kontrol (104,20µg g^{-1} TA) ve -0,5MPa uygulamasında (187,85µg g^{-1} TA) ise protein miktarları diğer uygulamalara göre daha düşük miktarda olmuştur (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Garnem anacında protein miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	104,20 b	100,87 b	96,47d	92,19d	86,15 c	81,19 c	77,19 c	75,52c
-0,5MPa	187,85 b	168,42b	157,75 c	111,31 c	87,79 c	77,22 c	66,47 c	61,33 c
-1,0MPa	830,55 a	765,52 a	687,16 a	479,08 b	338,42 b	275,08 b	259,23 a	165,52 a
-1,5MPa	793,57 a	634,89 a	584,64 b	549,86 a	402,08 a	295,08 a	178,42 b	111,31 b
AÖF	140,31***	193,48***	61,31***	14,96***	14,60***	10,71***	26,31***	25,14***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.14. Garnem anacında protein miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

4.1.8. Prolin miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

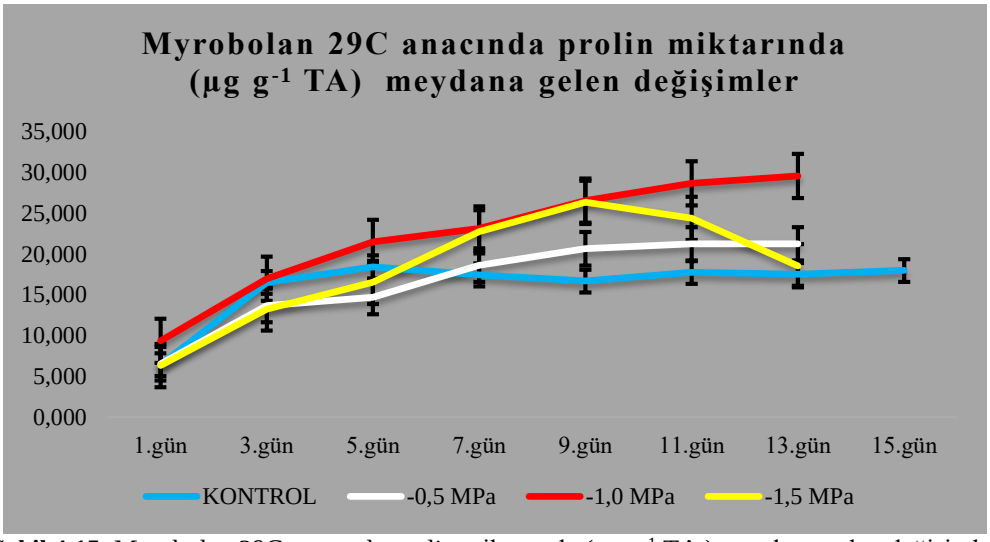
4.1.8.1. Myrobolan 29C anacında prolin miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde yapılan analizler sonucunda uygulamaların prolin miktarı üzerine etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur. Elde edilen veriler incelendiğinde kontrol grubu bitkilerde 5.güne kadar prolin miktarında bir artış görülürken, devam eden günlerde ise hemen hemen doğrusal bir seyir izlemiştir. Kuraklık uygulamalarına baktığımızda ise -0,5MPa ve -1,0MPa uygulamalarında prolin miktarında 13.gün sonuna kadar bir artışın olduğu belirlenirken, -1,5MPa uygulamasında ise 9.günden sonra prolin miktarında azalmanın olduğu görülmektedir. En yüksek prolin miktarı; 13.günde -1,0MPa uygulamasından (29,52µg g^{-1} TA) elde edilmiştir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Myrobolan 29C anacında prolin miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	6,41 b	16,48 a	18,40 b	17,42 b	16,66 c	17,72 d	17,48 d	17,95
-0,5 MPa	6,53 b	13,61 b	14,66 d	18,61 b	20,61 b	21,22 c	21,25 b	-
-1,0 MPa	9,34 a	16,93 a	21,44 a	23,08 a	26,52 a	28,62 a	29,52 a	-
-1,5 MPa	6,31 b	13,22 b	16,50 c	22,70 a	26,30 a	24,33 b	18,53 c	-
AÖF	0,75***	2,89**	0,98***	1,73***	1,91***	1,26***	1,25***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.15. Myrobolan 29C anacında prolin miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

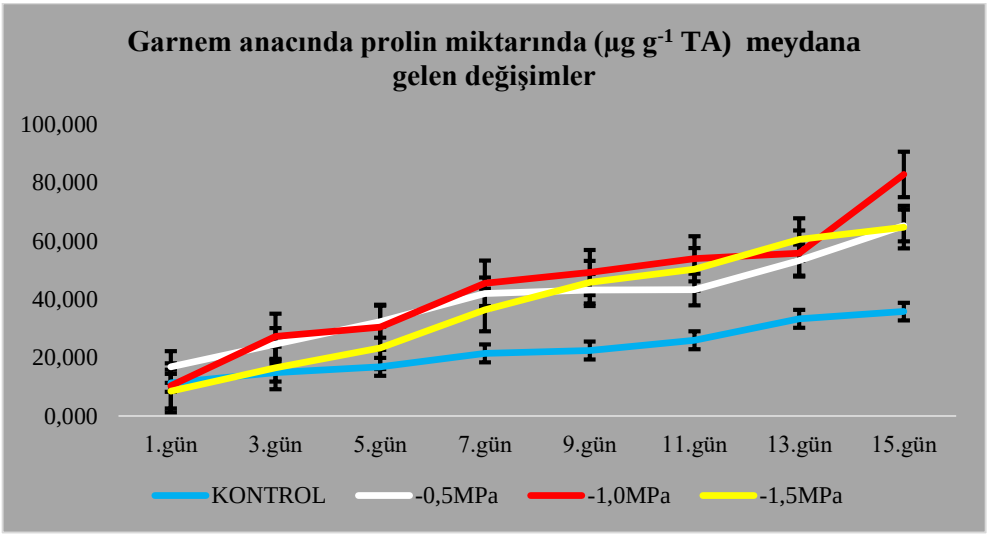
4.1.8.2. Garnem anacında prolin miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Garnem anacında yapılan analizler sonucunda, uygulamaların prolin miktarı üzerine etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur. Elde edilen veriler incelendiğinde; tüm uygulamalarda prolin miktarında artışın meydana geldiği görülmektedir. En yüksek prolin miktarı, 15.günde -1,0MPa (82,78µg g^{-1} TA) uygulamasından elde edilirken, bunu -0,5MPa (65,27µg g^{-1} TA) ve -1,5MPa (64,70µg g^{-1} TA) takip etmiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Garnem anacında prolin miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	11,41 b	14,90 d	16,90 c	21,50 c	22,50d	25,96 c	33,34 c	35,81c
-0,5MPa	16,83 a	24,70 b	32,37 a	42,03 a	43,16 c	43,34 b	53,30 b	65,27 b
-1,0MPa	10,38 bc	27,33 a	30,45 a	45,50 a	49,21 a	53,90 a	55,83 b	82,78 a
-1,5MPa	8,58 c	16,50 c	23,36 b	36,38 b	45,86 b	50,27 a	60,52 a	64,70 b
AÖF	3,78**	1,96***	3,10***	5,46***	3,28***	5,45***	5,11***	4,30***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.16. Garnem anacında prolin miktarında (µg g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

4.1.9. Hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

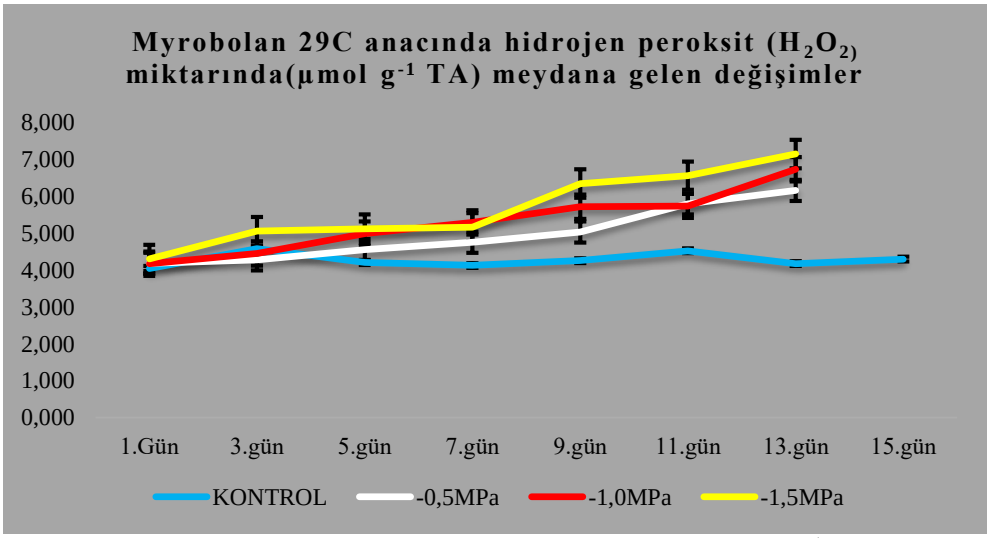
4.1.9.1. Myrobolan 29C anacında hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Myrobolan 29C yapraklarında yapılan H_2O_2 analizleri sonucunda uygulamaların H_2O_2 miktarı üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir. Tüm kuraklık uygulamaları incelendiğinde, H_2O_2 miktarında artışın olduğu gözlemlenirken, en fazla artış %66,27 ile -1,5MPa'dan elde edilirken, bunu %61,39 ile -1,0MPa ve %47,36 ile -0,5MPa takip etmiştir. Kontrol grubu bitkilerin ise hidrojen peroksit aktivitesinde devamlı bir artışın söz konusu olmadığı, enzim miktarının günden güne farklılık gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Myrobolan 29C anacında hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	4,04 b	4,58b	4,21 b	4,12 c	4,26 d	4,52 c	4,17 c	4,30
-0.5MPa	4,18 ab	4,28 b	4,55 b	4,75 b	5,03 c	5,79 b	6,16 b	-
-1.0MPa	4,17 ab	4,45 b	4,99 a	5,29 a	5,72 b	5,74 b	6,73 a	-
-1.5MPa	4,30 a	5,05 a	5,12 a	5,16 a	6,34 a	6,56 a	7,15 a	-
AÖF	0,28*	0,50**	0,61**	0,47***	0,60***	0,45***	0,77***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



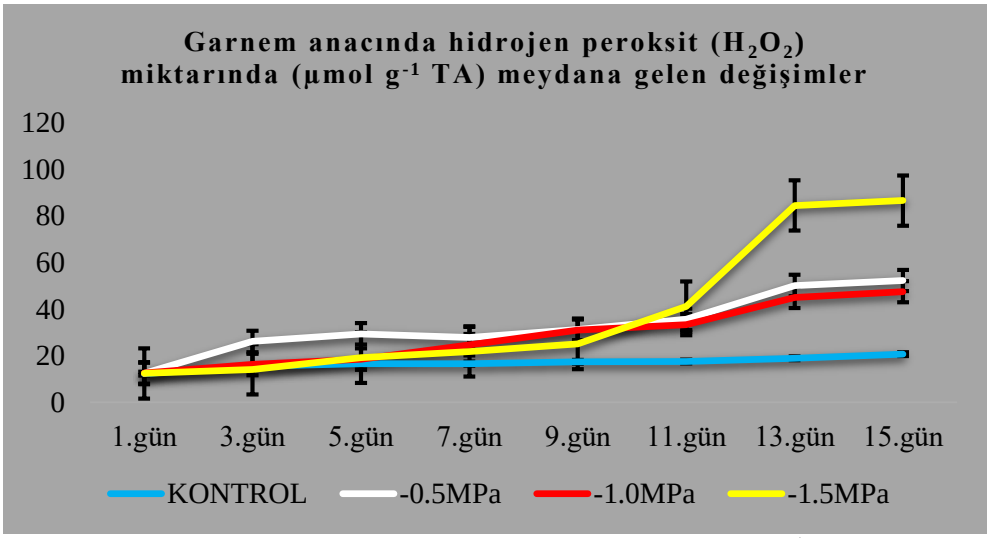
Şekil 4.17. Myrobolan 29C anacında hidrojen peroksit (H_2O_2) iktarında (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

4.1.9.2. Garnem anacında hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Garnem anacında yapılan H_2O_2 analizleri sonucunda, uygulamaların H_2O_2 miktarı üzerine etkilerinin istatistiki bakımdan önemli olduğu tespit edilmiştir. Tüm kuraklık uygulamaları incelendiğinde, H_2O_2 miktarında artışın olduğu gözlemlenirken, en fazla H_2O_2 miktarı 86,52µmol g^{-1} TA ile -1,5MPa uygulamasından elde edilmiştir. Bu uygulamayı sırasıyla -0,5MPa (52,26µmol g^{-1} TA) ve -1,0MPa uygulaması (47,47µmol g^{-1} TA) takip etmiştir. Kontrol grubu bitkilerde ise 20,69µmol g^{-1} TA H_2O_2 elde edilmiştir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Garnem anacında hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	12,32	15,47 b	16,57 b	16,60 d	17,41 c	17,54 c	18,89 c	20,69 d
-0.5MPa	12,43	26,13 a	29,40 a	27,77 a	31,26 a	35,61 b	50,09 b	52,26 b
-1.0MPa	12,65	16,23 b	18,54 b	24,71 b	30,99 a	33,31 b	44,98 b	47,47 c
-1.5MPa	12,41	14,16 c	19,18 b	21,83 c	25,04 b	41,08 a	84,45 a	86,52 a
AÖF	Ö.D	1,16***	9,87*	3,60***	6,35**	7,10***	11,86***	2,22***



Çizelge 4.18. Garnem anacında hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

4.1.10. Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

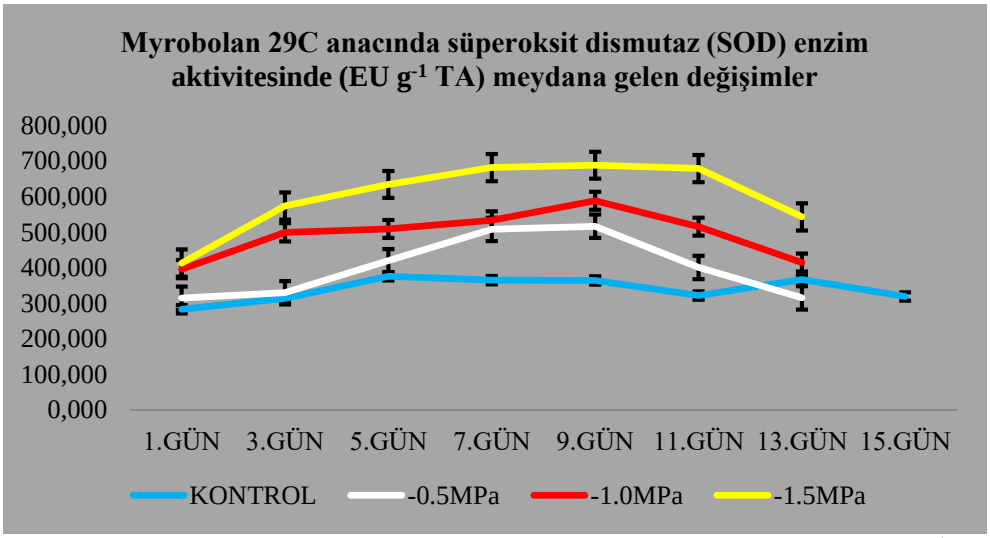
4.1.10.1. Myrobolan 29C anacında süperoksit dismutaz (SOD)enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Süperoksit dismutaz enzim aktivitesinin belirlenmesi için yapılan analizler sonucunda kuraklık uygulamalarının 9.güne kadar enzim aktivitesini arttırdığı ancak devam eden süreçte aktiviteyi azalttığı belirlenmiştir. Kuraklık uygulamalarının verileri incelendiğinde en yüksek enzim aktivitesi (688,29EU g^{-1} TA) -1,5MPa uygulamasından elde edilirken, bunu 588,51EU g^{-1} TA ile -1,0MPa ve 516,62EU g^{-1} TA ile -0,5MPa uygulamaları takip etmiştir. Çizelge incelendiğinde, tüm kuraklık uygulamalarının enzim aktivitelerinde artışa neden olduğu görülmektedir. En yüksek artış %31,42 ile -1,5MPa uygulamasında gerçekleşirken bunu %4,67 ile -1,0MPa ve %0,2 ile -0,5MPa takip etmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Myrobolan 29C anacında süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	3.gün	5.gün	7.gün	9.gün	11.gün	13.gün	15.gün
KONTROL	283,48 b	313,93 c	375,65 c	364,79 c	364,17 b	322,19 d	366,75 d	319,22
-0.5MPa	314,49 b	329,63 c	419,78 c	508,04 b	516,62 ab	400,86 c	315,35 c	-
-1.0MPa	396,10 a	499,63 b	509,01 b	533,44 b	588,51 a	515,26 b	414,62 b	-
-1.5MPa	413,12 a	573,67 a	634,15 a	681,74 a	688,29 a	679,05 a	542,96 a	-
AÖF	103,91**	53,37***	68,30***	114,15***	238,32*	102,92***	35,66***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.19. Myrobolan 29C anacında süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

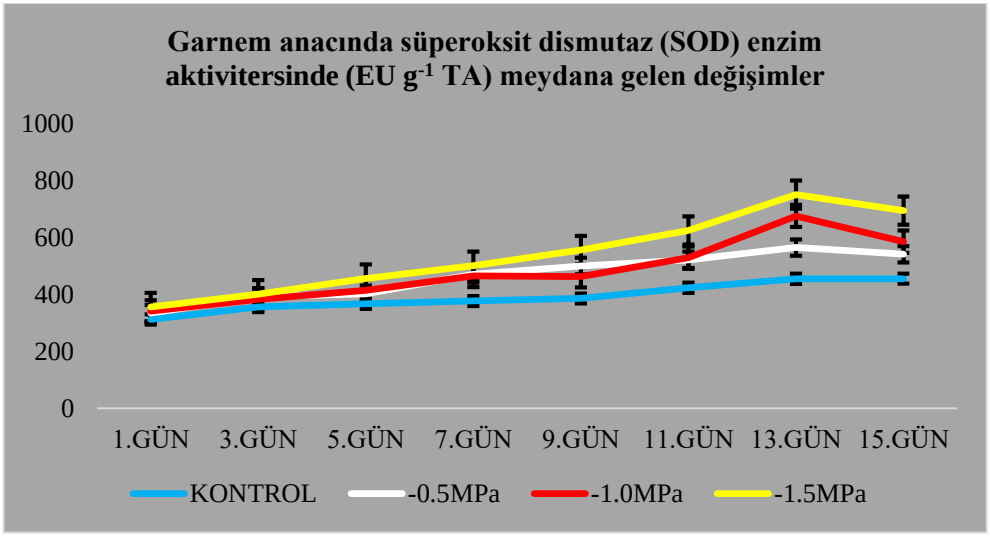
4.1.10.2. Garnem anacında süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Süperoksit dismutaz enzim aktivitesinin belirlenmesi için yapılan analizler sonucunda, Garnem anacında kuraklık uygulamalarının 13.gününe kadar enzim aktivitesinin artış gösterdiği, ancak devam eden süreçte aktivitenin azaldığı belirlenmiştir. Kuraklık uygulamalarının verileri incelendiğinde, en yüksek enzim aktivitesi (751,08EU g^{-1} TA) -1,5MPa uygulamasından elde edilirken, bunu 676,46EU g^{-1} TA ile -1,0MPa ve 565,50EU g^{-1} TA ile -0,5MPa uygulaması takip etmiştir. Çizelge 4.20. incelendiğinde tüm kuraklık uygulamalarında ilk ve son gün verileri kıyaslandığında uygulamalar neticesinde enzim aktivitesinde artışın olduğu görülmektedir. En yüksek artış %195,16 ile -1,5MPa uygulamasında olurken, bunu %171,61 ile -1,0MPa ve %161,83 ile -0,5MPa takip etmiştir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Garnem anacında süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	312,43 c	356,20 bc	368,10 c	377,63 b	386,40 c	423,87c	455,74 d	456,08c
-0.5MPa	334,79 b	392,08 ab	402,58 b	471,05 a	500,81 b	522,27 b	565,50 c	541,81 b
-1.0MPa	341,69 ab	383,61 b	415,13 b	465,20 a	463,94 b	530,06b	676,46 b	586,38 b
-1.5MPa	356,02 a	401,20 a	456,60 a	501,83 a	556,34 a	625,72 a	751,08 a	694,81 a
AÖF	25,28**	13,85***	39,43***	63,97**	55,13***	56,47***	76,60***	89,49***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.20. Garnem anacında süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

4.1.11. Katalaz (KAT) enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler

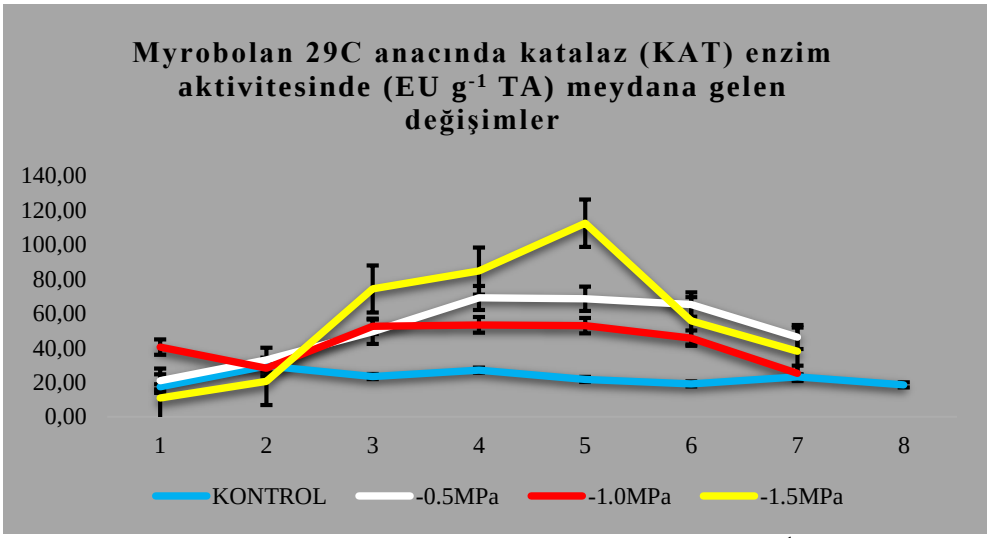
4.1.11.1. Myrobolan 29C anacında katalaz (KAT) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Periyodik olarak alınıp analizi yapılan yaprak örneklerinde katalaz enzim aktivitesi -0,5MPa ve -1,0MPa uygulamalarında 7.güne kadar -1,5MPa uygulamasında ise 9.güne kadar artış göstermiş olsa da devam eden süreç sonunda azalmalar söz konusu olmuştur. Kontrol grubuna ait bitkilerden alınan örneklerin analizi yapıldığında enzim aktivitesinde dalgalanmaların söz konusu olduğu görülmektedir. Verilerin istatistiki olarak analizi sonucunda yapılan uygulamaların enzim aktivitesi üzerine etkisi önemli bulunmuştur. Enzim aktiviteleri incelendiğinde -0,5MPa ve -1,0MPa kuraklık uygulamalarında 7.günden sonra azalmalar söz konusu olurken, -1,5MPa ise bu azalma 9.günden itibaren gerçekleşmiştir. En yüksek enzim aktivitesi 112,27EU g^{-1} TA -1,5MPa uygulamasından (9.gün) elde edilmiştir (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21. Myrobolan 29C anacında katalaz (KAT) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	17,33 b	29,33 b	23,33 b	27,0 c0	21,67 c	19,00 c	23,00 c	18,33
-0.5MPa	20,80 b	33,00 a	49,33 ab	68,93 ab	68,40 b	65,13 a	46,20 a	-
-1.0MPa	40,33 a	28,00 b	52,47 ab	53,27 b	52,87 b	45,60 b	25,13 c	-
-1.5MPa	10,80 b	20,53 c	74,13 a	84,53 a	112,27 a	55,60 ab	38,00 b	-
AÖF	14,43**	4,04***	47,03*	25,19**	41,79**	19,72**	7,95***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.21. Myrobolan 29C anacında katalaz (KAT) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

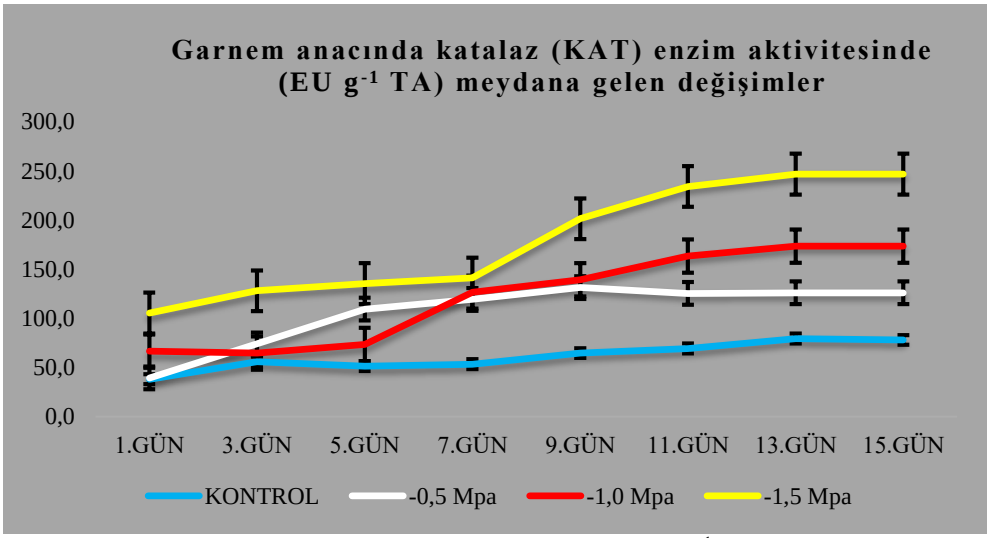
4.1.11.2. Garnem anacının katalaz (KAT) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Garnem anacı yaprak örneklerinde katalaz enzim aktivitesi tüm kuraklık uygulamalarında deneme süresince artış göstermiş ve bu artışlar istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. Enzim aktivitesinde en yüksek seviye, -1,5MPa kuraklık uygulamasından (252,00EU g^{-1} TA) elde edilirken, kuraklık şiddetinin azalması enzim aktivitesinin de artışını azaltmıştır (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Garnem anacında katalaz (KAT) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	38,00 b	56,00 b	51,33 c	53,33 b	64,67 c	69,33 c	79,33 c	82,00 c
-0,5 MPa	39,33 b	74,00 b	109,33 ab	119,33 a	131,33 b	125,33 bc	126,00 bc	136,00 b
-1,0 MPa	66,67 ab	64,67 b	73,33 bc	126,67 a	139,33 b	163,33 b	173,33 b	173,33 b
-1,5 MPa	105,33 a	128,00 a	135,33 a	141,00 a	201,33 a	234,00 a	246,67 a	252,00 a
AÖF	62,16*	56,57*	59,56**	63,59**	74,10**	97,25**	84,08**	61,72***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.22. Garnem anacında katalaz (KAT) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

4.1.12. Peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

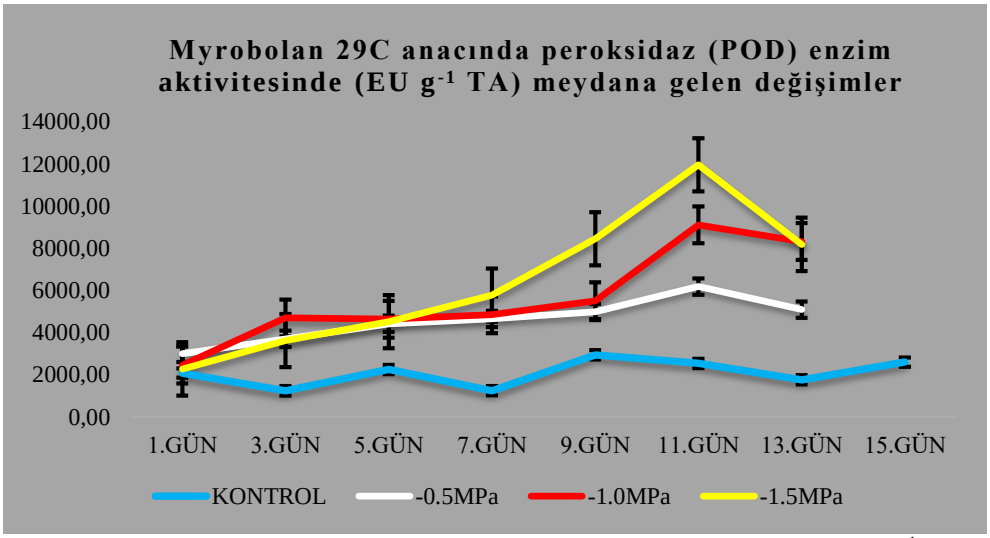
4.1.12.1. Myrobolan 29C anacında peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Myrobolan 29C anacında peroksidaz enzim aktivitesi incelendiğinde, uygulamaların enzim aktivitesi üzerine etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur. Kuraklık uygulamalarına tabii tutulan bitkilerde 11.güne kadar enzim aktivitesinde artış elde edilirken, 11.günden sonra enzim aktivitesinin azaldığı görülmüştür. En yüksek enzim aktivitesi 11954 EU g^{-1} TA ile -1,5MPa'dan elde edilmiştir. Kontrol grubuna ait bitkilerde enzim aktivite seviyesi 15 günün ortalaması olarak yaklaşık 2000 EU g^{-1} TA olarak belirlenmiştir. Enzim aktivitesinin artışı ele alındığında, birinci güne kıyasla en fazla artış -1,5MPa ve -1,0MPa'dan (yaklaşık 4 kat) elde edilmiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Myrobolan 29C anacında peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	2073,87 b	1231,47 c	2244,27 b	1236,27 c	2938,13 c	2530,13 d	1752,01 c	2593,73
-0.5MPa	2986,67 a	3696,00 b	4407,47 a	4648,53 b	4981,87 b	6176,80 c	5085,87 b	-
-1.0MPa	2453,87 b	4690,13 a	4629,87 a	4840,00 b	5504,53 b	9107,73 b	8316,80 a	-
-1.5MPa	2270,93 b	3612,27 b	4515,20 a	5771,73a	8441,60 a	11954,67 a	8180,27 a	-
AÖF	587,50**	540,64***	641,41***	760,59***	1024,60***	1219,46***	1890,17***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.23. Myrobolan 29C anacında peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

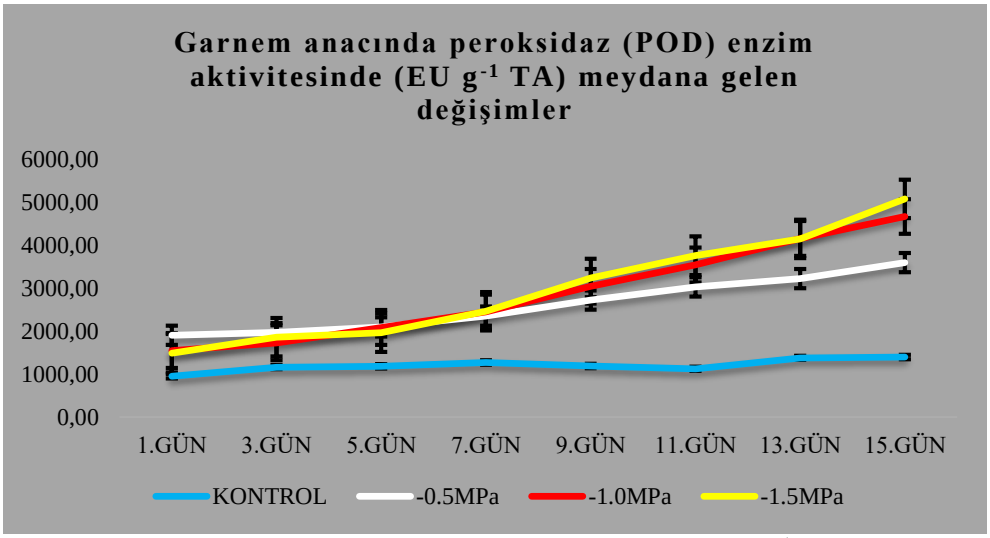
4.1.12.2. Garnem anacında peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Garnem anacında peroksidaz enzim aktivitesi incelendiğinde uygulamaların enzim aktivitesi üzerine istatistiki olarak önemli etkisinin olduğu bulunmuştur. Kuraklık uygulamaları yapılan bitkilerde deneme sonuna kadar enzim aktivitesinde artış gözlenmiştir. En yüksek enzim aktivitesi, 5070,67EU g^{-1} TA ile -1,5MPa'dan elde edilirken, bunu 4661,33EU g^{-1} TA ile -1,0MPa ve 3590,13EU g^{-1} TA ile -0,5MPa takip etmiştir. Kontrol grubuna ait bitkilerde enzim aktivite seviyesi 15 günün sonunda 1393,07EU g^{-1} TA olarak belirlenmiştir. (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Garnem anacında peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	948,00 c	1160,00 c	1178,13 b	1268,80 b	1188,27d	1123,20 d	1376,53 c	1393,07 d
-0.5MPa	1902,93 a	1964,80 a	2096,53 a	2346,67 a	2719,20c	3026,93c	3220,80 b	3590,13 c
-1.0MPa	1547,47 b	1725,33 b	2080,80 a	2444,80 a	3039,73 b	3534,40 b	4151,47 a	4661,33 b
-1.5MPa	1486,93 b	1854,93 a	1959,47 a	2458,93 a	3231,20 a	3749,87 a	4141,87 a	5070,67 a
AÖF	274,49***	326,20**	335,63***	662,37**	232,13***	272,21***	489,14***	605,79***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.24. Garnem anacında peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde (EU g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

4.1.13. Glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesinde (nmol g^{-1} dk^{-1} TA) meydana gelen değişimler

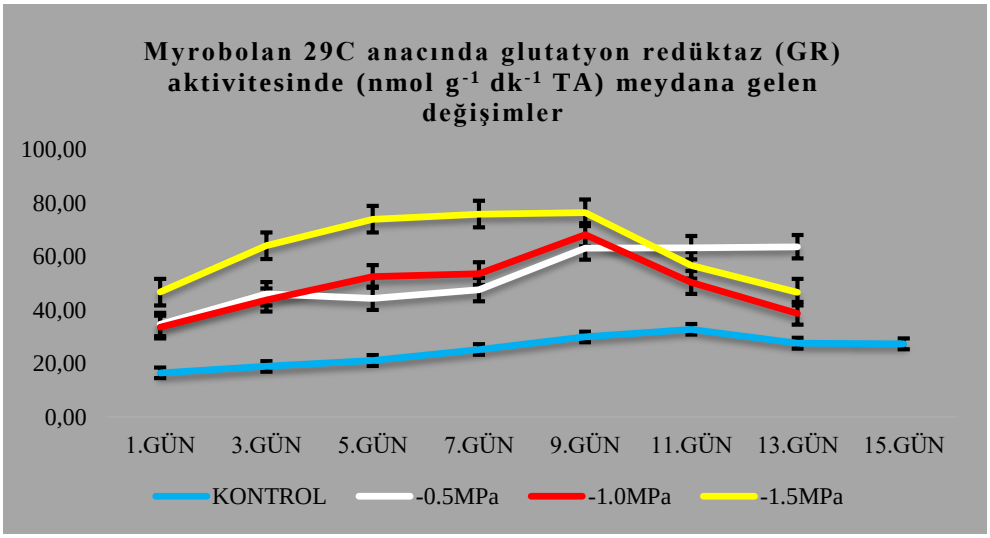
4.1.13.1. Myrobolan 29C anacında glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesinde (nmol g^{-1} dk^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Periyodik olarak alınan yaprak örneklerinde GR aktivitesindeki değişimlerin istatistiki olarak önemli etkileri olduğu bulunmuştur. -0,5MPa uygulamasında enzim aktivitesinde artış devam ederken, -1,0MPa ve -1,5MPa uygulamalarında enzim aktivitesinde 9.günden sonra azalmaların olduğu belirlenmiştir. En yüksek enzim aktivitesi -1,5MPa'dan elde edilirken, kuraklık uygulamalarındaki en fazla enzim aktivite artışı -0,5MPa'dan elde edilmiştir (Çizelge 4.1.10). Kontrol grubu bitkilerde yapılan enzim aktivitesi ölçümlerinde ise elde edilen sonuçların dalgalanmalara sahip olduğu, ancak 15 gün sonunda yaklaşık olarak ortalama 25nmol g^{-1} dk^{-1} TA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25. Myrobolan 29C anacında glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler (nmol g^{-1} dk^{-1} TA)

	1.gün	3.gün	5.gün	7.gün	9.gün	11.gün	13.gün	15.gün
KONTROL	16,43 b	18,84 c	21,03 c	25,13 c	29,85 c	32,72 c	27,52 c	27,28
-0.5MPa	34,54 b	46,01 b	44,29 b	47,56 b	63,13 b	63,21 a	63,56 a	-
-1.0MPa	33,55 b	43,70 b	52,47 b	53,54 b	68,12 b	50,27 b	38,69 b	-
-1.5MPa	46,62 a	64,01 a	73,90 a	75,78 a	76,34 a	56,62 ab	46,60 b	-
AÖF	23,97*	5,15***	12,22***	11,61***	11,14***	17,42**	14,11**	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.25. Myrobolan 29C anacında glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler

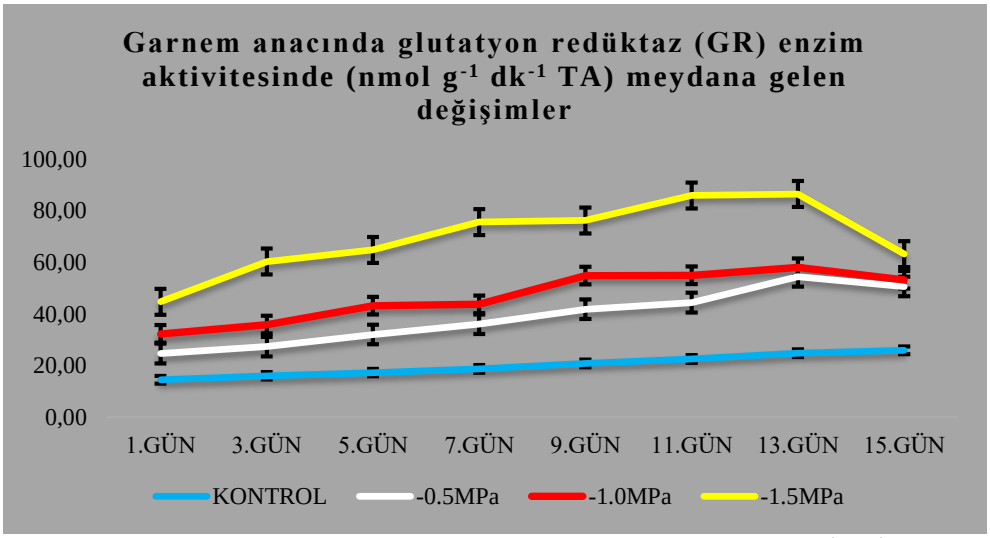
4.1.13.2. Garnem anacında glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesinde (nmol g^{-1} dk^{-1} TA) meydana gelen değişimlerin ölçülmesi

Garnem yaprak örneklerinde GR aktivitesindeki değişimlerin istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur. Kontrol grubu bitkilerde enzim aktivitesinde artış çalışma sonuna kadar devam ederken, -0,5MPa, -1,0MPa ve -1,5MPa uygulamalarında enzim aktivitesinde 13.günden sonra azalmaların olduğu belirlenmiştir. En yüksek enzim aktivitesi -1,5MPa'dan (86,42nmol g^{-1} dk^{-1} TA) elde edilirken, uygulamalar arasında en fazla enzim aktivite artışı -0,5MPa'dan elde edilmiştir (%105,35) (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26. Garnem anacında glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesinde **(**nmol g^{-1} dk^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	14,43 d	16,00 d	17,23 d	18,68 d	20,82 d	22,52 d	24,73 c	25,88 c
-0.5MPa	24,63 c	27,30 c	31,98 c	35,97 c	41,78 c	44,35 c	54,38 b	50,58 b
-1.0MPa	32,22 b	35,80 b	43,12 b	43,68 b	54,75 b	54,90 b	57,98 b	53,17 b
-1.5MPa	44,67 a	60,23 a	64,73 a	75,52 a	76,17 a	85,83 a	86,42 a	63,13 a
AÖF	4,74***	7,10***	6,24***	6,72***	5,51***	6,58***	6,07***	6,81***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.26. Garnem anacıda glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesinde **(**nmol g^{-1} dk^{-1} TA) meydana gelen değişimler

4.1.14. Askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesinde (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

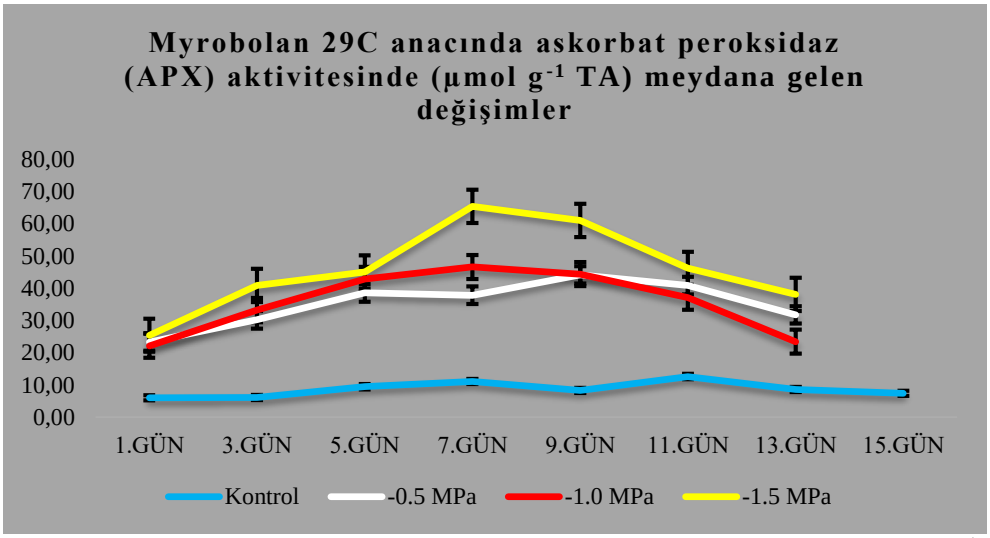
4.1.14.1. Myrobolan 29C anacında askorbat peroksidaz (APX) enzim (µmol g^{-1} TA) aktivitesinde meydana gelen değişimler

Askorbat peroksidaz enzim aktivitesi ölçümlerinde kuraklık uygulamalarının enzim aktivitesi üzerine istatistiki olarak önemli etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Enzim aktivitesindeki en yüksek artış (%49,68) -1,5MPa uygulamasından elde edilirken, bunu %35,93 ile -0,5MPa ve %5,78 ile -1,0MPa takip etmiştir. Kuraklık uygulamalarında 9.güne kadar enzim aktivitelerinde artış gözlenirken, 9. günden sonra azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Enzim aktivitelerindeki en yüksek seviye 9. günde 60,98µmol g^{-1} TA ile -1,5MPa uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. Myrobolan 29C anacında askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesinde (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
Kontrol	6,00 b	6,13 d	9,46 c	11,08 d	8,28 c	12,60 d	8,62 d	7,40
-0.5 MPa	23,32 a	30,18 c	38,52 b	37,80 c	44,08 b	40,79 b	31,70 b	-
-1.0 MPa	22,12 a	33,20 b	42,81 a	46,54 b	44,33 b	37,02 c	23,40 c	-
-1.5 MPa	25,40 a	40,85 a	45,02 a	65,37 a	60,98 a	46,14 a	38,02 a	-
AÖF	5,53***	2,41***	5,22***	6,33***	5,82***	4,63***	4,14***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



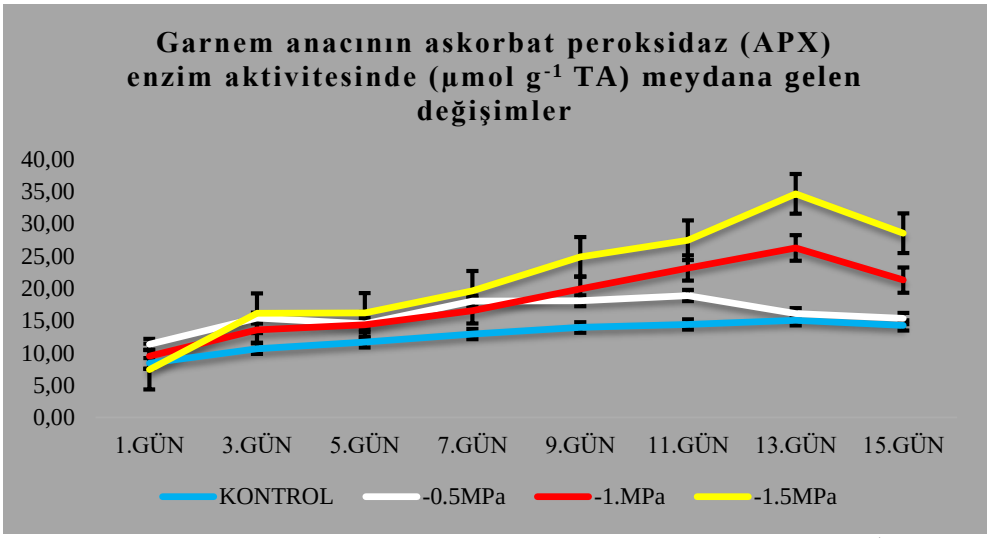
Şekil 4.27. Myrobolan 29C anacında askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesinde (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

4.1.14.2. Garnem anacında askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesinde (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

Garnem anacında APX enzim aktivitesi ölçümlerinde kuraklık uygulamalarının enzim aktivitesi üzerine etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Enzim aktivitesindeki en yüksek değer 34,61µmol g^{-1} TA ile -1,5MPa uygulamasından elde edilmiştir. Diğer uygulamalara baktığımızda, -1,0MPa uygulamasından 21,26µmol g^{-1} TA ve -0,5MPa uygulamasından ise 15,31µmol g^{-1} TA APX belirlenmiştir. Kontrol grubu bitkilerde APX aktivitesi deneme süresince artış gösterirken, -1,5MPa ve -1,0MPa uygulamalarında bu artış 13.günden sonra azalmaya başlamıştır. -0,5MPa uygulamasında enzim aktivitesi 11.günden sonra daha az bir şekilde azalma göstermiştir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. Garnem anacında askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesinde (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	8,36 c	10,63 b	11,64 b	12,89 c	13,92 c	14,39 d	15,03 c	14,24 c
-0.5MPa	11,30 a	15,37 a	14,50 a	17,98 ab	18,05 b	18,86 c	16,06 c	15,31 c
-1.MPa	9,46 b	13,53 a	14,34 a	16,50 b	19,88 b	23,13 b	26,24 b	21,26 b
-1.5MPa	7,39 d	16,12 a	16,19 a	19,59 a	24,86 a	27,42 a	34,61 a	28,53 a
AÖF	1,23***	3,70**	2,78**	3,66**	3,13***	3,36***	6,19***	2,62***



Şekil 4.28. Garnem anacında askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesinde (µmol g^{-1} TA) meydana gelen değişimler

4.1.15. Malondialdehit (MDA) miktarında (nmol ml^{-1}) meydana gelen değişimler

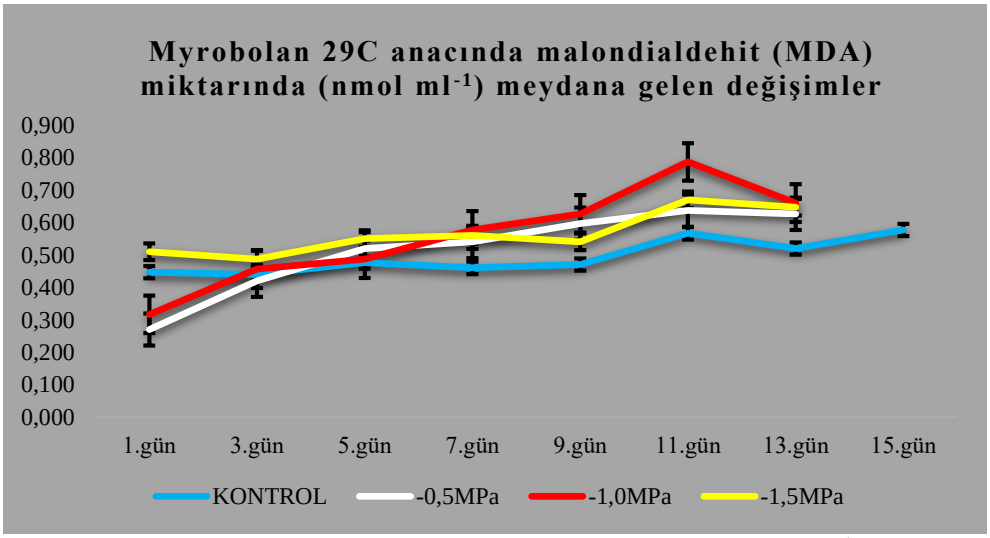
4.1.15.1. Myrobolan 29C anacında malondialdehit (MDA) miktarında (nmol ml^{-1}) meydana gelen değişimler

Malondialdehit miktarı incelendiğinde, kuraklık uygulamalarının 11.gününe kadar MDA miktarında artış gözlendiği, ancak sonrasında azalma olduğu görülmektedir. En yüksek MDA miktarı -1,0MPa (0,786nmol ml^{-1}) kuraklık uygulaması sahip olurken, bunu sırasıyla -1,5MPa (0,670nmol ml^{-1}) ve -0,5MPa (0,636nmol ml^{-1}) uygulamaları takip etmiştir. Deneme süresince kontrol grubu bitkilerinde MDA miktarı yaklaşık 0,500nmol ml^{-1} seviyelerinde devam etmiştir (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29. Myrobolan 29C anacında malondialdehit (MDA) miktarında (nmol ml^{-1}) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	0,446 b	0,440 bc	0,476 c	0,460 c	0,470 d	0,566 d	0,520 c	0,576
-0,5MPa	0,270 d	0,420 c	0,520 b	0,540 b	0,596 b	0,636 c	0,626 b	-
-1,0MPa	0,316 c	0,456 b	0,486 c	0,576 a	0,626 a	0,786 a	0,660 a	-
-1,5MPa	0,510 a	0,486 a	0,550 a	0,560 ab	0,540 c	0,670 d	0,646 ab	-
AÖF	0,0043***	0,0062*	0,0034**	0,0049**	0,0038***	0,0056**	0,0041***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.29. Myrobolan 29C anacında malondialdehit (MDA) miktarında (nmol ml^{-1}) meydana gelen değişimler

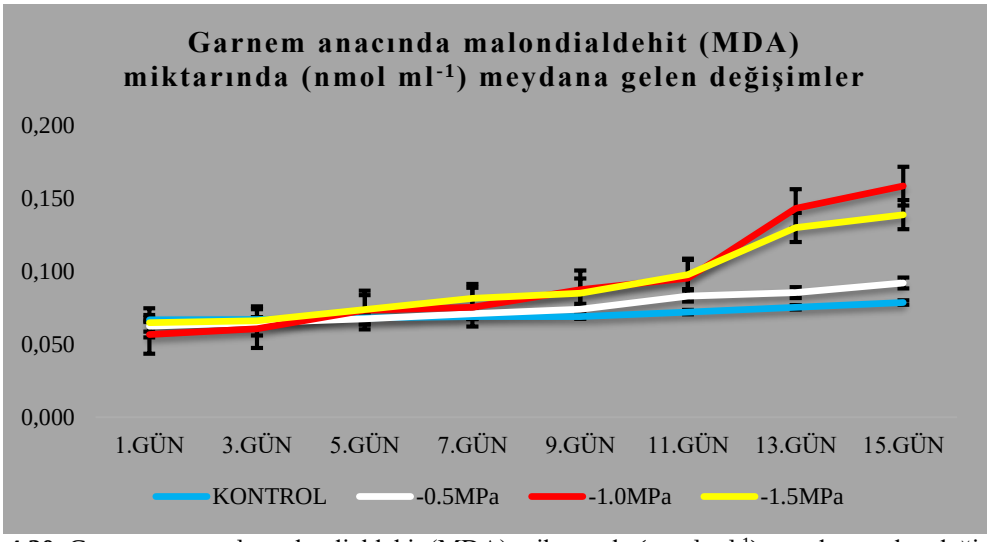
4.1.15.2. Garnem anacında malondialdehit (MDA) miktarında (nmol ml^{-1}) meydana gelen değişimler

Malondialdehit miktarı incelendiğinde, kuraklık uygulamalarının 11.güne kadar MDA miktarında artışın daha yavaş olduğu gözlenirken, 13. ve 15.günlerde artışın daha fazla olduğu gözlenmiştir. En yüksek MDA miktarı -1,0MPa'dan (0,158nmol ml^{-1}) elde edilirken, bunu 0,139nmol ml^{-1} ile -1,5MPa uygulaması ve 0,092nmol ml^{-1} ile -0,5MPa uygulaması takip etmiştir. Kontrol grubuna ait bitkilerde ise en yüksek MDA miktarı 0,079nmol ml^{-1} olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30. Garnem anacında malondialdehit (MDA) miktarında (nmol ml^{-1}) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	0,067 a	0,067 a	0,068 b	0,069 c	0,069 b	0,072 c	0,075 b	0,079 d
-0.5MPa	0,062 a	0,065 a	0,067 b	0,071 bc	0,074 b	0,083 b	0,085 b	0,092 c
-1.0MPa	0,057 b	0,061 b	0,073 a	0,075 ab	0,087 a	0,095 a	0,143 a	0,158 a
-1.5MPa	0,065 a	0,066 a	0,074 a	0,081 a	0,085 a	0,098 a	0,130 a	0,139 b
LSD	0,008*	0,003**	0,004**	0,008**	0,010**	0,010***	0,055**	0,009***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.30. Garnem anacında malondialdehit (MDA) miktarında (nmol ml^{-1}) meydana gelen değişimler

4.1.16. Askorbik asit (AsA) miktarında (µg g^{-1}TA) meydana gelen değişimler

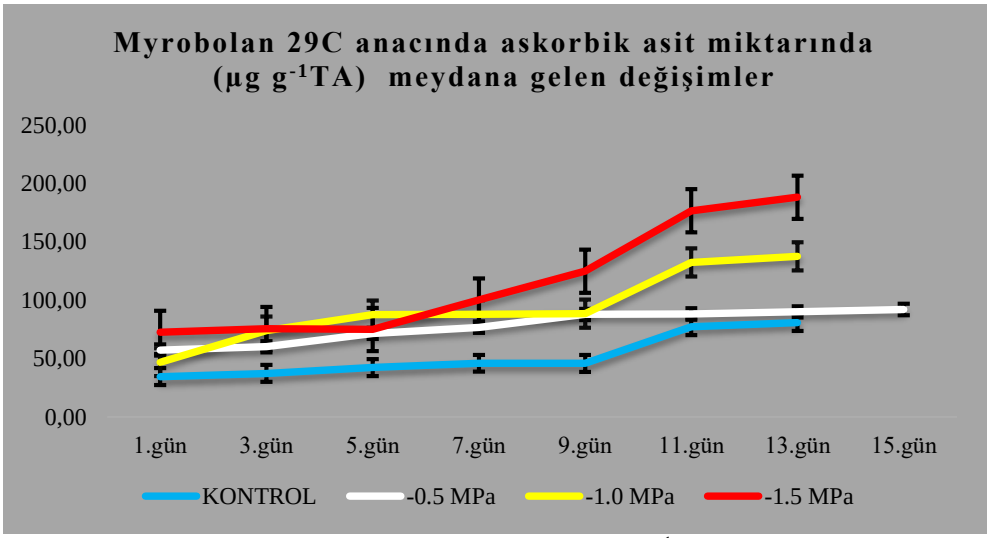
4.1.16.1. Myrobolan 29C anacında askorbik asit (AsA) miktarında (µg g^{-1}TA) meydana gelen değişimler

Çalışma süresince Myrobolan 29C anacına ait bitkilerden alınan yaprak örneklerinde yapılan analizler sonucunda 1.gün ile 13.gün arasında askorbik asit miktarındaki en az değişim kontrol grubuna ait bitkilerde (%47,33) olurken, en fazla değişim -1,0MPa kuraklık stresinden (%193,27) elde edilmiştir. Denemenin 5.gününden itibaren -1,5MPa kuraklık uygulamasında askorbik asit miktarı artışı diğer uygulamalara göre daha fazla olurken, denemenin 9.gününden itibaren ise -1,0MPa uygulamasınında etkili olduğu görülmüştür. Çalışmanın 15.gününde ise kuraklık uygulamalarına ait bitkilerde ölüm gerçekleştiği ve bu nedenle yaprak olmadığı için analiz yapılamamıştır. 15.günde yalnızca kontrol grubuna ait bitkilerde analiz yapılabilmiştir (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31. Myrobolan 29C anacında askorbik asit miktarında (µg g^{-1}TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
KONTROL	34,52 d	37,25 c	42,23 c	46,00 d	45,77 c	47,15 d	50,86 d	53,92
-0.5 MPa	57,26 b	60,08 b	71,52 b	76,70 c	87,77 b	88,09 c	89,92 c	-
-1.0 MPa	46,84 c	73,79 a	87,63 a	87,84 c	88,31 b	132,16 b	137,37 b	-
-1.5 MPa	72,48 a	75,54 a	74,84 b	100,14 a	124,78 a	176,42 a	188,05 a	-
AÖF	3,256***	5,332***	6,437***	7,199***	10,147***	31,950***	16,737***	-

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.31. Myrobolan 29C anacıda askorbik asit miktarında (µg g^{-1}TA) meydana gelen değişimler

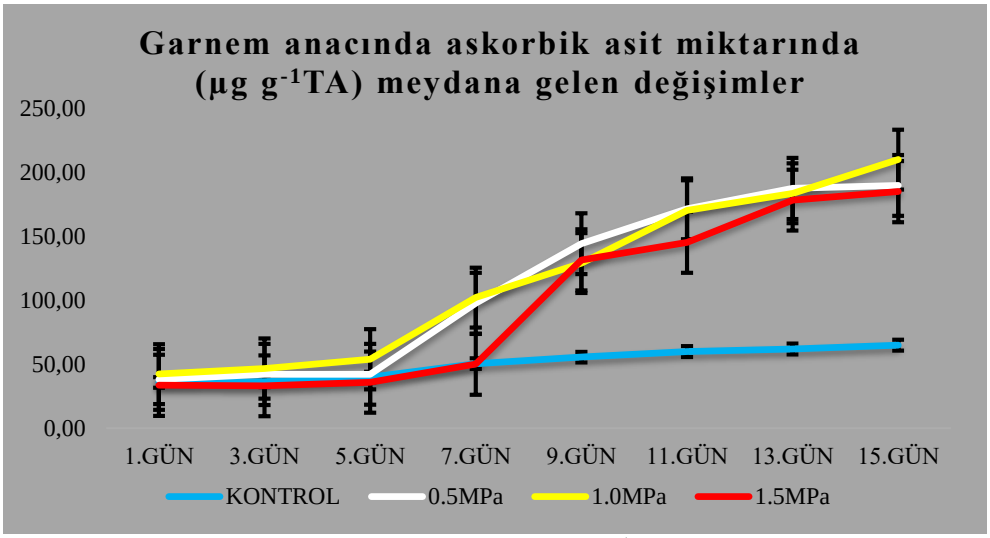
4.1.16.2. Garnem anacında askorbik asit (AsA) miktarında (µg g^{-1}TA) meydana gelen değişimler

Çalışma süresince Garnem anacına ait bitkilerden alınan yaprak örneklerinde yapılan analizler sonucunda, 1.gün ile 15.gün arasında askorbik asit miktarındaki en az değişim kontrol grubuna ait bitkilerden elde edilirken, en fazla değişim ise -1,0MPa kuraklık stresinden elde edilmiştir. Denemenin 5.gününden itibaren kontrol grubu hariç diğer tüm kuraklık uygulamalarında askorbik asit miktarı hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. 15.günde -1,0MPa uygulamasında 210,24µg g^{-1}TA AsA ölçümü yapılırken, bunu 190,10µg g^{-1}TA AsA ile -0,5MPa ve 185,14µg g^{-1}TA AsA ile -1,5MPa uygulaması takip etmiştir (Çizelge 4.32).

Çizelge 4.32. Garnem anacında askorbik asit miktarında (µg g^{-1}TA) meydana gelen değişimler

	1.gün	**3.gün**	**5.gün**	**7.gün**	**9.gün**	**11.gün**	**13.gün**	**15.gün**
Kontrol	35,92 b	36,44 c	40,03 bc	50,55 b	55,64 c	60,00 c	62,00 b	65,00 c
-0.5 MPa	38,25 a	42,11 b	42,33 b	97,73 a	144,46 a	171,63 a	187,64 a	190,10 b
-1.0 MPa	42,42 a	46,70 a	54,00 a	102,27 a	129,22 b	170,57 a	183,86 a	210,24 a
-1.5 MPa	33,62 b	33,23 c	36,08 c	50,13 b	131,76 b	145,50 b	178,49 a	185,14 b
AÖF	7,313*	6,447**	7,097***	42,902**	14,433***	5,668***	35,327***	7,550***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001



Şekil 4.32. Garnem anacıda askorbik asit miktarında (µg g^{-1}TA) meydana gelen değişimler

4.1.17. Bitki besin elementi miktarlarında meydana gelen değişimler

4.1.17.1. Myrobolan 29C anacında bitki besin elementi miktarlarında meydana gelen değişimler

Deneme sonunda alınan yaprak örneklerinde yapılan bitki besin elementi analizlerini incelediğimizde, kuraklık uygulamalarında makro elementlerden kalsiyum, potasyum, fosfor ve magnezyum miktarlarında azalmalar olduğu görülmektedir. Ancak -1,0MPa uygulamasında sodyum miktarı diğer uygulamalara göre daha yüksek bulunmuştur. Ancak kuraklık uygulamalarının kükürt miktarı üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.33). Kalsiyumda en yüksek değer %0,16 (kontrol grubu ve -0,5MPa uygulaması), potasyumda %1,75 (kontrol grubu), sodyumda %0,12 (-1,0MPa uygulaması), fosforda %0,38 (kontrol grubu), magnezyumda %0,08 (kontrol grubu) olarak belirlenmiştir.

Kuraklık uygulamalarının mikro besin elementi içerikleri üzerine etkileri incelendiğinde, bor, bakır, demir, mangan ve çinko içerikleri kontrol grubuna kıyasla daha düşük değerlere sahip olmuşlardır (Çizelge 4.34). Kontrol grubunda bor 19,36 ppm, bakır 15,85 ppm, demir 229,43 ppm, mangan 127,61 ppm ve çinko 113,88 ppm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.33. Myrobolan 29C anacında makro besin elementi miktarlarında meydana gelen değişimler

	Ca(%)	**K(%)**	**Na(%)**	**P(%)**	**Mg(%)**	**S(%)**
Kontrol	0,16 a	1,75 a	0,11 bc	0,38 a	0,08 a	0,23
-0,5 MPa	0,16 a	1,54 b	0,10 c	0,30 b	0,07 b	0,23
-1,0 MPa	0,13 b	1,53 b	0,12 a	0,35 a	0,07 c	0,25
-1,5 MPa	0,13 b	1,58 b	0,11 ab	0,36 a	0,07 c	0,23
LSD	0,034*	0,093**	0,008**	0,043**	0,001***	Ö.D.

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Çizelge 4.34. Myrobolan 29C anacında mikro besin elementi miktarlarında meydana gelen değişimler

	B(ppm)	**Cu(ppm)**	**Fe(ppm)**	**Mn(ppm)**	**Zn(ppm)**
Kontrol	19,36	15,85 a	229,43 a	127,61 b	113,88 a
-0,5 MPa	19,03	9,70 c	183,42 bc	143,41 a	100,55 c
-1,0 MPa	19,56	11,25 b	199,84 b	116,38 d	105,74 bc
-1,5 MPa	18,81	11,31 b	176,95 c	123,80 c	108,22 b
LSD	Ö.D.	0,571***	30,531**	3,716***	7,473**

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

4.1.17.2. Garnem anacının bitki besin elementi miktarlarında meydana gelen değişiklikler

Deneme sonunda alınan yaprak örneklerinde yapılan bitki besin elementi analizleri incelediğinde kuraklık uygulamalarında makro elementlerden kalsiyum, potasyum, sodyum, fosfor ve magnezyum miktarlarında azalmalar görülmektedir. Yalnızca kükürt içeriğinde ise artış gözlenmiştir (Çizelge 4.35). Kalsiyumda en yüksek değer %0,27 (kontrol grubu), potasyumda %2,30 (kontrol grubu), sodyumda %0,17 (kontrol grubu) ve %0,16 (-0,5MPa uygulaması), fosforda %0,32 (kontrol grubu), magnezyumda %0,10 (kontrol grubu) ve kükürtte %0,20 (-1,0MPa uygulaması) ve %0,20 (-1,5MPa uygulaması) olarak ölçülmüştür. Kuraklık uygulamalarının mikro besin elementi içerikleri incelendiğinde bor, bakır, demir, mangan ve çinko içerikleri kontrol grubuna kıyasla daha düşük değerlere sahip olmuşlardır (Çizelge 4.36). Kontrol grubunda bor 18,65 ppm, bakır 9,80 ppm, demir 202,31 ppm, mangan 151,38 ppm ve çinko 65,18 ppm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.35. Garnem anacında makro besin elementi miktarlarında meydana gelen değişimler

	Ca(%)	**K(%)**	**Na(%)**	**P(%)**	**Mg(%)**	**S(%)**
Kontrol	0,27 a	2,30 a	0,17 a	0,32 a	0,10 a	0,18 c
-0,5 MPa	0,20 b	1,87 b	0,16 a	0,30 ab	0,06 d	0,19 b
-1,0 MPa	0,19 b	1,78 b	0,16 b	0,29 b	0,07 c	0,20 a
-1,5 MPa	0,19 b	1,71 b	0,13 c	0,31 ab	0,07 b	0,20 a
LSD	0,030***	0,225***	0,008***	0,036*	0,001***	0,012**

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Çizelge 4.36. Garnem anacında mikro besin elementi miktarlarında meydana gelen değişimler

	B(ppm)	**Cu(ppm)**	**Fe(ppm)**	**Mn(ppm)**	**Zn(ppm)**
Kontrol	18,65 a	9,80 a	202,31 a	151,38 a	65,18 a
-0,5 MPa	17,14 ab	7,57 c	136,75 b	128,43 d	63,27 b
-1,0 MPa	16,95 ab	6,97 d	113,72d	133,05 c	57,60 c
-1,5 MPa	15,52 b	8,60 b	131,59 c	142,02 b	52,57 d
LSD	4,033*	0,715***	7,164***	4,655***	2,050***

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

4.2. Tartışma

Kuraklık; bitkilerde topraktaki kullanılabilir suyun azaldığı ve atmosferik koşullar nedeniyle transpirasyon yada evoporasyon ile suyun kaybedildiği koşullarda ortaya çıkmaktadır (Jaleel ve ark., 2009). Kuraklık stresi, bitki büyümesini ve verimini etkileyen çevresel streslerden biri olup, bitkilerde birçok fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler yanıtı uyarmaktadır (Özfidan, 2010). Bu yüzden bitkilerin kuraklık stresine dirençte gösterdiği fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerin anlaşılması kurak koşullar dayanıklı tür ve çeşitlerin belirlenmesinde faydalı olacaktır. Bu bağlamda yapmış olduğumuz çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlar doğrultusunda kuraklık stresinde tutulan bitkilerde boy uzamasının engellendiği görülmüştür. En şiddetli kuraklık stresinde (-1,5MPa) Garnem anacında boy uzaması Myrobolan 29C anacına göre yaklaşık 2 kat daha fazla olmuştur. Bunun yanında Garnem anacında klorofil içeriği ve YOSİ'deki azalmalar Myrobolan 29C'ye göre daha az olmuştur. Buda, Garnem anacının badem x şeftali melezi olduğu ve kurak şartlara daha toleranslı olmasından ileri gelmektedir. Bitkilerde, büyüme ve gelişmenin devamı hücrenin su içeriğinin korunmasına bağlıdır (Özer ve ark., 1997). Su yetersizliğinde hücre bölünmesi ve büyümesi için gereken suyun temin edilememesi nedeniyle büyümede azalmalar ortaya çıkmaktadır (Kluge 1976, Bertamini ve ark., 2006). Ayrıca su eksikliğinde, fotosentez hızındaki azalmaya bağlı olarak bitkinin gelişimi de yavaşlamaktadır. Yapılan çalışmalarda da kuraklık stresi ile bitki uzamasında belirgin yavaşlamalar olduğu saptanmıştır. Ismail ve ark., (2004) muz bitkisinde, Sivritepe ve ark., (2008) Gisela 5 kiraz anacında, Asghari ve ark., (2009) şikoride, Boutra ve ark., (2010) buğdayda, Emam ve ark., (2010) fasulyede, Hassanein (2010) ıtırda, Alizadeh ve ark., (2011) elma anaçlarında, Karimi ve ark., (2012) farklı badem çeşitlerinde ve GF 677 anacında, Sayyari ve Ghanbari (2012) biberde, Rezaei ve ark., (2012) domateste, Rostami ve Rahami (2013) incirde, Danial ve ark., (2014) elma ve armutta, Yunusa ve ark., (2014) soya fasulyesinde benzer sonuçları elde etmiştir. Boutra ve ark. (2010), bitki boyunun karbonhidrat taşınımı ile ilişkili bir morfolojik özellik olduğunu ve bitki boyunda büyümenin yavaşlaması karbonhidrat taşınımına bağlamışlardır. Syversten (1985) ile Rostami ve Rahemi (2013), büyümenin sınırlanmasının temelde hücre uzamasını sağlayan turgor basıncının kaybına bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar bitki boyunda meydana gelen azalışların turgor basıncında meydana gelen değişimin sebep olduğunu rapor etmişlerdir. Hücrenin büyüme aşamasının kuraklık stresine en duyarlı süreç olduğu (Salisbury ve Ross 1992, İsmail ve ark 2004), kurak şartlar altında bitki

bünyesinde suyun azalmasının bitki organlarının uzamasını azaltabileceği (Karimi ve ark., 2012) bildirilmiştir.

Myrobolan 29C ve Garnem anaçlarında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen bitki nispi ağırlığı verileri incelendiğinde, Myrobolan 29C anacında kuraklık stresi ile bitki nispi ağırlığında dalgalı bir azalış söz konusu olurken, Garnem anacında ise bu azalışlar daha düzenli bir seyir izlemiştir. Su stresinde hücre bölünmesi ve büyümesi için gereken suyun temin edilememesi nedeniyle büyümede azalmalara neden olurken, karbon ve azot metabolizmasında meydana gelen yetersizliklerde bitkilerin yaş ve kuru ağırlıklarında, kök yaş ve kuru ağırlıklarında ve buna bağlı olarak bitki nispi ağırlığında düşüşlere neden olmaktadır (Kluge 1976, Bertamini ve ark., 2006). Elde edilen veriler değerlendirildiğinde kuraklık uygulamalarında bitkilerin yaş, kuru ve nispi ağırlıklarında azalmalar olduğu bulunmuştur. Elde ettiğimiz sonuçlar, Rahman ve ark., (2002)'nın domates, Liu ve Stützel (2004)'in horozibiği, Bertamini ve ark., (2006)'ın üzüm, Sivritepe ve ark., (2008)'ın Gisela 5 kiraz anacı, Efeoğlu ve ark., (2009)'ın mısır, Boutra ve ark., (2010)'ın buğday, Emam ve ark., (2010)'ın fasulye, Hayatu ve Mukhtar (2010)'ın börülce, Hassanein (2010)'in Pelargonium, Abbaspour ve ark., (2012)'ın Antepfıstığı, Filek ve ark., (2012)'ın buğday, Karimi ve ark., (2012)'ın badem, Rezaei ve ark., (2012)'ın domates, Sayyari ve Ghanbari (2012)'nin biber ve Bolat ve ark., (2014)'nın elma ve armutta elde ettikleri sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Karimi ve ark., (2012) kuraklık stresi altındaki badem bitkilerinin yaprak alanlarında meydana gelen gelişimin yapraklarda kuru madde birikiminden daha hassas olduğunu bildirmişlerdir. Kuraklığa bağlı olarak yaprak alanında küçülme bitki yaş ağırlığını, güneş ışığı alımına bağlı olarak fotosentez aktivitesini azalttığı için kuru madde üretimini de azaltmaktadır (Sayyari ve Ghanbari 2012). Kuraklık stresi altındaki bitkilerde kuru madde birikimi, yaprakların yaşlanması ve ölmesi sonucu karbon ve azot metabolizmasında meydana gelen değişiklikten kaynaklanabilmektedir (Bertamini ve ark. 2006). Yaprak büyümesi, kuraklık stresine kök gelişiminden daha hassastır. Yaprak genişlemesindeki azalma su noksanlığı şartlarındaki bitkilerde faydalıdır. Çünkü yaprak alanının büyümesindeki azalış büyüme için gerekli enerji ve karbonhidrat fazlalığının köklere taşınarak kök gelişimini ve hacmini artırmaktadır. Bununla birlikte bitkide terleme ile su kaybını da azaltmaktadır (Taiz ve Zeiger, 2008). Örneğin birçok bitki, özellikle de pamuk; sahip olduğu yaşlı yaprakların yaşlanmasını ve dökümünü hızlandırarak kurak koşullara dayanım sağlamaktadır. Bu süreç "yaprak alanı düzenlemesi" olarak bilinmektedir (Mahajan ve Tuteja, 2005). Nitekim Fernández-Conde

ve ark., (1998) pamukta yaptıkları çalışmada kuraklıkla birlikte yaprak alanındaki azalmanın esas olarak nispi büyüme oranındaki azalıştan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Nogues ve ark., (2000), zeytin, lavanta ve biberiyede, Abdalla ve El-Khoshiban (2007) ve Boutra ve ark., (2010) buğdayda, Klamkowski ve Treder, (2008) çilekte kuraklık stresi ile yaprak alanının azaldığını bildirmişlerdir. Çalışmamız ile konu hakkında daha önce yapılan çalışmalar benzer sonuçlar göstermiştir. Myrobolan ve Garnem anaçlarında kuraklık süresi ve şiddeti arttıkça yaprak alanında azalışların olduğu gözlemlenmiştir. Kuraklık stresi, bitkideki yaprak alanının azalması fotosentezin yavaşlaması ile ilişkilidir. Fotosentezdeki bu yavaşlama, klorofil içeriği, su alımı ve yetersiz azot içeriğine bağlıdır. Myrobolan 29C anacında klorofil içeriği ve YOSİ içeriğinin Garnem anacına göre daha düşük değerlere sahip olması, yaprak alanının Garnem anacına göre daha düşük değerlere sahip olmasına sebep olmuştur. Nitekim Sankar ve ark., (2007) kuraklık stresi ile bamyada yaprak alanı, su kullanım etkinliği, net asimilasyon oranı ve transpirasyon oranında azalış tespit etmişlerdir.

Stres koşullarında hücre yapısının korunması, membran proteinlerinin özelliklerine, lipit bileşiklerinin yapısına ve bunların mekanizmalarındaki aktiviteye bağlıdır. Oksidatif stres genellikle aktif oksijen türevlerinin yoğunluğuna bağlı olarak membran proteinleri ve lipitlerin yapısında meydana gelen bozulmalar nedeniyle hücre zararlanmasına neden olmaktadır. Stres karşısında hücre membranlarında meydana gelen zararlanma ortama iyonların sızmasına neden olmaktadır. Bu nedenle enzim aktivitelerini çalıştıran ya da ozmotik düzenlemeyi gerçekleştirebilen genotiplerde hücre zararlanması da daha düşük düzeylerde gerçekleşmektedir (Kuşvuran, 2010). Bu bağlamda hem Myrobolan 29C hem de Garnem anacında yürüttüğümüz çalışmada kuraklığın şiddetinin ve kuraklık stresi süresinin artmasıyla hücre membran geçirgenliğinde artışlar gerçekleşmiştir. Kuraklık stresine bağlı olarak MDA miktarında meydana gelen artış, Myrobolan 29C anacında membran bütünlüğünü bozmuş ve 13.gün sonunda kuraklık stresi altındaki Myrobolan 29C anacına ait bitkilerin tamamı ölmüştür. Garnem anacında ise kuraklık uygulamalarının tamamında 15.gün sonuna kadar MDA miktarında artış olmasına rağmen membranlarda meydana gelen zararlanmalar belirli bir düzeyde önlenmiştir. Garnem anacında kalsiyum içeriği Myrobolan 29C anacına göre daha yüksek seviyelerde olduğu bulunmuş olup kuraklık stresi altında membran yapısını koruduğu düşünülmektedir. Buna göre kuraklığı tolere etmede Garnem anacının Myrobolan 29C'ye göre daha etkili olduğu söylenebilir. Çalışmamız da elde edilen veriler, Chai ve ark.,(2005)'nın *in vitro* koşullarda muzda, Cunhua ve ark., (2010)'nın kazayağı

bitkisinde, Karimi ve ark., (2012)'nın 5 badem çeşidi ile GF 677 anacında, Patel ve ark., (2011)'nın nohutta ve Zonouri ve ark., (2014)'nın asmada elde ettikleri verilerle benzerlik göstermektedir.

Kurak şartlarda bitkilerdeki kök faaliyetlerinin azalması, buna bağlı olarak köklerin yeteri kadar su alamaması sonucunda yapraklarda su içeriğinde azalmalar olmaktadır (Taiz ve Zeiger, 2008). Bitkilerin su içeriği, turgorun korunması ve bitkilerin topraktan mineral maddeleri alabilmesini sağlamaktadır. Bağıl su içerikleri azaldığında bitki hücreleri turgorunu kaybederek büzülmekte ve ozmotik dengeyi koruyucu mekanizmalarını devreye sokarak hücre hacminin korunmasını kontrol altına almaya çalışmaktadır (Çırak ve Esendal, 2003). Çalışmamızda elde edilen veriler incelendiğinde, her iki anaç içinde kuraklık şiddeti ve süresi YOSİ değerlerinde düşüşler meydana getirmiştir. Ancak Garnem anacı kuraklığı tolere etmede, Myrobolan 29C ancına göre çalışma sonuna kadar bitkilerin canlılığını devam ettirerek daha etkili bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar mevcut literatürlerde de belirtilmiştir. Rahman ve ark., (2002)'nın 2 domates çeşidinde su stresinin süresi uzadığında yaprak oransal su içeriğinde azalmaların olduğunu tespit etmişlerdir. Larbi ve Mekliche (2004)'in iki buğday çeşitinde yürüttükleri çalışmada stres koşullarında buğday çeşitlerinde yaprak oransal su içeriğinde azalmaların olduğunu, bu azalmanın stres şartlarının devam eden günlerinde daha da arttığını bildirmişlerdir. Boutra ve ark., (2010)'nın 4 farklı buğday çeşidinde kuraklık şiddetinin artmasıyla yaprak oransal su içeriğinde azalmaların meydana geldiğini bildirmişlerdir. Keyvan (2010)'da 3 farklı buğday çeşidinde yürüttüğü çalışmada bitki gelişiminin son evresinde yaprak oransal su içeriğinde azalma tespit etmiştir. Ghaderi ve Siosemardeh (2011) iki çilek çeşidinde farklı sulama rejimlerinin etkilerini incelediği çalışmada en yüksek yaprak oransal su içeriğini kontrol grubunda bulmuşlardır. Rezaei ve ark., (2012) domateste kuraklık şartlarında tutulan bitkilerde yaprak oransal su içeriğinde azalmalar tespit edilirken, kuraklık uygulaması yapılmayan ve Glisin Betain uygulamaları yapılan bitkilerde ise artışlar meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Yapmış olduğumuz çalışmada, her iki anaçta da kuraklık stresi altında klorofil içeriğinde azalışlar gözlenmiştir. Myrobolan 29C anacında meydana gelen azalış Garnem anacına göre daha fazladır. Bu durum Garnem anacının badem x şeftali melezi olmasından dolayı kuraklığa daha dayanıklı olması ile açıklanabilir (Anonymous, 2015). Su klorofil sentezi için en önemli maddelerdendir. Aşırı yağışlarından sonra klorofil miktarında sık sık artış gözlenirken, kurak zamanlarda klorofil miktarında azalma meydana gelmektedir. Diğer yandan maksimum klorofil miktarını korumak için yaprak

su içeriği yüksek olmalıdır (Goss, 1973). Nitekim Efeoğlu ve ark., (2009) yapmış olduğu çalışmada kuraklık stresi altındaki mısır bitkisinin yapraklarında toplam klorofil miktarının azaldığını fakat yeniden sulama ile klorofil miktarında artış olduğunu gözlemlemiştir. Klorofil bitkideki ana pigmentlerden biridir ve konsantrasyonundaki azalma kloroz, gelişim ve verimde azalmaya neden olmaktadır. Klorofil parçalanması açısından çevresel stres altındaki bitkiler benzer sonuçlar vermektedir. Alizadeh ve ark., (2011) elmada, Hayatu ve Mukhtar (2010) börülcede ve Zanjani ve ark., (2012) kabakda kuraklık stresi ile klorofil miktarlarında azalış olduğunu belirtirken, Sayyari ve Ghanbari (2012) biberde sık sulama ile birlikte klorofil miktarının arttığını belirtmiştir. Rad ve ark., (2012) kuraklık stresinde klorofilin azalma sebebinin aktif oksijen radikallerinin kloroplastlara verdiği zararlanmadan kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir.

Çalışmamız sonucunda, Myrobolan 29C anacında yapılan uygulamaların ilk 3 gününde protein miktarında artış olsada, devam eden günlerde azalış meydana gelmiştir. Çalışmanın ilk günlerinde gerçekleşen protein miktarındaki artış kuraklık stresinde protein üretiminin 3.gününe kadar devam etmekte olduğunu sonrasında ise kuraklık stresinin baskın geldiğini göstermektedir. Benzer sonuç, Ahmad ve Basha (1998)'nın bezelye üzerine yaptıkları çalışma ile doğrulanmaktadır. Araştırmacılar benzer şekilde bezelyede 10.güne kadar protein miktarında artış, sonrasında ise azalışlar meydana geldiğini belirtmişlerdir. Meydana gelen bu olay ozmotik dengenin sürdürülebilmesini sağlamak ve artan metabolik aktiviteye uyum sağlamak için su stresi altında protein sentezi aktivitesi artırılmasıyla açıklanmaktadır (Ahmad ve Basha, 1998). Garnem anacının verileri incelendiğinde ise ilk günden itibaren protein değerlerinde azalışlar tespit edilmiştir. Her iki anaçta da protein miktarında meydana gelen bu azalışlar MDA miktarındaki artışlarla ilişkilendirilebilir. Elde ettiğimiz toplam protein değerleri, Brito ve ark. (2003)'nın *Olea europaea* spp. *Maderensis*'te, Ashraf ve Iram (2005)'ın iki farklı baklagil türünde, Bertamini ve ark. (2006)'ın, Riesling üzüm çeşidinde, Behnamnia ve ark. (2009)'ın domateste, Zanjani ve ark. (2012)'nın kabakta ve Zonouri ve ark. (2014)'nın White Seedless ve Khoshnav üzüm çeşitlerinde yapmış oldukları çalışmalardaki verilerle uyum içerisinde olduğu bulunmuştur. Kuraklık stresi ile bitkinin protein metabolizmasında bozukluk meydana gelmektedir. Bu bozukluk proteinlerin parçalanması ve protein sentezinin azalması şeklinde görülmektedir (Kutlu 2010).

Prolin genellikle stres koşullarında birikimi gerçekleşen, bitkinin dayanım yeteneğini sağlaması bakımından bir indikatör görevi yapan, suda çözünebilir bir aminoasittir (Bian ve ark., 1988). Ozmolit olarak görev yapmasının yanında, hücrelerin

stabilizasyonu, sitozolik pH'nın ayarlanması ve hidroksil radikallerinin düzenlenmesinde etkili bir organik maddedir (Matysik ve ark. 2002). Strese maruz kalan bitkiler, ozmotik dengenin sağlanabilmesi için, sitoplazma ve organellerinde çeşitli çözünebilir maddeler biriktirirler. Bu maddeler enzimler üzerinde pozitif bir etki sağlaması dışında, membran bütünlüğünü de sağlayarak stres altındaki bitkilerde ozmotik düzenlemenin sağlanmasında rol oynamaktadır (Asraf ve Foolad, 2007). Kurak şartların prolin miktarı üzerine etkisi incelendiğinde, Ismail ve ark. (2004) muzda, Bertamini ve ark. (2006) asmada, Keyvan (2010) buğdayda, Ghaderi ve Siosemardeh (2011) çilekte, Alizadeh ve ark., (2011) M9, MM106, Gami, Azayesh elma anaçlarında, Patel ve ark., (2011) nohutta, Abbaspour ve ark., (2012) Antepfıstığında, Karimi ve ark., (2012) 5 farklı badem çeşidi ve GF 677 anacında, Sayyari ve Ghanbari (2012) biberde, Zanjani ve ark., (2012) kabakta, Rostami ve Rahami (2013) incirde, Bolat ve ark., (2014) elma ve armutta yaptıkları çalışmalarda prolin miktarlarında artışlar elde etmişlerdir. Bizim çalışmamızda kullanılan her iki anaçta da prolin miktarında artışlar gözlenmiştir. Garnem anacında prolin değerleri Myrobolan 29C anacına göre daha yüksek değerlere sahip olmuş buda bitkinin kurak şartlara dayanımını artırmıştır. Nitekim, Garnem anacında kuraklık uygulaması boyunca prolin seviyelerinde artış olurken, Myrobolan 29C anacında prolin seviyelerindeki artış -1,5MPa da11.gün sonunda -0,5 ve-1,0 MPa uygulamalarında ise 13.gün sonuna kadar yavaş bir artış göstermiştir.

Kuraklık stresi altındaki bitkilerde görülen oksidatif stres hücrelerde reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşmasına neden olur. Bitkiler oluşan bu radikalleri etkisiz hale getirmek için SOD, GR, KAT ve APX gibi antioksidan enzimleri kullanmaktadır. Antioksidan mekanizma, bitkilerde stres toleransını artırmayı sağlayacak bir strateji oluşturmaktadır (Manivannon ve ark., 2007). Süperoksit anyonu (O_2^-) hücrelerde SOD enzimi tarafından H_2O_2'ye dönüştürülür ve H_2O_2; diğer enzimatik sistemler POD, APX ve GR tarafından H_2O ve O_2'ye parçalanır (Dixit ve ark., 2001; Mittiova ve ark., 2002; Qiu ve ark., 2008; Bian ve Jiang, 2009).

Hidrojen peroksit (H_2O_2), üretildiği bölgede kalan süperoksidin aksine membranları geçen, sitozole diffüze olan ve uzun ömürlü bir oksidanttır. Süperoksit ile reaksiyona girerek en reaktif ve zarar verici radikal olan hidroksil radikalini (OH^-) oluşturmaktadır (Karadağ, 2013). Ayrıca H_2O_2, özellikle proteinlerdeki *Hem* grubunda bulunan demir ile tepkimeye girerek yüksek oksidasyon düzeyindeki reaktif demir formlarını oluşturur. Bu formdaki demir çok güçlü oksitleyici özelliklere sahip olup, hücre zarlarında lipid peroksidasyonu gibi radikal tepkimeleri başlatabilmektedir.

Oksitleyici özelliği nedeniyle biyolojik sistemlerde oluşan H_2O_2'nin derhal ortamdan uzaklaştırılması gerektiği bildirilmiştir (Harbinson ve Hedley, 1993; Büyük ve ark., 2012). PEG uygulaması ile oluşturulan kuraklık stresi çalışmamızda kullanılan Myrobolan 29C anacında, stresin şiddeti artıkça H_2O_2 birikiminde artış olduğu, bu artışın -1,5 MPa uygulamasında en fazla olduğu belirlenmiştir. H_2O_2'nin oluşması ve ortadan kaldırılması gibi metabolik olaylar göz önüne alındığında çalışmamızda elde edilen veriler doğrultusunda H_2O_2'nin miktarında artış meydana geldiğinde SOD miktarında da artışın meydana geldiği ancak bu miktarın 9.günden sonra azaldığı ortaya çıkmıştır. Bitkinin SOD aktivitesi süperoksiti ancak 9.güne kadar H_2O_2'ye dönüştürdüğü bu zamandan sonra ise azalan SOD miktarına bağlı olarak daha düşük miktarlarda süperoksiti H_2O_2'ye dönüştürdüğü belirlenmiştir. H_2O_2'nin H_2O ve O_2'ye parçalanması olaylarında yer alan KAT, POD, GR ve APX gibi enzimlerde ise tüm kuraklık uygulamalarında ortalama 9.güne kadar bir artış söz konusu iken 9.günden sonra ise çalışma sonuna kadar azalışlar meydana gelmiştir. Bu durum KAT, POD, GR ve APX'in 9.güne kadar H_2O_2 ile mücadele etme çabası içerisinde olduğu ancak bu zamandan itibaren çalışma sonuna kadar ise H_2O_2 miktarının bu enzimler karşısında üstün geldiği tespit edilmiştir. Nitekim 13.günde Myrobolan 29C anacında tüm bitkiler ölmüştür. Garnem anacında ise çalışma sonuna kadar H_2O_2 miktarında artış gözlenmiştir. Buna karşın H_2O_2'nin oluşmasında rol oynayan SOD'nin miktarı 13. güne kadar artmış sonrasında azalmaya başlamıştır. Buda SOD'un süperoksiti 13.güne kadar H_2O_2'ye dönüştürebildiği ile açıklamaktadır. Ancak biriken fazla miktardaki H_2O_2 bitkiye zarar vermeye başlamıştır. Bu durumda da H_2O_2'i parçalayan enzimler (KAT, POD, GR ve APX) devreye girmiştir. Garnem anacında GR ve APX miktarlarında 13. güne kadar artış olsada sonrasında azalışlar meydana gelmiştir fakat KAT ve POD miktarları çalışma sonuna kadar artış göstermiştir. Bu durum ise KAT ve POD'un H_2O_2'nin zararlı etksini azaltarak bitkinin strese dayanıklılığını artırması olarak açıklanmaktadır. Patel ve ark., (2011) nohutta ve Shehab ve ark., (2010) ise çeltikte kuraklık stresi koşulları altında H_2O_2 miktarında artış olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada ise kuraklığa dayanıklı buğday çeşidinde en düşük H_2O_2 birikimi gözlenirken, hassas buğday çeşidinde H_2O_2 birikiminin fazla olduğu gözlemlenmiştir (Khanna-Chopra ve Selote, 2007). Yine benzer şekilde, Moussa ve Abdel-aziz, (2008) mısır bitkisinde kuraklığa tolerant çeşitte H_2O_2 birikiminin azaldığını ve buna bağlı olarak düşük membran zararlanmasının görüldüğünü tespit etmiştir.

Çalışmamızda süperoksit dismutaz enzim aktivitesinde her iki anaçta da artış gözlemlenirken, Myrobolan 29C anacında 9.günden sonra Garnem anacında ise 13.günden sonra azalış olmuştur. Birçok araştırmacı farklı bitkilerde farklı stres koşullarında SOD enzim aktivitesini araştırmışlardır. Gong ve ark., (2005) kuraklık şartlarında yetiştirilen buğdaylarda SOD enzim aktivitesinin kontrole göre daha düşük olduğunu belirtirken, Yediyıldız (2008) tuz ve kuraklık stresi altındaki buğday çeşitlerinin SOD aktivitesinde kontrole kıyasla önemli farklılıkların olmadığını belirlemiştir. Rahman ve ark., (2002) kuraklık stresindeki domates bitkilerinde stres sonunda SOD enziminin en yüksek seviyeye ulaştığını bildirmişlerdir. Reddy ve ark., (2004) dutta, Cai ve ark., (2005) kahvede, Behnamnia ve ark., (2009) domateste, Sivritepe ve ark., (2008) *in vitro* şartlarda yetiştirilen Gisela-5 anacında SOD enzim aktivitesinde artış belirlerken, Chai ve ark., (2005) *in vitro* şartlarda çoğalttıkları 2 muz çeşidinde yapmış oldukları çalışmada SOD enzim aktivitesinde azalmalar tespit etmişlerdir.

Katalaz yüksek konsantrasyondaki H_2O_2'nin 2 elektronunu kullanarak su ve oksijene direkt olarak indirgenmesini katalizleyen en önemli enzimatik antioksidanlardan biridir (McClung 1997; Dionisio-Sese ve Tobita, 1998; Chaudiere ve Ferrari-Iliou, 1999). Stres altındaki birçok bitkide farklı katalaz izozimlerini kodlayan genler incelendiğinde, bu enzimi kodlayan genlerin stresle ilişkili olarak ifade düzeylerinin de arttığı gözlenmiştir (Matsumura ve ark., 2002; Millar ve ark.; 2003). Yaptığımız çalışma ile kuraklık stresi altında tutulan Garnem anaçlarında KAT enzim aktivitesi stresin ilerleyen günlerinde artış gösterdiği tespit edilirken, Myrobolan 29C anacında ise kuraklık şiddetinin artmasıyla katalaz enzim aktivitesi -1,5MPa uygulamasında 9.günden itibaren -0,5MPa ve -1,0MPa kuraklık uygulamalarında ise 11.günde azalışa geçmiştir. Elde ettiğimiz bu sonuçlar yapılan kuraklık stresi çalışmaları ile de uyum göstermektedir. Nitekim Jung (2004), *Arabidopsis* bitkilerinin genç yapraklarında kuraklık stresi ile birlikte KAT aktivitesinin azaldığını, fakat yaşlı yapraklarda %33 oranında arttığını tespit etmiştir. Nair ve ark., (2008) börülcede yaptığı bir çalışmada ise kuraklığa tolerant türünde duyarlı türe göre KAT aktivitesinin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan diğer araştırmalarda da dutta (Reddy ve ark., 2004), muzda (Chai ve ark., 2005), domateste (Ünyayar ve Çekiç, 2005), mısırda (Moussa ve Abdel-Aziz, 2008) kuraklık stresi ile KAT enzim aktivitesinin arttığını bildirmişlerdir.

Yüksek POD aktivitesinin bitkilerin kuraklık toleransı ile ilişkili olduğu ve POD aktivitesindeki artışın kuraklık stresine toleransa katkı sağlayabileceği belirtilmiştir (Gillham ve Dodge, 1987; Sairam ve Saxena, 2000). Yapmış olduğumuz çalışmada her

iki anaçta da kuraklık stresindeki artışa bağlı olarak POD aktivitesi Myrobolan 29C anacında 11.güne kadar artış gözlenirken, 11.günden sonra azalmaya başlamıştır. Garnem anacında ise POD aktivitesinde stres süresince artış meydana gelmiştir. Tanaka ve ark., (1990) su stresi altındaki ıspanak yapraklarında POD aktivitesinin arttığını bildirmişlerdir. Terzi ve Kadığolu (2006) *Ctenanthe setosa* türünde kuraklık stresi ile yaprak ve yaprak sapındaki POD aktivitesinin arttığını fakat köklerde ise azaldığını belirmişlerdir. Yine benzer şekilde kuraklık stresi ile ilgili yapılan çalışmalarda Bolat ve ark., (2014) elma ve armutta, Li-Ping ve ark., (2006) mısırda, Patel ve ark., (2011) nohutta POD aktivitesinde artış olduğunu bildirirken Cunhua ve ark., (2010) kazayağı bitkisinde POD enzim aktivitesinin en yüksek değere tolere edilebilir kuraklık uygulamasında ulaştığını su stresinin en şiddetli olduğu uygulamada ise 15.günden itibaren POD aktivitesinde azalmalar olduğunu tespit etmişlerdir. Her iki anaçta da elde ettiğimiz sonuçlar mevcut literatürler ile uyum göstermektedir.

Glutatyon redüktaz (GR) ve askorbat peroksidaz (APX) bitki hücrelerindeki H_2O_2'in H_2O'ya indirgenmesinden sorumlu olan, Halliwell Asada (askorbat-glutatyon) döngüsünün önemli enzimlerindendir (Noctor ve ark., 2002; Mathur ve ark., 2009). GR, NADPH varlığında glutatyonun rejenerasyonunu sağlamak için askorbat-glutatyon döngüsünde anahtar bir enzimdir (Hou ve ark., 2004). Kuraklık ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında buğday, *Arabidopsis*, dut, domates, çeltik vb. türlerde GR enzim aktivitesinde stres ile birlikte artışlar olduğu gözlemlenmiştir (Sairam ve Saxena, 2000; Jung, 2004; Reddy ve ark., 2004; Ünyayar ve Çekiç, 2005; Shehab ve ark., 2010). Nitekim bizim yapmış olduğumuz çalışmada da kullanılan her iki anaçta da -1,5 MPa kuraklık stresinde GR enzim aktivitesinin en fazla olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Chai ve ark., (2005) muzda yaptıkları çalışmada kuraklığın ilerleyen aşamalarında GR aktivitesinde artış tespit ettiğini ve Sivritepe ve ark., (2008) ise Gisela-5 anacı ile yürüttükleri çalışmada kuraklık şiddetinin artmasıyla GR aktivitesinde artışlar olduğunu belirtmişlerdir. APX, askorbatı elektron vericisi olarak kullanarak H_2O_2'i suya indirgeyen askorbat-glutatyon döngüsünde görev alan diğer enzimdir (Demiral, 2003). Yaptığımız çalışmada Garnem anacında Myrobolan 29C anacına göre APX aktivitesinde daha fazla artış gözlenmiş, Myrobolan 29C anacında 9. günden sonra Garnem anacında ise 13. günden sonra enzim aktivitesinde azalış meydana gelmiştir. Zonouri ve ark., (2014) asmada, Cai ve ark., (2005) kahvede, Patel ve ark., (2011) nohutta APX aktivitesinde artış gözlemlerken Proietti ve ark., (2013) zeytinde stres altındaki bitkilerde APX aktivitesinde daha düşük değerler tespit etmişlerdir. Çetinkaya, (2013) çilekte yaptığı çalışmada

çeşitlerin kuraklığa toleransında artan APX ve GR enzimlerinin önemli rol oynadığını belirlemiştir.

Lipit peroksitlerinin hücre yaşamı için en önemli etkileri, membran yapısında ve hücre bölünmesinde meydana getirdikleri değişimlerdir (Karadağ, 2013). Oluşan MDA proteinlere ve DNA'ya bağlanarak deformasyon, iyon transportu, enzim aktivitesi ve hücre yüzey bileşenlerinin agregasyonu gibi zar özelliklerinin değişmesine yol açar (Placer ve ark., 1990; Dixit ve ark., 2002; Karadağ, 2013). Çalışmamızda, kuraklık stresi altındaki anaçlara bakıldığında Garnem anacında Myrobolan 29C anacına göre daha fazla MDA birikimi meydana gelmiştir. Ancak, Garnem anacının daha yüksek Ca içeriği MDA'nın membran zararlanmasını belirli bir düzeyde önlemiştir. Benzer şekilde Zonouri ve ark., (2014) asmada, Filek ve ark., (2012), buğdayda, Cai ve ark., (2005) kahvede, Patel ve ark., (2011) nohutta kuraklık stresi altındaki bitkilerde MDA miktarında artış olduğunu belirtmişlerdir.

Askorbik asit (AsA), fotosentez ve solunum süresince oluşturulan ROS'lara karşı bitkiyi korumada rol oynayan hidrofilik bir antioksidandır (Foyer ve ark., 1994; Jaleel ve ark., 2009). Askorbik asit sadece H_2O_2 değil O_2^{-}'ne, OH^{-} ve lipid hidroperoksitlerine karşı tepki verir. Enzim kofaktörü ve antioksidan olarak, oksidatif strese direnç gelişmesinde ve kloroplastlarda veya plazma membranında elektron taşınmasında alıcı veya verici olarak görev yaptığı bildirilmiştir (Halliwell 1978; Larson, 1988; Güzel, 2006). Yaptığımız bu çalışmada askorbik asit miktarının kuraklık stresi koşullarında her iki anaca ait bitkilerde artış gösterdiği belirlenmiştir. Stres sürecince Myrobolan 29C anacında -1,5 MPa uygulamasında askorbik asit miktarı daha fazla artış gösterirken Garnem anacında kontrol grubu hariç tüm uygulamalarda hızlı bir artış olduğu görülmektedir. Kuşvuran, (2010) kavunda stres koşullarında Vitamin C miktarında artış olduğunu, Nair ve ark., (2008), ise börülcede kuraklık stresi sonucu askorbik asit miktarının arttığını ve bu artışın tolerant genotipte belirgin bir biçimde ortaya çıktığını ifade etmiştir. Somasundaram ve ark., (2009) susamda, Reddy ve ark., (2004) ise dutta stres koşullarında askorbik asit miktarında artış tespit etmişlerdir. Zonouri ve ark., (2014) yaptıkları çalışmada kuraklık stresi altındaki üzüm çeşitlerine askorbik asit uygulamışlar ve stres altındaki bitkilerde askorbik asit miktarının fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Kuraklık stresi bitkilerde hem besin elementi alımını, hem de köklerden gövde kısmına taşınımını azaltmaktadır. Besin elementinin alınımı ve taşınmasındaki bu azalış transpirasyon oranının azalması ve aktif taşınımın ve membran permabilitesinin zarar görmesinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Viets, 1972; Alam, 1999). Aynı zamanda

topraktaki nemin azalması ile toprak içindeki bitki köklerinin absorbe edebileceği besin elementi dağılımını da azalttığı belirtilmiştir (Alam, 1999). Kuraklık ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarda bizim bulduğumuz sonuçları desteklemektedir. Myrobolan 29C ve Garnem anaçlarında kurak şartlarda stresin şiddetinin artmasıyla birlikte K, Na, Ca, Mg, B, Fe ve Zn besin elementlerinin miktarlarında azalış gözlenmiştir. Garnem anacında K, Ca ve Na miktarları Myrobolan 29C anacından daha yüksek değerlere sahip olmuştur. Potasyum, bitkilerde birçok enzim sisteminin aktive edilmesinde, kök gelişimini artırarak kuraklığa direnç sağlamada, hücre turgorunu sağlayarak bitkilerde su kaybını azaltmada ve solmayı engellemede önemli bir besin elementidir (Turan ve Horuz, 2012). Beringer ve Trolldenier, (1978) kurak şartlar altında gelişen bitkilerin K eksikliği gösterdiklerini tespit etmişlerdir. Sodyum bitkilerde enzim aktivitesinin düzenlenmesinde rol alır ve bitkilerin potasyum ihtiyacını azaltır. Ayrıca sodyumun bitkilerde su düzenini etkilediği ve noksanlığı durumunda bitkilerin daha çabuk solduğu belirtilmiştir (Marschner, 1995). Kalsiyum, pek çok fizyolojik olayın düzenlenmesinde hayati bir rol oynamaktadır (Özpay, 2008). Bitkilerde çeşitli enzimatik ve hormonal süreçlere katılır bununla birlikte enzim aktivitesini artırmakta, besin elementlerinin alınımında gerçekleşen metobolik süreçlere katılmakta, stomaların fonksiyonunu artırarak kuraklık ve susuzluk stresine karşı bitkileri korumaktadır. Aynı zamanda Ca hücre duvarlarının devamlılığını sağlamaktadır. Kuraklık ile birlikte membranlarda meydana gelen yıkım Ca miktarında azalışı göstermiş olabilir. Magnezyum bitki stoplazmasında en çok bulunan ve olumsuz çevre koşullarına karşı dokularda Ca gibi koruyucu bir fonksiyon üstlenen besin elementidir (Hecht-Buchholtz ve Schuster, 1987). Ayrıca Mg klorofilin yapısına katılmaktadır. Dolayısıyla kuraklık stresinde Mg elementindeki azalmaların bitkilerde meydana gelen klorofil parçalanması sonucu olduğu söylenebilir. K, Na ve Ca kuraklık stresinde bitkilerin dayanımlarını tespit etmede önemli besin elementlerdir. Garnem anacı K, Na, Ca elementleri yönünden Myrobolan 29C anacına göre daha yüksek değerler vermiştir. Bu durum Garnem anacının kuraklığa daha iyi dayanım gösterebileceği yönünde bilgiler verebilmektedir. Nitekim Myrobolan 29C anacında bitkiler 15.güne kadar yaşamamış, yapraklarda daha erken kurumalar ve dökülmeler ortaya çıkmıştır. Bor, bitkilerde fosfor ve kalsiyum alımını artırıcı etkide bulunmaktadır. Ayrıca hücre duvarının oluşumu, solunum ve biyolojik membranların yapısal ve fonksiyonel özellikleri üzerine önemli etkiler yapmaktadır. Demir, klorofil sentezinde katalizör olarak ve protein sentezinde görev yapmaktadır. Enzimatik olayları hızlandırmaktadır. Çinko, bitkide birçok sayıda enzimin aktifleştirilmesinde görev alır ve çeşitli enzimlerin yapılarında yer

alır. Protein, şeker ve karbonhidrat sentezine katılır ve fotosentez, solunum ve biyolojik membran devamlılığı üzerine etkileri vardır (Turan ve Horuz, 2012). B, Fe, Zn elementlerinin membran yapılarına katılmasından dolayı kuraklık stresi koşullarında membranlarda oluşan yıkım sonucunda bu elementlerde azalış olduğu düşünülmektedir. Bitkilerde kuraklık şartlarında Mn, Fe ve Zn iyonlarının alımının engellenebileceği ve bitkilerde bu iyonların eksikliğinin belirtileri görülmeye başlandığı rapor edilmiştir (Havlin ve ark., 1999). Arjenaki ve ark., (2012) buğdayda yaptıkları çalışmada kuraklığa dayanıklı çeşitlerde K, Na, Mg ve Ca içerikleri duyarlı çeşitlere göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. *In vitroda* Gisela 5 kiraz anacı kullanılarak yapılan çalışmada ise PEG konsantrasyonunun artmasıyla bitki besin elementi içerikleri bakımından da azalmalar söz konusu olmuştur. Hem makro hem de mikro besin elementi içerikleri kuraklık şiddetinin artışıyla düşüş göstermişlerdir (Sivritepe ve ark., 2008). Kuraklık stresi ile birlikte şeker kamışında (Choluj ve ark., 2004) ve ayçiçeğinde (Güneş ve ark., 2008) K iyonu alımınının engellenmesi bu elementlerin bitki bünyesinde azalmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bitki büyümesini engelleyen her faktör stres olarak tanımlanmaktadır. Dünyanın birçok yerinde kuraklık, tuzluluk, aşırı sulama, yüksek ve düşük sıcaklık, pH ve ağır metallerin neden olduğu stresler yaygın olarak görülmektedir. Son yıllarda çevresel bir sorun olan küresel ısınmanın etkisiyle birlikte, tarımsal kuraklık ile suyun önemi daha fazla hissedilmeye başlanmıştır. Bitkiler kuraklık stresine karşı fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler cevap niteliğinde, çevresel şartlara adapte olmayı sağlayacak tolerans mekanizmaları geliştirmektedirler. Çalışmamızda kullanmış olduğumuz Garnem anacı Badem x Şeftali melezi olup kuraklığa karşı dirençli bir anaç olarak bilinmektedir. Bunun yanında Myrobolan 29C erik anacı ise Garnem anacına göre kuraklık stresine karşı daha duyarlı bir anaçtır. Yapılan bu çalışma ile anaçların sahip oldukları özellikler bakımından kurak stresine karşı tepkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

Bitki boyu verileri incelendiğinde kuraklık stresinde tutulan bitkilerde boy uzamasının engellendiğinin ve nispi bitki ağırlıklarında azalmaların olduğu belirlenmiştir. Myrobolan 29C anacına göre Garnem anacında bitki boyunda daha fazla artış gözlenmiştir. Her iki anaçta da kuraklık stresi artıkça boy uzamasının ve nispi ağırlığın azaldığı tespit edilmiştir. Myrobolan 29C ve Garnem anaçlarında kuraklık süresi ve şiddeti arttıkça yaprak alanında azalış olduğu gözlemlenmiştir.

Myrobolan 29C ve Garnem anacında yürüttüğümüz kuraklık çalışmasında kuraklığın şiddetinin ve süresinin artmasıyla hücre membranlarında zararlanma ve yaprak oransal su içeriklerinde düşüşler meydana gelmiştir. Klorofil miktarı bakımından anaçlar incelendiğinde en fazla klorofil kaybı Myrobolan 29C anacında olmuştur. Her iki anaçta da -1,5 MPa uygulamasında klorofil kaybının en fazla olduğu görülmüştür.

Kullanılan her iki anaçta da prolin miktarında artışlar, protein miktarlarında azalışlar meydana gelmiştir. Garnem anacında kuraklık uygulaması boyunca prolin miktarında artış olurken, Myrobolan 29C anacında artış kuraklığın süresindeki artış ile doğrusal bir seyirde devam etmiştir.

Çalışmada kuraklık stresindeki anaçlarda antioksidan enzim aktivitelerini incelediğimizde Garnem anacının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Garnem anacında KAT aktivitesinde artışlar olurken, SOD ve APX enzim aktivitelerinde kuraklık süresi arttıkça azaldığı görülmüştür. Myrobolan 29C anacında ise KAT, SOD, APX aktivitelerinde başlarda artış olurken, kuraklık stresi arttıkça azalışlar gözlenmiştir.

Sonuçlara göre stres altındaki anaçlarda antioksidan enzim aktivitelerinin strese adapte olmada kullanılabilir parametreler olduğu söylenebilir.

MDA birikimi incelendiğinde ise, Garnem anacında MDA birikimi Myrobolan 29C anacına göre daha fazla olduğu görülmüştür. H_2O_2 birikiminin ise Myrobolan 29C ve Garnem anacında stresin şiddeti artıkça H_2O_2 birikimininde arttığı belirlenmiştir. Askorbik asit miktarının kuraklık stresi koşullarında her iki anaca ait bitkilerde artış gösterdiği belirlenmiştir.

Elde ettiğimiz veriler doğrultusunda Garnem anacının Myrobolan 29C anacına göre kuraklık stresine daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Bu dayanıklılığın, anacın stres şartları altında geliştirmiş olduğu savunma mekanizmaları ile açıklanmaktadır. Her iki anacında antioksidan enzim aktiviteleri incelendiğinde Garnem anacının antioksidan enzimleri daha fazla sentezlediği ve bu sayede stres şartlarına dayanıklılık sağladığı bulunmuştur. Garnem anacı stres şartları altında bitki bünyesinde biriken H_2O_2'i sentezlemiş olduğu SOD ve KAT enzimleri ile bertaraf ederken Myrobolan 29C ise daha az SOD ve KAT sentezleyerek dayanıklılığı sağlamaya çalışmıştır. Garnem anacı Myrobolan 29C'ye göre yüksek GR sentezi ile membran zararlanmasını azaltmıştır. Bu da bitki bünyesinde suyun muhafazasını, buna bağlı olarak fotosentezi ve yaşamın devamını sağlayarak kurak stresine dayanıklılığı artırmıştır.

Çalışmamızın sonuçlarına göre stres koşullarında ortaya çıkan serbest radikallare karşı savunma mekanizması olarak görev alan antioksidan enzim aktivitelerinin araştırılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

Genel olarak bitkilerde, büyüme ve gelişmenin devamı, hücrenin su içeriğinin korunmasına bağlıdır. Bitkideki su noksanlığı, fotosentezde azalmaya ve böylece gelişmenin yavaşlamasına ve sonuç olarak da verim ve kalitede düşüşlere sebep olacaktır. Bunun sonucu olarak kuraklıkla mücadele için sulama sistemleri üzerinde durulmuş ve yeni yöntemler geliştirilmiştir. Ancak günümüzde sulama sularındaki azalma ile bunlar yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda kuraklığa dayanıklı bitkilerin elde edilmesi için seleksiyon çalışmaları yapılmalıdır. Bununla birlikte kuraklık stresinin mekanizmasının aydınlatılması kuraklık stresine dayanıklı bitkilerin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Kuraklık stresinin mekanizmasının araştırılmasında moleküler ve biyokimyasal yönlerin de incelenmesi faydalı olacaktır. Ayrıca strese dayanıklı yabani formlardan dayanıklılık genlerinin kültür bitkilerine aktarılması da önemli bir konudur.

KAYNAKLAR

Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H. and Abdel-Wahhab, M. A., 2012, Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions, *Journal of Plant Physiology*, 169: 704 -709.

Abdalla, M. M. and El-Khoshiban, N. H., 2007, The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticium aestivum* cultivars, *Journal of Applied Sciences Research*, 3(12): 2062-2074.

Agarval, S. and Pandey, V., 2004, Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*, *Biologia Plantarum*, 48(4): 555-560.

Aharoni, N., Blumenfeit, A. and Richmand, A. E., 1977, Hormonal activity in detached lettuce leaves as affected by leaf water content, *Plant Physiol*., 59: 1169-1173.

Ahmad, M. A. and Basha, S.M., 1998. Effect of water stress on composition of peanut leaves. *Peanut Science*, 25: 31- 34.

Alam, S. M., 1999, Nutrient uptake by plants under stress conditions, in Pessarakli, M.: *Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker*, New York, 285–314.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E., 2001, The effect of drought ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*, 24 (12): 1337-1344.

Alexieva, V., Ivanov, S., Sergiev, I. and Karanov, E., 2003, Interaction between stresses, *Bulg. J. Plant Physiol*., Special Issue, 1-17.

Alizadeh, A., Alizade, V., Nassery, L. and Eivazi, A., 2011, Effect of drought stress on apple dwarf rootstocks, *Tech. J. Engin. & App. Sci*., 1(3): 86-94.

Allerstorfer, V., 2014, Evaluation of drought adaptation of different tomato genotypes, Master Thesis, *Üniversität für Bodenkultur Vien Department für Nutzpflanzen-wissenschaften*, Vienna, 51.

Alscher, R. G., Erturk, N. and Heath, L.S., 2002, Role of superoxide dismutase in controlling oxidative stress in plants, *Journal of Experimental Botany*, (53): 1331-1341.Angelini, R., and Federico, R., 1989. Histochemical evidence of poliamin oxidation and generation of hydrogen peroxide in the cell wall, *J. Plant Physiol*., (135): 212-217.

Anonim, 2008, İklim değişikliği ve yapilan çalişmalar, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları.

Anonymus, 2015, http://www.fitotechniki.com/Full%20Products.pdf (Erişim Tarihi 02,07.2015)

Aono, M., Kubo, A., Saji, H., Tanaka, K. and Kondo, N., 1993, Enhanced tolerance to photooxidative stress of transgenic *Nicotiana tabacum* with high chlorolastic glutathione reductase activity, *Plant Cell Physiol*., 34: 129-35.

Apel, K., and Hirt, H., 2004, Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction, *Annu. Rev. Plant Biol*., 55: 373-399.

Arjenaki, F. G., Jabbari, R. and Morshedi A., 2012, Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties, *Intl. J. Agri. Crop. Sci*., 4 (11): 726-729.

Asada, K., 1994, Production and action of active oxygen species in photosynthetic tissues, In: Causes of photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants, Mullineaux, CRC Press, Boca Raton.

Asada, K., 1999, The water–water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol*., 50: 601–639.

Asghari, M. T., Daneshian, J. and Farahani, H. A., 2009, Effects of drought stress and planting density on quantity and morphological characteristics of chicory (*Cichorium intybus* L.), *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 1(1): 12-14.

Ashraf, M., Arfan, M., Shahbaz, M., Ahmad, A. and Jamil, A., 2002, Gas exchange characteristics and water relations in some elite okra cultivars under water deficit, *Photosynthetica*, 40(4): 615-620.

Asraf, M. and 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*, 200: 535–546.

Ashraf, M. and Foolad, M. R., 2007, Roles of glycine betaine ve proline in improving plant abiotic stress resistance, *Envionmental ve Experimental Botany*, 59: 206-216.

Asraf, M., 2009, Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers, *Biotechnol. Adv.*, 27: 84-93.

Athar, H. R., Khan, A. and Ashraf, M., 2008, Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat, *Env. Exp. Bot.*, 63: 224-31.

Attia, H., Karray, N. and Lachaa, M., 2009, Light interacts with salt stress in regulating superoxide dismutase gene expression in *Arabidopsis*, *Plant Sci*., 177: 161–7.

Ayaş, S. and Demirtaş, Ç., 2009, Deficit irrigation effects on cucumber (*Cucumis sativus* L. maraton) yield in unheated greenhouse condition, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(3,4): 645-649.

Ayas, S., Orta, H. and Yazgan, S., 2011, Deficit irrigation effects on broccoli (*Brassica oleracea* L. var. Monet) yield in unheated greenhouse condition, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(4): 551-559.

Bakardjieva, N. and Christov, K., 1996, Effect of calcium and zinc ions on the sensitivity of peroxidase from mosses (*Mnium* sp.) and ferns (*Polydium vulgare*) to height temperature, *Can. J. Bot*., 74: 1665-1670.

Banci, L., 1997, Structural properties of peroxidase, *J. Biotech*., 53: 253-263.

Bartosz, G., 1997, Oxidative stress in plants, *Acta Physiol. Plat*., 19: 47-64.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D., 1973, Rapid determination of free proline for water stress studies, *Plant and Soil*, 39: 205-207.

Behnamnia, M., Kalantari, Kh. M. and Rezanejad, F., 2009. Exogenous application of brassinosteroid alleviates drought-induced oxidative stress in *Lycopersicon esculentum* L., *General and Applied Plant Physioiogy*, 35: 22-34

Bergmeyer, J. and Grabl, M., 1983. Methods of Enzymatic Analysis (Third Edition), Germany, 190-302.

Beringer, H. and Trolldenier, G., 1978, Influence of K nutrition on response to environmental stress, *Proc.int workshop "Role of K in crop production"*, Cairo, 115-124.

Bertamini, M., Zulini, L., Muthuchelian, K. and Nedunchezhian, N., 2006, Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants, *Photosynthetica*, 44 (1): 151-154.

Bian, Y. M., Chen, S. Y. and Xie, M. Y., 1988, Effects of HF on proline of some plants, *Pant Physiol. Commun*., 6:19-21.

Bian, S. and Jiang, Y., 2009, Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery, *Scientia Horticulturae*, 120: 264–270.

Blum, A., 1986, Breeding crop varieties for stress environments, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2: 199-237.

Bohnert, H. J. and Jensen, R. G., 1996, Strategies for engineering water-stress tolerance in plants, *Trends Biotechnol*., 14: 89–97.

Bolat, I., Dikilitas, M., Ercisli, S., Ikinci, A. and Tonkaz, T., 2014, The effect of water stress on some morphological, physiological, and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks, Hindawi Publishing Corporation, *Scientific World Journal* Volume 2014, Article ID 769732.

Boo, Y. C. and Jung, J., 1999, Water deficet-induced oxidative stress and antioxidative defenses in rice plants, *Plant Physiol*., 155: 255-261.

Boutraa, T., Akhkha, A., Abdulkhaliq, A. S. and Alhejeli, A. M., 2010, Effect of water stress on growth and water use efficiency (WUE) of some wheat cultivars (*Triticum durum*) grown in Saudi Arabia, *JTUSCI*, 3: 39-48.

Bowler, C., Montagu, M. V. and Inze, D., 1992, Superoxide dismutase and stress tolerance, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol*., 43: 83–116.

Bradford, M. M., 1976, A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Anal. Biochem*., 72: 248- 254.

Bray E. A., 1997, Plant responses to water deficit, *Trends Plant Sci*., 2: 48-54.

Brestic, M., Cornic, G., Fryer, M. J. and Baker, N. R., 1995, Does photorespiration protect the photosynthetic apparatus in French bean leaves from photoinhibition during drought stress, *Planta*, 196: 450–457.

Brito, G., Costa, A., Fonseca, H. and Santos, C., 2003, Responses of *Olea europea* ssp. *maderensis in vitro* shoots exposed to osmotic stress, *Scientia Horticulturae*, 97: 411-417.

Burton, G. W. and Ingold, K. U., 1984, β-carotene: An unusual type of lipid antioxidant, *Science*, 224: 569-573.

Büyük, İ., Soydam-Aydın, S. ve Aras, S., 2012, Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar, *Turk Hij. Den. Biyol. Derg*., 69(2): 97-110.

Cai, Z.-Q., Chen, Y.-J., Guo, Y.-H. and Cao K.-F., 2005, Responses of two field-grown coffee species to drought and re-hydration, *Photosynthetica*, 43 (2): 187-193.

Campa, A., 1991, Biological roles of plant peroxidases: known and potential function, Peroxidases in Chemistry and Biology, Vol 11. CRC Press, Boca Raton, FL, 25-50.

Campbell, M. K., 1991, Biochemistry, *Harcourt Brace Jovanovich College Publishers*, Fort Worth, USA, 1.

Chai, T. T., Fadzillah, N. M., Kusnan, M. and Mahmood, M., 2005, Water stress-induced oxidative damage and antioxidant responses in micropropagated banana plantlets, *Biologia Plantarum*, 49 (1): 153-156.

Charles, S. A. and Halliwell, B., 1980, Effect of hydrogen peroxide on spinach (*Spinacia oleraceae*) chloroplast fructose biphosphatase, *Biochem. J*., 189: 373-376.

Chaudiere, J. and Ferrari-Iliou, R., 1999, Intracellular antioxidants: from chemical to biochemical mechanisms, *Food Chem. Toxicol*., 37: 949-962.

Chimenti, C. A, Pearson, J. and Hall, A. J., 2002, Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower, *Field Crops Res*., 75: 235-246.

Cho, D., Shi, D., Wook Jeon, B. and Kwak, J. M., 2009, ROS-Mediated ABA signaling, *Journal of Plant Biology*, 52(2): 102-113.

Choluj, D., Karwowska, R., Jasinska, M. and Haber, G., 2004, Growth and dry matter partitioning in sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.) under moderate drought, *Plant Soil Environ*., 50(6): 265–272.

Cicerali, N. I., 2004, Effect of stress on antioxidant defense systems of sensitive and resistant cultivars of lentil (*Lens culinaris* M.), Yüksek Lisans Tezi, *ODTÜ*, Ankara, 90.

Costa-França, M. G., Pham-Thi, C. A. T., Pimentel, R. O. P., Rossiello, Y., Fodil, Z. and Laffray, D., 2000, Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress, *Environ. Exp. Bot*., 43: 227–237.

Cornic, G., 2000, Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture-not by affecting ATP synthesis, *Trands. Plants. Science*, 5: 187-18.

Creissen, G. P., Edwards, A. and Mullineaux, P. M., 1994, Glutathione reductase and ascorbate peroxidase, causes of photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants. *CRC Press*, Boca Raton, FL, 343-364.

Cruz de Carvalho, M. H., Laffray, D. and Louguet, P., 1998, Comparison of physiological responses of *Phaseolous vulgaris* and *Vigna unguiculata* cultivars when submitted to drought conditions, *Environ. Exp. Bot*., 40: 197-207.

Cummins, W. R., 1973, The metabolism of ABA in relation to its reversible action on stomata in leaves of *Hordeum vulgare* L., *Planta*, 114: 159-167.

Cunhua, S., Wei, D., Xiangling, C., Xinna, X., Yahong, Z., Dong, S. and Jianjie, S., 2010, The effects of drought stress on the activity of acid phosphatase and its protective enzymes in pigweed leaves, *African Journal of Biotechnology*, 9(6): 825- 833.

Çakmak, I. and Marschner, H., 1992, Magnesium deficiency and highlight intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves, *Plant Physiol*., 98: 1222-1226.

Çakmak, I., Strbac, D. and Marschner, H., 1993, Activities of hydrogen peroxide scavenging enzymes in germinating wheat seeds, *J. Exp. Bot*., 44: 127–132.

Çakmak, I., Atlı, M., Kaya, R., Evliya, H. and Marschner, H., 1994, Association of high light and zinc deficiency in cold-induced leaf chlorosis in grapefruit and mandarin trees, *J. Plant Physiol*., 146: 355-360.

Çavdar, C., Sifil, A. ve Çamsarı, T., 1997, Reaktif oksijen partikülleri ve antioksidan savunma, *Office Journal of the Turkish Nephrolgy*, 3-4: 92-95.

Çerçi, S., 2012, Kuraklık stresinin değişik turunçgil anaçlarında bazı fotosentetik parametreler ve bitki besin maddeleri konsantrasyonları üzerine etkileri, Yüksek lisans tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 83.

Çetinkaya, C., 2013, Bazı çilek çeşitlerinde kuraklık stresi ile geri kazanım uygulamalarının fizyolojik etkileri, Yüksek lisans tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 45.

Çırak, C. ve Esendal, E., 2006, Soyada Kuraklık Stresi, *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 21(2): 231-237.

Çuvaç, M., 2007, Apoplastik antioksidatif enzim aktiviteleri üzerine B, Cu, Zn, Al, Pb ve Cd'nin etkilerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 59.

Davies, K. J. A., 2000, Oxidative stress, antioxidant defenses, and damage removal, repair, and replacement systems, *IUBMB Life*, 50: 279-289.

Davies, W. J., Tadieu, F. and Trejo, C. L., 1994, How do chemical signals work in plants that grow in drying soil, *Plant Physiol*., 104: 309-314.

Danial, G. H., Ibrahim, D. A., Khalil, B. M. and Musa, V. M., 2014, *In vitro* drought tolerant of rootstock apple (*Malus domestica* Borkh.) and pear (*Pyrus calleryana*), *Journal of Zankoy Sulaimani- Part A,* Special Issue, Vol: 16.

Del Rio, L. A., Sandalio, L. M., Altomare, D. A. and Zilinskas, B. A., 2003, Mitochondrial and peroxisomal manganese superoxide dismutase: differential expression during leaf senescence. *Journal of Experimental Botany,* 54: 923-933.

Demiral, T., 2003, Genç pirinç fidelerine dışarıdan glisin betain uygulamasıyla, tuza toleransının arttırılmasında antioksidant enzim aktivitelerinin rolünün araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir,73.

Demiral, T. and Türkan, İ., 2005, Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance, *Envionmental and Experimental Botany,* 53: 247-257.

Demming-Adams, B. and Adams, W. W., 1996, Xanthophyll cycle and light stress in nature: Uniform response to excess direct sunlight among higher plant species, *Planta,* 198: 460-470.

Dionisio-Sese, M. L. and Tobita, S., 1998, Antioxidant responses of rice seedling to salinity stress, *J.Plant Sci*., 135: 1-9.

Dixit, V., Pandey, V. and Shyam, R., 2001, Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad), *Journal of Experimental Botany,* 52 (358): 1101-1109.

Dixit, V., Pandey, V. and Shyam, V., 2002, Chromium ions inactivate electron transport and enhance superoxide generation *in vivo* in pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad) root mitochondria, *Plant Cell Environ*., 25: 687-690.

Doğan, M. ve Avu, A., 2013, Kuraklık stresine karşı bor bileşiklerinin soyada (*Glycine max.* L.) büyüme parametrelerine etkisi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi,* Cilt 2(2): 1-13.

Efeoğlu, B., Ekmekçi, Y. and Çiçek, N., 2009, Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery, *South African Journal of Botany,* 75: 34 - 42.

El-Tohamy, W. A., El-Abagy, H. M., Badr, M. A. and Gruda, N., 2013, Drought tolerance and water status of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by citric acid application, *Journal of Applied Botany and Food Quality,* 86: 212–216.

Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F. and Jalali, A. H., 2010, Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits, *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*., 9 (5): 495-499.

Eriş, A., 1990, Bahçe Bitkileri Fizyolojisi, *Uludağ Üniv. Zir. Fak. Yayınları,* Ders Notları No: 11, Bursa.

Eyidoğan, F. İ., Öktem, H. A. and Yücel, M., 2003, Superoxide dismutase activity in salt stressed wheat seedlings, *Acta Physiologia Plantarum,* (25): 263-269.

Farooq, M., Wahid, A., Basra, S. M. A. and Shahzad, I. D., 2009, Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress, *J. Agron. Crop Sci*., 195:262-269.

Ferguson, L. F., Sacovich, N. and Roose, M., 1990, California Citrus Rootstocks, *University of California Publication*, 21477, University of California, California.

Fernandez-Conde, M. E., De La Haba, P., Gonzalez-Fontes, A. and Maldonado, J. M., 1998, Effects of drought (water stress) on growth and photosynthetic capacity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), *5th Internet World Congress for Biomedical Sciences*, December 7-16, Canada.

Filek, M., Walas, S., Mrowiec, H., Rudolphy-Skorska, E., Sieprawska, A. and Biesaga-Koscielniak, J., 2012, Membrane permeability and micro- and macroelement accumulation in spring wheat cultivars during the short-term effect of salinity- and PEG-induced water stress, *Acta Physiol. Plant*, 34: 985-995.

Foyer, C. H., Lelandais, M. and Kunert, K. J., 1994, Photooxidative stress in plants, *Physiol. Plant*, 92: 696-717

Foyer, C. H., Souriau, N., Perret, S., Lelandais, M., Kunert, K. J. and Pruvost, C., 1995, Overexpression of glutathione reductase but not glutathione synthetase leads to increases in antioxidant capacity and resistance to photoinhibition in poplar trees, *Plant Physiol*., 109: 1047-57.

Foyer, C. H. and Noctor, G., 2005, Redox homeostasis and antioxidant signalling: a metabolic link between stress perception and physiological responses, *The Plant Cell*, 17:1866-1875.

Fridovich, I., 1986, Biological effect of superoxide radical, *Arch. Biochem. Biophys*., 247: 1-11.

Ghaderi, N. and Siosemardeh, Adell., 2011, Response to drought stress of two strawberry cultivars (cv. Kurdistan and Selva), *Hort. Environ. Biotechnol*., 52(1): 6-12.

Gillham, D. J. and Dodge, A. D., 1987, Chloroplast superoxide and hydrogen peroxide scavenging systems from pea leaves: Seasonal variations, *Plant Science*, 50: 105–109.

Gong, Y., Toivonen, P. M. A., Lau, O. L. and Wiersma, P. A., 2001, Antioxidant system level in 'Braeburn' apple is related to its browning disorder, *Bot. Bull. Acad. Sin.*, 42: 259-264.

Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S. and Zhang, C., 2005, Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought, *Plant Science*, 169: 313-321.

Goss, J. A., 1973. Physiology of plants and their cells. Bergamon Press Inc. Maxwell House, Fairview Park Elmsford N.Y.10523 (P:135).

Gossett, D. R., Millhollon, E. P. and Lucas, M. C., 1994, Antioxidant response to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton, *Crop Sci*., 34: 706-714.

Göksoy, A. T. ve Turan, Z. M., 1991, Kuraklığın bitki fizyolojisi ve morfolojisi üzerine etkileri. *Uludağ Üniv. Zir. Fak. Dergisi*, No: 8: 189-199, Bursa.

Günes, A., Kadioglu, Y. K., Pilbeam, J. D., Inal, A., Coban, S. and Aksu, A., 2008, Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress,: essential and nonessential element uptake determined by polarized energy dispersive x-ray fluorescence, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(13-14): 1904-1927.

Güzel, A., 2006, Kuraklık stresine maruz bırakılan domates bitkilerinde bazı fizyolojik ve büyüme parametreleri üzerine absisik asit (ABA) ve kalsiyum'un (Ca^{+2}) etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 90.

Halliwell, B., 1978, Oxidative damage, lipid peroksidation and antioxidant protection in chloroplast, *Chemistry and Physics of Lipids*, 44: 327-340.

Halliwell, B. and Gutteridge, J. M. C., 1989, Free radicals in biology and medicine. *Oxford: Clarendon Press*, 10.

Hamed, R. R., Maharem, T. M., Fatah, M. M. A. and Ataya F. S., 1998, Purification of peroxidase isoenzymes from turnip roots, *Phytochemistry*, 48: 1291-1294.

Harbinson, J. and Hedley, C. L., 1993, Changes in P-700 oxidation during the early stages of the induction of photosynthesis, *Plant Physiol*., 103:649–60.

Harinasut, P., Poonsopa, D., Roengmongkol, K. and Charoensataporn, R., 2003, Salinity effects on antioxidant enzymes in mulberry cultivar, *Sci. Asia*, 29: 109-13.

Hassanein, A. M. A., 2010, Establishment of efficient *in vitro* method for drought tolerance evaluation in pelargonium, *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 2(1): 8- 15.

Hausladen, A. and Alscher, R. G., 1993, Glutathione, Antioxidants in higher plants, *CRC Press*, Boca Raton, 1-23.

Havir, E. A. and Mchale, N. A., 1987, Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves, *Plant Physiol*., 84: 1291-1294.

Havlin, J. L, Beaton, J. D., Tisdale, S. L. and Nelson, W. L., 1999, Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management, *Prentice-Hall*, London, 406–425.

Hayatu, M. and Mukhtar, F. B., 2010, Physiological responses of some drought resistant cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* L. Walp) to water stress, *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2): 69-75.

Heath, R. L. and Packer, L., 1968, Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I kinetics and stoichiometry of fatty acid penoxidation, *Arch. Biochem. Biophys*., 125: 189-198.

Hepaksoy, S., 2004, Bazı kiraz anaçlarının mikroçoğaltımı üzerinde araştırmalar-I. gelişme ve çoğalma, *Ege. Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 41: 11- 22.

Hiraga, S., Sasaki, K., Ito, H., Ohashi, Y. and Matsui, H., 2001, A large family of class III plant peroxidases, *Plant Cell Physiol*., 42: 462–468.

Hollander-Czytko, H., Grabowski, J, Sandorf, I, Weckermann, K. and Weiler, E. W., 2005, Tocopherol content and activities of tyrosine aminotransferase and cystine lyase in *Arabidopsis* under stress conditions, *J. Plant Physiol*., 162: 767-70.

Hong-Bo, S., Zongsuo, L. and Mıngan, S., 2006, Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum* l.) genotypes at soil water deficits, *Biointerfaces*, 47: 132–139.

Hou, W. C., Liang, H. J., Wang, C. C. and Liu, D. Z., 2004, Detection of glutathione reductase after electrophoresis on native or sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gels, *Electrophoresis*, 25: 2926–2931.

Hsiao, T. C., 1973, Plant responses to water stress, *Annu. Rev. Plant Physiol*., 24: 519-570.

Hu, Y. and Schmidhalter, U., 2005, Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants, *J. Plant Nutr. Soil Sci*., 168: 541–549.

Ingram, J. and Bartels, D., 1996, The molecular basis of dehydration tolerance in plants, *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol*., 47: 377–403.

Ismail, M. R., Yusoff, M. K. and Mahmood, M., 2004, Growth, water relations, stomatal conductance and proline concentration in water stressed banana (*Musa spp*.) plants, *Asian Journal of Plant Science*, 3(6): 709-713.

İpek, M., Pırlak, L., Eşitken, A., Dönmez, M. F. ve Şahin, F., 2009, Kireçli Topraklarda Yetiştirilen Çilekte Bitki Büyümesini Artıran Bakterilerin (BBAB) Verim Ve Gelişme Üzerine Etkileri. *III. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu* Kahramanmaraş, 73-77.

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R., 2009, Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition, *Int. J. Agric. Biol*., 11: 100–105.

Jenks, M. A., Hasegawa, P. M., 2005, Plant Abiotic Stress, 1.Baskı, *Blackwell, UK*, 270.

Jiménez, A., Hernández, J. A., Pastori, G., Del Río, L. A., Sevilla, F., 1998, Role of the ascorbate–glutathione cycle of mitochondria and peroxisomes in the senescence of pea leaves. *Plant Physiology*; 118:1327-1335.

Jung, S., 2004, Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *Arabidopsis thaliana* subjected to drought, *Plant Sci*., 166: 459-466.

Kaiser, W. M., 1979, Reversible inhibition of the Calvin cycle and activation of the oxidative pentose phosphate cycle in isolated intact chloroplasts by hydrogen peroxide, *Planta*, 145: 377-382.

Kalefetoğlu, T. and Ekmekçi, Y., 2005, The effect of drought on plants and tolerance mechanisms, *G. U. Journal of Science*, 18(4): 723-740.

Kamal-Eldin, A. and Appelqvist, L. A., 1996, The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipids*, 31: 671-701.

Kapluhan, E., 2013, Türkiye'de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi, *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı: 27, 487-510.

Karadağ, F., 2013, Farklı dozlarda selenyum uygulamalarının haşhaş (*Papaver somniferum* L.) yapraklarında antioksidan enzimler üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat, 89.

Karimi, S., Yadollahi, A., Nazari-Moghadam, R., Imani, A. and Arzani, K., 2012, *In vitro* screening of almond (*Prunus dulcis* (Mill.)) genotypes for drought tolerance, *J. Biol. Environ. Sci.*, 6(18): 263-270.

Karimi, S., Yadollahi, A. and Arzani, K., 2013, Responses of almond genotypes to osmotic stress induced *in vitro*, *Journal of Nuts*, 4(4): 1-7.

Kaynaş, N. ve Eriş, A., 1998, Bazı nektarin çeşitlerinde toprak su noksanlığının biyokimyasal değişimler üzerine etkileri, *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 22: 35-41.

Kessler, B., 1961, Nucleic acids as factors in drought resistance of higher plants, *Recent Advan. Bot.*, 1153-1159.

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 & Plant Sciences*, 8(3): 1051-1060.

Khan, A. N., Qureshi, R. H. and Ahmad, N., 2004, Salt tolerance of cotton cultivars in relation to relative growth rate in saline environments, *International Journal of Agriculture & Biology*, 6(5): 786-787.

Khanna-Chopra, R. and Selote, D. S., 2007, Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought resistant than -susceptible wheat cultivar under field conditions, *Environmental and Experimental Botany*, 60: 276–283.

Kim, K. Y., Kwon, S. Y., Lee, H. S., Hur, Y., Bang, C. W., Choi, K. S. and Kwak, S. S., 2000, Differential expression of four sweet potato peroxidase genes in response to abscisic acid and ethaphon, *Phytochemistry*, (54): 19-22.

Klamkowski, K. and Treder, W, 2008, Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions, *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16: 179–188.

Kluge, M., 1976, Carbon and nitrogen metabolism under water stress: *Water and Plant Life*, 243-252.

Kocaçalışkan, İ., 2008, Bitki Fizyolojisi, Nobel Yayın Dağıtım, *Fen ve Biyoloji Yayınları Dizisi*, 316.

Kuşvuran, Ş., 2010, Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleransın fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 356.

Kuşvuran, Ş., Daşgan, H. Y. and Abak, K., 2011, Farklı Kavun Genotiplerinin Kuraklık Stresine Tepkileri, *Yyu. J. Agr. Sci*., 21(3): 209-219.

Kusvuran, S., 2012, Influence of drought stress on growth, ion accumulation and antioxidative enzymes in okra genotypes, *International Journal of Agriculture & Biology*, 14(3): 401- 406.

Kutlu, İ., 2010, Tahıllarda kuraklık stresi, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 3(1): 35-41.

Laffray, D. And Louguet, P., 1990, Stomatal response and drought resistance, *Bulletin De La Societe Botanique De France*, 137: 47-60.

Larbi, A. and Mekliche, A., 2004, Relative water content (RWC) and leaf senescence as screening tools for drought tolerance in wheat, Mediterranean rainfed agriculture: Strategies for sustainability, *CHIAM*, Zaragoza, 60: 193-196.

Larson, R. A., 1988, The antioxidants of higher plants, *Phytochemistry*, 27: 969-978.

Ledjal, M., Epron, D. and Ducrey, M., 2000, Effects of drought preconditioning on thermo tolerance of photosystem II and susceptibility of photosynthesis to heat stress in cedar seedlings, *Tree Physiol*., 20: 1235-1241.

Leisinger, U., Rüfenacht, K., Fischer, B., Pesaro, M., Spengler, A. and Zehnder, A. J. B., 2001, The glutathione peroxidase homologous gene from *Chlamydomonas reinhardtii* is transcriptionally up-regulated by singlet oxygen, *Plant Mol. Biol*., 46: 395-408.

Levitt, J. 1980, Responses of plants to environmental stresses, *Academic Press*, 497.

Li-Ping, B., Fang-Gong, S., Ti-Da, G., Zhao-Hui, S., Yin-Yan, L. and Guang-Sheng, Z., 2006, Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize, *Pedosphere*, 16(3): 326-332.

Liu, F. and Stützel, H., 2004, Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress, *Scientia Horticulturae*, 102: 15–27.

Liu, F., Andersen, M. N., Jacobsen, S. -E. and Jensen, C. R., 2005, Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying, *Environmental and Experimental Botany*, 54: 33–40

Livne, A. and Vaadia, Y., 1965, Stimulation of transpiration rate in barley leaves by kinetin and gibberelic acid, *Physiol. Plant*., 18: 658-664.

Luck, H., 1965, Catalase. In: Method in enzymatic analysis, *Academic Press*, New York, 885-894.

Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J., 1996, Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice

(*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance, *Plant Growth Regulation*, 19: 207-218.

Madhusudhan, R., Ishikawa, T., Sawa, Y., Shigeoka, S. and Shibata, H., 2003, Characterization of an ascorbate peroxidase in plastids of *Tobacco* BY-2 cells, *Physiol. Plant*, 117: 550-557.

Mahajan, S. and Tuteja, N., 2005, Cold, salinity and drought stresses: An overview, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444: 139–158.

Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Heerden, P. D. R., Swanepoel, J. W. and Kruger, G. H. J., 2007, Modulation of photosynthesis by drought in two desert scrub species exhibiting C3-mode CO_2 assimilation, *Environmental and Experimental Botany*, 61: 124–136.

Marschner, H., 1995, Minual nutrition of higher plants, 2nd Ed. *Academic Press*, San Diego, California, USA.

Mathis, P. and Kleo, J., 1973, The triplet state of β-carotene and anolog polyenes of different length, *Photochem. Photobiol*., 18: 343-346.

Mathur, P. B., Devi, M. J., Vadez, V. and Sharma, K. K., 2009, Differential antioxidative responses in transgenic peanut bear no relationship to their superior transpiration efficiency under drought stress, *Journal of Plant Physiology*, 166: 1207-1217.

Matsumura, T., Tabayashi, N., Kamagata, Y., Souma, C. and Saruyama, H., 2002, Wheat catalase expressed in transgenic rice can improve tolerance against low temperature stress, *Physiol., Plant*, 116(3): 317-37.

Matysik, J., Bhalu, B. A. and Mohanty, P., 2002, Molecular mechanism of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants, *Curr. Sci*., 82: 525-532.

McClung, C. R., 1997, Regulation of catalases in *Arabidopsis*, *Free Radical Bio. Med*., 23: 489-496.

McCord, J. M., 2000, The evolution of free radicals and oxidative stress, *Am. J. Med*., 108: 652–659.

McKersie, B. D. and Leshem, Y., 1994, Stress and stress coping in cultivated plants, *Kluwer Academic Publishers*, Netherlands, 79-100.

McKersie, D. B., 1996, Oxidative Stress, University of Guelph http://www.plantstress.com/articles/oxidative%20stress.htm [Ziyaret Tarihi: 12 Şubat 2015].

Mendi, Y. Y., İpek, M., Kaçan, H., Çuruk, S., Sarı, N., Çetiner, S. and Gaba, V., 2003, A Histological Analysis of Rgeneration in Watermelon. J. *Plant Biochemistry & Biotechnology*, Vol. 12: 147-150.

Michel F. B., 1983, Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes, *Plant Physiol*., 72: 66-70.

Millar, A. H., Mittova, V., Kiddle, G., Heazlewood, J. L., Bartoli, C. G. and Theodoulou, F. L., 2003, Control of ascorbate synthesis by respiration and its implication for stress responses, *Plant Physiol*., 133: 443-7.

Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yılmaz, S., Mittler, R., 2010, Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses, *Plant Cell Environ*., 33, 453-467.

Minibaeva, F. V. and Gordon, L. K., 2003, Superoxide production and the activity of extracellular peroxidase in plant tissues under stress condition, *Russ. J. Plant Physiol*., 50: 411-416, 2003.

Mitra, J., 2001, Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants, *Current Sci*., 80: 758-762.

Mittiova, V., Tal, M., Volokita, M. and Guy, M., 2002, Salt stress induces up-regulation of N efficient chloroplast antioxidant system in the salt-tolerant wild tomato species *Lycopersicon pennelii* but not in the cultivated species, *Physiologia Plantorum*, 115: 393-400.

Mittler, R., 2002, Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance, *Trends Plant Sci*., 7: 405-410.

Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T. and Kimura, K., 2005, Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress, *Environmental and Experimental Botany*, 53: 205–214.

Mobin, M. and Khan, N. A., 2007, Photosynthetic activity, pigment composition and anti-oxidative response of two mustard (*Brassica juncea*) cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress, *J. Plant Physiol*., 164: 601-10.

Molassiotis, A. N., Sotiropoulos, S., Tanou, G., Kofidis, G., Diamantidis, G. and Therios, I., 2006, Antioxidant and anatomical responses in shoot culture of the apple rootstock MM 106 treated with NaCl, KCl, mannitol or sorbitol, *Biol. Plant*., 50 (1): 61-68.

Molinari, H. B. C., Marur, C. J., Daros, E., De Campos, M. K. F., De Carvalho, J. F. R. P., Filho, J. C. B., Pereira, L. F. P., and Vieira, L. G. E., 2007, Evaluation of the stress-inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum spp*.): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress, *Physiologia Plantarum*, 130: 218-229.

Moussa, H. R. and Abdel-Aziz, S. M., 2008, Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress, *Australian Journal of Crop Science*, 1(1): 31-36.

Mukherjee, S. P. and Choudhuri, M. A., 1983, Implications of water stress-induced changes in the levels of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in *Vigna* seedlings, *Physiol. Plant*, 58: 166–170

Mullet, J. E. and Whitsitt, M. S., 1996, Plant cellular responses to water deficit, *Plant Growth Regul*., 20: 119-124.

Munné-Bosch, S. and Peñuelas, J., 2004, Drought-induced oxidative stress in strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) growing in Mediterranean field conditions, *Plant Science*, 166: 1105–1110.

Murashige, T. and Skoog, F., 1962, A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures, *Physiologia Plantarum*, 15: 473-497.

Nair, A. S., Abraham, T. K. and Jaya, D. S., 2008, Studies on the changes in lipid peroxidation and antioxidants in drought stress induced cowpea (*Vigna unguiculata* L.) varieties, *Journal of Environmental Biology*, 29(5): 689-691.

Nakano, Y. and Asada, K., 1981, Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts, *Plant and Cell Physiology*, 22: 867-880.

Nogués, S. and Baker, N. R., 2000, Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation, *J. Exp. Bot*., 51(348): 1309-1317.

Noctor, G., Leonardo, G., Vanacker, H., and Foyer, C. H., 2002, Interactions between biosynthesis, compartmentation and transport in the control of glutathione homeostasis and signaling, *J. Exp. Bot*., 53(372):1283-1304.

Özcan, S., Babaoğlu, M. ve Gürel, E. 2004. Bitki biyoteknolojisi genetik mühendisliği ve uygulamaları, *Selçuk Üniversitesi Vakfı Yayınları*, Konya.

Özer, H., Karadoğan, T. ve Oral, E., 1997, Bitkilerde su stresi ve dayanıklılık mekanizması, *Atatürk Üniv. Zir. Fak. Der*., 28 (3): 488-495.

Özfidan, C., 2010, Ekzojen ABA uygulamasının kuraklık stresi (PEG-6000) altındaki yabani ve ABA-eksik *Arabidopsis* mutantları üzerindeki biyokimyasal ve fizyolojik etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 140.

Özkur, Ö., 2010, *Capparis ovata* bitkisinde kuraklık stresi koşullarında antioksidant savunma sisteminin incelenmesi, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 55.

Özpay, T., 2008, Taze fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinin kuraklık stresine olan tepkilerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, 54.

Öztürk, M. A. ve Seçmen, Ö., 1992, Bitki Ekolojisi, *Ege Üniv. Fen Fak. Yayınları* No: 141, İzmir.

Parida, A. K. and Das, A. B., 2005, Salt tolerance and salinity effect on plants: a review, *Ecotoxicol. Environ. Saf*., 60: 324–349.

Patel, P. K., Hemantaranjan, A., Sarma, B. K. and Singh, R., 2011, Growth and antioxidant system under drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) as sustained by salicylic acid, *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7: 130-144.

Perassakli, M., Huber, J. T. and Tucker, 1987, Dry matter yield, nitrogen absorbtion, and water uptake by sweet corn under salt stress, *J. Plant Nutr*., 12: 279-290.

Placer, C. A., Cushman, L. L. and Johnson, B. C., 1990, Estimation of product of lipid peroxidation (Malondy Dialdehyde) in biochemical systems, *Anal. Biochem*., 16: 259-264.

Proietti, P., Nasini, L., Del Buono, D., D'Amato, R., Tedeschini, E. and Businelli, D., 2013, Selenium protects olive (*Olea europaea* L.) from drought stress. *Scientia Horticulturae*, 164: 165–171.

Qiu, Z. B., Liu, X., Tian, X. J. and Yue, M., 2008, Effects of CO_2 laser pretreatment on drought stress resistance in wheat. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 90: 17–25.

Rad, M. R. N., Kadir, M. A. and Yusop, M. R., 2012, Genetic behaviour for plant capacity to produce chlorophyll in wheat (*Triticum aestivum*) under drought stress, *Australian Journal of Crop Science*, 6(3): 415-420.

Rahman, S. M. L., Mackay, A. W., Quebedeaux, B., Nawata, E., Sakuratani, T. and Mesbah Uddin, A. S. M., 2002, Superoxide dismutase activity, leaf water potential, relative water content, growth and yield of a drought-tolerant and a drought-sensitive tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars, *Subtropical Plant Science*, 54: 16-22.

Rausch, T. and Wachter, A., 2005, Sulfur metabolism: a versatile platform for launching defence operations. *Trends Plant Sci*., 10: 503–509.

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., Jutur, P. P. and Sumithra, K., 2004, Differential antioxidative responses to water stress among five mulberry (*Morus alba* L.) cultivars, *Environ. Exp. Bot*., 52: 33-42.

Rezaei, M. A., Jokar, I., Ghorbanli, M., Kaviani, B. and Kharabian-Masouleh, A., 2012, Morpho-physiological improving effects of exogenous glycine betaine on tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cv. PS under drought stress conditions, *POJ*, 5(2): 79-86.

Rostami, A. A. and Rahemi, M., 2013, Responses of capri fig genotypes to water stress and recovery, *J. Biol. Environ. Sci*., 7(21): 131-139.

Ruzic, D., Saric, M., Cerovic, R. and Culafic, L., 2000, Relationship between the concentration of macroelements, their uptake and multiplication of cherry rootstock Gisela 5 *in vitro*, *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 63: 9-14.

Sairam, R. and Sexena, D., 2000, Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184: 55.

Sairam, R. K. and Srivastava, G. C., 2000, Induction of oxidative stress and antioxidant activity by hydrogen peroxide treatment in tolerant and susceptible wheat genotypes, *Biologia Plantarum*, 43(3): 381-386.

Salisbury, F. B. and Ross, C. W., 1992, Plant Physiology. 4th ed. *Wadsworth Publishing Com*., Belmont, California, 82.

Sanchez, F. J., Andres, E. F., Tenorio, J. L. and Ayerbe, L., 2004, Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress, *Field Crops Research*, 86: 81-90.

Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M. A., Romero, L. and Ruiz, J. M., 2010, Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants, *Plant Science*, 178: 30–40.

Sankar, B., Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R. and Panneerselvan, R., 2007, Drought-Induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench, *Acta Bot. Croat*., 66 (1): 43–56.

Sayyari, M. and Ghanbari, F., 2012, Effects of super absorbent polymer a 200 on the growth, yield and some physiological responses in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under various irrigation regimes. *International Journal of Agricultural and Food Research*, 1(1): 1-11.

Scandalios. J. G., 1993, Oxygen stress and superoxide dismutase, *Plant Physiology*, 101: 7–12.

Schafer, F. Q., Wang, H. P., Kelley, E. E., Cueno, K. L., Martin, S. M. and Buettner, G. R., 2002, Comparing β-carotene, vitamin E and nitric oxide as membrane antioxidants, *Biological Chemistry*, 383: 671-681.

Seçkin, B., 2010, Tuzluluk stresinin bazı arpa (Hordeum spp) türleri üzerindeki fizyolojik ve biyokimyasal etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 76.

Sgherry, C. L. M., Pinzino, C. and Navari-Izzo, F., 1996, Sunflower seedlings subjected to increasing water stress by water deficit: changes in O_2^- production related to the composition of thylakoid membrane, *Physiol. Plant*, 96: 446-452.

Shalata, A., Mittova, V., Volokita, M., Guy, M. and Tal, M., 2001, Response of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt-dependent oxidative stress: The root antioxidative system, *Physiol. Plant*., 112(4): 487-494.

Shashidhar, V-R., Prasad, T-G. and Sudharshan, L., 1996, Hormone signals from roots to shoots of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Moderate soil drying increases delivery of abscisic acid and depresses delivery of cytokinins in xylem sap, *Annals of Botany*, 78: 151-155.

Shehab, G. G., Ahmed, O. K. and El-Beltagi, H. S., 2010, Effects of Various Chemical Agents for Alleviation of Drought Stress in Rice Plants (*Oryza sativa* L.), *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*, 38(1): 139-148.

Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, V., Takeda, T., Yabuta, Y. and Yoshimura, K., 2002, Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes, *Journal of Experimental Botany*, 53(372): 1305-1319.

Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki K., 1997, Gene expression and signal transduction in water-stress response, *Plant Physiol.*, 115: 327-334.

Sircelj, H., Tausz, M., Grill, D. and Batic, F., 2007, Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters, *Scientia Horticulturae*, 113: 362–369.

Sivritepe, N., Erturk, U., Yerlikaya, C., Turkan, I., Bor, M. and Ozdemir, F., 2008, Response of the cherry rootstock to water stress induced *in vitro*, *Biologia Plantarum*, 52 (3): 573-576.

Smirnoff, N., 1993, The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation, *New Phytol*., 125: 27-58.

Smirnoff, N., 1998, Plant resistance to environmental stresses, *Curr. Opin. Biotechnol*., 9: 214-219.

Soltanpour, P.N. and Workman, S.M., 1981, Use of ınductively-coupled plasma spectroscopy for the simultaneous determination of macro and micro nutrients in NH_4HCO_3-DTPA extracts of soils, *Developments in Atomic Plasma Analysis*, USA, 673-680.

Somasundaram, R., Jaleel, C. A., Azooz, M. M., Abraham, S. S., Gomathinayagam, M. and Panneerselvam, R., 2009, Induction of drought stress tolerance by paclobutrazol and abscisic acid in gingelly (*Sesamum indicum* L.), *Global Journal of Molecular Sciences*, 4(2): 49-55.

Srivalli, B., Sharma, G. and Khanna-Chopra, R., 2003, Antioxidative defense system in upland rice cultivar subjected to increasing intensity of water stress followed by recovery, *Physiol. Plant*., 119: 503-512.

Stoyanov, Z. Z., 2005, Effects of water stress on leaf water relatıons of young bean plants, *Journal Central European Agriculture*, 6(1): 5-14.

Stuhlfauth, T., Scheuermann, R. and Fock, H. P., Light energy dissipation under water stress conditions, *Plant Physiol*., 92: 1053-1061.

Sudhakar, C., Lakshmi, A. and Giridarakumar, S. 2001, Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity, *Plant Science*, 161: 613-619.

Şahin, Ö., 2009, Farklı asma anaçları üzerine aşılı Sultani Çekirdeksiz (*Vitis vinifera* L.) üzüm çeşidinin bor ve tuz stresine tolerans mekanizmalarının stresle ilgili

fizyolojik parametreler ve antioksidan enzimlerle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 152.

Şan, B., Karakurt, Y., Dönmez, F., 2015. Effects of Thidiazuron and Activated Charcoal on *in vitro* Shoot Proliferation and Rooting of Myrtle (*Myrtus communis* L.). *Journal of Agricultural Sciences*, 21:177-183.

Taiz, L. and Zeiger, E., 2008, Bitki fizyolojisi, *Palme Yayımcılık*, Ankara, 547.

Tambussi, E. A., Bartoli, C. G., Beltrano, J., Guiamet, J. J. and Araus, J. L., 2000, Oxidative damage to thylakoid proteins in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum*), *Physiol. Planta*, 108: 398-404.

Tanaka, K., Masuda, R., Sugımoto, T., Omasa, K. and Sakaki Z., 1990, Water deficiency-induced changes in the contents of defensive substances against active oxygen in spinach leaves, *Agricultural and Biological Chemistry*, 54: 2629–2634.

Taşğın, E., Atıcı, O., Nalbantoğlu, B., Popova, P. L., 2006, Effects of salicylic acid and cold treatments on protein levels and on the activities of antioxidant enzymes in the apoplast of winter wheat leaves, *Phytochemistry*, (67): 710-715.

Terzi, R. and Kadioğlu, A., 2006, Drought stress tolerance and the antioxidant enzyme system in *Ctenanthe setosa*, *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 48(2): 89–96.

Thompson, A-J., Jackson, A-C., Parker, R-A., Morpeth, D-R., Burbidge, A. and Taylor, I-B., 2000, Abscisic acid biosynthesis in tomato: regulation of zeaxanthin epoxidase and 9-cis-epoxicarotenoid dioxygenase mRNAs by light/dark cycles, water stress and abscisic acid, *Plant Molecular Biology*, 42: 833-845.

Tsuji, W., Ali, M. E. K., Inanaga, S. and Sugimoto, Y., 2003, Growth and gas exchange of three sorghum cultivars under drought stress, *Biomedical and Life Sciences*, 46(4): 583-587.

Turan, M. and Horuz, A., 2012, Bitki beslemenin temel ilkeleri, Bitki Besleme, *Gübretaş Rehber Kitaplar Dizisi*: 2, Ankara, 123.

Türkan, I., Bor, M., Õzdemir, F. and Koca, H., 2005, Differential response of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress, Plant Sci., 168: 223–231.

Ünyayar, S. and Çekiç, F. Ö., 2005, Changes in antioxidative enzymes of young and mature leaves of tomato seedlings under drought stress, Turk. J. Biol., 29: 211-216.

Van Den Berg, L. and Zeng, Y. J., 2006, Response of south African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000, *South African Journal of Botany*, 72: 284-286.

Velikova, V., Yordanov, I. and Edreva, A., 2000, Oxidative stres and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants protective role of exogenous polyamines, *Plant Science*, 151: 59-66.

Verslues, P. E. and Bray, E. A., 2006, Role of abscisic acid (ABA) and *Arabidopsis thaliana* ABA-insensitive loci in low water potential-induced ABA and proline accumulation, *Journal of Exp. Bot*., 57(1): 201-212.

Viets, Jr. F. G., 1972, Water deficits and nutrient availability: Water deficits and plant growth. Vol. III: Plant responses and control of water balance. *Academic Press*, New York, 217–240.

Wang, W. X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A, 2001, Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations, *Acta Hort*., 560: 285–292.

Wang, W., Vinocur, B. and Altman, A., 2003, Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance, *Planta*, 218: 1-14.

Wise, R. R., 1995, Chilling enhanced photooxidation: The production, action and study of reactive oxygen species produced during chilling in the light, *Photosyn. Res*., 45: 79-97.

Wu, G., Wei, Z. K., Shao, H. B., 2007, The mutual responses of higher plants to environment: Physiological and microbiological aspects. *Biointerfaces*, 59: 113-9.

Xu, Z. and Zhou, G, 2008, Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass, *Journal Exper. Botany*., 59(12): 3317-3325.

Yağmur, Y., 2008, Farklı asma (*Vitis Vinifera* L.) çeşitlerinin kuraklık stresine karşı bazı fizyolojik ve biyokimyasal tolerans parametrelerinin araştırılması, Yüksek Lisan Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst*., 108.

Yakushiji, H., Morinaga, K. and Nonami, H., 1998, Sugar accumulation and partitioning in satsuma mandarin tree tissues and fruit in response to drought stress, *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci*., 123(4): 719–726.

Yardanova, R. Y., Christov, K. N. and Papova, L. P., 2004, Antroxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding, *Environ Exp Bot*. 51: 93-101.

Ye, G. N., Colburn, S. M., Xu, C. W., Hajdukiewicz, P. T. J. and Staub, J. M., 2003, Persistence of unselected transgenic DNA during a plastid transformation and segregation approach to herbicide resistance, *Plant Physiology*. 133: 402-410.

Yediyıldız, A. G., 2008, Kuraklık ve tuz stresi uygulanan buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinde antioksidant enzim aktivitesindeki değişimlerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 72.

Yunusa, M., Ephraim, R. B. and Abdullahi, S., 2014, Effects of moisture stress on the growth parameters of soybean genotypes, *Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(5): 142-148.

Zanjani, K. E., Rad, A. H. S., Naeemi, M., Aghdam, A. M. and Taherkhani, T., 2012, Effects of zeolite and selenium application on some physiological traits and oil

yield of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under drought stress. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 4(4): 462-470.

Zonouri, M., Javadi, T. and Ghaderi, N., 2014, Effect of foliar spraying of ascorbic acid on cell membrane stability, lipid peroxidation, total soluble protein, ascorbate peroxidase and leaf ascorbic acid under drought stress in grapes, *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 4(2): 349-354.

Zokaee-Khosroshahi, M., Esna-Ashari, M., Ershadi, A. and Imani, A., 2014, Morphological changes in response to drought stress in cultivated and wild almond species, *Int. J. Hort. Sci. Technol.*, 1(1): 79-92.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Muzaffer İPEK
Uyruğu	**:**	T.C
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Karaisalı(ADANA)/1979
Telefon	**:**	332 223 29 22
Faks	**:**	332 241 01 08
e-mail	**:**	mipek@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Borsa Lisesi, Seyhan, ADANA	1996
Üniversite	:	Çukurova Üniversitesi, Seyhan, ADANA	2002
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2009
Doktora	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2015

UZMANLIK ALANI Meyve Yetiştirme ve Islahı

YABANCI DİLLER İngilizce