T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI ÇELTİK (*Oryza sativa* L.) ÇEŞİTLERİNDE KURAKLIĞA TOLERANS CEVAPLARININ ARAŞTIRILMASI

İbrahim Selçuk KURU

DOKTORA TEZİ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Mart – 2017

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

İbrahim Selçuk KURU tarafından yapılan "Bazı Çeltik (*Oryza sativa* L.) Çeşitlerinde Kuraklığa Tolerans Cevaplarının Araştırılması" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Biyoloji Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Üye : Prof. Dr. Murat KIZIL

Üye : Prof. Dr. Ebru İNCE BOSTANCI

Üye : Doç. Dr. Çiğdem IŞIKALAN (*Danışman*)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emre EREZ

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 17/03/2017

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2017

Doç. Dr. Sevtap SÜMER EKER

Enstitü Müdür V.

TEŞEKKÜR

Danışman hocam Doç. Dr. Çiğdem IŞIKALAN ve ikinci danışmanım Doç. Dr. Filiz AKBAŞ'a lisansüstü çalışmalarımdaki rehberlik, anlayış, sabır ve en önemlisi göstermiş oldukları samimi tavırlar için teşekkür ederim. Değerli hocalarımla beraber kariyer hedeflerimin nitelikli şekilde belirginleşmesi ve mükemmel bir deneyim yaşamak oldukça önemliydi. Bağımsız çalışmama izin vererek kendi bireyselliğimi ve yeterliliklerimi geliştirme fırsatı sundukları için ayrıca teşekkür ederim.

Tüm çalışmalar sırasında yanımda olduğu için karşılaştığım zorluklara karşı kendimi daha güçlü hissetmemi sağlayan, gülümseme yeteneğine ve olumlu görünümüne hayran olduğum kıymetli arkadaşım Arş. Gör. Pınar KARAKUŞ ORCAN'a müteşekkirim.

Prof. Dr. Süreyya NAMLI'ya sevecenliği, güleryüzü, olumlu tavsiye ve yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

Karşılaştığım bazı problemlerin çözümlenmesinde ve laboratuvar cihaz ekipman desteği sunarak çalışmalarımın tamamlanmasında emeği olan değerli arkadaşım Uzman Kadir Serdar ÇELİK ve kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Ömer BİNGÖL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çeşitli uygulama ve analizlerde iş yükümü paylaşarak çalışmalarımın daha kısa sürede tamamlanmasında yardımcı olan Yüksek Lisans öğrencileri Şerife AYDINARIĞ ve Mehmet Yusuf ORCAN'a teşekkür ederim. Bununla birlikte ihtiyaç duyduğum anda yanımda olan ve unuttuğum tüm arkadaşlarımdan özür dileyerek teşekkür ederim.

Sonunda ve en önemlisi, bana vermiş olduğu destek ve cesaret, göstermiş olduğu sabır ve koşulsuz sevgi, özellikle bazen kaba ruh hallerime olan hoşgörüsü için eşime ömür boyu minnettar kalacağım. Ayrıca bana olan inançları ve istediğim kadar iddialı olmama izin verdikleri için aileme teşekkür ediyorum.

Bu çalışmaya maddi desteklerinden dolayı Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (FEN.15.004) ve 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında kısmi burs sağlayan Türkiye Bilimsel Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezi ailem, sevgili eşim, biricik kızım ve oğluma adıyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR I

İÇİNDEKİLER II

ÖZET……. VI

ABSTRACT VIII

ÇİZELGE LİSTESİ X

ŞEKİL LİSTESİ XII

KISALTMA VE SİMGELER XIIV

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK ÖZETLERİ 7

2.1. Çeltik Bitkisi Hakkında Genel Bilgiler 7

2.1.1. Familya Özellikleri 7

2.1.2. Çeltiğin Orijini 7

2.1.3. Çeltiğin Taksonomik Tarihi 8

2.1.4. Çeltiğin Biyolojisi ve Sistematikteki Yeri 10

2.1.5. Çeltiğin Önemi 10

2.2. Stres Faktörleri 12

2.3. Kuraklık Stresi 15

2.4. Kuraklığın Bitkiler Üzerindeki Etkileri 16

2.4.1. Kuraklığın Morfolojik Etkisi 16

2.4.2. Kuraklığın Fotosentez Aktivitesi Üzerine Etkisi 18

2.4.3. Kuraklığın Ozmolitler Üzerine Etkisi 20

2.4.4. Kuraklığın Enzimatik Antioksidan Savunma Üzerine Etkisi 22

2.4.4.1. Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) 24

2.4.4.2. Askorbat Peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11) 25

2.4.4.3. Glutatyon Redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) 25

2.4.4.4. Süperoksit Dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) 26

2.4.5. Kuraklığın Lipit Peroksidasyonu Üzerine Etkisi 26
2.4.6. Kuraklığın Hormonlar Üzerine Etkisi 28
2.5. Kuraklık Stres Faktörüne Karşı Bitkilerde Geliştirilen Mekanizmalar 30
2.6. Literatür Özetleri 33
2.7. Çalışmanın Önemi ve Amacı 40
3. MATERYAL VE METOT 43
3.1. Materyal 43
3.1.1. Araştırmada Kullanılan Çeltik Çeşitlerinin Karakterizasyonu 43
3.2. Metot 44
3.2.1. Kullanılan Malzemelerin Sterilizasyonu 44
3.2.2. Tohumların Yüzey Sterilizasyonu 44
3.2.3. Hoagland Besin Çözeltisinin Hazırlanması 45
3.2.4. Çeltik Deneme Serilerinin Hazırlanması 45
3.3. Ölçüm ve Analizler 47
3.3.1. Çeltik Çeşitlerinde Kök Boyu ve Sürgün Boyunun Belirlenmesi 48
3.3.2. Çeltik Çeşitlerinde Yaprak Taze ve Kuru Ağırlıkların Belirlenmesi 48
3.3.3. Çeltik Çeşitlerinde 0-5 Görsel Skala Değerlendirmesi 48
3.3.4. Çeltik Çeşitlerinde Yaprak Bağıl Su İçeriklerinin Belirlenmesi (%) 48
3.3.5. Çeltik Çeşitlerinde Ozmotik Potansiyel Değerlerinin Belirlenmesi 49
3.3.6. Çeltik Çeşitlerinde Fotosentetik Pigment İçeriklerinin Belirlenmesi 50
3.3.7. Çeltik Çeşitlerinde Malondialdehit (MDA) Miktarının Belirlenmesi 50
3.3.8. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Prolin Miktarının Belirlenmesi 51
3.3.9. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Toplam Çözünebilir Karbohidrat Miktarının Belirlenmesi 52
3.3.10. Tolerant-Hassas Çeşitlerde H_2O_2 İçeriğinin Belirlenmesi 53
3.3.11. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Toplam Çözünebilir Protein Miktarının Belirlenmesi 53
3.3.12. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi 54
3.3.12.1. Enzim Ekstraktlarının Hazırlanması 54
3.3.12.2. Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi 54

3.3.12.3. Askorbat Peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi 55
3.3.12.4. Glutatyon Redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi 55
3.3.12.5. Süperoksit Dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi 55
3.3.13. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Hormon Ekstraktsiyon Saflaştırma ve Analiz İşlemleri 56
3.3.13.1. Ekstraktsiyon ve Saflaştırma İşlemleri 56
3.3.13.2. Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografi (HPLC) ile Analiz Şartları 57
3.3.13.3. Sıvı Kromatografi (HPLC) ile Hormon Tayini 58
3.3.14. İstatistik Analizler 59
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 61
4.1. Kuraklık Stresinin Sürgün Boyu Üzerine Etkisi 61
4.2. Kuraklık Stresinin Kök Boyu Üzerine Etkisi 63
4.3. Kuraklık Stresinin Yaprak Taze Ağırlığı Üzerine Etkisi 64
4.4. Kuraklık Stresinin Yaprak Kuru Ağırlığı Üzerine Etkisi 66
4.5. Kuraklık Stresi Uygulanan Çeşitlerde 0-5 Görsel Skala Değerlendirmesi 67
4.6. Kuraklık Stresinin Yaprak Bağıl Su İçeriğine (%) Etkisi 71
4.7. Kuraklık Stresinin Ozmotik Potansiyel Üzerine Etkisi 72
4.8. Kuraklık Stresinin Klorofil-a Miktarı Üzerine Etkisi 73
4.9. Kuraklık Stresinin Klorofil-b Miktarı Üzerine Etkisi 75
4.10. Kuraklık Stresinin Klorofil a/b Oranı Üzerine Etkisi 77
4.11. Kuraklık Stresinin Karotenoid Miktarı Üzerine Etkisi 78
4.12. Kuraklık Stresinin Malondialdehit (MDA) Miktarı Üzerine Etkisi 79
4.13. Tolerant ve Hassas Çeşitlerin Seçimi 81
4.14. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Prolin Miktarı 82
4.15. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Toplam Çözünebilir Karbohidrat Miktarı 83
4.16. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Hidrojen Peroksit (H_2O_2) Miktarı 85
4.17. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Toplam Çözünebilir Protein Miktarı 86
4.18. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) Enzim Aktivitesi 87

4.19. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Askorbat Peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11) Enzim Aktivitesi 89
4.20. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Glutatyon Redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) Enzim Aktivitesi 90
4.21. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Süperoksit Dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) Enzim Aktivitesi 91
4.22. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Absisik Asit (ABA) Hormon Miktarı 93
4.23. Tolerant-Hassas Çeşitlerde İndol Asetik Asit (IAA) Hormon Miktarı 94
4.24. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Zeatin Ribozid (ZR) Hormon Miktarı 96
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 99
5.1. Tüm Çeşitlerde Yapılan Analizlerin Değerlendirilmesi 99
5.2. Tolerant ve Hassas Çeltik Çeşitlerinin Seçimi 106
5.3. Tolerant ve Hassas Çeşitlerde Yapılan Analizlerin Değerlendirilmesi 108
6. KAYNAKLAR 121
ÖZGEÇMİŞ 145

ÖZET

BAZI ÇELTİK (*Oryza sativa* L.) ÇEŞİTLERİNDE KURAKLIĞA TOLERANS CEVAPLARININ ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

İbrahim Selçuk KURU

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

2017

Çeltiğin (*Oryza sativa* L.) önemi ve kuraklığın bitkiler üzerindeki olumsuz etkisi göz önünde bulundurularak yapılan bu çalışmada 3, 6, 9 ve 12 günlük süre ile kuraklık stres uygulamalarına maruz bırakılan çeltik çeşitlerinde (Osmancık-97, Beşer, Paşalı, Gönen, Halilbey, Kızıltan, Karacadağ, Hazro) uygulama sonrası ortaya çıkan bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlar incelenmiştir. Kuraklık stres faktörüne karşı verdikleri yanıtlara göre, çeşitlerin kuraklığa tolerans ve hassasiyet dereceleri ile ilişkisi araştırılmıştır.

Bu amaçla ilk aşamada, kuraklık uygulamaları (3, 6, 9 ve 12. gün) sonunda çeşitlerin kök-sürgün boyu, taze-kuru ağırlık, 0-5 görsel skala değerlendirmesi, bağıl su içeriği, pigment içeriği, ozmotik potansiyel ile lipit peroksidasyonunun son ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarları için ölçüm ve analizler yapılarak kendi kontrol gruplarına göre meydana gelen % değişimler hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, sürgün boyu ve kuru ağırlık değerleri, çeşitlere göre değişkenlik gösterirken taze ağırlık, bağıl su içeriği, ozmotik potansiyel ve klorofil-a içeriğinin tüm çeşitlerde azaldığı belirlenmiştir. Buna karşın tüm çeşitlerde; kök boyu artışının yanı sıra klorofil b, karotenoid ve MDA miktarları artmıştır. Tüm parametreler genel olarak değerlendirildiğinde, kuraklık stres faktörüne karşı farklı yanıtlar veren Osmancık-97 ve Beşer çeşitleri tolerant, Halilbey ve Karacadağ çeşitleri ise hassas olarak seçilmiştir.

İkinci aşamada ise tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinde, prolin, toplam çözünebilir karbohidrat, hidrojen peroksit (H_2O_2), toplam çözünebilir protein, absisik asit (ABA), indol asetik asit (IAA), zeatin ribozid (ZR) içeriği ve katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktiviteleri incelenmiştir. Toplam çözünebilir protein miktarı, CAT, APX, GR enzim aktiviteleri çeşitlere ve stres uygulama süresine göre değişkenlik göstermiştir. Sonuç olarak, Osmancık-97 ve Beşer (toleranslı) çeşitlerinde prolin, toplam çözünebilir karbohidrat, H_2O_2 miktarının Gönen ve Karacadağ (hassas) çeşitlerine göre daha düşük; ancak antioksidan enzim aktiviteleri ve ABA miktarının daha yüksek bulunması bu çeşitlerin kuraklığa karşı daha toleranslı olmalarını desteklemektedir.

Bu çalışmayla, ülkemizde yetiştirilen bazı çeltik çeşitlerinin kuraklıktan etkilenme dereceleriyle ilgili temel bilgi açığının kapatılması ve stres koşullarına dayanıklı çeltik çeşitlerinin üretiminin yapılması konusunda önemli veriler elde edilmiştir. Ayrıca ileride

yapılacak araştırmalar için temel oluşturacağı ve ülke ekonomisine katkıda bulunabilme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Çeltik, Kuraklık stresi, Lipit peroksidasyonu, Prolin, Antioksidan enzim, Absisik asit.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF DROUGHT TOLERANCE RESPONSE IN SOME RICE (O*ryza sativa* L.) CULTIVARS

PhD THESIS

İbrahim Selçuk KURU

DEPARTMENT OF BIOLOGY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2017

This study was carried out in consideration of the importance of rice (*Oryza sativa* L.) and the negative effect of drought on the plants. In this study, rice varieties (Osmancık-97, Beşer, Paşalı, Gönen, Halilbey, Kızıltan, Karacadağ, Hazro) were exposed to drought stress applications for 3, 6, 9, and 12 day duration and some morphological, physiological and biochemical responses have been investigated. According to the responses to the drought stress factor, the relationship between varieties and their tolerance-sensitivity degrees was investigated.

In the first stage, at the end of drought applications (3, 6, 9 and 12 days), the measurements and analyses were carried out for the root-shoot height, fresh-dry weight, 0-5 visual scale evaluation, relative water content, pigment content, osmotic potential and amount of malondialdehyde (MDA) which is the final product of lipid peroxidation. The percentage changes in the varieties exposed to drought stress were calculated according to control groups. Moreover, it was determined that fresh weight, relative water content, osmotic potential and chlorophyll-a contents decreased in all varieties while plant height and dry weight values varied according to varieties. On the other hand, chlorophyll b, carotenoid and MDA levels increased in all varieties as well as increase of root height. When all the parameters were evaluated in overall, Osmancık-97 and Beşer varieties, which gave different responses to the drought stress factor, was evaluated as tolerant, Halilbey ve Karacadağ varieties as sensitive.

In the second stage, in tolerant and sensitive rice varieties, proline, total soluble carbohydrate, hydrogen peroxide (H_2O_2), total soluble protein, abscisic acid (ABA), indole acetic acid (IAA), zeatin riboside (ZR) content and catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX), glutathione reductase (GR), superoxide dismutase (SOD) activities were investigated. Total amount of soluble protein, CAT, APX, GR enzyme activities have differed according to the varieties and stress application period. As a result, the amounts of proline, total carbohydrate and H_2O_2 in Osmancık-97 and Beşer (tolerant) varieties were found to be lower than Gönen and Karacadağ (sensitive) varieties also antioxidant enzyme activities and ABA content has found to be higher in tolerant varieties. Therefore, these varieties are evaluated more tolerant to drought stress compare to other varieties.

In this study were obtained significant scientific data on how to produce resistant some rice varieties to stress conditions and lack of basic information were closed on the degree of impact from drought some rice varieties grown in our country. Also this study will contribute to the country's economy and will provide a basis for further research.

Key Words: Rice, Drought stress, Lipid peroxidation, Proline, Antioxidant enzyme, Abscisic acid.

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No **Sayfa**

Çizelge 2.1. Dünya'da çeltik üretimi 11

Çizelge 2.2. 2005 ve 2015 yılları arasında Türkiye'de ekilen çeltik alanı ve üretim miktarı 12

Çizelge 2.3. ROT süpürücü antioksidanlar ve katalizledikleri reaksiyonlar 24

Çizelge 2.4. Lipit peroksidasyonu reaksiyon basamakları 27

Çizelge 3.1. Çeltik çeşitlerinin genel özellikleri 44

Çizelge 3.2. Hoagland besin çözeltisi içeriği 45

Çizelge 4.1. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde sürgün boyu değişimleri 62

Çizelge 4.2. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde kök uzunluk değişimleri 63

Çizelge 4.3. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde yaprak taze ağırlık değişimleri 65

Çizelge 4.4. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde yaprak kuru ağırlık değişimleri 66

Çizelge 4.5. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde 0-5 görsel skala değerleri 68

Çizelge 4.6. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde yaprak bağıl su içeriği değişimleri 71

Çizelge 4.7. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde ozmotik potansiyel değişimleri 73

Çizelge 4.8. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde klorofil-a miktar değişimleri 74

Çizelge 4.9. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde klorofil-b miktar değişimleri 76

Çizelge 4.10. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde klorofil a/b oranı 77

Çizelge 4.11. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde karotenoid miktar değişimleri 78

Çizelge 4.12. Kuraklık stresi uygulanan çeltik çeşitlerinin MDA miktarındaki değişimler 80

Çizelge 4.13. Tolerant-hassas çeşitlerde prolin miktar değişimleri 83

Çizelge 4.14. Tolerant-hassas çeşitlerde toplam çözünebilir karbohidrat miktar değişimleri 84

Çizelge 4.15. Tolerant-hassas çeşitlerde H_2O_2 miktar değişimleri 85

Çizelge 4.16. Tolerant-hassas çeşitlerde toplam çözünebilir protein miktar değişimleri 86

Çizelge 4.17. Tolerant-hassas çeşitlerde katalaz enzim aktivitesi 88

Çizelge 4.18. Tolerant-hassas çeşitlerde askorbat peroksidaz enzim aktivitesi 89

Çizelge 4.19. Tolerant-hassas çeşitlerde glutatyon redüktaz enzim aktivitesi 90

Çizelge 4.20. Tolerant-hassas çeşitlerde süperoksit dismutaz enzim aktivitesi 92

Çizelge 4.21. Tolerant-hassas çeşitlerde absisik asit hormon miktar değişimleri 93

Çizelge 4.22. Tolerant-hassas çeşitlerde indol asetik asit hormon miktar değişimleri 95

Çizelge 4.23. Tolerant-hassas çeşitlerde zeatin ribozid hormon miktar değişimleri 96

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 2.1.	Çeltiğin taksonomik tarihi	9
Şekil 2.2.	Çeltik bitkisi ve çeltik tarlasının genel görünümü	11
Şekil 2.3.	Çevresel stres özelliklerine uygun olarak bitki yanıtları	13
Şekil 2.4.	Abiyotik stres faktörleri	14
Şekil 2.5.	Biyotik stres faktörleri	14
Şekil 2.6.	Stres faktörlerinin dünyadaki kullanılabilir alanları etkileme derecesi	15
Şekil 2.7.	Prolin biyosentez yolu	21
Şekil 2.8.	ROT ve antioksidanlar arasındaki denge	22
Şekil 2.9.	Enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar	23
Şekil 2.10.	Kuraklık sırasında ksilem özsuyunun bazikleşmesine bağlı olarak ABA'nın yaprakta eşit olmayan dağılımı	29
Şekil 2.11.	Kuraklık stres faktörü altında bitkiler tarafından kullanılan mekanizmaların sınıflandırılması	32
Şekil 3.1.	Çeltik çeşitlerine ait tohumların genel görünüşleri	43
Şekil 3.2a.	İmbibisyona bırakılan çeltik tohumlarının genel görünüşü	46
Şekil 3.2b.	Toprak karışımlarının çeltik ekimi için hazır hale getirilmesi	46
Şekil 3.2c.	Çeltik tohumlarının saksılara ekilmesi	46
Şekil 3.2d.	Çeltik tohumlarının bitki büyütme odasında gelişimi	46
Şekil 3.3.	Bitki materyallerinin sıvı azot ile muamele edilmesi	47
Şekil 3.4.	Yaprak örneklerinin taze ağırlık ölçümleri ve turgorlu hale getirilmesi	49
Şekil 3.5.	Uygulama yapılan çeltik çeşitlerinde ozmotik potansiyel ölçümleri	49
Şekil 3.6.	1,1,3,3-Tetraethoxypropane (MDA)'nın standart eğrisi	51
Şekil 3.7.	L-Prolin standart eğrisi	52
Şekil 3.8.	Glukoz standart eğrisi	52
Şekil 3.9.	H_2O_2 standart eğrisi	53
Şekil 3.10.	BSA standart eğrisi	54
Şekil 3.11.	Hormon standartları ile bazı numunelere ait kromatogram	58
Şekil 4.1.	**S**ürgün boylarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları	62

Şekil 4.2. Kök uzunluklarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 64

Şekil 4.3. Yaprak taze ağırlıklarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 65

Şekil 4.4. Yaprak kuru ağırlıklarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 67

Şekil 4.5. 0-5 görsel skala değerlerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları 68

Şekil 4.6. Kontrol ve uygulama gruplarının morfolojik olarak karşılaştırılması 69

Şekil 4.7. Kontrol ve uygulama gruplarının morfolojik olarak karşılaştırılması 70

Şekil 4.8. Yaprak bağıl su içeriklerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları 72

Şekil 4.9. Ozmotik potansiyel değerlerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları 73

Şekil 4.10. Klorofil-a miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 75

Şekil 4.11. Klorofil-b miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 76

Şekil 4.12. Klorofil a/b değerlerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları 78

Şekil 4.13. Karotenoid miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 79

Şekil 4.14. Malondialdehit miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 80

Şekil 4.15. Prolin miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 83

Şekil 4.16. Toplam çözünebilir karbohidrat miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 84

Şekil 4.17. H_2O_2 miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 86

Şekil 4.18. Toplam çözünebilir protein miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 87

Şekil 4.19. Katalaz enzim aktivitelerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları 88

Şekil 4.20. Askorbat peroksidaz enzim aktivitelerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları 90

Şekil 4.21. Glutatyon redüktaz enzim aktivitelerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları 91

Şekil 4.22. Süperoksit dismutaz enzim aktivitelerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları 92

Şekil 4.23. Absisik asit miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 94

Şekil 4.24. İndol asetik asit miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 95

Şekil 4.25. Zeatin ribozid miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları 97

KISALTMA VE SİMGELER

SOD : Süperoksit dismutaz
GR : Glutatyon redüktaz
APX : Askorbat peroksidaz
CAT : Katalaz
ABA : Absisik asit
IAA : İndol-3-asetik asit
ZR : Zeatin ribozid
$O_2^{\bullet-}$: Süperoksit radikali
$^1O_2$: Singlet oksijen
H_2O_2 : Hidrojen peroksit
HO• : Hidroksil radikali
MDA : Malondialdehit
ROT : Reaktif oksijen türleri
NaOCl : Sodyum hipoklorit
TA : Taze ağırlık
KA : Kuru ağırlık
NO : Nitrik oksit
TBA : Tiyobarbitürik asit
TCA : Trikloroasetik asit
DHA : Dehidroaskorbat
DHAR : Dehidroaskorbat redüktaz
MDHAR : Monodehidroaskorbat redüktaz
MDHA : Monodehidroaskorbat
GSH : Glutatyon
GSSG : Glutatyon disülfit
PEG : Polietilen glikol
BSA : Bovine serum albümin
PTFE : Politetrafloroetilen
NBT : Nitroblue tetrazolium
NADP : Nikotinamid adenin dinükleotit fosfat
PVPP : Polivinilpolipirolidon

HPLC	: High Performance Liquid Chromatography
TEAA	: Trietilamonyum asetat
UV	: Ultraviyole
MPa	: Megapaskal
atm	: Atmosfer
rpm	: Dakikada dönüş hızı
g	: Gram
°C	: Santigrat derece
dk	: Dakika
cm	: Santimetre
ml	: Mililitre
µl	: Mikrolitre
nm	: Nanometre
µmol	: Mikromol
M	: Molarite
mg	: Miligram
µg	: Mikrogram
mM	: Milimolar
U mg^{-1}	: Ünite/miligram
µM	: Mikromolar
ng	: Nanogram

1. GİRİŞ

Göçebe yaşam tarzından yerleşik toplu hayata geçilmesini başlatması yönüyle tarım, insanlık tarihinin en önemli olaylarından biridir. Arkeolojik kanıtlar tarımın yaklaşık 10.000-12.000 yıl önce başladığını göstermektedir (Borem ve ark. 2012). İlk çağlardan günümüze kadar canlıların önemli gereksinimlerini karşılayan tarım, en iyi teknik ve yöntemlerle geliştirilerek günümüzde modern tarım olarak ifade edilmektedir. Günümüzde başta gıda olmak üzere yem, lif ve biyoyakıt gibi birçok talebi karşılamak için en etkili yetiştirme yöntemleri kullanılarak yapılan modern tarım, daha fazla verim elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle tarımı yapılan bitkilerden yüksek verim elde edilen çeşitlerin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Küresel nüfus artışıyla beraber daha fazla besine ihtiyaç duyulması sorunu ve iklim değişikliğinin bitkilerde neden olduğu problemlere çözüm bulmak için araştırmacılar, olumsuz çevresel koşullarında yetişebilen ve tarımı yapılabilecek en uygun bitki genotiplerini belirlemeyi amaçlamaktadırlar. Her bitki türünün büyüme, gelişim ve neslini devam ettirmesi için optimum çevre istekleri farklı olduğundan, stresli koşullarda bitkilerin hayatta kalabilmesi optimum koşulların sağlanması ile mümkün olmaktadır.

Bitkilerin yaşadığı çevre koşullarında meydana gelen her anormal değişim, bitki büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkilemekte ve stres kavramını ortaya çıkarmaktadır. Stres, bitkilerde metabolik homeostaziyi değiştiren veya bozan, bitkinin yaşam alanındaki büyüme ve gelişiminde herhangi bir değişikliğe neden olan faktörler olarak tanımlanabilir (Shulaev ve ark. 2008). Bitkilerde strese neden olan çevresel faktörler, abiyotik ve biyotik olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Düşük ve yüksek sıcaklık, yüksek ışık, ultraviyole (UV), ağır metaller, mineral eksikliği, kuraklık gibi cansız çevrenin oluşturduğu stresler abiyotik stres faktörleri; parazit, böcek, virüs, hayvan ve mantar gibi canlı çevrenin oluşturduğu stresler ise biyotik stres faktörleri olarak tanımlanmaktadır (Mahajan ve Tuteja 2005). Stres koşulları, bitkilerin fizyolojik işlevlerini olumsuz yönde etkileyerek biyosentez kapasitelerinin azalmasına, normal fonksiyonlarının değişmesine ve bitkinin ölümüne neden olabilecek kadar büyük zararlara neden olmaktadır (Lichtenhaler 1996).

Abiyotik stres faktörlerinden biri olan kuraklık “bir bitkinin normal büyüme ve yaşam döngüsünü tamamlamak için gerekli ve yeterli nemin olmaması” olarak tanımlanmakta ve diğer çevresel streslere göre tarımsal üretimde, ürün verimliliğini azaltan en yıkıcı stres faktörü olarak kabul edilmektedir (Lambers ve ark. 2008). Kuraklık, şiddet, süre ve coğrafi yayılış gibi kavramları içinde barındıran kompleks bir doğa olayıdır. Kuraklık çoğu defa yağışların az olduğu kurak iklim bölgeleri ve yağışsız geçen kurak periyotla karıştırılmaktadır. Kuraklık, sadece yağış oranının düşük olduğu bölgelerde değil aynı zamanda yağış oranının yüksek olduğu bölgelerde de görülebilir. Sonuç olarak kuraklık yağış miktarının az olması değil, olması gereken miktardan daha az görülmesi olarak tanımlanmaktadır (Mishra ve Singh 2010). Bununla birlikte kuraklığın şiddet ve süresine bağlı olarak akut ve kronik kuraklık kavramları ortaya çıkmaktadır.

Akut kuraklık, yağışsız geçen dönemlerde yüksek sıcaklığında etkisiyle beraber bitkilerde su eksikliğine yol açan, genç ve kuraklığa hassas bitkilerde kurumaya neden olan kısa süreli ve geçici kuraklık olarak ifade edilir. Kronik kuraklık ise yağışlarda meydana gelen azalmayla birlikte akarsu akışının düşmesi, göllerde ve yer altı rezervuarındaki su seviyesinin azalması ile karakterize edilir. Kuru havanın devam etmesi sonucu, kurak dönemin şiddet ve süresine göre bitkilerde ilk olarak solgunluk ile başlayıp daha sonra tamamen ölüm olayı gerçekleşebilir. Kuraklığın bitkideki olumsuz etkisi sadece kuraklığın şiddet ve süresine değil aynı zamanda kuraklığa maruz kalan bitkinin hangi gelişim evresinde olduğuna da bağlıdır. Genç evrede kuraklığa yakalanan bitkilerin büyüme ve gelişimleri etkilenirken çiçek açma ya da tohum bağlama döneminde kuraklığa maruz kalan bitkilerde ise ürün verimi etkilenmektedir (Çırak ve Esendal 2006).

Bazı durumlarda bitkilerin bulunduğu yaşam alanında yeterli su mevcut olmasına karşın, bitkinin var olan sudan yararlanamaması fizyolojik kuraklık şeklinde ifade edilmektedir. Havanın çok soğuk olduğu durumlarda yer altı sularının donması sonucu bitkinin bu suyu alamaması ya da topraktaki mineral tuzlarının aşırı birikimi sonucu toprak ozmotik potansiyelinin çok düşük olmasıyla beraber ortamdaki mevcut suyun bitkiler tarafından alınamaması fizyolojik kuraklığa örnek olarak verilebilir (Çırak ve Esendal 2006).

Bitkilerin büyümesinde, yayılışında ve veriminde oldukça önemli bir bileşen olan su, bitki hücre kütlesinin büyük bir bölümünü oluşturur. Tipik olarak büyümekte olan bitki dokularının %80 ile 95'i sudan oluşur. Oksijensiz yaşayan canlılar olabildiği halde, susuz yaşayan canlılar mevcut değildir. Bilindiği üzere bitkiler ürettikleri organik maddenin her gramı için yaklaşık olarak 500 g suyu topraktan alırlar. Protoplazmada tüm reaksiyonların cereyan ettiği bir yaşam sıvısı olan su, aynı zamanda iyi bir çözücüdür. Hücre içinde ve hücreler arasında moleküllerin hareketi için uygun bir ortam sağladığı gibi proteinlerin, nükleik asitlerin, polisakkarit ve diğer hücre bileşenlerinin yapısını büyük ölçüde etkiler (Taiz ve Zeiger 2008).

Bitkilerde su eksikliğine neden olan faktörler, son yıllarda etkisini arttırarak devam etmektedir. Su eksikliğine yol açan etkenlerin başında büyük olasılıkla küresel ısınma ve El Nino gibi iklim değişikliklerinin neden olduğu tahmin edilmektedir (Hoerling ve Kumar 2003). Küresel ısınmanın, sadece kuraklığa eğilimli bölgelerde değil aynı zamanda çeşitli tropikal ve subtropikal ekosistemlerdeki su açığını da %20 oranında arttıracağı öngörülmektedir. Uzmanlar tarafından elde edilen verilere göre, yeryüzünün ortalama sıcaklığı mevcut sıcaklığın 5.8 ºC üzerine ulaştığında, büyük mahsul üreten ekim alanları pratikte yarı yarıya azalacak ve bu durumun 50-100 yıl içinde gerçekleşeceği tahmin edilmektedir (Tilman ve ark. 2001).

"Ülkemizin küresel ısınmanın etkileri açısından riskli ülkeler arasında yer aldığı ve zamanla su kaynaklarının azalması, kuraklık ve çölleşme gibi sorunlarla karşı karşıya kalacağı ön görülmektedir. Artan nüfus ve çevre kirliliği ile birlikte kullanılabilir su kaynaklarının hızla azalacağı, yağış rejiminin değişeceği, kuraklık ve sel taşkınları gibi doğal afetlerin sıklığının ve şiddetinin artacağı, 2020'li yıllardan sonra Türkiye'de iklimin değişmesi ile kurak iklime geçileceği ve özellikle iç bölgelerde çölleşmeye eğilimli kurak alanlar meydana geleceği belirtilmektedir" (Aküzüm ve ark. 2010).

Kuraklık stres faktörü, tüm biyotik ve abiyotik stres faktörleri arasında %26'lık payla dünyadaki kullanılabilir alanlarda en çok görülen stres çeşididir (Blum ve Jordan 1985). Kuraklığın, dünya üzerindeki tarımsal bölgelerin çoğunda ekonomik ve sosyal açıdan olumsuz etkilerinin belirgin olarak hissedilmesi, kuraklığa karşı acil bir şekilde ciddi önlemlerin alınması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Bitkiler, kuraklık stresinin olumsuz etkilerinden kurtulmak için bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal cevaplar verirler. Kuraklık durumunda bitkideki birincil mekanizmalar, yüksek su potansiyelini korumaya yönelik olarak stoma düzenlemesiyle terlemenin azaltılması, transpirasyon alanında azalma, ışık emiliminde azalma ve kök gelişimini artırarak su alımını sürdürmektir. Bu morfolojik ve fizyolojik değişimlerin yanı sıra stres faktörü altında, bitkilerin hormonal dengesinde de bazı değişiklikler meydana geldiği bilinmektedir. Özellikle bazı dokularda absisik asit konsantrasyonunda artış meydana gelir ve bu hormon stoma kapanmasını düzenleyerek su kaybı olaylarının engellenmesine yardımcı olur.

Kuraklığa maruz kalan bitki hücreleri turgor durumlarını koruyabilmek için, bazı organik bileşikleri (prolin, glisin-betain, glutamat gibi aminoasitler; mannitol ve sorbitol gibi şeker alkolleri; spermin ve spermidin gibi poliaminler) biriktirmek suretiyle ozmotik potansiyellerini düzenlemeye çalışırlar. Stres faktörüne cevap olarak hücrede biriken bu bileşikler, hücrenin ozmotik potansiyelini düşürerek dış ortamdan su alınımını kolaylaştırmaktadır (Vinod 2012). Ozmotik düzenlemenin kuraklığa karşı toleransı arttırdığı; ancak ürün verimi üzerinde büyük bir etkisinin bulunmadığı rapor edilmiştir (McCree ve Richardson 1987). Başka bir araştırma sonucu ise ozmotik potansiyelini düzenlemek için gerçekleştirilen karbon dönüşümünün, bitkinin yaşamını etkilemediği aksine tarımsal bitkilerde büyüme ile toplam biyomas ve ürün miktarını düşürdüğü bildirilmiştir (Taiz ve Zeiger 2008).

Çevresel stres faktörüne cevap olarak bitkilerde karbohidrat birikiminin artması, kuraklığa karşı tolerans geliştirilmesinde önemli bulunmuştur (Gill ve ark. 2001). Şeker pancarı ve mısır bitkilerinde kuraklık stresi sonucunda yapraklardaki sakkaroz (Fox ve Geiger 1986, Zinselmeier ve ark. 1995) miktarının kontrole göre artış gösterdiği belirlenmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, papatya (*Matricaria chamomilla*) ile dört farklı fıstık (*Pistachio*) genotipine kuraklık stresi uygulanması sonucu, bitkilerin toplam çözünür şeker miktarlarında kontrol grubuna göre artış olduğu bildirilmiştir (Salehi ve ark. 2016, Khoyerdi ve ark. 2016).

Kuraklık stres faktörü, yapraklarda fotosentetik pigment miktarındaki kayıplara (Richardson ve ark. 2004), yaprak boyutu, hücre bölünmesi ve genişlemesinde azalmaya ve düzensiz stoma dağılışına yol açmaktadır (Farooq ve ark. 2009). Bununla

birlikte, yaprak bağıl su miktarı ve su potansiyelinin olumsuz yönde etkilenmesi, fotosentetik reaksiyonların işlevinde azalmayla birlikte büyüme ve gelişimin minimum seviyeye düşmesine neden olmaktadır (Lawlor ve Cornic 2002).

Su eksikliğinde bitki hücrelerinde; hidrojen peroksit, singlet oksijen, süperoksit ve hidroksil radikalleri gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) üretimi artar. ROT'lar, bitkilerde normal koşullarda da çeşitli organellerin metabolik yollarında düşük miktarlarda üretilir. Ancak kuraklık stresi altındaki bitkilerde ROT üretimindeki aşırı artış, oksidatif strese neden olur ve çeşitli bileşenlerin oksidasyonu ile sonuçlanır (Noctor ve Foyer 2005). Stres altındaki bitkilerde, yüksek miktarda oluşarak zararlı hale gelen ROT'ların vereceği zararların bertaraf edilmesi için bitkilerde antioksidan savunma sistemi mevcuttur. Stres koşulları altında bitkiler, enzimatik veya enzimatik olmayan antioksidan savunma mekanizmalarını etkin bir şekilde kullanarak hayatta kalmaya çalışırlar.

Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6), askorbat peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11), glutatyon redüktaz (GR; EC 1.8.1.7), süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1), glutatyon peroksidaz (GPX; EC 1.11.1.9) ve peroksidaz (POX; EC 1.11.1.7) en önemli antioksidan enzimler olarak sayılabilir. Çevresel stres koşullarına karşı son derece duyarlı olan bu enzimatik antioksidanlar, kuraklık stres faktörüne maruz bitkilerde stres sinyalleri olarak işlev görmektedir (Badawi ve ark. 2004).

Sıcak iklim tahılları arasında yer alan ve tek yıllık kültür bitkisi olan çeltik (*Oryza sativa*), dünya nüfusunun yaklaşık yarısından fazlasının besin kaynağı olarak kullandığı en önemli tahıl ürünlerinden birisidir. Çeltik *(Oryza sativa),* tropikal ve subtropikal iklim şartlarında, Güney ve Güneydoğu Asya ile Afrika'da yaygın olarak yetiştirilir. Amino asitlerce zengin olması nedeniyle yoğun olarak tüketildiği uzak doğu ülkelerinde önemli bir temel gıda maddesidir. Asya'da ağırlıklı olarak çeltik yetiştirilen alanlar, genellikle kuraklık tehdidi altındadır**.** Çeltik, zayıf bir kök sistemine sahip olduğundan kuraklığa duyarlı bir ürün olup, minimal su sıkıntısı bile stomaların hızla kapanmasına neden olur (Ji ve ark. 2010). "Dünya'da çeltik tarımı su rejimine göre; %45 sulamayla, %30 yağmurla, %11 derin suda, %10 kır'da ve %4'de yüzen çeltik olarak farklı yetiştirme şekillerinde üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde ise çeltik üretim şekli devamlı sulamayla, tarla su altında tutularak yapılmaktadır" (Sezer ve ark. 2012).

Kuraklık faktörünün yol açtığı olumsuz koşullar nedeniyle dünya çapında çeltik üretiminde ortalama yıllık kaybın yaklaşık 18 milyon ton olduğu rapor edilmiştir (O'Toole 2004). Geniş adaptasyonu ve dünya nüfusunun yaklaşık yarısından fazlasının besin kaynağı olan çeltik, kuraklık stresi faktörüne duyarlı olup genetik varyasyonlar nedeniyle tür, alttür ve yabani türler arasında kuraklığa karşı toleransı bakımından geniş bir skala göstermektedir (Jongdee ve ark. 2002, Lafitte ve ark. 2006).

Dünya topraklarının %43'ü ve tarım alanlarının büyük bir kısmında yağışın az olması nedeni ile kuraklık problemi yaşanmaktadır (Özer ve ark. 1997). Bu nedenle kuraklık stresi faktörüne karşı hassas ve toleranslı çeltik çeşitlerinin belirlenmesi ve olumsuz koşullara dayanıklı çeşitler kullanılarak üretimin yapılması, verim ve kaliteyi artırma açısından oldukça büyük önem arz etmektedir. Kuraklığa dayanıklı çeltik çeşitlerinin geliştirilmesi ile ilgili araştırmaların, gelecek yılların önemli çalışma alanlarından biri olacağı araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Valliyodan ve Nguyen 2006, Ashraf 2010). Bu anlamda, uygulanabilir strateji veya metot geliştirebilmek için kuraklığa karşı toleransta; fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler temelin iyi anlaşılması gereklidir (Blum 1998, Trethowan ve ark. 2001).

Tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de artan nüfus, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi birçok faktörün etkisiyle kullanılabilir su kaynaklarının hızla azalması, araştırmacılar için ihmal edilmeyecek ciddi bir konu haline gelmiştir. 2020'li yıllardan sonra Türkiye'de iklim koşullarının değişmesi ile özellikle iç bölgelerde çölleşmeye kadar giden kuraklığın yaşanabileceği öngörülmektedir. Türkiye'de tarımı yapılan çeltik çeşitlerinin kuraklıktan etkilenme dereceleri ve kuraklığa karşı nasıl tepki verecekleri ile ilgili çalışmaya rastlanmamış olması bu alanda yapılacak çalışmaların önemini arttırmaktadır. Bu nedenle tez kapsamında, ülkemizde yaygın olarak tarımı yapılan 6 farklı çeltik çeşidi (**Beşer, Paşalı, Osmancık-97, Kızıltan, Halilbey, Gönen)** ile Diyarbakır (**Karacadağ**) civarında yetiştirilen 2 farklı popülasyonun kuraklık stres faktörüne karşı gösterdikleri fizyolojik ve biyokimyasal cevaplar incelenerek tolerant/hassas çeşitlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte tolerant/hassas çeşitlerde kuraklık stresinin; ozmolit birikimi, hormonal düzenlenme ve antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Çeltik Bitkisi Hakkında Genel Bilgiler

2.1.1. Familya Özellikleri

Poaceae familyasının bir üyesi olan çeltik, kültürü yapılan en önemli tahıl bitkilerinden biridir. Karasal alanların %25'inden fazlasında yayılış gösteren (Keller ve Feuillet 2000) ve çiçekli bitkilerin en büyük familyalarından biri olan Poaceae (Gramineae), yaklaşık 800 cins ve 11.000 kadar türle (ülkemizde ise 141 cins ve 520'ye yakın tür) temsil edilen kozmopolit bir familyadır (Türe ve Böcük 2007, Ocak ve ark. 2009). Bu familya içerisinde yer alan tahıl (*Triticum, Hordeum, Avena, Oryza*) ve çayır-mera türleri (*Lolium, Festuca, Dactylis, Agropyron*) insan ve hayvan beslenmesinde son derece önemli bir yere sahiptir (Opanowicz ve ark. 2008). Özellikle 10.000 yıllık zaman periyodu içerisinde söz konusu familyaya ait taksonlar, dünya genelinde geniş alanlarda kültüre alınmış bitkiler olup nişasta kaynağı olarak beslenmede çok önemli bir yere sahiptirler. Tahıllar, tohum üretiminde, yabani ot kontrolünde, gübre amaçlı, insan ve hayvan için yemeklik tohum olarak, nişasta üretiminde, alkoloid ve aromatik içerik elde edilmesinde, tıpta ve kağıt yapımında lif malzemesi olarak da kullanılır (Peeters 2004). Tüm bunlara ilave olarak Poaceae taksonlarının parfümeri sanayiinde de kullanıldığı bilinmektedir (Clayton ve Renvoize 1986).

Poaceae familyası üyeleri, besin değerlerinin yanı sıra dünyadaki tüm ekosistemlerde en çok sayıda türü bünyelerinde bulundurmaları açısından da önemlidir. Bunun yanı sıra bu familyaya ait türleri, hayat şartlarının zor olduğu subalpin ve göl ekosistemlerinden kserofit veya sucul alanlara kadar hemen her yerde görmek mümkündür. Bu durum, familya üyelerinin sahip olduğu önemli besin değerinin yanı sıra ne denli ekolojik önem taşıdıklarını da ortaya koymaktadır.

2.1.2. Çeltiğin Orijini

Çeltiğin orijini hakkında yapılan arkeolojik ve paleocoğrafik araştırmaları içeren literatür bilgilerine göre, günümüzde kültürü yapılan çeltiğin ilk olarak iki farklı bölgede kültüre alındığı rapor edilmiştir (Porteres 1956, Emeklier 2011). Buna göre *Oryza sativa*, Güney Asya'da Himalaya'ların eteklerinden ve Güneydoğu Çin'den köken almaktadır. Güneydoğu Asya'da, Hindistan ve Çin Hindi'ndeki kültür

formlarındaki zenginlik, çeltik cinsinin en önemli gen merkezinin bu bölge olduğu hakkındaki görüşleri güçlendirmiştir. Kültürü yapılan ikinci tür, *Oryza glaberrima*'nın orijininin ise Nijer nehir deltası olduğu bildirilmektedir.

Güneydoğu Asya'da 1966 yılında Wilhelm G. Solheim tarafından Tayland'ın Korat Bölgesinde yapılan arkeolojik çalışmalarda bulunan çeltik tanesi ve kavuzlara ait bulgular, çeltiğin orijininin M.Ö. 4.000 yılından daha öncelere gittiğini göstermektedir. Yine Tayland-Burma sınırında Spirit mağarasında bulunan kalıntılar, çeltiğin kültüre alınmasının M.Ö. 10.000 yılına kadar gidebileceğini göstermiştir. "Bir başka araştırmada çeltiğin, M.Ö. 3000 yıllarında Güney Hindistan'dan Çin'e, M.Ö. 1000 yıllarında Java'ya doğru yayıldığı ve Büyük İskender'in Asya seferleri sonunda M.Ö. 300 yıllarında Avrupa'ya getirildiği belirtilmiştir. Türkiye'ye ise yaklaşık 500 yıl önce Mısır üzerinden girdiği ve ilk ekimlerin Tosya (Kastamonu)'da yapıldığı kabul edilmektedir" (Kün 1985, Taylı ve ark. 2009).

2.1.3. Çeltiğin Taksonomik Tarihi

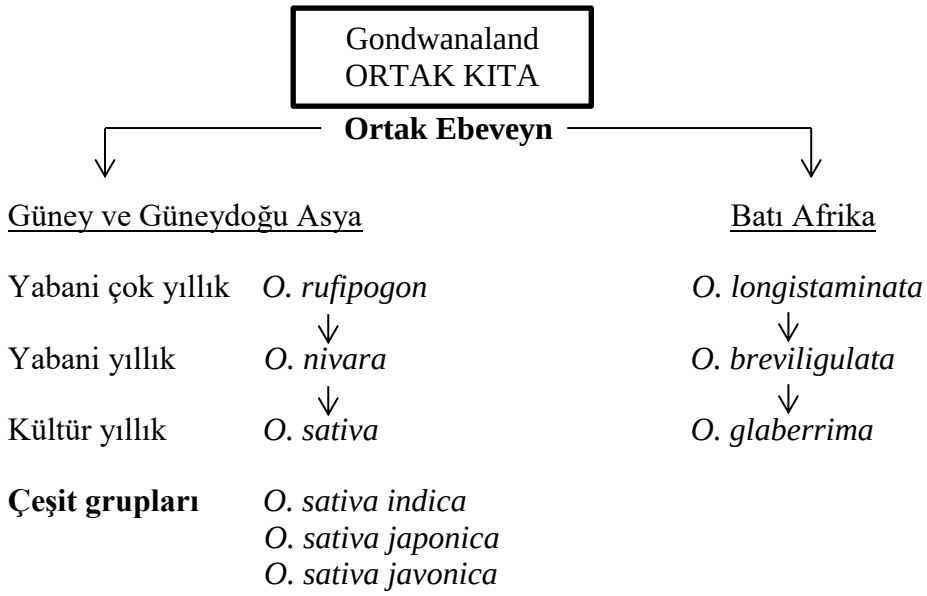
Kültürü yapılan çeltiğin iki türü; Güneydoğu Asya orijinli *Oryza sativa* ve Batı Afrika orijinli *Oryza glaberrima,* Poaceae familyasının *Oryzae* oymağına dahildir. Her iki türünde kromozom sayısı 2n=24'dür ve *Oryzae* oymağında, *Oryza* cinsine ait 21 yabani tür ve iki kültür türü bulunmaktadır.

Oryza cinsi, kıtaların jeolojik oluşum sürecinde 130 milyon yıl önce Paleozoik ve Mezoik dönemde, Güney Amerika, Afrika, Antartika, Hindistan ve Avustralya'nın dahil olduğu süper kıta Gondwana (veya Gondwanaland)'dan orijin almış çok eski yabani bir cinstir. Süper kıtanın parçalanmasıyla bu cinse ait örnekler, Antartika hariç bütün bu kara parçalarına dağılmıştır.

Gondwanaland kıtasındaki ortak ebeveynden köken alan *O. sativa* ve *O. glaberrima* paralel bir evrim geçirmişlerdir. Güneydoğu ve Güney Asya'da çok yıllık yabani tür *Oryza rufipogon* (AA, 2n=24) ve tek yıllık yabani tür *Oryza nivara* (AA, 2n=24) türlerinin evriminden ve evcilleştirilmesinden *O. sativa* türü ortaya çıkmıştır. Çeltik bitkisinin Güney ve Güneydoğu Asya'nın farklı alanları ile farklı çevre koşullarında yetiştirilmesi sonucunda, farklı ekotipleri ortaya çıkmıştır. Günümüze kadar *O. sativa* türüne ait üç coğrafi çeşit grubu ya da alt tür; indica, japonica ve javonica geliştirilmiştir (Emeklier 2011).

Çok yıllık yabani tür olan *O. rufipogon*, Pakistan'dan Çin'e ve güneyde Endonezya'ya kadar yayılmıştır. Yaşam özellikleri farklı çok yıllık ve tek yıllık türleri kapsamaktadır. Tek yıllıklara göre çok yıllık türlerde yüksek oranda yabancı döllenme olurken tohum verimliliği ise oldukça düşüktür. Muson Asya'sında çok yıllık tipler derin bataklıklarda yetişir ve yıl boyunca nemli bir ortamda bulunurlar; tek yıllık tipler ise kurak mevsimde kuruyan geçici bataklıklarda yetişir. Tek yıllık yabani tür *O. nivara*, Hindistan ve Güney Asya'da bulunmaktadır. Bitki tipi morfolojik olarak *O. sativa*'nın yabani otsu tipine benzer ve otsu yabaniler ile *O. nivara* arasında çok sayıda melezlemeler oluşmuştur. *O. rufipogon* ve *O. nivara* yabani türleri doğal koşullarda *O. sativa* türleriyle melezlenebilir ve tohum bağlayabilirler.

Benzer şekilde *O. longistaminata* ve *O. breviligulata*'nın evriminden de *O. glaberrima* türü meydana gelmiştir (Şekil 2.1.). *O. glaberrima* ise Afrika'da Nijer nehir deltasının yukarı bataklık havzası ve Güneybatı Gine Kıyıları olmak üzere iki merkezden orijin almıştır. İlk merkezde çeltiğin tarihi M.Ö. 1500 yıllarında başlarken ikinci merkezde ise çeltiğin 500 yıl sonra kültüre alındığı kabul edilmektedir. Arkeolojik bulgular *O. glaberrima*'nın daha geç kültüre alındığını göstermektedir (Emeklier 2011).



Şekil 2.1. Çeltiğin taksonomik tarihi (Emeklier 2011)

2.1.4. Çeltiğin Biyolojisi ve Sistematikteki Yeri

Poaceae (buğdaygiller) familyasının bir cinsi olan *Oryza* üyeleri tek yıllık, otsu, gövdeleri 1 metreye kadar boylanabilen, dik, tüysüz bitkilerdir. Yaprak kınları 2-4 mm boyunda sillere sahip ve kulakçıklıdır. Çeltik bitkisinde tane, karyopsis ile onu sıkıca saran iç kavuz ve kapçıktan oluşur, bu kavuzlar harman sonunda da karyopsisten ayrılmaz ve kavuzlu bu ürüne "çeltik" adı verilmektedir. *Oryza* cinsi, Türkiye'de yayılış gösteren iki (*Oryza sativa, Oryza rufipogon*) takson ile temsil edilir (Davis ve ark. 1985, Güner ve ark. 2000). *Oryza sativa*'nın sistematikteki yeri aşağıdaki gibidir (TUBİVES 2017).

Alem ***Plantae***

Alt alem ***Tracheobionta***

Bölüm ***Magnoliophyta***

Sınıf ***Liliopsida***

Altsınıf ***Commelinidae***

Takım ***Cyperales***

Aile ***Poaceae***

Cins ***Oryza***

Tür ***Oryza sativa*** L.

2.1.5. Çeltiğin Önemi

Tahıllar içerisinde önemli bir yere sahip olan ve Poaceae familyası içerisinde yer alan çeltik (Şekil 2.2.) bir sıcak iklim bitkisidir. Dünya'da ekim alanı yönünden buğdaydan, üretimde ise mısırdan sonra ikinci sırada yerini almaktadır. Çeltik-pirinç işleme teknolojisinden elde edilen pirinç, dünya nüfusunun yarısından fazlasının temel besin kaynağı olarak tüketilmektedir. İçeriğinde az protein bulundurmasına karşın, beslenme için mutlak gerekli amino asitlerce zengin olması nedeniyle insan beslenmesinde çok önemli yer tutmaktadır (Emeklier 2011).

Dünya genelinde mevcut tarım alanlarının yaklaşık yarısında tahıl ekilmektedir. FAO'nun 2014 yılı istatistiklerine göre, tüm dünyada çeltik ekim alanı 163,2 milyon

hektar, üretimi ise 740 milyon tondur. Tüm tahılların ekim oranları/miktarları kıyaslandığında çeltik ekimi yaklaşık %22'lik, üretimi ise %28'lik pay almaktadır. Dünya'da en fazla çeltik üretiminin gerçekleştiği beş ülke Asya kıtasında olup bu ülkeler en fazla üretim miktarına göre Çin, Hindistan, Endonezya, Bangladeş, Vietnam olarak sıralanmakta ve dolayısıyla çeltik üretiminin yaklaşık %91'i Asya kıtasında yapılmaktadır (Çizelge 2.1.).



Şekil 2.2. Çeltik bitkisi ve çeltik tarlasının genel görünümü

Çizelge 2.1. Dünya'da çeltik üretimi

Ülkeler	Ekim Alanı (bin ha)	Üretim (bin ton)	Verim (kg/ha)
Hindistan	43400	157200	3622
Çin	30600	206507	6748
Endonezya	13797	70846	5134
Bangladeş	11820	52231	4418
Tayland	10834	32620	3010
Vietnam	7816	44974	5753
Myanmar	6790	26423	3891
Filipinler	4739	18967	4001
Kamboçya	3100	9324	3007
Nijerya	3095	6734	2175
Brezilya	2340	12175	5201
Japonya	1575	10549	6697
ABD	1181	10025	8487
Türkiye	110	830	7485

*FAOSTAT 2016

Ülkemizde son on yıl içerisinde, çeltik üretiminde sürekli bir artış kaydedilmiştir (Çizelge 2.2.). "Marmara Bölgesi %67 ekiliş ve %72 üretim payı ile birinci sırada yer alırken ikinci sırada ise %20 ekiliş ve üretim payı ile Karadeniz bölgesi yer almaktadır. İki bölgenin toplam üretimi ülke üretiminin %90'ından fazlasını karşılamaktadır. Trakya Bölgesi, başta Edirne ili olmak üzere Türkiye üretim ve ekilişinin yaklaşık %40'ını yalnız başına karşılamaktadır. Marmara Bölgesinde, Balıkesir ve Çanakkale; Karadeniz Bölgesinde ise Samsun, Çorum ve Sinop en önemli çeltik üreticisi iller olarak bilinmektedir. Son yıllarda geliştirilen "Osmancık-97" çeşidi, yüksek çeltik verimi ve kalitesi ile ülkemizde toplam ekim alanının %80'inden fazlasını tek başına kaplamaktadır" (Sade ve ark. 2011).

Çizelge 2.2. 2005 ve 2015 yılları arasında Türkiye'de ekilen çeltik alanı ve üretim miktarı

Yıllar	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim (Ton)	Verim (Kg/Dekar)
2005	850 000	600 000	706
2006	991 000	696 000	702
2007	939 000	648 000	690
2008	995 000	753 325	757
2009	967 541	750 000	775
2010	990 000	860 000	869
2011	994 000	900 000	905
2012	1 197 247	880 000	735
2013	1 105 924	900 000	814
2014	1 108 844	830 000	749
2015	1 158 561	920 000	794

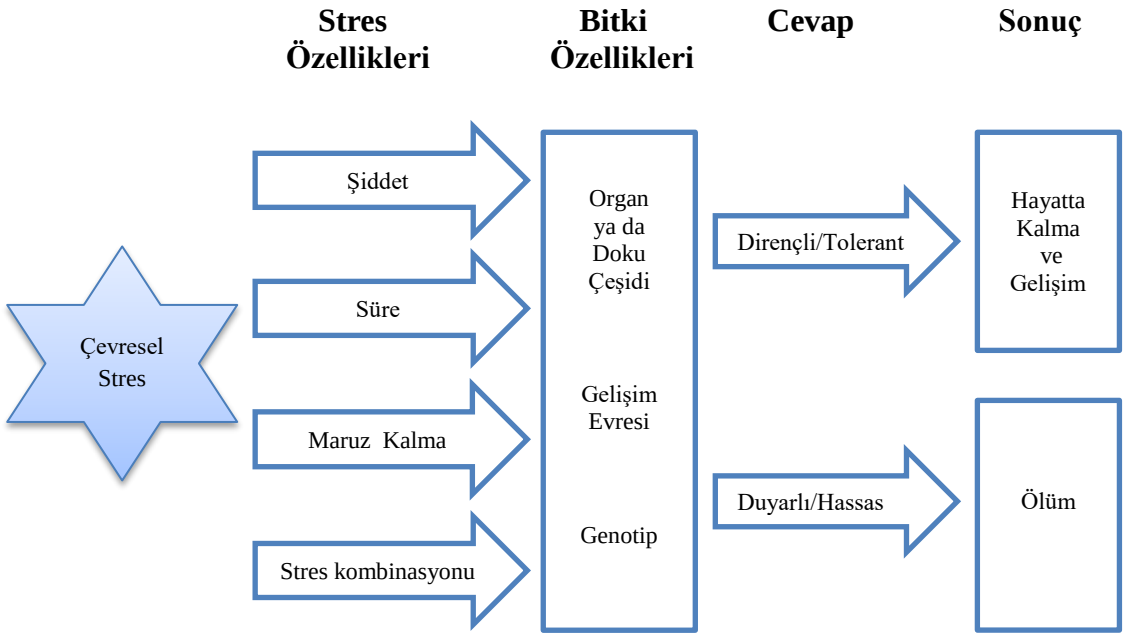
*TÜİK 2016

2.2. Stres Faktörleri

"Stres" fiziksel olarak bir nesneye birim alan başına uygulanan mekanik kuvvet olarak tanımlanır; ancak biyolojik açıdan stresi tanımlamak oldukça zordur. Çünkü bir bitki için stres yaratabilen biyotik veya abiyotik şartlar, diğer bir bitki için stres faktörü olmayabilir. Birçok araştırmacı biyolojik stresin tanımını "Bitki gibi biyolojik bir sistemin, normal işleyişini önleyen ters bir durum" olarak ifade etmiştir (Jones ve Jones 1989, Mahajan ve Tuteja 2005). Bitkiler, büyüme ve gelişimlerini sürdürdükleri her ortamda çeşitli stres faktörlerinin etkisi altındadır. Stres koşullarında gelişimini

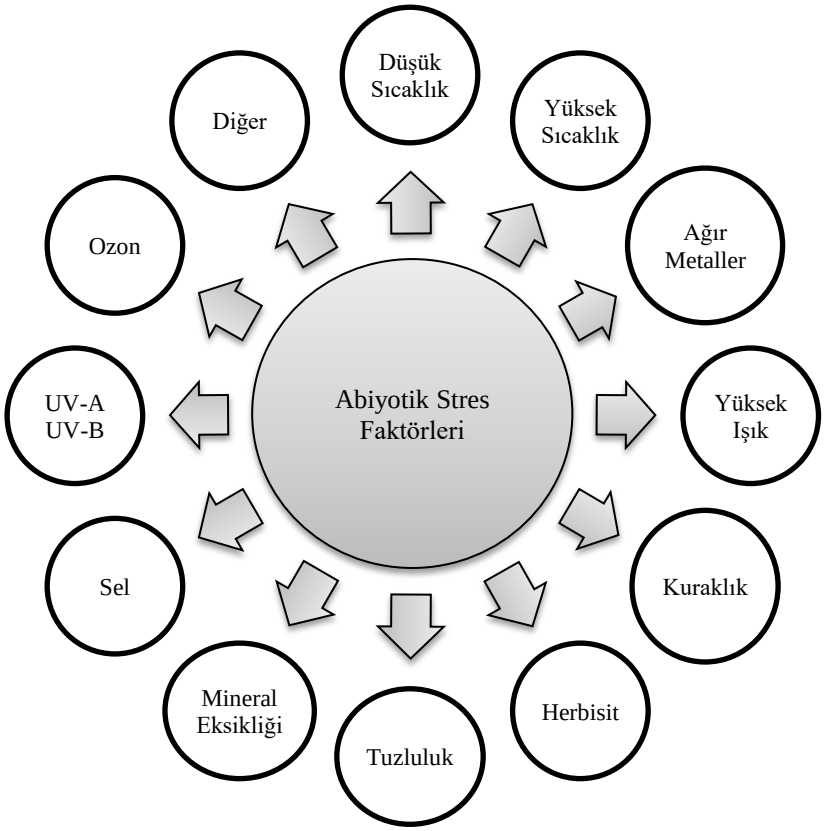
sürdüren bitkilerin, fizyolojik olarak su ve besin emilimi, fotosentez, solunum, büyüme, üreme v.s. gibi yaşamsal faaliyetleri metabolizma açısından olması gerekenin altında olmaktadır (Lambers ve ark. 1998).

Stres, bitkilerde gen ifadesi ve hücresel metabolizma değişikliklerini içeren bir dizi tepkileri tetikleyebilir. Aynı zamanda, stresin şiddeti ve sıklığı, bitkinin strese maruz kalma süresi, stresin etkilediği organ ya da dokunun çeşidi, bitkinin hangi gelişim evresinde olduğu ve genotipi, bitkilerin strese verdikleri tepkileri etkiler. Bitki türleri ya da çeşitleri, stresli koşullara karşı hassas/tolerant durumuna göre ya hayatta kalıp gelişimini sürdürür ya da ölür (Şekil 2.3.).

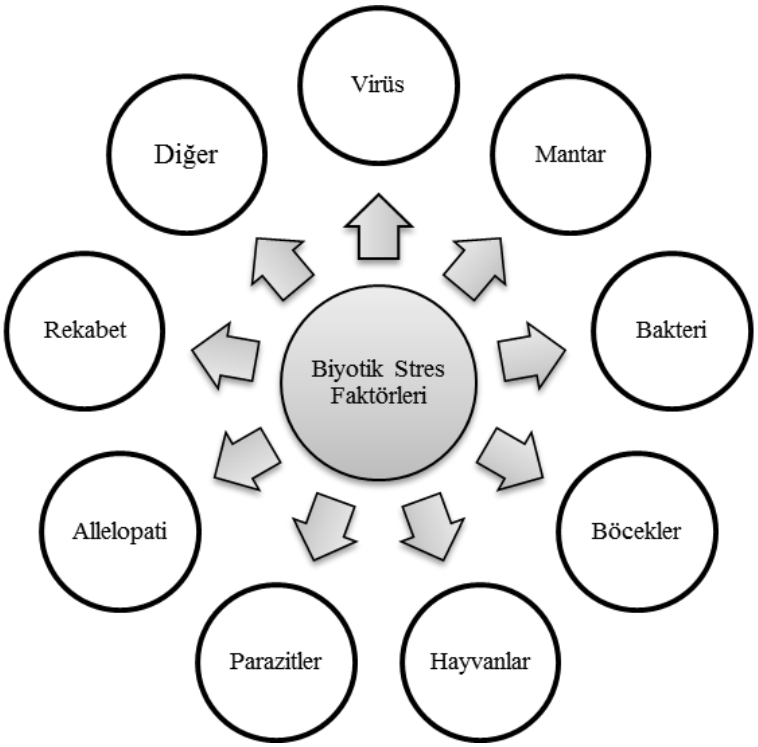


Şekil 2.3. Çevresel stres özelliklerine uygun olarak bitki yanıtları (Bray ve ark. 2000, Fritsche-Neto ve Borém 2012)

Bitkiler için stresin kaynağı, iklimsel koşullar veya bitkinin bulunduğu coğrafik konumdan kaynaklı cansız çevre olabileceği gibi patojenler, rekabet, simbiyosis gibi canlı çevrede olabilir. Dolayısıyla bitkilerin çevresinde bulunabilen veya büyüme ve gelişimleri açısından olumsuz etki yaratan her faktör, strese neden olabilir. Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi sınırlandıran ve strese neden olan çevresel stres faktörleri, biyotik ve abiyotik stres faktörleri olarak sınıflandırılır (Şekil 2.4. ve Şekil 2.5.).



Şekil 2.4. Abiyotik stres faktörleri (Hasanuzzaman ve ark. 2012)

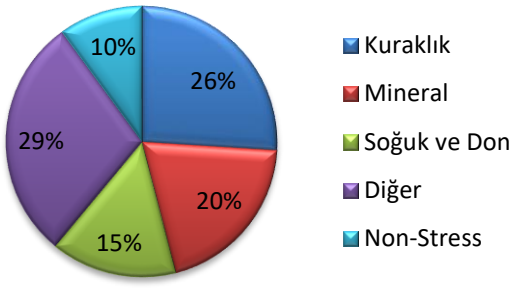


Şekil 2.5. Biyotik stres faktörleri (Pedrol ve ark. 2006)

2.3. Kuraklık Stresi

Küresel ısınma sonucu günümüzde artarak belirgin bir problem haline gelen ve tarımsal faaliyetler açısından temel bir risk olarak kabul edilen kuraklığın genel anlamda kabul gören bir tanımı yoktur. Birçok araştırmacı ve iklim uzmanı kuraklığı; hidrolojik, meteorolojik ve tarımsal kuraklık olmak üzere üç ana başlık altında değerlendirmiştir. Kuraklığın çok farklı tanımlamaları olmakla birlikte hidrolojik, tarımsal ve meteorolojik kuraklık gibi bir ayrıma gidilmeksizin "yeryüzündeki çeşitli sistemlerce kullanılan doğal su varlığının, belirli bir zaman süresince ve bölgesel ölçekte uzun süreli ortalamanın ya da normalin altında gerçekleşmesi sonucunda oluşan su açığı" olarak tanımlanabilir (Türkeş 2012).

Kuraklık stresi, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de tarımsal verimliliğin azalmasına neden olan en önemli etkenlerden birisidir. Kuraklık stresi, çeşitli stres faktörleri arasında dünyadaki yarayışlı veya kullanılabilir alanları etkileme derecelerine göre %26'lık oranla en büyük paya sahiptir (Şekil 2.6.). Daha sonraki sırayı %20 ile mineral stres faktörü ve %15'lik bir oranla soğuk/don stresi faktörü takip etmektedir. Geriye kalan diğer biyotik/abiyotik stres faktörleri %29, herhangi bir stres faktörüne maruz kalmayan alan ise %10'luk dilimi içermektedir (Blum ve Jordan 1985, Kalefetoğlu ve Ekmekçi 2005).



Şekil 2.6. Stres faktörlerinin dünyadaki kullanılabilir alanları etkileme derecesi

Dünyanın birçok bölgesinde, doğal su kaynaklarının büyük tüketicisi olarak tarımsal faaliyetler kabul edilmektedir. Genel olarak tüm dünya ülkelerinde küresel ısınma, iklim değişikliği ve insan nüfusundaki artış ile birlikte suya olan talebin her geçen gün biraz daha fazla olması kuraklık riski konusunu ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda bitkiler üzerinde kuraklığın etkilerini anlamak, çok önemli bir

araştırma konusu olmuştur. Kurak ortamlarda varlığını daha iyi sürdürebilen tarım ürünleri ve doğal bitki örtüsünün geleceğinin belirlenmesinde, bitki ıslahının iyileştirilmesi ve yönetim teknikleri konusunda araştırmalar yoğunlaşmıştır (Chaves ve ark. 2003). Yeryüzündeki tarımsal alanların yaklaşık %40'ı kurak, yarı kurak veya düşük yağış rejimlerine sahip olan bölgelerdir. Su durumunun kısıtlı olduğu bölgelerde yüksek verime sahip olan ve suyu daha etkin olarak kullanan bitki türleri veya çeşitlerinin tercih edilmesi tarımsal anlamda büyük ekonomik avantajlar sağlamaktadır (Hirt ve Shinozaki 2004).

Her geçen gün küresel çapta artan gıda talebi, tarımsal faaliyetlerin artması anlamına gelmektedir ki bu durum suyun önemini daha da arttırmaktadır. Bu nedenle, su tüketimi ve su kullanım etkinliği (belli bir miktarda biyokütle üretmek için tüketilen su miktarı) özellikle kuraklıktan etkilenen bölgelerde önemli parametrelerdir. Gerçekten de, modern tarımın en önemli hedeflerinden biri daha az su "damla başına daha fazla ürün" kullanılarak artan ürün verimliliği elde etmektir (Fritsche-Neto ve Borém 2012).

2.4. Kuraklığın Bitkiler Üzerindeki Etkileri

Bitkilerin kuraklık stresi koşullarına karşı verdikleri morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler cevapları anlamak, stres faktörünün zararlı etkilerini en aza indirmek ve verimliliği maksimize etmek amacıyla oldukça önemlidir. Bu nedenle strese maruz kalan bitkilerde meydana gelen bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimler araştırma konumuzla bağıntılı olarak aşağıda irdelenmiştir.

2.4.1. Kuraklığın Morfolojik Etkisi

Bitkiler dokularındaki su kaybını tolere edebilmek veya su kaybını azaltmak için fizyolojik, morfolojik ve metabolik değişiklikler gösterirler (Mitra 2001, Anami ve ark. 2009). Morfolojik değişikliklerin en açık örneği, kurak şartlarda toprakta bulunan suyu daha etkili bir şekilde kullanabilmek için bitkilerin kök gelişimlerini hızlandırmasıdır. Bu nedenle fotosentez ürünlerinin büyük bir bölümü köklere taşınarak kök gelişimi hızlanır (Öztürk ve Seçmen 1992).

Kuraklığa maruz kalan bitkilerde, yaprak yüzey alanının veya yaprak sayısının azaltılması ve senesens gibi morfolojik değişimler, kuraklık stres faktörüne maruz kalma süresine bağlı olarak değişmektedir (Fritsche-Neto ve Borém 2012). Tüm bunlar

bitkilerde transpirasyon (terleme) yoluyla kaybedilen su miktarının azaltılması için meydana gelen morfolojik değişimlerdir.

Bazı bitkilerde, kuraklık stresine cevap olarak yaprak yüzeyinde tüylenmenin artması, meydana gelen diğer bir morfolojik değişimdir. Artan tüy sayısı, güneş ışınlarını daha fazla yansıtarak yaprak sıcaklığının 1-2 °C düşmesini sağlar ve bitkinin transpirasyonu kısmen azaltılır (Kutlu 2010). Ayrıca, güneş ışınlarından daha az etkilenmek için bazı bitkiler yaprak açısını değiştirirken çim bitkileri ise yapraklarını kıvırarak yüzey alanlarını küçültme yolunu izlerler. Bitkiler kökleriyle aldıkları suyun %90'ını transpirasyon yoluyla su buharı şeklinde kaybederler. Bu nedenle uzun süreli kuraklık şartlarında, bitkide su kaybını minimize etmeye yönelik bu tarz morfolojik değişimler, kuraklıktan sakınma için iyi bir yoldur. Kuraklık stres faktörüne karşı meydana gelen tüm bu değişimler, bitkinin transpirasyon yoluyla kaybedeceği suyu en aza indirgemek için gereklidir.

Su eksikliği, yaprak absisyonunu uyararak bitkinin toplam yaprak yüzey alanının azalmasını etkiler. DaMatta ve Rena (2001), su eksikliğine bağlı olarak *Coffea canephora* bitkisinde meydana gelen yaprak absisyonunun ilk olarak yaşlı yapraklarda başladığını ve genç yapraklarda devam ettiğini, aynı şekilde kuraklığa duyarlı olan genotiplerde daha çok yaprak absisyonu meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Yaprağın alt ve üst yüzeyini kaplayan "epidermis" tek sıralı bir hücre tabakası halinde koruyucu bir doku olup üst epidermis hücrelerinin dış çeperleri kutikula adı verilen ince, hidrofobik yapıda mumsu bir maddeyle örtülüdür. Bitki hücrelerinde kutikula tabakası, su kaybını sınırlandırarak mevcut suyun kaybedilmesini engeller ve bitkinin kuraklığa karşı ilk savunmasında diğer morfolojik değişimlerle birlikte önemli bir rol oynar. Kuraklık süresi ve şiddeti arttıkça, hidrofobik mumsu yapının sentezi artarak daha kalın bir kutikula tabakası meydana gelir (Riederer ve Schreiber 2001, Jenks 2002). Riedel ve ark. (2009), yaptıkları bir araştırma sonucu *Cocos nucifera* yapraklarında mumsu yapı sentezinin daha fazla olması sonucunda kutikulanın, kuraklığa toleranslı genotiplerde duyarlı genotiplere göre daha kalın olduğunu bildirmişlerdir.

Su kaybını engellemeye yönelik tüm bu morfolojik değişimler, kuraklık süresinin uzun olması sonucunda gerçekleşir. Bitkiler kısa süreli su eksikliğine maruz

kaldığında ise yukarıda belirtilen morfolojik cevaplardan önce strese karşı ilk yanıt olarak stomalarını kapatarak su kaybını engellemiş olurlar. Bekçi hücrelerinden suyun doğrudan buharlaşması yoluyla, metabolit gerektirmeden stomanın kapanması hidropasif stoma kapanması olarak adlandırılır. Metabolitin gerekli olduğu stoma kapanma sürecinde ise stomanın açılması için gerekli olan iyon akışının tersine işlemesi sonucu gerçekleşebilir. İyon ve metabolit gerektiren bu süreç hidroaktif kapanma olarak adlandırılır ve bu sürecin absisik asit hormonu tarafından düzenlendiği bildirilmiştir (Mahajan ve Tuteja 2005).

2.4.2. Kuraklığın Fotosentez Aktivitesi Üzerine Etkisi

Bitki büyümesi çok sayıdaki fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler süreçler tarafından kontrol edilmekle birlikte, fotosentez önemli bir metabolik süreç olup bitki gelişiminde etkin rol oynamaktadır. Stres koşullarında, bitkiler fotosentez mekanizmalarında geri dönüşü olmayan zararları önlemek için hızlı bir şekilde farklı düzeyde cevaplar verirler. Kuraklık stresinde stoma kapanması, transpirasyon ile kaybedilecek su miktarının azalmasına yardımcı olurken diğer taraftan istenmeyen bir durum olan fotosentez hızını da olumsuz yönde etkiler.

Tüm yeşil bitkilerdeki en temel ve karmaşık fizyolojik süreç olan fotosentezin tüm safhaları, stres koşullarında ciddi şekilde etkilenir. Fotosentez mekanizması; fotosentetik pigmentler (klorofil a/b), fotosistemler (PSI/PSII), elektron taşıma sistemi (ETS) ve CO_2 gibi çeşitli bileşenler içerdiğinden, herhangi bir seviyede stresin neden olduğu hasar, bitkinin genel fotosentetik kapasitesini düşürebilir. Kuraklık stresi altındaki bitkilerde fotosentez hızının azalması, stomatal veya stomatal olmayan sınırlamalarla gerçekleşmektedir. Stomatal sınırlamada, hidrolik sinyal olarak adlandırılan yaprak su potansiyeli ve hücre turgorunun azalması sonucu stomalar kapatılmaktadır. Bu durum özellikle hafif kuraklık stresinde meydana gelir ve stomaların kapanması sonucu hücre içi CO_2 konsantrasyonu düşerek fotosentez kapasitesinde azalma meydana gelir. Ayrıca stomaların kapanmasına neden olan diğer bir faktör ise kimyasal sinyal olarak bilinen absisik asit (ABA) miktarındaki değişimlerdir. Stres sonucunda artan ABA, stoma bekçi hücresindeki reseptörüne bağlanarak proton pompasını bloke etmek suretiyle stomaların kapanmasını sağlar (Taiz ve Zeiger 2008).

Stomatal olmayan sınırlandırmanın ise daha şiddetli stres sonucunda fotosentetik pigmentler, kloroplast lipit ve proteinlerinin oksidatif zarar görmesi sonucunda meydana geldiği bildirilmiştir (Tambussi ve ark. 2000). Yapılan bir çalışmada şiddetli kuraklık stresi uygulanan bitkilerde, fotosentezin elektron taşıma sistemi ve fotofosforilasyon kapasitesinde azalma görülmüştür. İzole edilen kloroplastlarla yapılan çalışmalardan anlaşıldığı gibi iki fotosistemde kuraklık stres faktöründen etkilenmekte; ancak özellikle PSII'nin etkilenmesi fotosentez sürecini olumsuz şekilde etkilemektedir. Hafif şiddetli stres koşullarında PSII'nin reaksiyon merkezinde bulunan D1 protein miktarında önemli bir değişiklik olmaz. Stres faktörünün şiddetli olması halinde ise D1 polipeptid sentezi sınırlandırılarak bir süre sonra degradasyona uğrar. Stresin devam etmesi durumunda fotosistem II'de bulunan D2 polipeptidi ve sonunda PSII degradasyona uğrar (He ve ark. 1995, Kalefetoğlu ve Ekmekçi 2005).

Bitkilerde fotosentez için gerekli olan CO_2-O_2 gaz alışverişi, stoma kapanmasına bağlı olarak büyük oranda azalmaktadır. Bunun sonucunda, fotosentetik elektron zincirinin gerçekleştiği fotosistem II (PSII) ve CO_2'in kullanılabilirliği de azalır. CO_2 konsantrasyonunun fotosentez verimliliğine etkisinin araştırıldığı çalışmada, *Rosa rubiginosa* bitki yaprakları CO_2 bakımından zenginleştirilmiş bir ortamdan normal bir ortama alınarak fotosentez verimliliği değerlendirilmiş ve kuraklık stresi şartlarında fotosentez oranındaki azalmanın CO_2 eksikliğine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır (Meyer ve Genty 1998).

Hücre içi CO_2 konsantrasyonunun azalması, fotosistem I (PSI)'in uyarılması sonucu açığa çıkan elektronların, elektron taşıma sisteminde (ETS) bulunan bileşenler tarafından taşınmasını engeller. Bu değişiklikler elektron üretimi ve kullanımı arasındaki eşitsizlik sonucunu doğurur ve PSII'nin aktivitesinde azalmaya neden olur. Kuraklık stresine maruz kalan kloroplastların fotokimyasında meydana gelen bu olaylar sonucunda, PSII merkezi aşırı ışık enerjisini almaya devam ederken enerji dağılımını düzenli yapamaz ve hücre için tehlikeli olan hidrojen peroksit (H_2O_2), singlet oksijen ($^1O_2$), süperoksit ($O_2^{\bullet-}$) ve hidroksil (HO•) radikali gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) oluşumuna neden olur (Li ve ark. 2010, Faize ve ark. 2011). Hücrede oluşan serbest radikaller, fotooksidasyona neden olarak bitkinin fotosentetik aygıtına zarar verebilirler (Li ve Sherman 2000).

Ayrıca H_2O_2, bitkilerde stoma kapatılması, yüksek ışığa adaptasyon ve ısı şok proteinlerin indüksiyonu için bir sinyal molekül olarak hareket eder. *Arabidopsis* bitkisi ile yapılan bir çalışmada, stoma bekçi hücrelerine absisik asit (ABA) hormonu uygulamasından sonra stomaların kapandığı ve yüksek oranda H_2O_2'nin indüklendiği gösterilmiştir (Desikan ve ark. 2004).

2.4.3. Kuraklığın Ozmolitler Üzerine Etkisi

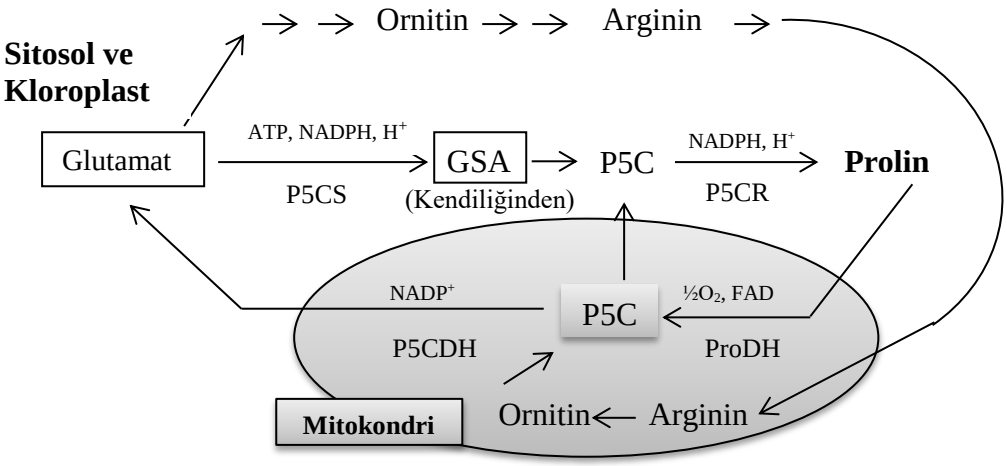
Ozmotik düzenlemenin iki ana işlevi vardır. **I**-Negatif su potansiyeli mevcudiyetinde, hücre turgorunu muhafaza etmek ve nispeten stoma açıklığı muhafaza edilerek hücre uzama sürecine olanak sağlanması. **II**-Daha yüksek bir stoma iletkenliğine katkıda bulunarak, köklerin su alımı için daha büyük bir kapasite sağlanması. Aynı zamanda ozmotik ayarlama, eş zamanlı olarak daha fazla biyomas (biyokütle) birikmesini ve fotosentez aktivitesinin maksimize edilmesini sağlar. Genotip olarak strese toleranslı olan bitkiler, kuraklık koşulları altında ozmotik ayarlama için daha büyük bir potansiyele sahiptirler (Ludlow ve ark. 1990, Morgan ve ark. 1992, Moinuddin ve Khanna-Chopra 2004, Fritsche-Neto ve Borém 2012).

Bitkilerin topraktaki mevcut suyu kökleriyle alabilmeleri veya bir hücreden diğer hücreye suyun hareketi iki ortam arasındaki su potansiyeli gradientine göre gerçekleşmektedir. Bitki hücrelerinde suyun net hareketi, çözünen maddenin az olduğu yerden (ozmotik potansiyeli yüksek) çok olduğu (ozmotik potansiyeli düşük) yöne doğru olur. Hücre içerisinde çözünen maddeler, o hücrenin ozmotik potansiyelini eksiye doğru (su potansiyeli saf su için sıfır kabul edilir) düşürmektedir. Kuraklık stresine maruz kalmış bitkiler, topraktaki mevcut suyu alabilmek için çeşitli ozmolitler biriktirerek, içsel ozmotik potansiyellerini dış ortama göre daha da düşürürler ve bu şekilde kökleriyle topraktan suyu almaya çalışırlar.

Bitkilerin su eksikliği durumunda, hücresel seviyede çeşitli çözünebilen moleküller biriktirerek ozmotik düzenleme yapmaları, kuraklığa karşı en çarpıcı uyum sağlama yanıtı olarak kabul edilmiştir (Blum 2005). Hücrede ozmozu düzenleyen bu ozmolitlerden en çok biriktirilenler, şekerler (sakkaroz, trehaloz, ve rafinoz gibi oligosakkaritler), şeker alkolleri (mannitol, sorbitol) amino asitler (prolin) ve aminler (glisin betain ve poliaminler) gibi bileşiklerdir.

Ozmolitler, bitki metabolizması ve enzimlere müdahale etmeden yüksek konsantrasyonlarda biriktirilerek, ozmotik potansiyeli azaltan düşük molekül ağırlıklı metabolitlerdir. En sık çalışılan ozmolit prolindir ve bu metabolit, ozmotik düzenlemede bir ara bulucu gibi davranarak plazma zarının bütünlüğünü korur, hücre içi yapıları stabilize eder, karbon ve azot kaynağı sağlar, aynı zamanda hücreyi ROT'ların zararlı etkilerine karşı korur (Valliyodan ve Nguyen 2006). Prolin; glutamat ve ornitin yolu olarak iki farklı yoldan sentezlenmektedir (Şekil 2.7.). Glutamat yolunda; P5CS (Δ^1-prolin-5-karboksilat sentetaz) ve P5CR (Δ^1-prolin-5-karboksilat redüktaz) ile ornitin yolunda ise; δ-OAT (ornitin amino transferaz) prolin biyosentezindeki 3 anahtar enzimdir. Bunlardan P5CS enzimi, prolin metabolizmasında hız sınırlayıcı anahtar enzim olarak bilinmektedir (Jaleel ve ark. 2007, Krishnan ve ark. 2008, Hong-Bo ve ark. 2008). Yapılan bir araştırmada, *Arabidopsis*'te P5CS geninin inhibisyonu prolin eksikliği ile sonuçlanmış ve sonuçta bitkinin kuraklığa karşı toleransının azaldığı bildirilmiştir (Chinnusamy ve ark. 2005).

Sukroz, glukoz ve fruktoz gibi suda çözünür şekerlerin birikimi bitkilerde kuraklık toleransı ile ilişkilidir. Şekerlerin hidroksil grubu ve su molekülleri arasında hidrojen bağı oluşumu sonucunda membran ve proteinlerle hidrofilik etkileşimler kurulur. Bununla birlikte dehidrasyona uğramış hücrelerin sitoplazması içinde yüksek viskoziteli bir tabaka oluşturarak kuraklık sırasında bitki korunmasına yardımcı olur. Viskozite, moleküler hareketi azaltır ve makro moleküllerin yapısal istikrarını korumaya yardımcı olur (Sun ve Leopold 1997, Venkateswarlu ve ark. 2012).



Şekil 2.7. Prolin biyosentez yolu: P5CS: Δ1-prolin-5-karboksilat sentetaz, P5CR: Δ1-prolin-5-karboksilat redüktaz; ProDH: prolindehidrogenaz; P5CDH: prolin-5-karboksilat dehidrogenaz: GSA: glutamik semialdehit; P5C: prolin-5-karboksilat (Stein ve ark. 2011).

Ozmolit bileşiklerin diğer önemli bir fonksiyonu da, protein denatürasyonuna neden olabilecek koşullar altında protein stabilizasyonunun sağlanmasına yardımcı olmasıdır. Proteinlerin doğal ve katlanmamış formları arasındaki denge, çözücü kompozisyonundan etkilenir. Aşırı sıcaklık, yüksek tuzluluk veya kuraklık gibi elverişsiz çevre koşulları proteinlerin ikincil ve üçüncül yapısını değiştirerek aktif ve aktif olmayan protein oranını değiştirebilir. Ayrıca ozmolit bileşikler, proteinlerin doğal katlanmaları ve aktif formlarının oluşumunu kolaylaştırabilir (Burg 1995, Bolen ve Baskakov 2001, Szabados ve ark. 2011). Bunların yanı sıra ozmolit bileşikler ya doğrudan reaktif oksijen türlerini temizler ya da antioksidan sistemde yer alan enzimlerin korunmasına katkı sağlar. Tuz ve kuraklık stres faktörü esnasında, askorbat peroksidaz ve glutatyon redüktaz gibi ROT detoksifiye edici enzimlerin stabilizasyonunda, prolinin önemli rolü olabileceği bildirilmiştir (Székely ve ark. 2008). Ozmolitler, metabolik süreçleri düzenleyen çeşitli fonksiyonlara sahip gen aktivitesini uyarabilir. Stres koşulları altında prolin ve glisinbetain bileşiklerinin, hücre ölümünü engellemek için katalaz ve peroksidaz gibi antioksidan enzimlerin gen ekspresyonunu indüklediği bildirilmiştir (Banu ve ark. 2009).

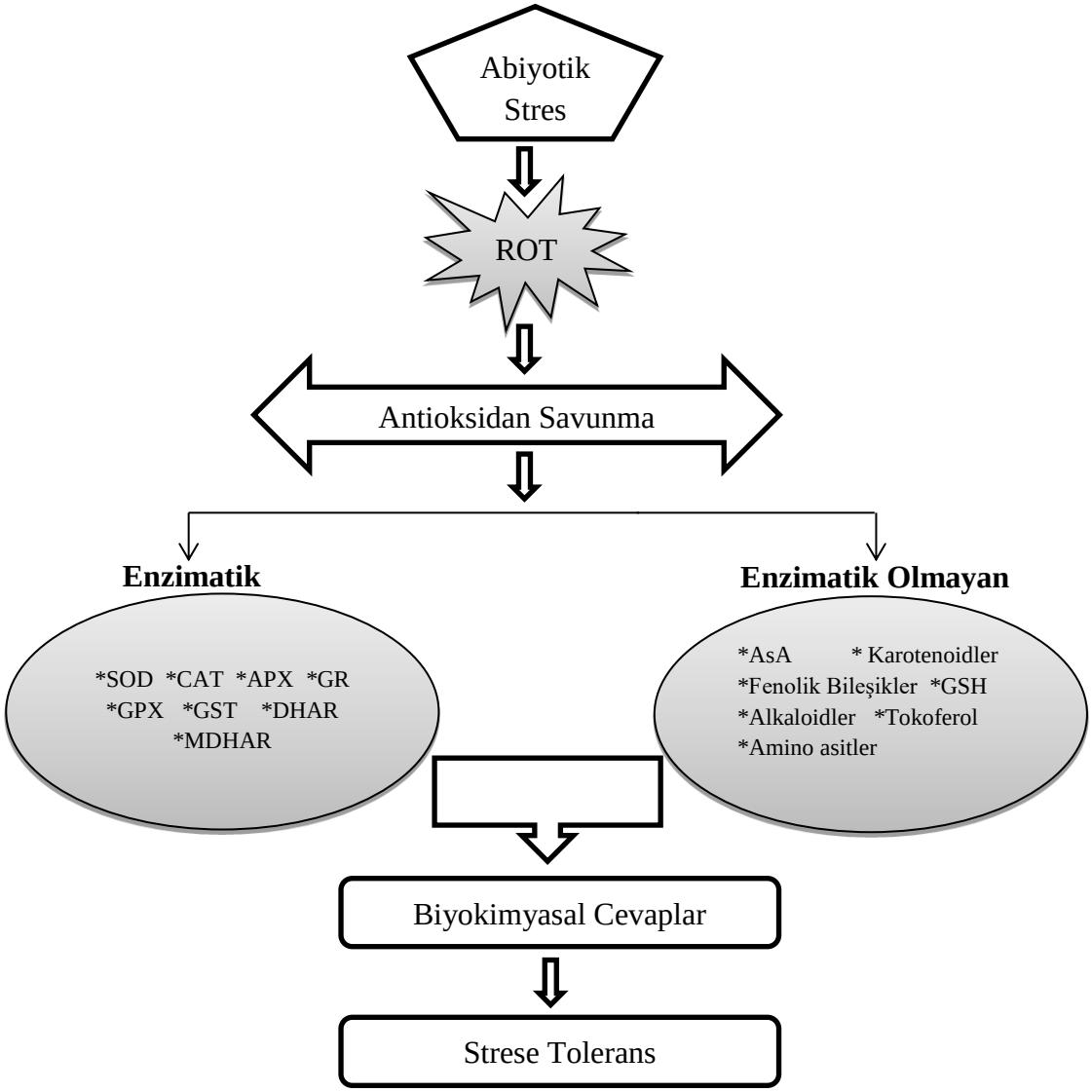
2.4.4. Kuraklığın Enzimatik Antioksidan Savunma Üzerine Etkisi

Kara bitkilerinin aerobik yaşamına olanak sağlayan ve enerji veren oksijen, diğer taraftan singlet oksijen ($^1O_2$), hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksit ($O_2^{\bullet-}$) ve hidroksil radikali (HO•) gibi ROT'ların oluşumuna da aracılık eder. ROT özellikle stres altındaki bitkilerde, başta kloroplast olmak üzere peroksizom ve mitokondri gibi hücresel organellerde aerobik metabolizma sonucu oluşur. Bitkide normal şartlar altında sürekli olarak meydana gelen ROT'lar, antioksidan savunma sistemi tarafından dengede tutulmaktadır. Ancak oksidatif stres sırasında ROT'ların yüksek miktarda oluşması sonucu ROT ve antioksidan kapasite arasındaki mevcut denge bozulur (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. ROT ve antioksidanlar arasındaki denge

Hücre içi ROT konsantrasyonu, ROT süpürücü antioksidan mekanizmalarla çok yönlü bir şekilde kontrol altında tutulur. Bu mekanizmalar, enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemleri olarak iki gruba ayrılır (Şekil 2.9.).



Şekil 2.9. Enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar (Apel ve Hirt 2004)

Antioksidan savunma sisteminde rol alan en önemli antioksidanlar Şekil 2.9.'da, bu antioksidanlardan en önemli olanlarına ait enzim kodları, katalizlediği reaksiyonlar ve reaksiyon merkezleri Çizelge 2.3.'de verilmiştir. Araştırma konumuzla ilgili olan antioksidan enzimlerle ilgili detaylı bilgiye ayrıca yer verilmiştir.

Çizelge 2.3. ROT süpürücü antioksidanlar ve katalizledikleri reaksiyonlar (Hasanuzzaman ve ark. 2012)

Antioksidanlar	Enzim Kodu	Katalizlediği Reaksiyon	Reaksiyon Merkezi
SOD	EC 1.15.1.1	$2O_2^{\bullet-}+2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$	Klr, Sit, Apo, Mit, Per
CAT	EC 1.11.1.6	$H_2O_2 \rightarrow H_2O + ½O_2$	Per, Klr, Mit
APX	EC 1.11.1.11	H_2O_2 + 2AsA → $2H_2O$ + 2MDHA	Klr, Sit, Apo, Mit, Per
MDHAR	EC 1.6.5.4	$NADPH+H^+$+2MDHA→ 2AsA+NADP	Klr, Sit, Mit
DHAR	EC 1.8.5.1	DHA + 2GSH → AsA + GSSG	Klr, Sit, Mit
GR	EC 1.6.4.2	$NADPH+H^+$+GSSG→2GSH+$NADP^+$	Klr, Mit, Sit
GPX	EC 1.11.1.9	2GSH+ROOH(H_2O_2)→GSSG+ROH+ H_2O($2H_2O$)	Sit, Mit
GST	EC 2.5.1.18	H_2O_2+2GSH→$2H_2O$+GSSG RX+GSH→HX+GS-R	Klr, Sit, Mit
AsA	-	$O_2^{\bullet-}$, H_2O_2, HO·, $^1O_2$	Klr, Sit, Apo, Mit, Per
GSH	-	H_2O_2, HO·, $^1O_2$	Klr, Sit, Apo, Mit, Per
Tokoferol	-	HO·, $^1O_2$, ROO·, ROOH	Membranlar

*Klr/kloroplast, Sit/sitosol, Mit/mitokondri, Apo/apoplast, Per/peroksizom, R: alifatik, aromatik veya heterosiklik grubu olabilir, X: sülfat, nitrit veya halojen grubu olabilir.

2.4.4.1. Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6)

Katalaz (CAT), aktif kısmına hem grubu bağlı dört protein alt ünitesinden oluşan tetramerik bir enzimdir. Substrat olarak kullandığı H_2O_2'yi, H_2O ve O_2'ye dönüştürerek hücreleri oksidatif hasara karşı korumuş olur (Hasanuzzaman ve ark. 2012).

$$H_2O_2 \xrightarrow{CAT} H_2O + O_2$$

CAT, başlıca peroksizom, glioksizom ile H_2O_2 üreten organellerde (mitokondri, kloroplast) bulunur (Agarwal ve ark. 2009). Bir molekül CAT, yaklaşık altı milyon H_2O_2'yi 1 dakika içerisinde H_2O ve O_2 molekülüne dönüştürebilir. Bu özelliğinden dolayı enzimler arasında en yüksek katalizleme oranlarından birine sahiptir. CAT, yağ asitlerinin β-oksidasyonu, fotorespirasyon ve pürin katabolizmasının oksidasyonu sonucu, peroksizomlarda açığa çıkan H_2O_2'yi söndürme aktivitesinde oldukça önemlidir (Gill ve Tuteja 2010).

2.4.4.2. Askorbat Peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11)

Askorbat peroksidaz (APX), aktif kısmına hem grubu bağlı dört protein alt ünitesinden oluşan enzimlerdir. APX enzim ailesi; mitokondriyal (mAPX), tilakoit (tAPX), glioksizom membran (gmAPX), kloroplast stromal form (sAPX), sitozolik form (cAPX) olmak üzere beş farklı izoforma sahiptir (Noctor ve Foyer 1998). APX aktivitesini daha iyi anlamak için H_2O_2'yi söndürme aktivitesi olan AsA-GSH döngüsünün bilinmesi gerekir. AsA-GSH döngüsü; APX, monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR), dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) ve glutatyon redüktaz (GR) olmak üzere dört enzim tarafından katalizlenen bir reaksiyon zinciridir.

İlk olarak, APX varlığında iki askorbat molekülü ile H_2O_2'nin indirgenmesi sonucu H_2O ve son ürün olarak monodehidroaskorbat (MDHA) oluşturulur. Sonraki aşamada MDHA radikali, elektron vericisi olarak NADPH'ı kullanan MDHAR enziminin katalizlediği reaksiyon ile askorbata dönüştürülür. Enzimatik reaksiyonlar ile MDHA'dan elde edilen askorbatın bir kısmı oksidasyona uğrayarak dehidroaskorbata (DHA) dönüşür. DHA, DHAR enzimi tarafından indirgeyici olarak GSH'ın kullanıldığı reaksiyonla glutatyon disülfit (GSSG)'e dönüştürülür. GSSG ise GR enzimi tarafından katalizlenerek reaksiyon zinciri glutatyon (GSH)'nun üretimi ile sonuçlanır (Asada 1992, Chen ve ark. 2003).

(1) $H_2O_2 + 2AsA \xrightarrow{APX} 2H_2O + 2MDHA$

(2) $2MDHA + NADPH + H^+ \xrightarrow{MDHAR} 2AsA + NADP^+$

(3) $DHA + 2GSH \xrightarrow{DHAR} AsA + GSSG$

(4) $GSSG + NADPH + H^+ \xrightarrow{GR} 2GSH + NADP^+$

Yukarıdaki reaksiyon zincirinde görüldüğü gibi APX, AsA-GSH döngüsü olarak bilinen bir dizi reaksiyonlarla H_2O_2'nin söndürülmesinde ilk reaksiyonu katalizleyen enzim olarak önemli rol oynar.

2.4.4.3. Glutatyon Redüktaz (GR; EC 1.6.4.2)

Glutatyon redüktaz (GR), AsA-GSH döngüsünde rol alan önemli bir antioksidan savunma enzimidir. GR enzimi, NADPH varlığında GSSG'yi tekrar GSH formuna dönüştürmektedir (Hasanuzzaman ve ark. 2012).

$$GSSG + NADPH + H^+ \xrightarrow{GR} 2GSH + NADP^+$$

Bu enzim, bitkilerde birçok metabolik aktivite düzenleyicisi olması ve antioksidan süreçlerde yer alan GSH havuzunun dengede kalması bakımından önemlidir. NADPH bağımlı GR, GSSG'nin disülfit bağlarını koparark son ürün olan glutatyonun oluşumunu sağlar. Böylece GR özellikle stres şartları altında, H_2O_2 söndürme aktivitesinin hızlandırılması için gerekli olan yüksek GSH/GSSG oranının muhafaza edilmesi bakımından oldukça önemlidir (Pang ve Wang 2010).

2.4.4.4. Süperoksit Dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1)

Süperoksit dismutaz (SOD), bitkilerde üç izoformu bulunan bir metalloenzimdir. İzozimleri aktif merkezlerinde bulunan metal ko-faktörlerine göre; bakır-çinko SOD (Cu/ZnSOD), manganez SOD (MnSOD), demir SOD (FeSOD) diye sınıflandırılır. Gelişmiş bitkilerde Cu/ZnSOD sitozol ve kloroplastlarda, FeSOD kloroplastlarda, MnSOD peroksizom ve mitokondri matriksinde lokalize olmuştur. SOD enzimi, süperoksit ($O_2^{\bullet-}$) radikalini dismutasyon reaksiyonu ile H_2O_2 ve O_2·ye dönüşümünü katalize eder (Scandalios 1993).

$$O_2^{\bullet-} + O_2^{\bullet-} + 2H^+ \xrightarrow{SOD} H_2O_2 + O_2$$

Normal metabolizma esnasında hücreler tarafından yüksek oranda üretilen $O_2^{\bullet-}$ radikali, SOD enzim aktivitesi sayesinde düşük tutulur. SOD aktivitesi, abiyotik oksidatif stresin olumsuz etkilerini en aza indirir ve çeşitli stres faktörünün etkisi altında olan bitkilerin adaptasyonunda önemli bir role sahiptir (Singh ve ark. 2008, Hasanuzzaman ve ark. 2012).

2.4.5. Kuraklığın Lipit Peroksidasyonu Üzerine Etkisi

Abiyotik stres faktörü uzun vadeli olduğunda, bitkilerde lipit peroksidasyonu, protein oksidasyonu, nükleik asit hasarı, enzim inhibisyonu ve sonuçta programlanmış hücre ölümü aktivasyonuna neden olan serbest radikaller, hücre ölümü için tehdit teşkil etmektedir (Mittler 2002, Sharma ve Dubey 2005, Hasanuzzaman ve ark. 2012). Serbest radikallerin dahil olduğu ROT'lar bitkilerde iki farklı rol oynar: düşük konsantrasyonlarda, stres altındaki bitkilerde savunma mekanizmalarını harekete geçirmek için sinyal molekülleri olarak hareket eder; ancak yüksek konsantrasyonlarda hücresel bileşenlerin zarar görmesine neden olur.

ROT seviyesi arttıkça, hücre ve organel membranlarında lipit peroksidasyonu tetiklenir. Membranı oluşturan fosfolipit molekülleri üzerinde iki karbon atomu arasındaki çift (doymamış) bağ ve ester bağı ROT saldırısı için iki temel bölgeyi oluşturur. Bu nedenle membran fosfolipitleri, yapısında bulunan çoklu doymamış yağ asitlerinin varlığı nedeniyle oksidatif ataklara duyarlı olup ROT saldırılarına karşı daha savunmasızdır. Serbest radikallerin atakları sonucunda başlama, gelişme, sonlanma olmak üzere üç aşamadan oluşan ve lipit peroksidasyonu denilen bir seri reaksiyon başlar.

Lipit peroksidasyonu, ilk olarak hidroksi radikali tarafından membran çoklu doymamış yağ asidi zincirindeki metilen karbon atomundan bir hidrojen atomu koparılması ile başlar ve bunun sonucunda karbon merkezli bir lipit radikali ($R^{\bullet}$) oluşur. Bu radikal konjuge dien oluşturmak üzere moleküler düzenleme yaparak kararlı olma eğilimindedir. Moleküler düzenleme sonucu oluşan konjuge dien oksijen ile hızla reaksiyona girerek lipit peroksil radikali ($ROO^{\bullet}$) oluşturur. Lipit peroksil, aynı anda yeni bir lipit radikalinin oluşumuna yol açarken kendisi de açığa çıkan hidrojeni alıp lipit hidroperoksite (ROOH) dönüşürek zincir reaksiyonları başlamış olur. Lipit peroksil radikallerinin birbirleriyle etkilişimi sonucu radikal olmayan ürünlerin oluşumu ile reaksiyon zinciri sonlanmış olur (Çizelge 2.4.). Ayrıca reaksiyon ortamında bulunan antioksidanlar da, lipit peroksil radikallerine bir hidrojen atomu vererek radikal olmayan ürünlerin oluşmasını sağlar (Ayala ve ark. 2014).

Çizelge 2.4. Lipit peroksidasyonu reaksiyon basamakları

(1) $R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet}$

(2) $ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH + R$

(3) $2\ ROOH \xrightarrow{Cu^{+2},\ Fe^{+2}} ROO^{\bullet} + RO^{\bullet} + H^{+} + OH^{-}$

(4) $ROO^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow ROOR$

(5) $R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow RR$

Lipit peroksidasyonu veya oksijenin doymamış lipitlerle reaksiyonu çok çeşitli oksidasyon ürünleri üretir. Lipit peroksidasyonunun başlıca ürünleri lipit hidroperoksitlerdir. Lipit hidroperoksitlerin yıkımı sırasında malondialdehit (MDA), propanal, hekzanal ve 4-hidroksinonenal (4-HNE) gibi ikincil ürünler oluşmaktadır.

Lipit peroksidasyonu ile meydana gelen birincil ve ikicil ürünler sonucunda membran yapısının bütünlüğü bozularak membranın geçirgenliği artar. Hücre membranlarının bütünlüğü ve akıcılığı, hücrenin devamlılığı açısından önemlidir (Smirnoff 1995, Halliwell ve Gutteridge 1999, Sharma ve ark. 2012).

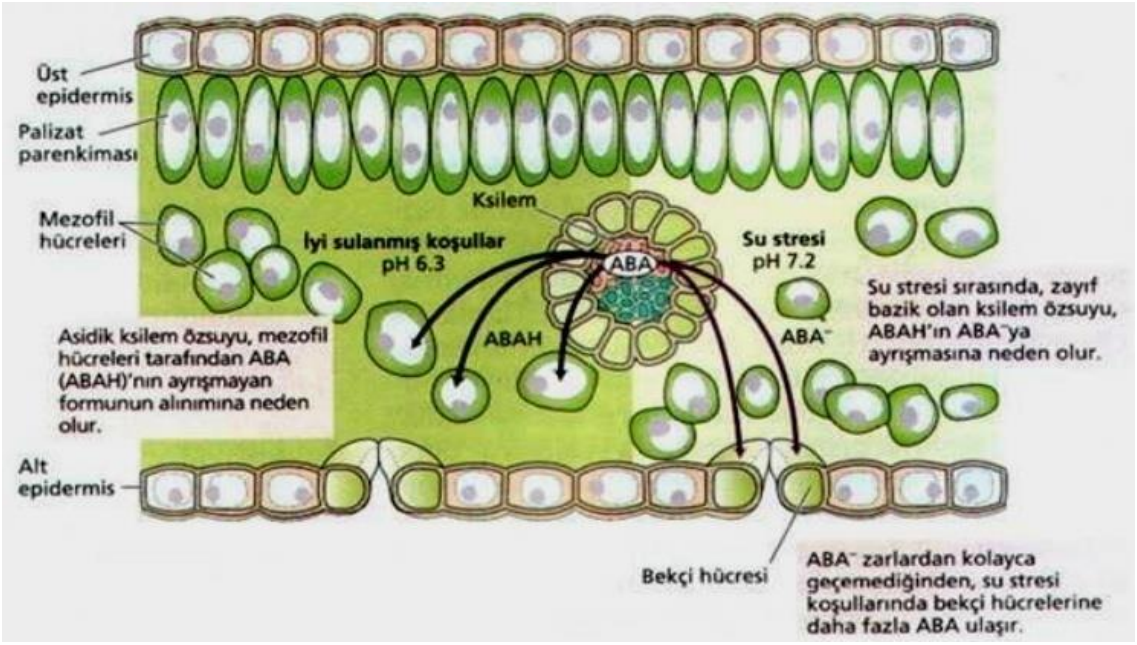
2.4.6. Kuraklığın Hormonlar Üzerine Etkisi

Bitkide sentezlenen bitkisel hormonlar diğer bir ifadeyle fitohormonlar, büyüme ve gelişme olaylarını etkileyen, çok az miktarlarda bile yüksek etki gösterebilen organik maddelerdir. Başlangıçta fitohormonlar oksinler, giberellinler, sitokininler, etilen ve absisik asit olmak üzere beş grup altında sınıflandırılırken günümüzde bu gruplara ilaveten poliaminler, jasmonik asit, brassinosteroidler ve salisilik asit gibi organik maddelerinde hormon olarak nitelendirilmesi gerektiği fikri hakim durumdadır.

Bitkilerde fizyolojik ve gelişimsel süreçlerin büyük bir çoğunluğu fitohormonlar tarafından düzenlenir. Bir stres hormonu olarak kabul edilen absisik asitin (ABA) biyosentezi kuraklık stresi ile birlikte artarak, transpirasyonal su kayıplarını minimuma indirebilmek için stoma iletkenliğinde azalmaya sebep olduğu bildirilmiştir (Yamaguchi-Shinozaki ve Shinozaki 2006). Absisik asit hormonu bitkilerin gelişimsel süreçlerinde yer almasının yanı sıra, kurak ve tuz stresi faktörüne karşı tolerans cevaplarının düzenlenmesinde de önemli rol almaktadır. ABA, ozmotik stres altında olan bitkisel hücrelere etki ederek stoma kapanmasını teşvik etmesinin yanı sıra çeşitli genlerin ekspresyonunu indükler (Zhu 2002, Shinozaki ve Yamaguchi-Shinozaki 2007).

ABA'nın bir stres sinyali olarak sitokininler ve etilen ile birlikte kök-gövde arasındaki sinyal iletiminde rol aldığı bilinmektedir. Ayrıca birçok önemli fizyolojik ve gelişimsel süreçleri düzenlediği gibi bitkinin su stresine adaptif yanıtlar vermesinde rol alan önemli bir hormondur (Guo ve ark. 2012). Kuraklık stresine karşı, bitkiler tarafından stomaların kapatılması hızlı bir tepki olup karmaşık sinyal yolları tarafından düzenlenir. Absisik asit, stoma kapatılması gibi bu tür kısa vadeli yanıtları tetikleyen birincil fitohormon olarak kabul edilir. Bitki kökleri etrafında su miktarının azalmasıyla stoma bekçi hücrelerinde ABA konsantrasyonunda artış tetiklenir (Zhang ve ark. 2006).

Kuraklık stresi altında bitkilerin ksilem özsuyunda pH değişiklikleri gözlenir; zayıf asit özelliğindeki ABA'nın anyon formu, hücrenin alkali bölmelerinde birikir ve stressiz koşullar altında ABA'nın apoplastta düşük kalması sağlanır (Şekil 2.10.). Strese bağlı olarak apoplastın bazikleşmesi sonrası mezofil hücrelerine daha az ABA girerken transpirasyonun çekici gücüyle stoma bekçi hücrelerine daha çok ABA taşınarak konsantrasyonu artar (Schachtman ve Goodger 2008, Taiz ve Zeiger 2008).



Şekil 2.10. Kuraklık sırasında ksilem özsuyunun bazikleşmesine bağlı olarak ABA'nın yaprakta eşit olmayan dağılımı (Taiz ve Zeiger 2008)

Yüksek ABA konsantrasyonu, bazı gen ifadelerinde değişiklikler başlatarak sürgün büyümesini engeller; ancak kök gelişiminin devam etmesini sağlar ve böylece kök-sürgün oranını arttırır. Abiyotik stres koşullarına uzun vadeli fizyolojik yanıt vermede, ABA-duyarlı elemanlar (ABREs) olarak adlandırılan transkripsiyon faktörleri ABA bağımlı genler aracılığıyla gen regülasyonunda değişiklikler meydana getirir (Harrison 2012).

Son zamanlarda, oksinin biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı savunmada yanıt olarak regülatör bir hormon olduğu kabul edilmiştir. Oksin grubuna dahil edilen indol-3-asetik asit (IAA) hormonunun, su stresine maruz bırakılan mısır bitkisinin fizyolojik yanıtlarında rol aldığı görülmüştür. IAA'nın olgunlaşmamış tohum gelişmesinde, stoma açıklığı ve kök büyümesinin düzenlenmesinde ve kuraklığa bağlı farklı birçok fizyolojik süreçlere dahil olduğu gösterilmiştir (Guo ve ark. 2012).

Fitohormonların diğer bir grubu olan sitokininler ise bitkilerde ozmotik düzenlemeleri uyararak su stresinin olumsuz etkilerini azaltmaktadır (Yadav ve ark. 1997).

2.5. Kuraklık Stres Faktörüne Karşı Bitkilerde Geliştirilen Mekanizmalar

Abiyotik stres faktörlerinin olumsuz etkileri, bitkilerde çevresel koşullara uyum sağlayacak bir dizi morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler cevapların verilmesine yol açar. Bitkiler bu değişim mekanizmalarıyla birlikte stres koşullarına karşı gelebilme yeteneklerini gösterirler.

Su eksikliğinin olduğu bölgelerde bitkiler, büyüme ve gelişimlerini devam ettirmek için üç strateji kullanırlar (Tardieu 2005).

- **kuraklıktan kaçış;** bitkiler, kuraklık ciddi hale gelmeden önce su varlığında üreme döngülerini bir an önce tamamlama yolunu seçerler.

- **kuraklıktan sakınma;** bitkiler transpirasyon hızını azaltabilmek için çeşitli mekanizmalarını kullanarak ya da su emilimini artırarak kuraklığın etkilerinden korunmaya çalışırlar.

- **kuraklığa tolerans;** protoplazmanın su kaybını tolere etme yeteneği ile ilgilidir.

Stresten kaçış mekanizmasının en bariz örneğine efemer bitkilerde rastlanır. Çöl efemeri kısa süren yağışlardan sonra gelişen, kuraklık tekrar etkisini gösterene kadar gelişimini ve üreme döngüsünü tamamlayan bitkilerdir. Bu bitkiler, kurak mevsim sırasında dormant tohumlar olarak varlık gösterebilir ve yıllarca kurak dönemleri tohum olarak atlatabilirler (Mundree ve ark. 2002).

Bitkiler için kuraklıktan sakınmanın en etkili yolu, su kaybını minimize ve etkili su alınımını maksimize etmeye yönelik iş birliğiyle sağlanır. Bu mekanizmalardan bazıları; stomaların kapatılması, aşırı güneş ışınlarından korunmak için yaprak alanının azaltılması, yaprak sayısının azaltılması, yapraklarda tüy sayısının arttırılması, yaprak açısının değişmesi, etkili bir su alınımı için kök uzunluğunun artması ve ozmolit birikimi gibi değişimler sayılabilir (Larcher 2000, Luan 2002, Pillai ve ark. 2012). Kuraklıktan sakınma mekanizmasına en iyi örnek sukkulent bitkilerdir. Bu bitkiler, hücreler arasındaki boşlukları bazı bölgelerde genişleterek dokularında yüksek oranda su tutan özel yapılar oluşturur. Bünyelerinde depoladıkları bu suyu minimum oranda

kullanarak nem almaksızın uzun zaman periyotlarında canlılıklarını sürdürebilirler (Salisbury ve Ross 1992).

Stres faktöründen kaçınan bitkiler, yalnızca orta şiddetteki kuraklık durumunda hayatta kalırken strese toleranslı bitki grupları ise koruyucu mekanizmalarını çalıştırmak suretiyle çok daha şiddetli kuraklık stresi durumunda hayatta kalabilirler. Strese tolerans gösteren bazı organizmalar aşırı su kaybına rağmen stresin etkilerine karşı koyabilirler. Strese toleranslı olan ve dirilen bitkiler olarak adlandırılan bitki grupları, vejetatif dokularındaki bağıl su içeriği %5'e kadar düşmesi durumunda bile canlılığını sürdürmektedir. Bu bitkiler dehidrasyon sırasında ışığa maruz kalan yüzey alanlarını azaltmak için yaprak hareketlerini kullanır ve aşırı kuraklık stresiyle mücadele edebilme yeteneğine sahiptirler. Dehidrasyon sırasında ışığın varlığı, fotosentetik açıdan aktif dokulara aşırı derecede zarar verebilir ve stres koşulları altında stomaların kapatılmasıyla birlikte ışık uyarı enerjisinin klorofilden oksijene aktarılarak serbest radikallerinin oluşturulmasıyla sonuçlanabilir. Bu moleküller, hücresel yapılara önemli ölçüde zarar verebilir. Bununla birlikte, aşırı stres koşulları altında bu savunma mekanizmaları da tükenerek zarların lipit peroksidasyonu ve klorofil bozunması şeklinde hasarlar meydana gelir (Sherwin ve Farrant 1998, Mundree ve ark. 2002).

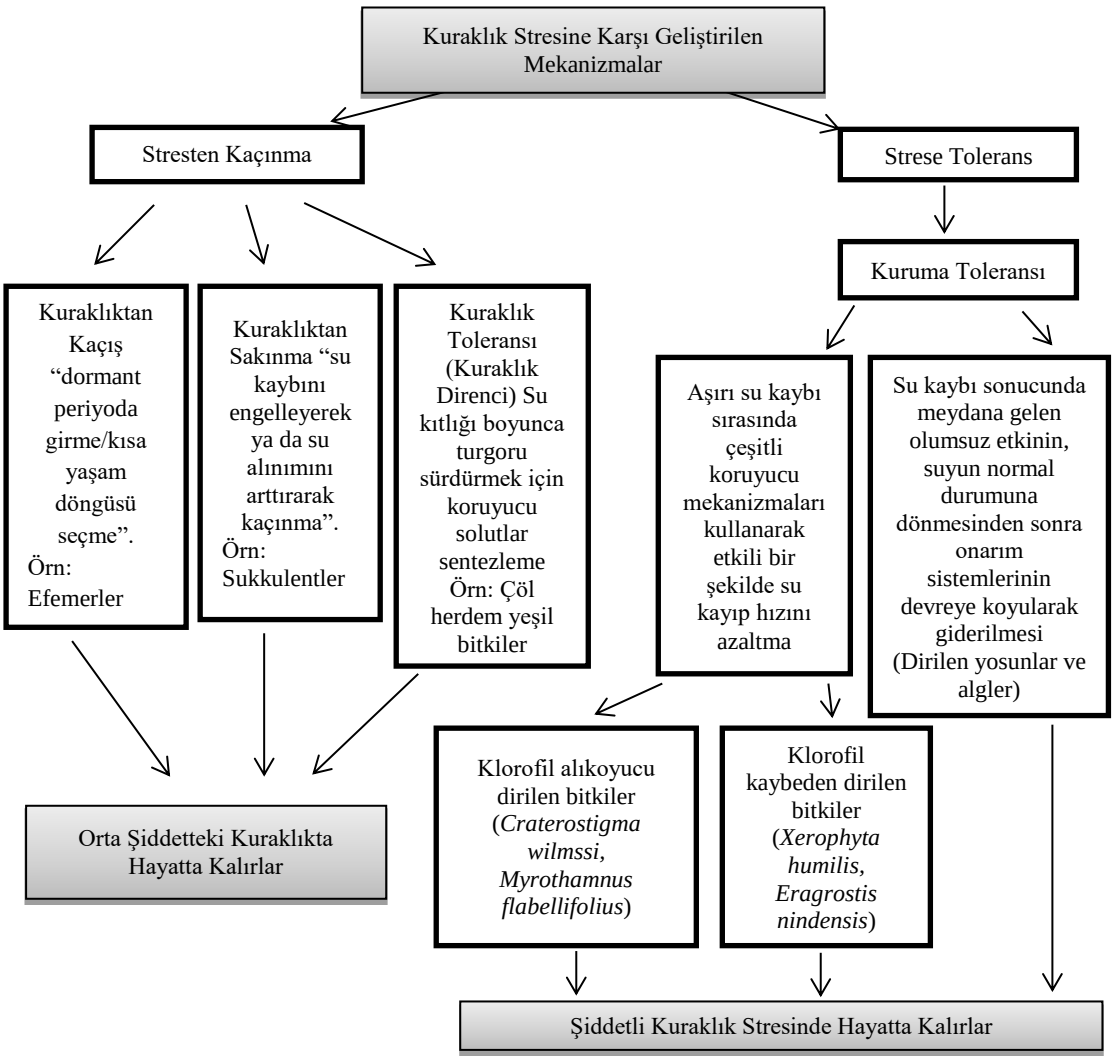
Bu aşırı ışık enerjisiyle başa çıkmak için dirilen bitkiler özellikle iyi mekanizmalara sahiptir ve bu bitkilerin fotooksidatif hasardan korunmaları için geliştirdikleri iki farklı model bilinmektedir (Şekil 2.11.).

i) Klorofil Alıkoyucu Dirilen Bitkiler (Homiochlorophyllous Resurrection Bitkiler): *Craterostigma wilmsii* ve *Myrothamnus flabellifolius* klorofil alıkoyucu dirilen bitkiler grubuna dahil olan türlerdir. *C. wilmsii*' de dehidrasyon sırasında yapraklar içeri doğru kıvrılır ve iç kısımdaki yapraklar ışıktan korunarak sadece kıvrılan yaprakların alt yüzeyi ışığa maruz kalır. Bitki, antosiyanin içeriğindeki artışla beraber mor/kahverengi renge dönüşür ve klorofiller, antosiyaninler tarafından alt katmanlarda maskelenerek ışık-klorofil etkileşimleri giderek azaltılır. Böylece *C. wilmsii'* de yaprak kıvrılması, stresi önler ve bu yapraklarda fotosentetik aygıtın korunumu sağlanır (Sherwin ve Farrant 1998).

ii) Klorofil Kaybeden Dirilen Bitkiler (Poikilochlorophyllous Resurrection Bitkiler): *Xerophyta viscosa* ve *Eragrostis nindensis* klorofil kaybeden dirilen bitkiler

grubuna dahil olan türlerdir. Bu bitkiler dehidrasyon sırasında klorofillerini kaybeder ve tilakoit membranlarını parçalamaktadır. Bu durumun, fotosentezin mümkün olmadığı koşullarda fotooksidasyonu önlemek için koruyucu bir mekanizma olabileceği öne sürülmüştür. Aslında *X. viscosa'* nın her yaprağı, orta kısım boyunca yarıya kadar katlanmasına rağmen hala ışığa maruz kalan geniş bir yaprak alanına sahiptir. Su yeniden alınınca kloroplast cihazı yeniden oluşur ve fotosentez tekrar başlamış olur (Sherwin ve Farrant 1998).

Her iki koruma mekanizması (fotosentetik aygıtın maskelenmesi ve parçalanması) dirilen bitkilere özgü olduğundan, su eksikliğinde net fotosentetik hızdaki kontrollü azalma diğer yüksek bitkilerde görülmez.



Şekil 2.11. Kuraklık stres faktörü altında bitkiler tarafından kullanılan mekanizmaların sınıflandırılması (Mundree ve ark. 2002, Kalefetoğlu ve Ekmekçi 2005)

2.6. Literatür Özetleri

PEG ile oluşturulan kuraklık stres faktörünün sekiz farklı *Oryza sativa* genotipi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, uygulamalar sonucu tüm genotiplerde bitki kuru ağırlığı ve boylarının kontrol gruplarına göre azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca stresin şiddeti arttıkça, azalma oranının daha fazla olduğu bildirilmiştir (Lum ve ark. 2014).

Kuraklık faktörüne karşı tolerant ve hassas iki çeltik çeşidine kuraklık uygulaması yapıldıktan sonra kök-gövde oranı ve çözünebilir şeker bakımından değerlendirilmiştir. Kurak stresi uygulamalarında; her iki genotipin kök-gövde oranı kontrol grubuna göre anlamlı bir şekilde artış sağlarken kök, gövde ve yaprak kuru ağırlıklarında kontrole göre azalma tespit edilmiştir. Hassas olan genotipte kök ve yaprak çözünebilir şeker oranında artış gözlenirken gövdede azalma gözlenmiş; tolerant genotipte ise kök, gövde ve yaprak dokularında çözünebilir şeker oranında azalma olduğu bildirilmiştir (Xu ve ark. 2015).

Ghotbi-Ravandi ve ark. (2014), kuraklığa tolerant ve hassas olmak üzere iki farklı arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidine orta ve şiddetli kuraklık stresi uygulamışlardır. Her iki çeşidin de kuru madde ağırlığı ve bağıl su içeriği azalmıştır. Kuraklık faktörünün şiddeti arttıkça, kuru madde ağırlığı ve bağıl su içeriğindeki azalma oranının daha yüksek olduğu, hassas olan çeşitte ise bu azalma oranının daha fazla olduğu kaydedilmiştir. Orta şiddetli kuraklık stresinde, tolerant olan çeşidin klorofil a ve b içeriği kontrol grubuna göre artmış, aksine şiddetli kuraklık uygulamalarında azalmıştır. Hassas çeşitte ise her iki kuraklık şiddeti, klorofil a ve b içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Her iki çeşidin D1 proteini içeriğinde azalma gözlendiği ve fotosentez etkinliğinin PSII sisteminin inhibisyonuna bağlı olarak azaldığı bildirilmiştir.

Phaseolus vulgaris ve *Sesbania aculeata* türleri için %100 ve %60 olmak üzere iki farklı tarla kapasitesinde sulama yapılarak kuraklık stres faktörünün etkileri araştırılmıştır. Bitkiler kuraklık uygulamasından 45 gün sonra hasat edilerek kök ve sürgün taze-kuru ağırlıkları ile klorofil ve prolin içeriği incelenmiştir. Araştırma sonucunda her iki türde kontrol gruplarına göre kök ve sürgün taze-kuru ağırlıkları azalırken prolin miktarının arttığı, klorofil a ve b ile klorofil a/b oranında anlamlı bir fark oluşmadığı görülmüştür (Ashraf ve Iram 2005).

Kuraklığa tolerant (ADT 31), kuraklığa hassas (IR 50) ve yayla (CO 41) çeltik genotiplerine kuraklık stresi uygulaması sonucunda, kuraklığa tolerant olan ADT 31 genotipi diğer genotiplere göre daha fazla kök oluşturmuş ve kök yayılımının daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Vijayalakshmi ve Nagarajan 1994).

Kuraklığa toleranslı iki çeşit ile kuraklığa hassas iki çeşit olmak üzere toplam 4 çeşit şeker kamışı bitkisine; 3, 10 ve 20 gün olmak üzere, farklı sürelerde kuraklık stresi uygulanarak, bitkilerin strese karşı yanıtları bazı parametreler açısından değerlendirilmiştir. Kuraklığa duyarlı çeşitlerde toleranslı olanlara oranla daha düşük yaprak bağıl su içeriği gözlenirken lipit peroksidasyonu, hidrojen peroksit (H_2O_2) ve prolin içeriği duyarlı çeşitlerde daha yüksek bulunmuştur (Cia ve ark. 2012).

Basu ve ark. (2010), tuzluluğa karşı duyarlı (IR-29) ve tolerant (Pokkali) genotiplerin yanı sıra aromatik Pusa Basmati (PB) çeltik genotiplerine kuraklık stresi uygulamaları yaparak oksidatif stres ile antioksidan savunma sistemi arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. %20'lik polietilen glikol (PEG-6000) ile oluşturulan su eksikliği şartlarında, Pokkali genotipi ile karşılaştırıldığında; IR-29 ve PB genotiplerinde yüksek klorofil bozulması, yüksek H_2O_2 ve malondialdehit içeriği gözlenmiştir. Katalaz ve süperoksit dismutaz aktivitesi IR-29 ve PB'de azalmış, Pokkali genotipinde ise değişmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Tohumlarından yağ elde edilen niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) bitkisinin dört çeşidinde, polietilen glikol (PEG) tarafından oluşturulan kuraklık stresi altında, meydana gelen bazı büyüme parametreleri ve çeşitli biyokimyasal değişimlerin araştırıldığı çalışmada; PEG oranı arttıkça tüm çeşitlerde çimlenme oranı, su içeriği, kök ve sürgün uzunluğunun azaldığı rapor edilmiştir. Artan kuraklık faktörü ile birlikte, toplam klorofil miktarı azalmış, prolin, toplam çözünebilir şeker ve malondialdehit miktarının arttığı tespit edilmiştir. Araştırıcıların antioksidan enzimler açısından değerlendirmelerine göre süperoksit dismutaz aktivitesi artarken katalaz ve askorbat peroksidaz aktivitesi azalmıştır (Ghane ve ark. 2012).

Gao ve ark. (2008), *Alternanthera philoxeroides* ve *Oryza sativa* bitkilerine kuraklık stresi uygulayarak yaprak bağıl su içeriği, malondialdehit ve prolin içeriği, süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidaz enzim aktivitelerini araştırmışlardır. Sonuçlar su içeriği açısından araştırmacılar tarafından değerlendirildiğinde, kuraklık

stresinin *A. philoxeroides* üzerinde neredeyse hiçbir etkisinin olmadığı; ancak *O. sativa* bitkisinde su içeriğini azalttığı görülmüştür. *A. philoxeroides'de O. sativa* bitkisine göre lipit peroksidayon oranının düşük, prolin içeriği, süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidaz aktivitelerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Her iki bitki kendi kontrol grupları ile karşılaştırıldığında ise kuraklık uygulaması yapılan bitkilerin, daha yüksek lipit peroksidasyonu ve prolin içeriğine sahip olduğu, ayrıca katalaz ve süperoksit dismutaz aktivitelerinde artış gözlendiği bildirilmiştir.

Türkan ve ark. (2005), tarafından yapılan çalışmada, kuraklığa hassas *Phaseolus vulgaris* ile tolerant *Phaseolus acutifolius* çeşitlerinin kuraklık stresine karşı tepkileri incelenmiştir. Büyüme parametreleri bakımından, tolerant çeşitte kök uzunluğu ve kök kuru ağırlığının arttığı, bağıl su içeriğinde önemli bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Hassas çeşidin kök uzunluğunda anlamlı bir artış olmazken kök kuru ağırlığı ve bağıl su içeriği azalmıştır. Lipit peroksidasyon seviyesi kuraklık şiddetiyle birlikte artış göstermiş; ancak bu artış oranı kuraklığa hassas çeşitte tolerant çeşide oranla daha fazla olmuştur. Prolin miktarı, SOD ve CAT aktivitesi tolerant çeşitte daha yüksek bulunurken GR aktivitesi her iki çeşitte benzerlik göstermiştir.

Çeltik tohumlarının yüzeyi, polietilen glikol, NaCl ve KH_2PO_4 solüsyonları ile ayrı ayrı ve hepsinin birlikte kullanıldığı solüsyonla muamele edilmiştir. Kuraklık stresi polietilen glikol ile ozmolit stresi ise NaCl ve KH_2PO_4 ile oluşturulmuştur. Farklı stres uygulamaları sonrasında en yüksek lipit peroksidasyon seviyesi ve glutatyon redüktaz aktivitesi, polietilen glikolün olduğu stres koşullarında gözlenmiştir (Goswami ve ark. 2013).

Nitrik oksitin (NO) stres koşullarında prolin birikimi için bir sinyal olarak rol aldığı düşünülmektedir. Yapılan bir araştırmada dışarıdan eksojen olarak nitrik oksit vericisi kimyasal maddeler uygulanması ile kuraklık stresi koşullarında prolin birikimi incelenmiştir. Uygulama yapılan bitkilerde kontrol bitkilerine oranla önemli ölçüde prolin miktarında artış, bağıl su içeriğinde ise azalma olduğu bildirilmiştir (Xiong ve ark. 2012).

İki farklı susam (*Sesamum indicum* L.) çeşidi için %100, %75, %50 ve %25 olmak üzere dört farklı tarla kapasitesi oranında sulama yapılarak kuraklık stres faktörünün etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada; lipit peroksidasyon, SOD, POX ve

CAT aktivitesi bakımından değerlendirilmiş. Kuraklık altında, kök ve yaprak taze-kuru ağırlıklarında azalma olduğu, kuraklığın şiddeti arttıkça paralel olarak lipit peroksidasyonu, SOD, POX ve CAT aktivitesinde artış olduğu bildirilmiştir (Fazeli ve ark. 2007).

Güvercin bezelyesi olarak adlandırılan *Cajanus cajan* L. Millsp bitkisine PEG ile oluşturulan orta (-0.51 MPa) ve şiddetli (-1.22 MPa) kuraklık stresi uygulanmıştır. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, uygulama bitkilerinde bağıl su içeriğinin azaldığı ve kuraklık süresinin uzaması devam ettikçe su içeriğindeki azalmanın daha fazla olduğu bildirilmiştir. SOD ve POX aktivitesinde artış görülürken CAT aktivitesi ile Klorofil a-b içeriğinde azalma meydana geldiği gözlenmiştir. Prolin miktarında ise her iki kuraklık süresinde artış gözlenirken şiddetli kuraklık koşullarındaki artışın önemli ölçüde olduğu rapor edilmiştir (Kumar ve ark. 2011).

Üç farklı kuraklık rejiminin (hafif, orta, şiddetli) uygulandığı mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin kuraklık koşullarına verdiği yanıtların araştırıldığı çalışmada; yaprak bağıl su içeriği, su potansiyeli ve biyomas birikiminin azaldığı, MDA içeriğinin şiddetli kuraklık stresinde artış gösterdiği ve stresin şiddeti arttıkça çözünebilir protein içeriğinde azalmanın olduğu sonuçları alınmıştır. Aynı çalışmada, antioksidan enzimler değerlendirildiğinde ise CAT, SOD, APX ve GR enzim aktivitelerinde artış gözlenmiştir (Islam ve ark. 2011).

Kato ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada, kuraklık stres faktörüne maruz bırakılan altı farklı çeltik çeşidinde kök-toprak ilişkisi araştırılmıştır. Araştırma verilerinin değerlendirilmesi sonucunda, tüm çeltik çeşitlerinde strese bağlı olarak kök gelişiminin arttığı ve sürgün biyomasının azaldığı bildirilmiştir.

Güneş ve ark. (2008), 12 çeşit ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinin kuraklık stresi uygulamalarından sonra vermiş oldukları yanıtları incelemişlerdir. Kök-sürgün kuru ağırlıkları ve bağıl su içeriklerinin kontrol grubuna göre azalma gösterdiği, stres uygulaması yapılan bitkilerde MDA, prolin ve hidrojen peroksit içeriklerinin önemli ölçüde artış gösterdiği sonuçlarını elde etmişlerdir. Antioksidan enzimlerin aktivitesini inceleyen aynı araştırmacılar, SOD ve APX aktivitesinin stresin etkisiyle arttığını, CAT aktivitesinde ise düşüş olduğunu bildirmişlerdir.

Arabidopsis thaliana bitkisine kuraklık uygulanarak, stres durumunda bitkide meydana gelen bazı fizyolojik ve biyokimyasal değişimler araştırılmıştır. Kuraklık başlangıcı, hafif ve orta şiddetli kuraklık stresi olmak üzere üç farklı stres uygulaması yapılmıştır. Kuraklığın şiddeti arttıkça yaprak su içeriğinde azalma, MDA, prolin ve çözünebilir şeker miktarında ise artış olduğu bildirilmiştir (Sperdouli ve Moustakas 2012).

Centritto ve ark. (2009), on bir farklı çeltik çeşidine kuraklık stresi uygulayarak strese verilen yanıtları araştırmışlardır. Strese tabi tutulan bitkilerde, fotosentez aktivitesi, yaprak gaz değişim oranı ve biyomas birikiminde azalma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca stoma-mezofil iletkenliği ile fotosentez etkinliği arasında önemli bir korelasyon olduğu belirtilmiştir.

Kuraklığa tolerant (Brown Gora) ve kuraklığa hassas (Malviya-36) çeltik (*Oryza sativa* L.) çeşitleri, PEG'in farklı oranları ile oluşturulan kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. Stres uygulamasından sonra yapılan ölçümlerde, çeşitlerin kök ve sürgün uzunlukları, yaprak bağıl su içeriği, yaprak su potansiyeli, klorofil a, klorofil b ve toplam karotenoid içeriğinin kontrole göre azaldığı bildirilmiş; ancak tolerant Brown Gora çeşidindeki azalma miktarının, hassas Malviya-36 çeşidine göre daha az olduğu görülmüştür. Genel olarak H_2O_2 içeriği, SOD ve CAT aktivitesi strese bağlı olarak artmış; ancak hassas olan çeşitte H_2O_2 içeriği daha yüksek, tolerant çeşitte ise SOD ve CAT aktivitesinin daha yüksek olduğu görülmüştür (Pyngrope ve ark. 2013a).

Pyngrope ve ark. (2013b), farklı PEG oranları ile oluşturulan kuraklık stresinin tolerant (Brown Gora) ve hassas (Malviya-36) çeltik (*Oryza sativa* L.) çeşitlerinde prolin içeriği, APX ve GR enzim aktivitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak prolin içeriği ve APX aktivitesi kuraklık koşullarında artış göstermiş; ancak tolerant çeşitteki artış hassas olana göre daha yüksek olmuştur. GR aktivitesi her iki çeşit için kök dokusunda artmış, sürgün dokusunda ise kuraklığa hassas olan çeşidin şiddetli kuraklık stresindeki GR aktivitesi azalmıştır.

Yang ve ark. (2015), yaptıkları bir çalışmada "Ningzhi 1" böğürtlen (*Rubus sp.*) genotipinin kuraklık stresi sonucu tepkilerini incelemişlerdir. Dört farklı (5, 10, 15, 20 gün) kuraklık süresi uygulanmış ve yirmi günün sonunda bitki yeniden sulanmıştır. Yapılan fotosentetik pigment ölçümleri kontrol grupları ile karşılaştırıldığında, klorofil

a, klorofil b ve toplam karotenoid miktarlarında artış, aynı şekilde toplam çözünebilir şeker, protein, MDA, H_2O_2 ve yaprak su içeriklerinde de artış olduğu bildirilmiştir. Kuraklık uygulaması yapılan bitkilere daha sonra su vererek tüm parametreler açısından yeniden değerlendiren araştırmacılar, strese maruz bitkilerin tam olarak normal aktivitelerine dönmese de önemli oranda iyileşmenin olduğunu bildirmiştir.

Kuraklığa tolerant ve kuraklığa hassas yonca (*Medicago sativa* L.) çeşitleri, polietilen glikol ile oluşturulan üç farklı kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. Her iki çeşidin kök ve sürgün kuru ağırlıkları, kuraklık altında azalma göstermiştir. İndirgen şeker miktarı, SOD, CAT, POX ve APX aktivitelerinde artış görülmüş; ancak artışın tolerant çeşitte daha fazla olduğu belirlenmiştir. Lipit peroksidasyonun son ürünü olan MDA içeriği ise kuraklıkla birlikte artmış ve artış oranının hassas çeşitte daha fazla olduğu bildirilmiştir (Boldaji ve ark. 2012).

Pandey ve ark. (2014), iki farklı çeltik çeşidini (kuraklığa hassas ve tolerant) kuraklık ve ağır metal (alüminyum) stresine ayrı ayrı ve her iki strese aynı anda maruz bırakılarak bazı parametreler açısından incelemişlerdir. Bütün stres çeşitlerinde, her iki çeşidin kök ve sürgün boyunda azalma görülmüş; ancak bu azalma oranı hassas çeşitte daha yüksek olmuştur. Uygulama yapılan tüm bitkilerde klorofil a, klorofil b, toplam karotenoid ve yaprak bağıl su içeriği kontrol gruplarına göre azalma göstermiştir. Azalma oranları hassas olan çeşitte toleranta göre çok daha fazla olmuştur. SOD, APX ve POX aktivitesi tüm stres kombinasyonlarında artış gösterirken CAT aktivitesi kuraklık stresi sırasında azalmış; ancak yalnız ağır metal stresi ve her iki stresin birlikte uygulandığı durumlarda artış göstermiştir.

Ozmotik, tuzluluk ve donma olmak üzere üç farklı strese tabi tutulan iki farklı çeltik kalluslarında ABA hormon içeriğinin değişimi araştırılmıştır. Araştırmada kullanılan çeltik çeşitlerinin her ikisinde de ABA seviyesi kontrol grubuna göre artış göstermiştir. Çeşitler arasında ABA içeriği bakımından anlamlı bir fark olmadığı bildirilmiştir (Perales ve ark. 2005).

Werner ve ark. (2010), *Arabidopsis thaliana* ve tütün (*Nicotiana tabacum*) bitkilerine, sitokinin sentezini arttıran gen transferi yaparak kuraklığa toleranslılık durumunu araştırmışlardır. Sitokinin hormon seviyesinin arttığı transgenik bitkilerin, kök uzunluğu, kök biyoması ve kök-gövde oranlarında artış gözlenmiştir. Su eksikliği

durumunda transgenik tütün bitkilerinin hayatta kalma oranı %42 iken kontrolde bu oran %25 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak bitkide sitokinin seviyesinin arttığı durumlarda bitkilerin strese karşı daha toleranslı oldukları belirtilmiştir.

Kuraklığa tolerant ve hassas olmak üzere iki farklı buğday genotipi kuraklık stresine maruz bırakılarak bazı parametreler açısından incelenmiştir. Tolerant olan genotipteki ABA hormon seviyesi, prolin içeriği ve toplam çözünebilir şeker miktarının hassas olan genotipe oranla daha yüksek olduğu görülmüştür (Nayyar ve Valia 2004).

Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisine üç farklı şiddette kuraklık stresi uygulanarak hormon içeriği ve bazı büyüme parametreleri bakımından araştırılmıştır. ABA hormon seviyesine, kök ve ksilem özsuyunda ayrı ayrı bakılmıştır. Kuraklık stresine bağlı olarak her iki dokuda da ABA miktarı önemli derecede artış göstermiştir. Kuraklık stresinin şiddeti arttıkça ABA miktarındaki artışın daha yüksek olduğu görülmüştür. Bir sitokinin çeşidi olan zeatin ribozid miktarının ise stres durumlarında kontrole göre azaldığı bildirilmiştir (Shashidhar ve ark. 1996).

Pinheiro ve ark. (2011), tarafından yapılan çalışmada kuraklık stresi koşullarında *Lupinus albus* bitkisinin yaprak ve kök dokusundaki ABA, IAA ve sitokinin hormon miktarlarının değişimleri araştırılmıştır. ABA hormon miktarı, stres uygulaması yapılan bitkilerin her iki dokusunda kontrol gruplarına göre artış göstermiştir. IAA seviyesi yaprakta azalırken kök dokusunda artış göstermiştir. Sitokinin grubu hormonların farklı formlarının stres anında değişimleri incelenmiş ve stres koşullarına bağlı olarak biyoaktif form olarak adlandırılan sitokinin seviyesi her iki dokuda azalırken diğer formların ise her iki dokuda arttığı görülmüştür.

Mısır bitkisine kuraklık stresi uygulanarak bitkideki bazı hormonların miktarındaki değişimler araştırılmıştır. Kuraklık stresine bağlı olarak ABA hormon miktarında ciddi artışlar görülmüştür. Sitokinin hormonunun farklı formları olan zeatin ribozid (ZR) ve zeatin (Z) miktarlarının da kuraklık uygulaması sonucu arttığı bildirilmiştir (Alvarez ve ark. 2008).

Thameur ve ark. (2011), tarafından yapılan çalışmada farklı arpa genotiplerinin kuraklık stresine maruz kalması sonucu, genotiplerin tepkileri bazı parametreler açısından araştırılmıştır. Bütün genotiplerde strese bağlı olarak prolin ve ABA miktarı

artarken yaprak bağıl su içeriğinde azalma gözlenmiştir. Bazı genotiplerde prolin miktarının 2 kat, ABA miktarının ise beş kat arttığı görülmüştür.

2.7. Çalışmanın Önemi ve Amacı

Çevresel koşulların olumsuz etkisinin hissedildiği bitkisel üretimimizde, geçmiş yıllarda kuraklığın neden olduğu dalgalanmalar, ürün miktarında azalmaya, gıda açığına ve yüksek fiyatların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Ülkemizin, kuraklık faktörünün sürekli olarak tehdit oluşturduğu yarı kurak bir kuşakta yer alması ve küresel iklim değişikliğine bağlı olarak ortaya çıkan kuraklığın, ekonomik ve sosyal açıdan olumsuz etkisinin belirgin bir şekilde hissedilmesi, bu konuda ciddi önlemlerin alınması gerektiğini göstermektedir.

Ülkemizin, değişen iklim koşulları ve nüfus artışından dolayı 2050 yıllarına doğru iyice su fakiri bir ülke olabileceği (Kadıoğlu 2007), 2030 yılında Türkiye dahil Güney Avrupa'yı içine alan bölgenin oldukça kuru ve sıcak bir iklimin etkisine gireceği bilgileri (Kalefetoğlu ve Ekmekçi 2005), kuraklığın dikkate alınması gerektiği fikrini açıkça ortaya koymaktadır.

Türkiye, çeltik üretim potansiyeli yönünden şanslı ülkelerden biri olmasına rağmen, kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres faktörleri de dikkate alınmadığı için sürdürülebilir bir çeltik üretimi yapılamamaktadır. Çeltiğin önemi ve kuraklığın bitkiler üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulduğunda, kuraklığa karşı hassas ve toleranslı çeltik çeşitlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça önemlidir.

Bu amaçla;

Ülkemizde, tarımı yapılan 6 farklı ticari çeltik (*Oryza sativa)* çeşidi (Beşer, Paşalı, Osmancık-97, Kızıltan, Halilbey, Gönen) ile Diyarbakır civarında yetiştirilen Karacadağ çeltik çeşidinin iki popülasyonuna (Karacadağ ve Hazro) kuraklık stresi uygulanmıştır. Çeltik çeşitlerinin kuraklık stresine karşı verdikleri bazı morfolojik gözlemler ile pigment içeriği, yaprak bağıl su içeriği, ozmotik potansiyel ve lipit peroksidasyonu verileri baz alınarak tolerant ve hassas çeşitler belirlenmiştir.

Bitkiler kuraklık stresi sırasında çeşitli ozmolitleri biriktirmek suretiyle ozmotik dengelerini muhafaza etmeye çalışırlar. Ozmotik düzenlemedeki değişimleri belirlemek amacıyla **hassas ve toleranslı çeşitlerde;**

-Prolin birikimi

-Toplam çözünebilir karbohidrat birikimi belirlenmiştir.

Bitkiler stres faktörlerine maruz kaldıklarında, ROT olarak adlandırılan ve canlı metabolizma için son derece tehlikeli olan serbest radikallerin üretimi artmaktadır. Bu radikallerden biri olan H_2O_2 seviyesindeki değişimi belirlemek amacıyla **hassas ve toleranslı çeşitlerde;**

- H_2O_2 miktarındaki değişimler belirlenmiştir.

Kuraklık stres faktörü, protein metabolizmasında bazı değişimlere neden olmaktadır. Meydana gelen değişimler, protein biyosentezinin azalması ve degredasyonu şeklinde görülür. Protein miktarındaki değişimleri belirlemek amacıyla **hassas ve toleranslı çeşitlerde;**

-Toplam çözünebilir protein miktarındaki değişimler belirlenmiştir.

Kuraklık stresinin bitkilerde oksidatif stres meydana getirdiği bilinmektedir ve bitkiler bu strese karşı antioksidan savunma sistemlerini harekete geçirirler. Antioksidan savunma sistemindeki değişimleri belirlemek amacıyla **hassas ve toleranslı çeşitlerde;**

-Katalaz (CAT) enzim aktivitesi

-Askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesi

-Glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitesi

-Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi belirlenmiştir.

Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerin hormon seviyelerinde bazı değişiklikler görülmektedir. Meydana gelen hormonal değişimleri belirlemek amacıyla **hassas ve toleranslı çeşitlerde;**

- Absisik asit (ABA)
- İndol asetik asit (IAA)
- Zeatin ribozid (ZR) miktarlarındaki değişimler tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Buğdaygiller (Poaceae) familyasından olan çeltik (*Oryza sativa*), en fazla ekimi yapılan tahıl bitkilerinden biridir. Araştırmamızda, **Beşer, Paşalı, Osmancık-97, Kızıltan, Halilbey, Gönen kültür çeşitleri ile Diyarbakır Karacadağ civarında yetişen 2 Karacadağ çeltik popülasyonu** olmak üzere toplam 8 farklı çeltik, bitkisel materyal olarak kullanıldı (Şekil 3.1.). Kültür çeltik çeşitleri Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsünden temin edildi.



Şekil 3.1. Çeltik çeşitlerine ait tohumların genel görünüşleri

3.1.1. Araştırmada Kullanılan Çeltik Çeşitlerinin Karakterizasyonu

Çeltik çeşitlerinin karakterizasyon özellikleri Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün (TTAE) 2015 yılında hazırlamış olduğu "çeltik çeşitlerine ait genel özellikler" başlıklı tablodaki veriler baz alınarak hazırlanmıştır (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. Çeltik çeşitlerinin genel özellikleri*

Çeşit Adı	Orijini	Tescil Yılı	Verim (Kg)	Olgunlaşma Süresi (gün)	Bitki Boyu (cm)	Çeltik Uzunluğu (mm)	Çeltik Genişliği (mm)
Beşer	İpsala Mutasyon	2006	700-750	125-130	100	10.2	3.5
Gönen	Bonni X Shinei	2002	700-750	125-130	101	9.6	3.3
Halilbey	İpsala X Veneria	2004	800-900	125-130	90-100	9.1	3.1
Karacadağ	Türkiye	-	500-600	135	104	7.2	3.8
Kızıltan	Veneria X Thainato	2007	750-900	130-135	75-85	8.7	3.4
Osmancık-97	Rocca X Europa	1997	700-750	130-135	100	8.9	3.3
Paşalı	Osmancık-97 X 82070-TR480-1-1-1-1	2011	750-900	120-125	95-100	9.2	3.2

*(TTAE 2017)

3.2. Metot

3.2.1. Kullanılan Malzemelerin Sterilizasyonu

Deneylerde kullanılan cam malzemeler (erlen, beher, mezür, balon, balon joje, deney tüpleri, huni v.b.) ve saf su 180 °C'ye ayarlanmış sterilizatörde 3 saat bekletilmek suretiyle steril edildi.

Bitkisel materyallerde enfeksiyon olmaması amacıyla hasat esnasında kullanılan havan ve spatüller %10'luk sodyum hipoklorit (NaOCl) içerisinde 1 saat bekletildi. Bu sürenin sonunda saf su ile iyice durulanan havan ve spatüller, ayrı ayrı alüminyum folyo ile sarılarak kuru hava sterilizatöründe 220 °C'de 3 saat süre ile steril hale getirildi. Sıvı nitrojen ile toz haline getirilen bitki örneklerinin stoklanacağı numune kapları, eppendorf tüpler ve mikropipet uçları ise otoklavda 121 °C ve 1.5 atm'de 20 dk süre ile sterilizasyona tabi tutuldu.

3.2.2. Tohumların Yüzey Sterilizasyonu

Yüzey sterilizasyonunun sağlanması için çeşitlere ait tohumlar, gruplar halinde %5'lik sodyum hipoklorit (NaOCl) içerisinde 3 dakika bekletildi ve bu sürenin sonunda

distile su ile 5 defa çalkalanan tohumlar NaOCl'den arındırıldı. Tohumların yüzey sterilizasyonu için yapılan tüm işlemler steril kabinde gerçekleştirildi.

3.2.3. Hoagland Besin Çözeltisinin Hazırlanması

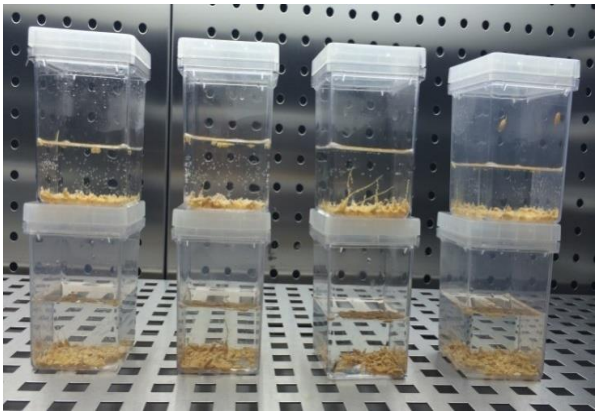
Ticari olarak toz halinde satılan Hoagland (Sigma) besin çözeltisinden, litre başına 0,4 g tartılıp saf suda çözdürülerek, ¼ Hoagland (standart içeriğin dörtte bir oranında) besin çözeltisi hazırlandı. Hoagland çözeltisinde bulunan makro ve mikro elementlerin tuz formlarının stok çözeltideki miktarları Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Hoagland besin çözeltisi içeriği

Makro ve Mikroelementlerin Tuzları	Bileşiklerin Kimyasal Formülleri	Stok Çözeltideki Miktarları (mg L^{-1})
Amonyum fosfat monobazik	$NH_4H_2PO_4$	115.03
Borik asit	H_3BO_3	2.86
Kalsiyum nitrat	$Ca(NO_3)_2$	656.4
Bakır sülfat pentahidrat	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.08
Demir tartarat dihidrat	$Fe_2(C_4H_4O_6)_3 \cdot 2H_2O$	5.32
Magnezyum sülfat	$MgSO_4$	240.76
Manganez klorid tetrahidrat	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	1.81
Molibden trioksit	MoO_3	0.016
Potasyum nitrat	KNO_3	606.6
Çinko sülfat heptahidrat	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.22

3.2.4. Çeltik Deneme Serilerinin Hazırlanması

Yüzey sterilizasyonları yapılan çeltik tohumları gruplar halinde, 24 saat süre ile distile su içerisinde imbibisyona bırakılarak ekim işlemleri için hazır hale getirildi (Şekil 3.2a.).



Şekil 3.2a. İmbibisyona bırakılan çeltik tohumlarının genel görünüşü



Şekil 3.2b. Toprak karışımlarının çeltik ekimi için hazır hale getirilmesi



Şekil 3.2c. Çeltik tohumlarının saksılara ekilmesi



Şekil 3.2d. Çeltik tohumlarının bitki büyütme odasında gelişimi

Saksı denemelerini başlatmak için hazırlanan toprak karışımı [toprak:torf:perlit (3:3:1)], saksılara konulduktan sonra her biri tarla kapasitesine (%65) gelinceye kadar sulandı. İmbibisyona bırakılan tohumlar, her saksıda eşit sayıda olacak şekilde ekilerek büyüme odasında gelişmeye bırakıldı (Şekil 3.2b-c-d.). Saksı denemeleri için büyüme odasının ışık şiddeti 4000 lux ve ortam sıcaklığı 25±2 ºC' ye ayarlandı. Ayrıca büyüme odasının ışık sistemi 16 saat aydınlık 8 saat karanlık olacak biçimde ayarlandı ve bu şekilde bitkiler için en uygun fotoperiyot oluşturuldu.

Tüm saksı denemeleri 28 gün boyunca tarla su kapasitesi baz alınarak ¼ Hoagland besin çözeltisi ile sulandı. 28 günlük zaman periyodundan sonra kuraklık stresi uygulamaları için saksı denemeleri kontrol (0. gün) ve stres uygulama (3. gün, 6. gün, 9. gün ve 12. gün) grupları olarak ayrıldı. Denemelerin 29. gününde, her çeşit için ilk olarak kontrol grubunun hasadı gerçekleştirildi. Diğer saksı denemeleri ise 3, 6, 9 ve

12 gün süre ile kuraklık stres faktörüne maruz bırakılmak üzere gruplara ayrılarak etiketlendi.

Kuraklık stresi uygulanan bitkilerin hasadı, kontrol grubunun hasadını (29. gün) takiben 3, 6, 9 ve 12. günlerde yapıldı. Tüm uygulama gruplarının hasadı yapıldıktan hemen sonra kök boyu, sürgün boyu, taze ağırlık, 0-5 görsel skala değerlendirmesi, bağıl su içeriği ve ozmotik potansiyel ölçümleri için rastgele seçilen taze örneklerin bir kısmı kullanıldı. Taze örneklerin diğer bir kısmı ise sıvı azot ile havanda toz haline getirilerek (Şekil 3.3.) numune kaplarına doldurulduu ve daha sonraki analizlerde kullanılmak üzere -80 ºC'de muhafaza edildi. Bir sonraki aşamada ise kuraklık stresinin neden olabileceği bazı fizyolojik ve biyokimyasal değişimleri tespit etmek için -80 ºC'de muhafaza edilen materyaller kullanıldı.



Şekil 3.3. Bitki materyallerinin sıvı azot ile muamele edilmesi

3.3. Ölçüm ve Analizler

Ölçüm ve analizler iki aşamada gerçekleştirildi. İlk aşamada; tüm çeltik çeşitlerinde -kök boyu, -sürgün boyu, -taze ağırlık, -kuru ağırlık, -0-5 görsel skala değerlendirmesi, -bağıl su içeriği, -pigment içeriği, -ozmotik potansiyel ve –lipit peroksidasyonu ölçüm ve analizleri yapıldı. Bu parametrelerden elde edilen bulgulara göre, tüm çeşitler içerisinden iki tolerant, iki hassas çeltik çeşidi belirlendi.

İkinci aşamada ise belirlenen tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinde; prolin içeriği, toplam çözünebilir karbohidrat içeriği, H_2O_2 içeriği, toplam çözünebilir protein içeriği, fitohormon (ABA, IAA, ZR) tayini ve bazı antioksidan enzimlerin (katalaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz, süperoksit dismutaz) aktiviteleri incelendi.

3.3.1. Çeltik Çeşitlerinde Kök Boyu ve Sürgün Boyunun Belirlenmesi

Kontrol ve kuraklık stres faktörü uygulanan gruplardaki çeşitlere ait bitkilerin hasat işlemleri sırasında, kök boyu ve sürgün boyları milimetrik cetvel yardımıyla 10 tekrarlı olarak ölçüldü ve cm bitki^{-1} olarak ifade edildi.

3.3.2. Çeltik Çeşitlerinde Yaprak Taze ve Kuru Ağırlıkların Belirlenmesi

Kontrol ve kuraklık stres faktörü uygulanan gruplara ait bitkilerin hasat işlemleri sırasında; yaprak taze ağırlıkları gram (g) cinsinden 5 tekrarlı olarak ölçüldü. Daha sonra yaprak örnekleri 50 °C'ye ayarlanmış etüvde ağırlık değişimi sabit olana kadar bekletildi ve tekrar tartılarak kuru ağırlıkları (g) kaydedildi.

3.3.3. Çeltik Çeşitlerinde 0-5 Görsel Skala Değerlendirmesi

Görsel skala değerlendirmesi, kuraklığa maruz kalan bitkilerde meydana gelen morfolojik hasarın derecesini belirlemek amacıyla yapılan bir parametredir. Bitkilerin strese dayanıklılıklarını ölçmeye yönelik kolay ve etkili olan bu yöntem, sadece gözleme dayalı sonuçları ifade etmektedir. Bitkisel örneklerde meydana gelen morfolojik hasarın seviyesini tespit etmek için tüm uygulamalardan rastgele seçilen on bitki örneği incelenerek aşağıda oluşturulan skalaya göre değerlendirildi. Sayısal değerler belirtilen semptomları ifade etmektedir.

0: Kuraklık stres faktöründen etkilenmemesi.
1: Büyüme ve gelişimde azalma, yaprak uç ve kenarında sararma.
2: Bitkide %25 oranında sararma ve kuruma.
3: Bitkide %50 oranında sararma, kuruma ve kıvrılma.
4: Bitkide %75 oranında sararma, kuruma, kıvrılma.
5: Bitkide %75'in üzerinde kuruma ve ölümlerin görülmesi.

3.3.4. Çeltik Çeşitlerinde Yaprak Bağıl Su İçeriklerinin Belirlenmesi (%)

Taze ağırlıkları ölçülen yaprak örnekleri, ozmotik dengeye gelmesi için 6 saat saf suda bekletildi ve bu sürenin sonunda materyallerin turgorlu ağırlıkları kaydedildi (Şekil 3.4.). Daha sonra yaprak örnekleri 50 °C'ye ayarlanmış etüvde ağırlık değişimi sabit olana kadar bekletildi ve tekrar tartılarak kuru ağırlıkları (g) kaydedildi.



Şekil 3.4. Yaprak örneklerinin taze ağırlık ölçümleri ve turgorlu hale getirilmesi

Yaprak bağıl su içerikleri, ölçümü yapılan bu üç değerden yola çıkılarak aşağıdaki formüle göre hesaplandı (Hu ve ark. 2010).

Bağıl Su İçeriği (%) = [(Taze Ağırlık-Kuru Ağırlık)/ (Turgorlu Ağırlık-Kuru Ağırlık)] x 100

3.3.5. Çeltik Çeşitlerinde Ozmotik Potansiyel Değerlerinin Belirlenmesi

Yaprak ozmotik potansiyeli, Wescor Vapro 5520 marka ozmotik potansiyel ölçüm cihazı ile belirlendi. Kontrol grubu ile birlikte uygulama yapılan her gruptan eşit miktarda yaprak örneği alınarak, 2 ml'lik bir ependorfta cam baget yardımıyla ezilip 5000 rpm'de 10 dakika santrifüj edildi. Ependorfun dibinde biriken sıvının 10 µl'si yaprak ozmotik potansiyelinin belirlenmesi için kullanıldı (Şekil 3.5.). Ölçümler mmol kg^{-1} olarak kaydedildi ve sonuçlar, Santa Cruz ve ark. (2002)'a göre $2.408x10^{-3}$ katsayısıyla çarpılarak megapaskal (MPa) birimi cinsinden ifade edildi.



Şekil 3.5. Uygulama yapılan çeltik çeşitlerinde ozmotik potansiyel ölçümleri

3.3.6. Çeltik Çeşitlerinde Fotosentetik Pigment İçeriklerinin Belirlenmesi

Klorofil a, klorofil b ve karotenoid içeriği ölçümleri Arnon (1949)'a göre yapıldı. Sıvı azot ile toz haline getirilen taze yaprak materyalinden 250 mg alınarak 2 ml %80'lik aseton ile havanda homojenize edildi. Homojenat, filtre kağıdından süzülerek daha sonra %80'lik aseton ile 5 ml'ye tamamlandı. Bitki ekstreleri 5000 rpm'de 5 dk santrifüj edilip, absorbans değerleri UV-Vis spektrofotometrede klorofil-a için 663, klorofil-b için 645 ve karotenoid için 480 nm'de ölçüldü. Fotosentetik pigmentlerin miktarları aşağıdaki formüllere göre hesaplanarak mg g^{-1} cinsinden ifade edildi.

Klorofil-a = $[\Delta A_{663} \times 12.70 - \Delta A_{645} \times 2.69]$ $[(V/1000)*W]$

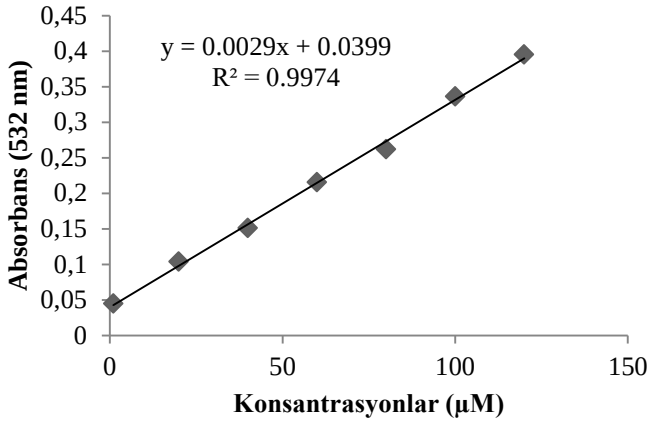
Klorofil-b = $[\Delta A_{645} \times 22.90 - \Delta A_{663} \times 4.68]$ $[(V/1000)*W]$

Karotenoid = $[\Delta A_{480} + \Delta A_{663} \times 0.114 - \Delta A_{645} \times 0.638/112.50]$ $[(V/1000)*W]$

{ΔA: Belirtilen dalga boylarındaki absorbans değerini, V: ml cinsinden son ekstraksiyon hacmini, W: g cinsinden analiz için alınan bitki miktarını ifade etmektedir}

3.3.7. Çeltik Çeşitlerinde Malondialdehit (MDA) Miktarının Belirlenmesi

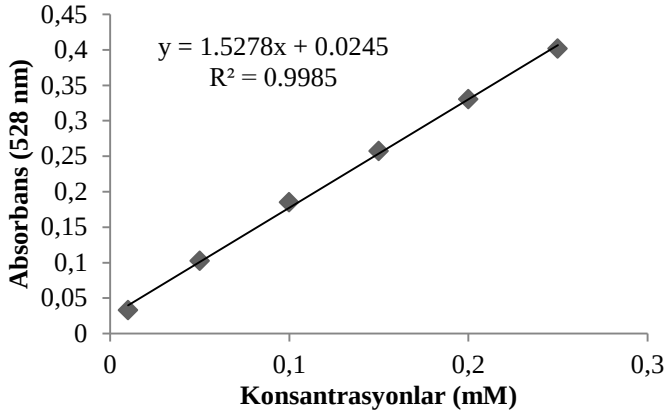
Lipit peroksidasyonunun ölçüsü olan MDA (malondialdehit) içeriği Ohkawa ve arkadaşları (1979)'na göre belirlendi. MDA analizi için daha önce sıvı azotta ezilerek -80 °C'de bekletilen yaprak örnekleri kullanıldı. Kontrol ve kuraklık stres faktörü uygulanmış gruplara ait yaprak örneklerinden 100 mg'lık örnekler tartılarak, üzerine 2 ml %5'lik trikloroasetik asit (TCA) eklendi ve homojenizasyon sağlandı. Hazırlanan bu karışım 25 °C 12000 rpm'de 20 dakika süre ile santrifüj edildi. 0.4 µl süpernatant ve içinde %0.5 oranında tiyobarbitürik asit (TBA) bulunan 0.4 µl %20'lik TCA çözeltisi içeren reaksiyon karışımı, 95 °C'lik sıcak su banyosunda 1 saat tutulduktan sonra reaksiyonu durdurmak amacıyla buz banyosuna konuldu. Bir sonraki aşamada, reaksiyon karışımını içeren tüpler 10000 rpm 10 dakika santrifüjlenerek karışımların absorbans değerleri UV-Vis spektrofotometre yardımıyla 532 nm dalga boyunda köre karşı okundu. Kör olarak içerisinde %0.5 oranında TBA bulunan %20'lik TCA çözeltisi kullanıldı. Yaprak dokularındaki MDA miktarı, standart 1,1,3,3-Tetraethoxypropane (MDA) grafiğinden elde edilen eşitlik (Şekil 3.6.) kullanılarak µmol g^{-1} taze ağırlık olarak hesaplandı. Absorbans=0.0029x+0.0399, R^2:0.9974



Şekil 3.6. 1,1,3,3-Tetraethoxypropane (MDA)'nın standart eğrisi

3.3.8. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Prolin Miktarının Belirlenmesi

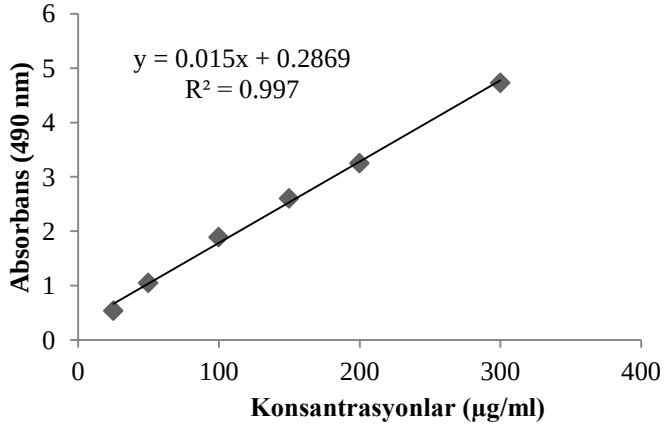
Tolerant ve hassas olarak seçilen çeltik çeşitleri için prolin miktarı, spektrofotometrik olarak Asit-Ninhidrin metodu ile belirlendi (Bates ve ark. 1973, Ghoulam ve ark. 2002). İlk olarak 100 mg yaprak örneği %40'lık 2 ml metanol ile homojenize edildi. Elde edilen homojenattan 1 ml alınarak üzerine 1 ml glasiyal asetik asit ve 6 M ortofosforik asit karışımı (3:2 v/v) ilave edildi. Hazırlanan reaksiyon karışımına 25 mg ninhidrin eklenerek karışımın 1 saat 95 °C'de inkübe edildi. Daha sonra reaksiyon karışımını içeren tüpler soğutularak 5 ml toluen ilave edildi ve iyice karıştırıldıktan sonra iki farklı faz oluşumu gözlendi. Prolin miktarının belirlenmesi için üstteki fazın absorbansı 528 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçüldü. Yaprak dokularındaki prolin miktarı, L-prolin standartı kullanılarak grafik yardımıyla (Şekil 3.7.) hesaplandı ve µmol g^{-1} taze ağırlık olarak ifade edildi. Absorbans=1.5278x+0.0245, R^2:0.9985



Şekil 3.7. L-Prolin standart eğrisi

3.3.9. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Toplam Çözünebilir Karbohidrat Miktarının Belirlenmesi

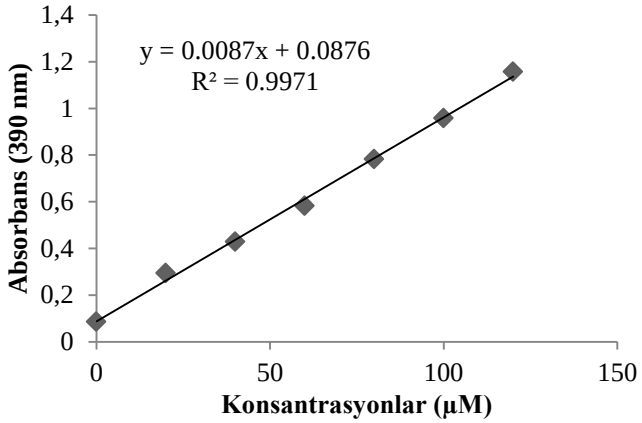
Hassas ve tolerant olarak seçilen çeltik çeşitlerinin yaprak dokularındaki toplam çözünebilir karbohidrat miktarı, fenol-sülfirik metoduna göre belirlendi (Dubois 1956). Seçilen çeşitlerden alınan yaprak örnekleri ayrı gruplar halinde 85 ºC'lik etüvde 48 saat kurutulup toz haline getirildi. Her bir örnekten alınan 50 mg'lık numunelerin üzerine 5 ml %70'lik etil alkol ilave edildi ve 80 ºC'de sıcak su banyosunda 60 dakika süre ile tutuldu. Bu sürenin sonunda tüpler 5000 rpm'de 20 dakika santrifüj edildikten sonra, deney tüplerine 1 ml süpernatant, 1 ml %5'lik fenol ve 5 ml derişik sülfürik asit (H_2SO_4) eklenerek vorteks ile karıştırıldı. Tüm bu işlemlerden sonra karışımların absorbans değerleri, 490 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak belirlendi. Yaprak dokularındaki toplam çözünür karbohidrat miktarı, glukoz standart grafiğinden (Şekil 3.8.) elde edilen eşitlik kullanılarak mg g^{-1} kuru ağırlık olarak hesaplandı. Absorbans=0.015x+0.2869, R^2:0.997



Şekil 3.8. Glukoz standart eğrisi

3.3.10. Tolerant-Hassas Çeşitlerde H_2O_2 İçeriğinin Belirlenmesi

Seçilen hassas ve tolerant çeşitlerde, H_2O_2 içeriği Velikova ve ark. (2000), tarafından önerilen yönteme göre yapıldı. Kontrol ve kuraklık stresine maruz bırakılan bitki gruplarının her birinden 200 mg yaprak örnekleri alınarak, %0.1'lik (w/v) trikloroasetik asit içeren tampon içerisinde homojenize edildi. Elde edilen homojenat, 12000 rpm 15 dakika +4 ºC'de santrifüj edildi. Santrifüj işleminden sonra elde edilen süpernatanttan 0.6 ml alınarak üzerine 0.6 ml 10 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7.0) ile 1.2 ml 1 M potasyum iyodür ilave edildi. 25 ºC'de 1 saat inkübasyona bırakılan karışımın absorbansı, UV-Vis spektrofotometre ile 390 nm dalga boyunda köre karşı okundu. H_2O_2 içeriği, H_2O_2 standart eğri grafiğinden elde edilen eşitlik (Şekil 3.9.) kullanılarak mmol g^{-1} taze ağırlık olarak hesaplandı. Absorbans=0.0087x+0.0876, R^2:0.9971

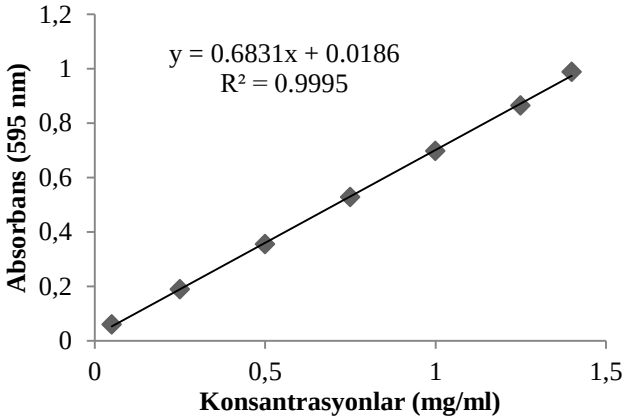


Şekil 3.9. H_2O_2 standart eğrisi

3.3.11. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Toplam Çözünebilir Protein Miktarının Belirlenmesi

Hassas ve tolerant çeşitlerin yaprak dokularındaki toplam çözünebilir protein miktarı, Bradford metoduna göre belirlendi (Bradford 1976). Antioksidan enzim analizlerinde kullanılmak üzere elde edilen süpernatanttan 20 µl alınarak, üzerine sırasıyla 480 µl distile su ve 5000 µl Bradford çözeltisi ilave edildi. Hazırlanan reaksiyon karışımları vorteksle karıştırıldıktan sonra 20 dakika süre ile karanlıkta tutuldu ve son aşamada ise UV-Vis spektrofotometre ile 595 nm dalga boyunda absonbansları ölçüldü. Yaprak dokularındaki toplam çözünebilir protein miktarı, Bovine

Serum Albumin (BSA) ile hazırlanan standart eğri grafiği yardımıyla hesaplanarak mg g^{-1} taze ağırlık olarak ifade edildi. Absorbans=0.6831x+0.0186, R^2:0.9995



Şekil 3.10. BSA standart eğrisi

3.3.12. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi

3.3.12.1. Enzim Ekstraktlarının Hazırlanması

Antioksidan enzimlerin ekstraksiyonu için, sıvı nitrojen ile toz haline getirilen ve -80 °C'de muhafaza edilen numunelerden 1 g yaprak örnekleri alındı. Soğutulmuş havanda %1 w/v polivinilpirolidon (PVP), 10 mM Na_2EDTA, 10 mM KCl, 1 mM $MgCl_2$ ve 2 mM DTT içeren, 100 mM fosfat tamponunda (pH 7.0) örnekler homojenize edildi. Homojenatlar filtre edildikten sonra +4 °C 14000 rpm'de 20 dk santrifüj edildi. Santrifüj işleminden sonra elde edilen süpernatantlar, enzim aktivitelerinin belirlenmesinde kullanıldı.

3.3.12.2. Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Seçilen hassas ve tolerant çeltik çeşitlerinde CAT aktivite tayini, Aebi (1984) tarafından önerilen yönteme göre yapıldı. Yöntem, H_2O_2 substratının CAT ile enzimatik yıkımlanmasının 240 nm'de izlenmesi esasına dayanmaktadır. Buna göre reaksiyon karışımının son hacmi 1.4 ml olacak şekilde, 10 mM H_2O_2 içeren 30 mM KH_2PO_4/K_2HPO_4 tamponuna (pH 7.0) 300µl enzim ekstresinin eklenmesiyle reaksiyon başlatıldı. H_2O_2'nin yıkımına bağlı olarak absorbanstaki azalma 240 nm'de köre karşı 3 dakika boyunca 30 saniye aralıkla kaydedildi. H_2O_2'nin ekstinksiyon katsayısı 36 mM^{-1}

cm^{-1} olarak kabul edildi ve CAT aktivitesi U mg^{-1} protein olarak ifade edildi. Bir birim CAT spesifik aktivitesi, dakikada harcanan μmol H_2O_2 olarak ifade edilmektedir.

3.3.12.3. Askorbat Peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

APX aktivitesinin tayini Nakano ve Asada'nın (1981), belirttiği yönteme göre yapıldı. Reaksiyon hacmi 1 ml olacak şekilde, deney tüplerine 0.8 ml 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7.0), 0.1 ml 0.5 mM askorbat ve 0.1 ml enzim ekstresi konuldu. Daha sonra 0.1 ml 100 mM H_2O_2 ilave edilerek reaksiyonun başlaması sağlandı ve askorbik asidin okside olmasına bağlı olarak azalan reaksiyon karışımının absorbansı, 290 nm'de 3 dakika boyunca takip edildi. Elde edilen sonuçlar 2.8 mM^{-1} cm^{-1} ekstinksiyon katsayısına göre hesaplanarak U mg^{-1} protein olarak ifade edildi. Bir birim APX aktivitesi dakikada okside olan 1 μmol/ml askorbatı ifade etmektedir.

3.3.12.4. Glutatyon Redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Seçilen hassas ve tolerant çeşitlerdeki GR aktivitesi, Goldberg ve Spooner'in (1983), yöntemine göre yapıldı. Deneyin prensibi, son hacim 2.8 ml olacak şekilde, 2.5 ml 120 mM fosfat tamponu (pH 7.2), 0.1 ml 0.015 mM Na_2EDTA, 0.1 ml 0.065 mM GSSG, 0.05 mL 9.6 mM NADPH ve 0.1 ml enzim ekstresi içeren reaksiyon karışımının, NADPH varlığında GSSG'nin indirgenmesi esasına dayanmaktadır. Reaksiyon karışımının absorbansındaki azalma, 3 dakika boyunca 340 nm'de takip edildi. Spesifik enzim aktivitesi, NADPH'ın ekstinksiyon katsayısı olan 6.23 mM^{-1} cm^{-1} kullanılarak hesaplandı ve U mg^{-1} protein olarak ifade edildi. Bir birim GR spesifik aktivitesi, dakikada indirgenen 1 μmol/ml GSSG miktarını ifade etmektedir.

3.3.12.5. Süperoksit Dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

SOD aktivitesi tayini Giannopolitis ve Ries'in (1977), önerdiği yönteme göre yapıldı. SOD aktivitesi tayini, nitroblue tetrazolium'un (NBT) ışık altında $O_2^{\cdot -}$ radikali tarafından indirgenmesi esasına dayanmaktadır.

Bu amaçla, son hacmi 5 ml olacak şekilde dört farklı konsantrasyonda (0.2 - 0.3 - 0.5 - 1 ml) enzim ekstresi içeren ve bunların yanında enzim ekstresi içermeyen (kontrol) toplam 5 reaksiyon seti hazırlandı. Cam deney tüplerinde, 50 mM fosfat tamponu (pH 7.8) içerisinde 1 ml 12 mM metiyonin, 1 mL 75 µM NBT, 1 ml 3 mM Na_2EDTA ve 50 mM Na_2CO_3 olacak şekilde reaksiyon ortamı hazır hale getirildi. Son olarak toplam reaksiyon hacmi 5 ml olacak şekilde ortama 1 ml 10 µM riboflavin ilave edildi. Hazırlanan reaksiyon karışımı, 25 ºC sıcaklık ve yüksek ışık koşullarını sağlayan floresan lambalar altında tutularak NBT'nin $O_2^{\cdot -}$ tarafından indirgenmesi sağlandı.

Oluşan mavi-mor renkli reaksiyon karışımının absorbansı 560 nm'de ölçüldü. NBT'nin indirgenmesi reaksiyonunda %50 inhibisyona neden olan enzim miktarı bir ünite kabul edilerek, elde edilen sonuçlarda SOD aktivitesi U mg^{-1} protein olarak ifade edildi. Ünite (U), 25 °C'de 1 dakikada 1 µmol substratı ürüne dönüştüren enzim (SOD) miktarını göstermektedir.

3.3.13. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Hormon Ekstraktsiyon Saflaştırma ve Analiz İşlemleri

3.3.13.1. Ekstraktsiyon ve Saflaştırma İşlemleri

Ekstraktsiyon ve saflaştırma işlemleri Kuraishi ve ark. (1991) ile Battal ve Tileklioğlu (2001) metotlarına göre yapıldı. Daha önce toz haline getirilen yaprak örnekleri üzerine +4 ˚C'de bekletilen %80'lik metanol ilave edildi ve 10 dakika ultra doku parçalayıcıda homojenize edildi. Homojenize işleminden sonra numuneler, +4 ˚C'de ve karanlıkta 24 saat bekletildi. Bir sonraki aşamada ise örnekler Whatman No:1 filtre kağıdından süzüldü ve süpernatant alındıktan sonra kalan parçalar tekrar aynı işlemlere tabii tutuldu ve daha sonra her iki süpernatant birleştirildi. Birleştirilen süpernatantlar tekrar 0.45 µml'lik politetrafloroetilen (PTFE) filtrelerden (Milipore) geçirildi ve çözücü rotary evaporatör yardımıyla 35˚C'de buharlaştırıldı. Geriye kalan ekstraktlar, 0.1 M'lık KH_2PO_4 (pH 8) tamponunda tekrar çözüldü.

Çözünen ekstraktlarda var olan yağ asitlerini ayırmak için örnekler +4 ˚C 5000 rpm'de 1 saat santrifüj edildi (Palni ve ark. 1983) ve süpernatant otomatik pipetle tüplerden alınarak bir beher içerisine bırakıldı. Fenolik bileşikleri ve renk maddelerini ayırmak için süpernatantın bulunduğu behere 1 g çözünmeyen polivinilpolipirolidon

(PVPP) bırakılarak iyice karıştırıldı (Mooney ve Staden 1984, Hernandez-Miana 1991). PVPP ile karıştırılan süpernatantlar Whatman No:1 filtre kağıdından süzülerek PVPP'den ayrıldı. Ekstrakt alınarak ya hemen kullanıldı ya da daha sonra kullanılmak üzere -20 ºC'de saklandı (Cheikh ve Jones 1994). Daha spesifik ayırma yapabilmek için Sep-Pak C18 (Waters) kartuşları kullanıldı (Machackova ve ark. 1993). Kartuşlar kullanılmadan önce aşağıda açıklandığı şekilde şartlandırıldı.

PVPP (Polivinilpolipirolidon)'nin Hazırlanması: Bir beher içerisine 1 gram çözünmeyen PVPP ve üzerine 0.1 M'lık asetik asit ilave edilerek süspansiyon şeklinde iyice karıştırılarak hazır hale getirildi.

Şartlandırma İşlemi: Kartuşlar 2.5 ml %80'lik metanolden geçirildikten sonra, 2.5 ml saf suyla yıkanarak kullanıma hazırlandı. Sonraki aşamada, süpernatantlar (dondurulmuşsa çözünmesi beklendikten sonra) 5 ml'lik enjektörle şartlandırılmış Sep-Pak C18 kartuşlarından (1 ml/dk) geçirildi. Kartuş tarafından adsorbe edilen hormonlar %80'lik metanolde (1 g'lık taze örnekler için 2.5 ml) çözünmek suretiyle viallere alındı ve bu numuneler HPLC analizleri için kullanıldı (Qamaruddin ve ark. 1990).

3.3.13.2. Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografi (HPLC) ile Analiz Şartları

Çalışmamızda absisik asit, indol asetik asit ve zeatin ribozid analizlerinde HPLC kullanıldı (Morris ve ark. 1990). HPLC analizleri aşağıdaki sistemler kullanılarak yapıldı.

a) Pompa: Araştırmamızda basıncı 5000 psi'ye kadar çıkabilen Waters marka (Waters 6000 A) pompa kullanıldı.

b) Dedektör: Çalışmamızda Waters marka ve PU 4020 model UV dedektör kullanıldı.

c) Kolon: Çalışmamızda, daha önce yapılan çalışmalarda birçok araştırmacının (Horgan ve Kramers 1979, Brenner 1981, Palni ve ark. 1983, Hernandez –Miana ve ark. 1989, Chen 1991) kullandığı, µ Bondapak C18 (Waters; 30*0.2 cm) kolon kullanıldı.

d) İzokratik sistem: Bu sistemde, sabit konsantrasyondaki mobil fazın dakikadaki 2 ml/dak. akış hızı ile beraber, maddelerin kolonlardaki alıkonma zamanına bağlı olarak birbirlerinden ayrılabilmesi temeline dayanmaktadır. Çalışmamızda izokratik sistem kullanıldı (Taylor ve ark. 1990).

e) Kaydedici: (Integrator): Dedektörün gönderdiği uyartılar, Breze adlı yazılım kullanılarak bilgisayar ortamına kaydedildi.

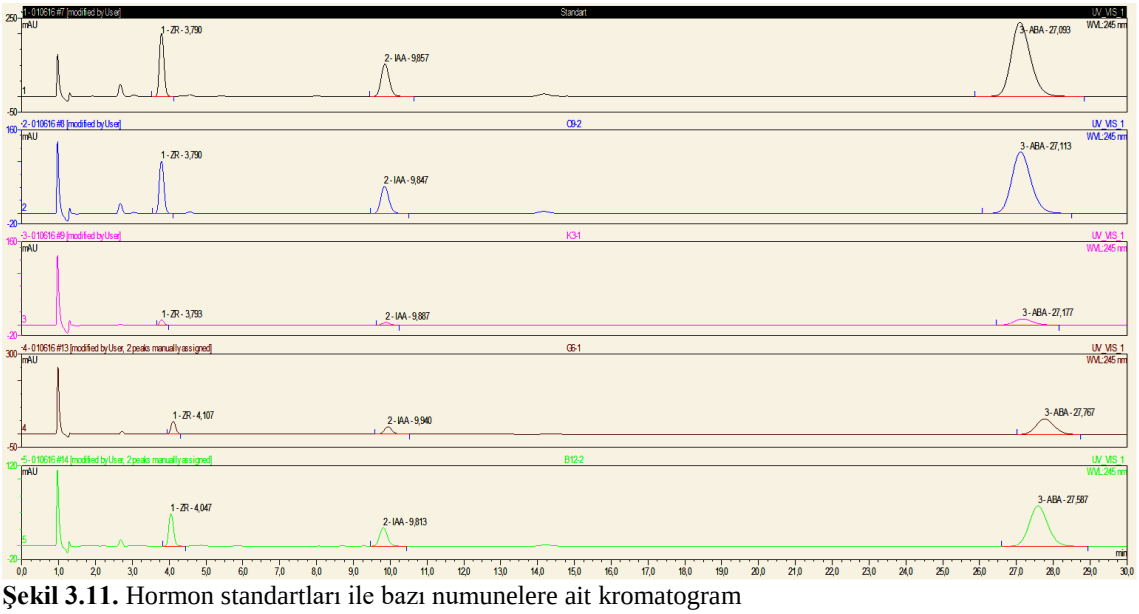
f) Mobil faz: Çalışmamızda %13'lük asetonitrile (HPLC'ye özgü, Merck) tampon olarak 40 mM trietilamonyum asetat (TEAA) ilave edildi ve pH'sı 4.98'e ayarlanan mobil faz kullanıldı (Kovac ve Zel 1994, Chamberlain 1995).

TEAA'nın hazırlanması: Belli bir miktarda trietilamilin (Merck) alınarak bir mezür içerisine bırakıldı. Üzerine trietilamilin miktarından biraz daha az olacak şekilde asetik asit yavaş yavaş ilave edilerek (Fritz ve ark. 1978) buzdolabına bırakıldı ve soğuduktan sonra kullanıldı.

g) Degaze işlemi: Millipore marka vakum pompası kullanılarak pH'sı ayarlanan mobil fazda oluşan gazlar uzaklaştırıldı.

3.3.13.3. Sıvı Kromatografi (HPLC) ile Hormon Tayini

Seçilen hassas ve tolerant çeltik çeşitlerinde hormon ekstraktsiyonu yapıldıktan ve HPLC cihazı şartlandırıldıktan sonra hormon okumalarına geçildi. İlk olarak, ticari olarak satın alınan zeatin ribozid (ZR), indol asetik asit (IAA) ve absisik asit (ABA) hormonlarından farklı konsantrasyonlar hazırlanarak standartlara ait kromatogramlar elde edildi (Şekil 3.11.). Daha sonra çeltik bitkilerinden elde edilen hormon ekstraktları HPLC cihazına enjekte edilerek 245 nm'de okumaları yapıldı ve standart hormon kromatogramlarından elde edilen pik alanları kullanılarak bitkilerdeki hormon miktarları hesaplandı.



Şekil 3.11. Hormon standartları ile bazı numunelere ait kromatogram

3.3.14. İstatistik Analizler

Deneyler sonucunda elde edilen verilerde, tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak hesaplandı. Verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde SPSS 21.0 istatistik programı kullanılarak, Tek Yönlü Varyans (ANOVA) analizi ve Duncan testi analizleri yapıldı. Duncan testi ile ölçülen karakter bakımından hangi işlemlerin aynı grupta yer aldığı ya da farklılık gösterdiği ortaya konuldu. $p \leq 0.05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Araştırmanın ilk aşamasında, ülkemizde yetiştirilen 6 farklı çeltik (*Oryza sativa*) çeşidi ile sadece Diyarbakır civarında yetiştirilen 2 farklı popülasyon üzerinde kuraklık stres faktörünün etkisini incelemek amacıyla laboratuvar ortamında saksı denemeleri kurulmuştur. Dört haftalık normal gelişim periyodundan sonra 3, 6, 9 ve 12 gün süre ile stres faktörüne maruz bırakılan tüm çeşitlerde, 0-5 görsel skala değerlendirmesi, kök/sürgün boyu, taze/kuru ağırlık, bağıl su içeriği, pigment içeriği, ozmotik potansiyel ile lipit peroksidasyonu ölçüm ve analizleri yapılmıştır. Bu parametrelerden elde edilen bulgulara göre çeşitler kendi aralarında karşılaştırıldığında, kuraklık stresine karşı **Osmancık-97** ve **Beşer** çeşitleri tolerant, **Gönen ve Karacadağ** ise hassas çeşitler olarak belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise belirlenen tolerant ve hassas çeşitlerde, prolin içeriği, toplam çözünebilir karbohidrat içeriği, toplam çözünebilir protein içeriği, H_2O_2 içeriği aynı zamanda birer fitohormon olan ABA, IAA ve ZR tayini ile CAT, APX, GR ve SOD gibi antioksidan enzim aktiviteleri belirlenmiştir.

4.1. Kuraklık Stresinin Sürgün Boyu Üzerine Etkisi

Kuraklık stresi uygulamalarından sonra alınan sonuçlar kontrol grupları ile karşılaştırıldığında, genel olarak 3, 6, 9 ve 12 günlük uygulamaların bazı çeşitlerin sürgün boy uzunluklarında farklılıklara neden olduğu ve bu farklılığın istatistiki açıdan anlamlı olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.1.).

Uygulamalardan sonra Osmancık-97 ve Paşalı çeşitlerinin boy uzunluklarında görülen artış, kontrol ile karşılaştırıldığında istatistiki olarak anlamlı ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. Osmancık-97 çeşidinde en fazla boy artış oranı %10.5 ile 3 günlük kuraklık uygulamasında, Paşalı çeşidinde ise %9.1 artış oranı ile 12 günlük uygulamada gözlenmiştir. Farklı periyotlarda uygulanan stres faktörü Kızıltan ve Gönen çeşitlerinin boy uzunluğunda kontrole göre azalmaya neden olmuştur. Sürgün boyu bakımından en fazla azalma, Kızıltan çeşidinde %7.8, Gönen çeşidinde ise %6.3 oran ile 12 günlük uygulama grubunda gözlenmiştir (Şekil 4.1.).

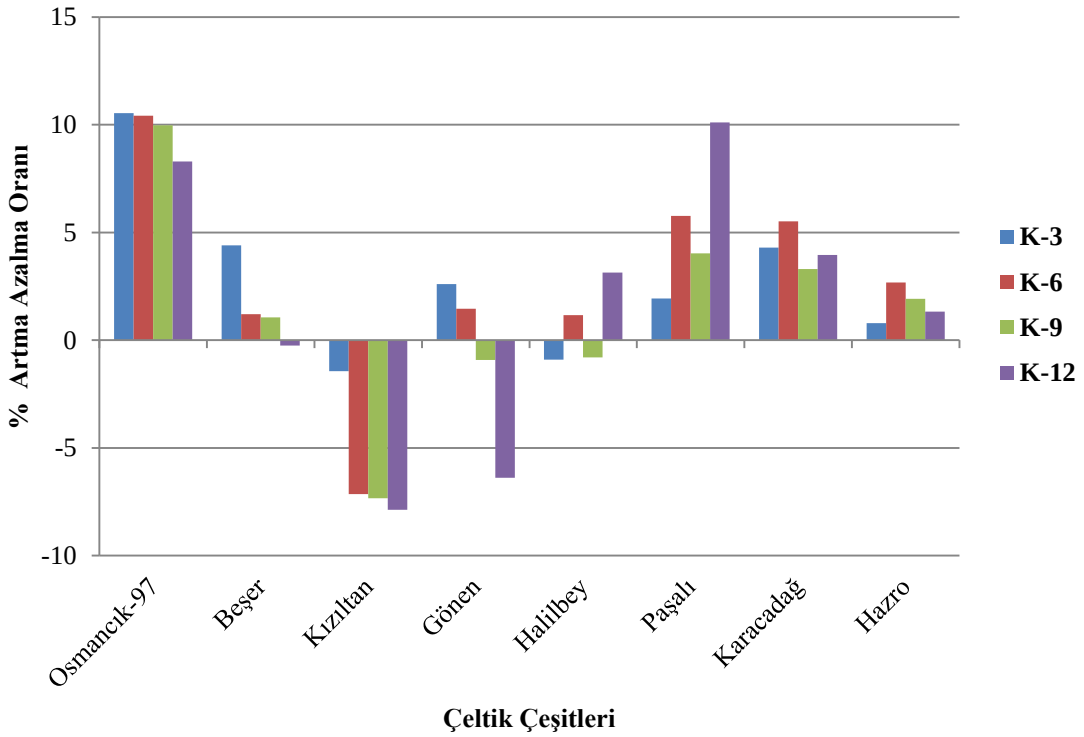
Beşer, Halilbey, Karacadağ ve Hazro çeşitleri kendi kontrolleri ile karşılaştırıldığında, sürgün uzunluklarında belli oranda artma ve azalmalar meydana

gelmiş (Çizelge 4.1.); ancak oranların değerlendirilmesi sonucunda istatistiki olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Ayrıca tüm çeşitlere ait kontrol grupları kendi aralarında karşılaştırıldığında en uzun sürgün boyuna sahip çeşit Osmancık-97 (33.30 cm) iken en kısa sürgün boyuna sahip çeşidin Paşalı (25.35 cm) olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.1. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde sürgün boyu değişimleri (cm bitki^{-1})*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	33.30±1.16^{b}	36.81±1.99^{a}	36.77±1.08^{a}	36.62±1.81^{a}	36.06±2.35^{a}
Beşer	32.30±1.88^{a}	33.72±1.16^{a}	32.69±3.07^{a}	32.64±1.65^{a}	32.22±1.04^{a}
Kızıltan	27.68±2.50^{a}	27.28±1.08^{ab}	25.70±1.26^{bc}	25.65±1.72^{bc}	25.50±1.74^{c}
Gönen	31.46±1.76^{ab}	32.28±2.21^{a}	31.92±2.80^{ab}	31.17±2.56^{ab}	29.45±2.98^{b}
Halilbey	27.70±1.91^{a}	27.45±1.97^{a}	28.02±2.43^{a}	27.48±1.40^{a}	28.57±2.21^{a}
Paşalı	25.35±0.97^{b}	25.84±2.07^{b}	26.81±1.51^{ab}	26.37±1.61^{ab}	27.91±2.59^{a}
Karacadağ	27.03±1.13^{a}	28.19±1.51^{a}	28.52±2.25^{a}	27.92±1.28^{a}	28.10±2.75^{a}
Hazro	28.09±1.17^{a}	28.31±1.12^{a}	28.84±1.42^{a}	28.63±2.34^{a}	28.46±2.55^{a}

*Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)



Şekil 4.1. Sürgün boylarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.2. Kuraklık Stresinin Kök Boyu Üzerine Etkisi

Kuraklığa maruz bırakılan çeşitlerde, stres faktörünün kök büyümesinde meydana getirdiği değişimler Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Uygulamalardan sonra elde edilen verilere göre tüm çeşitlerde kuraklık süresinin artışına paralel olarak kök büyümesinin de arttığı gözlenmiştir. Çeşitlerin kök uzunlukları kendi kontrol grupları ile kıyaslandığında en yüksek artış oranı (7.32 cm; %41.3) Kızıltan çeşidinin 12 günlük kuraklık uygulamasında gözlenirken en az artış oranı ise (3.81cm; %20.8) Osmancık-97 çeşidinde görülmüştür (Şekil 4.2.).

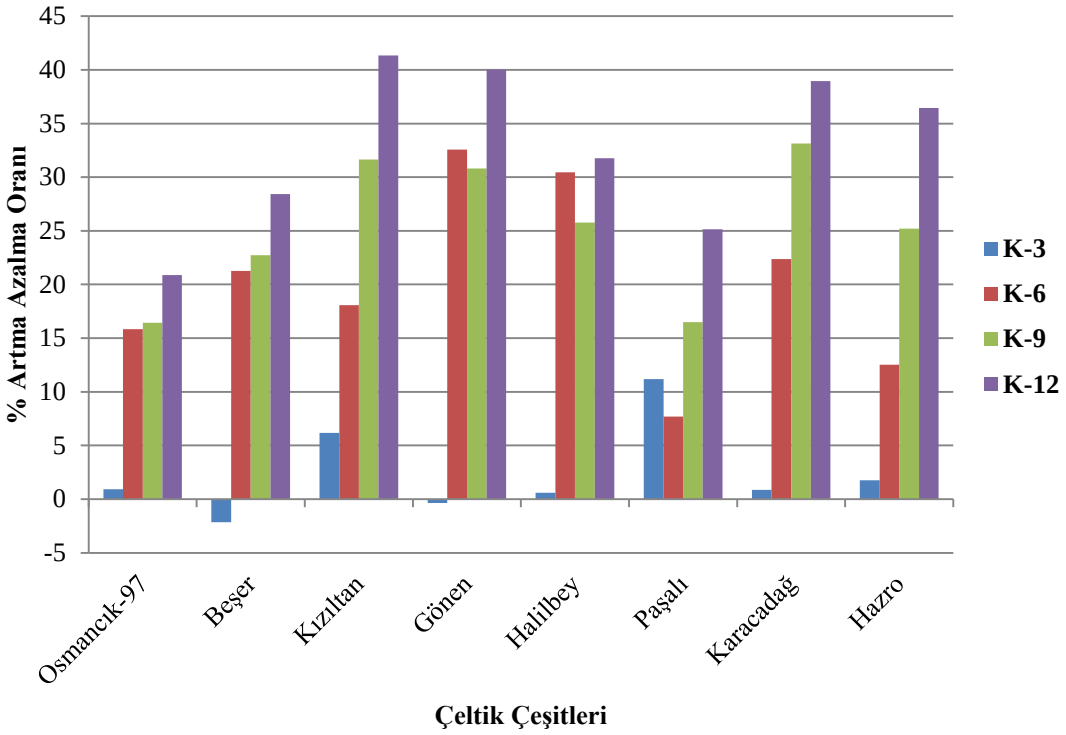
Çeşitler kendi içinde ayrı ayrı değerlendirildiğinde Osmancık-97, Beşer ve Halilbey çeşitlerinin 6, 9 ve 12 günlük uygulamaları istatistiki olarak benzerlik gösterirken aynı çeşitlerde bu uygulamalar kontrol ve 3 günlük gruplardan farklılık göstermiştir (Çizelge 4.2.). Kızıltan çeşidinde ise uygulama süresine bağlı olarak kök uzunluklarında devamlı bir artış olduğu ve artış oranlarının istatistiki olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Gönen, Karacadağ ve Hazro çeşitlerinde genel olarak, kontrol grupları sadece 3 günlük uygulama ile benzerlik gösterirken diğer uygulamalar ile kontrol grupları arasındaki farklılık anlamlı ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Çeşitlerin kontrol grupları incelendiğinde, en uzun kök boyuna sahip çeşit Osmancık-97, en kısa kök boyuna sahip çeşidin ise Gönen olduğu gözlenmiştir. Tüm çeltik çeşitlerinde en uzun kök boyu benzer şekilde en şiddetli kuraklık uygulaması olan 12 günlük stres gruplarında görülmüştür.

Çizelge 4.2. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde kök uzunluk değişimleri (cm bitki^{-1})*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	18.25±1.49^{b}	18.42±2.45^{b}	21.14±0.94^{a}	21.25±0.88^{a}	22.06±0.70^{a}
Beşer	17.55±2.19^{b}	17.17±1.75^{b}	21.28±1.24^{a}	21.54±2.67^{a}	22.54±0.92^{a}
Kızıltan	17.70±0.81^{e}	18.79±1.02^{d}	20.90±1.44^{c}	23.30±1.12^{b}	25.02±0.54^{a}
Gönen	16.09±1.62^{c}	16.03±0.79^{c}	21.33±0.75^{b}	21.05±1.65^{b}	22.53±1.40^{a}
Halilbey	16.72±1.63^{b}	16.82±1.94^{b}	21.81±1.59^{a}	21.03±2.79^{a}	22.03±0.84^{a}
Paşalı	17.15±1.78^{c}	19.07±2.11^{b}	18.47±0.34^{bc}	19.98±1.63^{ab}	21.46±2.58^{a}
Karacadağ	17.20±1.67^{c}	17.35±1.76^{c}	21.05±2.03^{b}	22.90±2.01^{a}	23.90±1.71^{a}
Hazro	17.15±1.17^{c}	17.45±2.30^{bc}	19.30±1.90^{b}	21.47±2.89^{a}	23.40±2.56^{a}

***** Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)



Şekil 4.2. Kök uzunluklarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.3. Kuraklık Stresinin Yaprak Taze Ağırlığı Üzerine Etkisi

Çeltik çeşitlerine uygulanan kuraklık stresinin 3, 6, 9 ve 12. günleri ile kontrol grubuna ait yaprak taze ağırlık değerleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Kuraklık stresi, Osmancık-97, Beşer ve Halilbey çeşitleri hariç genel olarak 3. günden itibaren çeşitlerin taze ağırlıklarında kontrollerine göre azalmalara neden olmuştur. Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi 12 günlük uygulama sonrası çeşitlerin taze ağırlıkları kendi kontrollerine kıyasla ciddi oranlarda azalmış ve azalma oranları Karacadağ'da %80.2, Hazro'da %78.4, Kızıltan'da %75.5, Halilbey'de %74.6, Paşalı'da %72.4, Gönen'de %71.4, Beşer'de %47.4 ve Osmancık-97 çeşidinde ise %42.8 olarak tespit edilmiştir. Kontrol grubu ile en hafif kuraklık stresi olan 3 günlük uygulama karşılaştırıldığında, en büyük düşüş %33.8 ile Paşalı çeşidinde gözlenmiştir. Aynı şekilde bu çeşidi sırasıyla Karacadağ, Kızıltan, Hazro, Halilbey ve Gönen çeşitleri takip etmiştir.

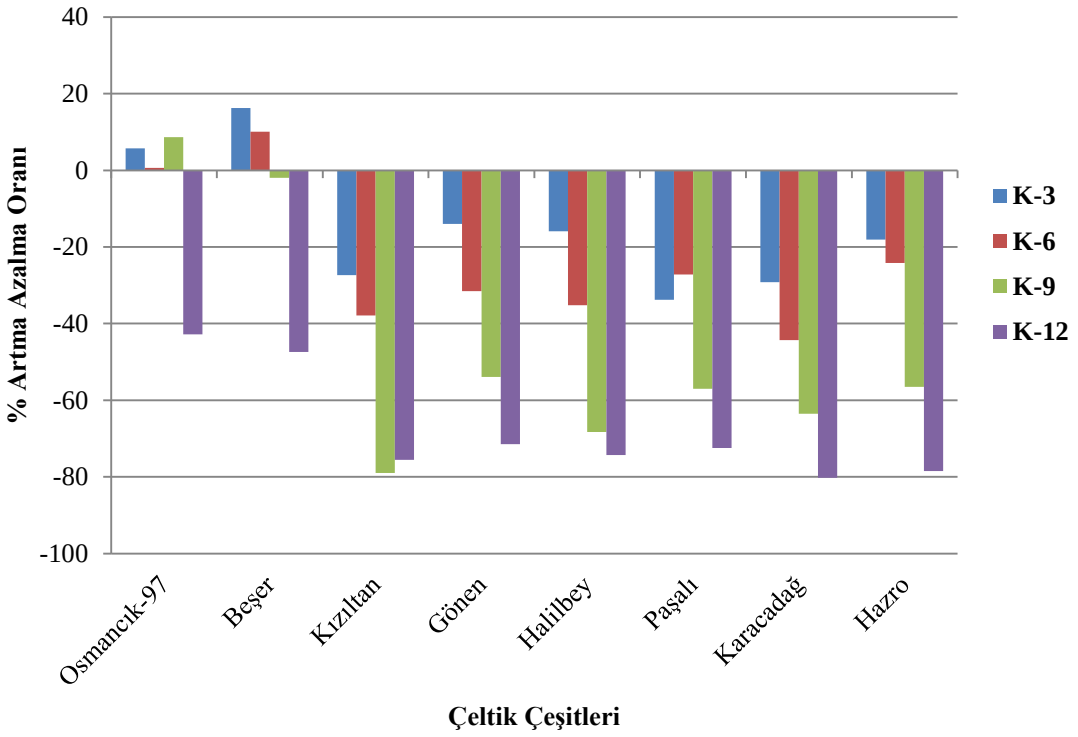
Kuraklık stres süreleri, diğer çeşitlerden farklı olarak Osmancık-97 ve Beşer çeşitlerinin yaprak taze ağırlıklarında 9. güne kadar anlamlı bir değişiklik görülmemiştir. Ancak parametreler arasında en uzun süre olan 12 günlük uygulama, her

iki çeşidin (Osmancık-97 ve Beşer) taze ağırlıklarında ani bir düşüşe yol açmıştır (Çizelge 4.3.). Diğer tüm çeşitlerde ise genel olarak uygulamanın ilk haftasında (3 ve 6 gün) kontrole göre önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Özellikle 9. ve 12. günlerde düşüş oranlarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde yaprak taze ağırlık değişimleri (g)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	0.313±0.043^{a}	0.331±0.032^{a}	0.315±0.024^{a}	0.340±0.017^{a}	0.179±0.011^{b}
Beşer	0.308±0.031^{a}	0.358±0.015^{a}	0.339±0.027^{a}	0.302±0.044^{a}	0.162±0.020^{b}
Kızıltan	0.380±0.041^{a}	0.276±0.021^{b}	0.236±0.022^{b}	0.080±0.013^{c}	0.093±0.010^{c}
Gönen	0.371±0.036^{a}	0.319±0.017^{ab}	0.254±0.042^{bc}	0.171±0.024^{cd}	0.106±0.018^{d}
Halilbey	0.315±0.030^{a}	0.265±0.023^{a}	0.204±0.035^{b}	0.100±0.012^{c}	0.080±0.009^{c}
Paşalı	0.272±0.037^{a}	0.180±0.028^{b}	0.198±0.014^{b}	0.117±0.009^{c}	0.075±0.016^{c}
Karacadağ	0.192±0.027^{a}	0.136±0.021^{b}	0.107±0.009^{c}	0.070±0.013^{d}	0.038±0.006^{e}
Hazro	0.232±0.012^{a}	0.190±0.032^{b}	0.176±0.011^{b}	0.101±0.022^{c}	0.050±0.005^{d}

*Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)



Şekil 4.3. Yaprak taze ağırlıklarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.4. Kuraklık Stresinin Yaprak Kuru Ağırlığı Üzerine Etkisi

Kuraklık uygulamalarının bazıları Osmancık-97, Gönen, Halilbey ve Paşalı çeşitlerinde yaprak kuru ağırlık artışını etkilemiş; ancak bu çeşitler için belirlenen oranlar istatistiki açıdan anlamlı bulunmamıştır. Karacadağ ve Hazro çeşitlerinde ise tüm kuraklık uygulamalarında kontrole göre bir azalma meydana gelmiş; ancak sadece 12. gün sonunda meydana gelen azalma istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Stres faktörünün tüm uygulama grupları Kızıltan çeşidinin yaprak kuru ağırlıklarında azalmaya yol açmış ve kontrollerine göre azalma oranının tüm gruplarda anlamlı ($p \leq 0.05$) olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4.).

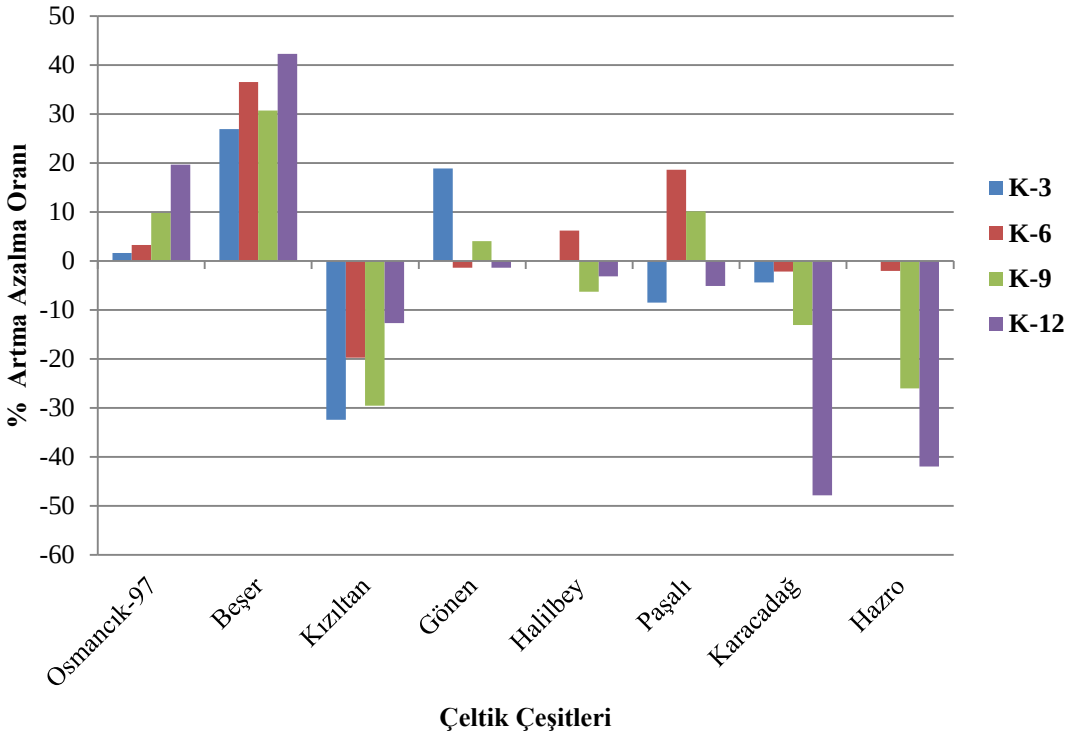
Beşer çeşidinde uygulama gruplarının kuru ağırlık değerleri kontrole göre kuraklık süresi uzadıkça artış göstermiş; ancak sadece 12. gün sonundaki artış anlamlı bulunmuştur. Artış oranları incelendiğinde 3, 6 ve 9 günlük kuraklık uygulamaları istatistiki olarak kendi aralarında benzerlik gösterirken kontrol ve 12 günlük uygulama grubu birbirlerinden farklılık göstermişlerdir.

Uygulamalardan sonra tüm çeşitler kuraklığa maruz kalma sürelerine göre değerlendirildiğinde, kontrollerine göre toplam kuru ağırlıktaki en fazla artış %42.3' lük oran ile 12. gün sonunda Beşer çeşidinde saptanmıştır. Aynı şekilde kontrollerine göre kuru ağırlık bakımından en fazla azalma (%47.8), 12 gün süre ile strese maruz bırakılan Karacadağ çeşidinde gözlenmiştir (Şekil 4.4.).

Çizelge 4.4. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde yaprak kuru ağırlık değişimleri (g)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	0.061±0.005^{a}	0.062±0.006^{a}	0.067±0.006^{a}	0.067±0.003^{a}	0.073±0.004^{a}
Beşer	0.052±0.002^{b}	0.066±0.003^{ab}	0.071±0.008^{ab}	0.068±0.006^{ab}	0.074±0.001^{a}
Kızıltan	0.071±0.006^{a}	0.048±0.008^{c}	0.057±0.004^{bc}	0.050±0.005^{c}	0.062±0.002^{ab}
Gönen	0.074±0.006^{a}	0.088±0.010^{a}	0.073±0.002^{a}	0.077±0.009^{a}	0.073±0.003^{a}
Halilbey	0.064±0.006^{a}	0.064±0.008^{a}	0.068±0.011^{a}	0.060±0.006^{a}	0.062±0.005^{a}
Paşalı	0.059±0.008^{a}	0.054±0.006^{a}	0.070±0.006^{a}	0.065±0.004^{a}	0.056±0.002^{a}
Karacadağ	0.046±0.004^{a}	0.044±0.004^{a}	0.045±0.002^{a}	0.040±0.003^{a}	0.024±0.003^{b}
Hazro	0.050±0.001^{a}	0.050±0.008^{a}	0.049±0.002^{a}	0.037±0.006^{b}	0.029±0.003^{b}

***** Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)



Şekil 4.4. Yaprak kuru ağırlıklarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.5. Kuraklık Stresi Uygulanan Çeşitlerde 0-5 Görsel Skala Değerlendirmesi

Kuraklık stresinin farklı sürelerine maruz bırakılan çeltik çeşitlerinde, morfolojik olarak meydana gelen ve gözle ayırt edilen zararlanmanın (etkilenmenin) derecesine göre çeşitler için 0 ile 5 arasında puanlama yapılarak görsel skala değerleri Çizelge 4.5.'de verildiği gibi elde edilmiştir.

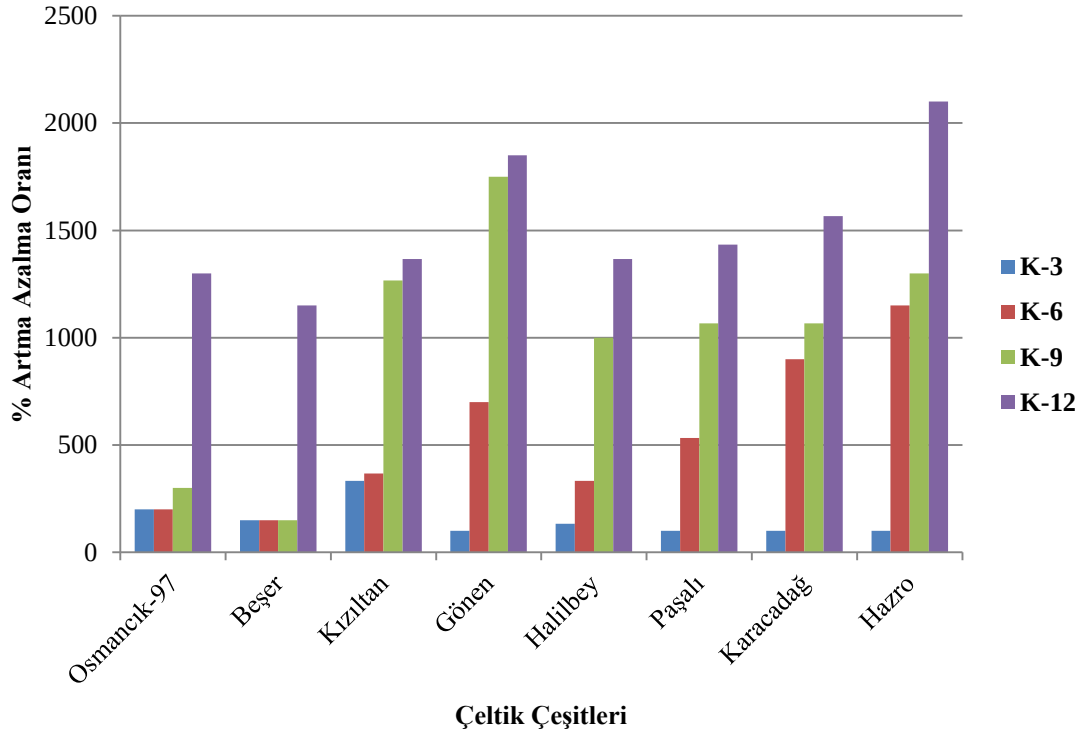
0-5 görsel skala değerleri karşılaştırıldığında, 12 günlük kuraklık stresiyle birlikte kontrollerine göre sırasıyla Osmancık-97 (1.4) ve Beşer (2.5) çeşitlerinde morfolojik hasarın en az olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda Osmancık-97 ve Beşer'de diğer çeşitlerden farklı olarak sadece 12 günlük uygulama grubu diğer gruplardan istatistiki olarak anlamlı farklılık göstermiştir. 12 gün boyunca stres faktörüne maruz bırakılan çeşitler arasından en fazla hasar derecesi sırasıyla, Karacadağ (en fazla etkilenen) 5 puan, Paşalı 4.6 puan ve benzer yanıtlar 4.4 puan ile Kızıltan, Hazro ve Halilbey çeşitlerinden alınmıştır (Çizelge 4.5.). 0-5 görsel skala değerleri karşılaştırıldığında, kontrollerine göre en yüksek oran 12. gün sonunda Hazro çeşidinde, en az oran ise Beşer çeşidinde gözlenmiştir (Şekil 4.5.).

Ayrıca tüm çeltik çeşitlerinin kontrol grubu ile 3, 6, 9 ve 12 günlük kuraklık uygulamasından sonra çekilen fotoğrafları, çeşitlerin kontrol ve uygulama grupları arasındaki morfolojik farklılığı göstermektedir (Şekil 4.6. ve 4.7.).

Çizelge 4.5. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde 0-5 görsel skala değerleri*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	0.1^{a}	0.3^{a}	0.3^{a}	0.4^{a}	1.4^{b}
Beşer	0.2^{a}	0.5^{a}	0.5^{a}	0.5^{a}	2.5^{b}
Kızıltan	0.3^{c}	1.3^{b}	1.4^{b}	4.1^{a}	4.4^{a}
Gönen	0.2^{c}	0.4^{c}	1.6^{b}	3.7^{a}	3.9^{a}
Halilbey	0.3^{d}	0.7^{d}	1.3^{c}	3.3^{b}	4.4^{a}
Paşalı	0.3^{d}	0.6^{d}	1.9^{c}	3.5^{b}	4.6^{a}
Karacadağ	0.3^{c}	0.6^{c}	3.0^{b}	3.5^{b}	5.0^{a}
Hazro	0.2^{c}	0.4^{c}	2.5^{b}	2.8^{b}	4.4^{a}

*Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)



Şekil 4.5. 0-5 görsel skala değerlerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları



Şekil 4.6. Kontrol ve uygulama gruplarının morfolojik olarak karşılaştırılması (a) Osmancık-9; (b) Beşer; (c) Kızıltan; (d) Gönen



Şekil 4.7. Kontrol ve uygulama gruplarının morfolojik olarak karşılaştırılması (a) Halilbey; (b) Paşalı; (c) Karacadağ; (d) Hazro

4.6. Kuraklık Stresinin Yaprak Bağıl Su İçeriğine (%) Etkisi

3, 6, 9 ve 12 günlük kuraklık uygulamalarının, çeşitlerin yaprak bağıl su içerikleri üzerindeki etkileri kontrolleri ile birlikte Çizelge 4.6.'da görülmektedir. Farklı süreler ile uygulanan kuraklık stresi tüm çeşitlerde bağıl su içeriğinin azalmasına neden olmuştur. Meydana gelen azalmanın miktarı, zamana ve çeşide göre farklılık göstermiştir.

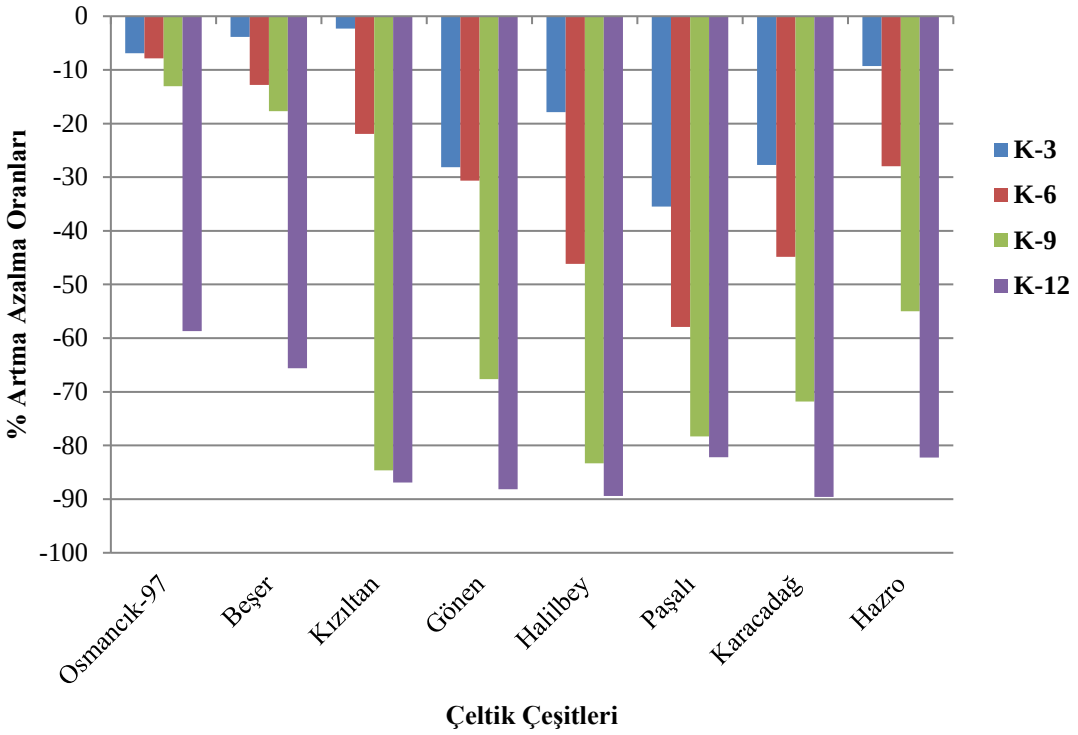
Bağıl su içeriği bakımından en çok etkilenen çeşitler, 3 günlük kuraklık süresinde dahi ani bir azalma ile strese karşı yanıt veren Karacadağ, Gönen ve Paşalı çeşitleri olmuştur. 3 gün boyunca kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerin bağıl su içerikleri kontrollerine göre sırasıyla Paşalı'da %35.4, Gönen'de %28.1, Karacadağ'da %27.7, Halilbey'de %18.7, Hazro'da %9.3, Osmancık-97'de % 6.9, Beşer'de %3.8 ve Kızıltan'da %2.3 oranında azalmıştır (Şekil 4.8.). Tüm uygulamalarda kontrole göre bağıl su içeriği bakımından en az düşüş gösteren çeşitlerin Osmancık-97 ve Beşer olduğu belirlenmiştir. Düşük sürelerde (3, 6 gün) bağıl su içeriği bakımından çok fazla etkilenmeyen Kızıltan çeşidinin ise 6. güne kadar çok fazla etkilenmediği görülmüş; ancak 9 günlük stres uygulamasından sonra ani düşüş gözlenmiştir.

Çizelge 4.6. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde yaprak bağıl su içeriği değişimleri (%)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	93.67±4.27^{a}	87.19±1.29^{b}	86.30±6.32^{b}	81.46±3.16^{c}	38.70±2.87^{d}
Beşer	93.10±2.31^{a}	89.50±6.29^{a}	81.19±7.49^{b}	76.64±4.56^{c}	32.01±3.34^{d}
Kızıltan	91.91±4.19^{a}	89.79±2.74^{a}	71.78±3.91^{b}	14.14±4.16^{c}	12.03±2.98^{c}
Gönen	89.63±8.49^{a}	64.42±2.53^{b}	62.18±4.71^{b}	29.03±3.12^{c}	10.62±1.23^{d}
Halilbey	92.16±5.48^{a}	75.69±4.06^{b}	49.62±5.12^{c}	15.38±2.77^{d}	9.76±1.80^{e}
Paşalı	81.38±4.73^{a}	52.52±6.08^{b}	34.27±4.49^{c}	17.66±1.94^{d}	14.47±1.64^{e}
Karacadağ	82.72±2.65^{a}	59.79±7.72^{b}	45.65±0.73^{c}	23.33±3.33^{d}	8.62±0.79^{e}
Hazro	89.37±2.81^{a}	81.05±7.55^{b}	64.36±6.96^{c}	40.23±3.85^{d}	15.87±2.04^{e}

*Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Tüm çeşitlerde, 12 günlük kuraklık uygulaması kendi kontrol grupları ile kıyaslandığında bağıl su içeriklerindeki düşüş oranlarının Karacadağ'da %89.5, Halilbey'de %89.4, Gönen'de %88.1, Kızıltan'da %86.9, Hazro'da %82.2, Paşalı'da %82.2, Beşer'de %65.6 ve Osmancık-97'de %58.6 olduğu bulunmuştur (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Yaprak bağıl su içeriklerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.7. Kuraklık Stresinin Ozmotik Potansiyel Üzerine Etkisi

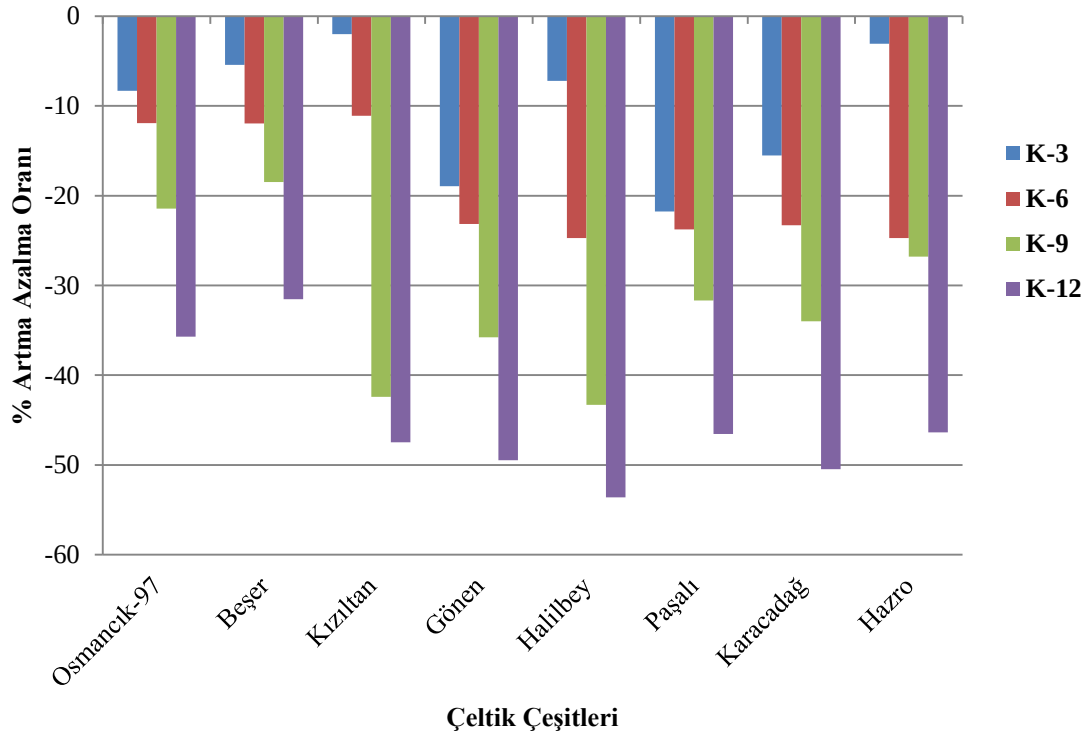
3, 6, 9 ve 12 günlük süre ile kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerin yaprak dokularındaki ozmotik potansiyel değerleri ile ilgili değişimler Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Kontrolleri ile yapılan karşılaştırmalar sonunda, çeşitlerin tümünde ozmotik potansiyel değerleri kuraklık stresiyle birlikte kontrollere göre azalmış ve meydana gelen azalmalar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Meydana gelen azalma oranları, stres süresine bağlı olarak artmış ve tüm çeşitler için en düşük ozmotik potansiyel değeri, en uzun kuraklık stresi olan 12. gün sonunda görülmüştür.

Çeşitlerin kontrollerine ait ozmotik potansiyel değerleri karşılaştırıldığında, en düşük değer -0.84 MPa ile Osmancık-97'de, en yüksek değer ise -1.03 MPa ile Karacadağ'da gözlenmiştir (Çizelge 4.7.). 12 günlük uygulama sonrası çeşitlere ait ozmotik potansiyel değerlerinde, kontrollerine göre Halilbey'de %53.6, Karacadağ'da %50.4, Gönen'de %49.4, Kızıltan'da %47.4, Paşalı'da %46.5, Hazro'da %46.3, Osmancık-97'de %35.7 ve Beşer'de %31.5 oranında azalma belirlenmiştir (Şekil 4.9.).

Çizelge 4.7. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde ozmotik potansiyel değişimleri (MPa)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	-0.84±0,07^{e}	-0.91±0.12^{d}	-0.94±0.09^{c}	-1.02±0.02^{b}	-1.14±0.05^{a}
Beşer	-0.92±0,08^{e}	-0.97±0.02^{d}	-1.03±0.04^{c}	-1.09±0.12^{b}	-1.21±0.11^{a}
Kızıltan	-0.99±0,07^{e}	-1.01±0.09^{d}	-1.10±0.08^{c}	-1.41±0.09^{b}	-1.46±0.06^{a}
Gönen	-0.95±0,03^{e}	-1.13±0.12^{d}	-1.17±0.06^{c}	-1.29±0.13^{b}	-1.42±0.03^{a}
Halilbey	-0.97±0,03^{e}	-1.04±0.04^{d}	-1.21±0.10^{c}	-1.39±0.04^{b}	-1.49±0.08^{a}
Paşalı	-1.01±0,06^{e}	-1.23±0.03^{d}	-1.25±0.07^{c}	-1.33±0.10^{b}	-1.48±0.06^{a}
Karacadağ	-1.03±0,10^{e}	-1.19±0.07^{d}	-1.27±0.08^{c}	-1.38±0.04^{b}	-1.55±0.13^{a}
Hazro	-0.97±0,07^{e}	-1.00±0.02^{d}	-1.21±0.13^{c}	-1.23±0.09^{b}	-1.42±0.08^{a}

*Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir (p≤0.05)



Şekil 4.9. Ozmotik potansiyel değerlerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.8. Kuraklık Stresinin Klorofil-a Miktarı Üzerine Etkisi

Değişik süreler ile kuraklık stresine maruz bırakılan çeltik çeşitlerinde klorofil-a miktarı ile ilgili değişimler Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Kuraklık uygulamaları ile birlikte Gönen, Halilbey ve Paşalı çeşitleri hariç diğer çeşitlerin klorofil-a miktarı kontrol grupları ile karşılaştırıldığında meydana gelen azalmanın anlamlı (p≤0.05) olduğu görülmüştür. Kontrol grubuna (0.447±0.001) göre 3 günlük uygulama sonunda,

Halilbey çeşidinin klorofil-a içeriği (0.475±0.003) hızlı bir şekilde artarken (%6.2) sonraki uygulama günlerinde (6, 9 ve 12) tekrar bir azalma meydana gelmiştir. Ancak meydana gelen azalmaya rağmen 6, 9 ve 12 günlük uygulamaların klorofil-a içerikleri kontrol grubuna kıyasla daha fazla bulunmuştur.

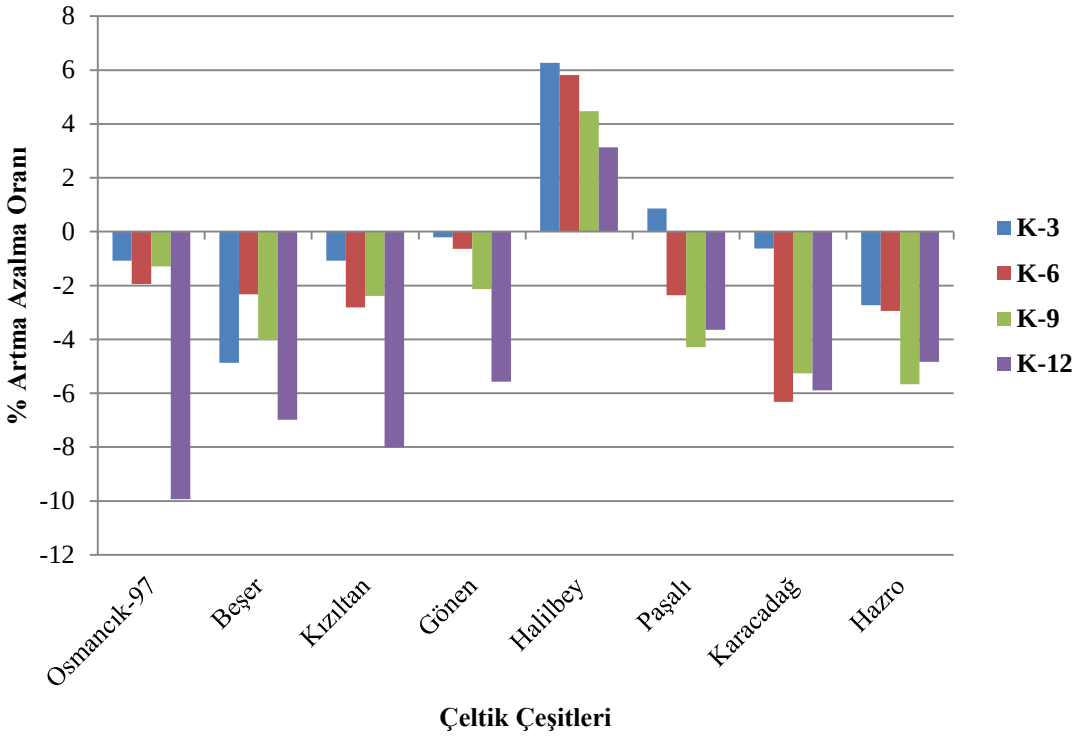
Çizelge 4.8. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde klorofil-a miktar değişimleri (mg g^{-1} TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	0.463±0.007^{a}	0.458±0.013^{a}	0.454±0.012^{a}	0.457±0.006^{a}	0.417±0.007^{b}
Beşer	0.472±0.002^{a}	0.449±0.007^{bc}	0.461±0.004^{ab}	0.453±0.005^{b}	0.439±0.006^{bc}
Kızıltan	0.462±0.014^{a}	0.457±0.012^{a}	0.449±0.006^{ab}	0.451±0.007^{ab}	0.425±0.003^{b}
Gönen	0.467±0.003^{a}	0.466±0.006^{a}	0.464±0.002^{a}	0.457±0.013^{a}	0.441±0.011^{a}
Halilbey	0.447±0.001^{d}	0.475±0.003^{a}	0.473±0.009^{ab}	0.467±0.007^{bc}	0.461±0.004^{c}
Paşalı	0.466±0.002^{a}	0.470±0.004^{a}	0.455±0.001^{a}	0.446±0.007^{a}	0.449±0.009^{a}
Karacadağ	0.475±0.007^{a}	0.472±0.004^{a}	0.445±0.003^{c}	0.450±0.006^{b}	0.447±0.004^{bc}
Hazro	0.476±0.003^{a}	0.463±0.002^{b}	0.462±0.007^{b}	0.449±0.002^{c}	0.453±0.006^{c}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Paşalı ve Gönen çeşitlerinin klorofil-a değerlerindeki azalma oranı istatistiki olarak anlamlı ($p \leq 0.05$) bulunmamıştır. 3, 6 ve 9 gün kuraklık stresine maruz bırakılan Osmancık-97 çeşidinin klorofil-a değerleri kontrolü ile benzerlik gösterirken 12 günlük uygulama kontrolden farklılık göstermiştir (Çizelge 4.8.). Genel anlamda kontrollerine göre Beşer, Kızıltan, Karacadağ ve Hazro çeşitlerinin stres faktörüne karşı klorofil-a değerlerini azaltma ile yanıt verdikleri gözlenmiştir.

Stres ile birlikte klorofil-a miktarındaki azalma, çeşit ve kuraklık stres süresine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. En düşük klorofil-a içeriği Karacadağ çeşidinde 6. gün, Hazro ve Paşalı çeşitlerinde 9. gün, geriye kalan diğer çeşitlerde ise 12. gün sonunda görülmüştür. Çeşitlerin uygulama sonrası sahip olduğu en düşük klorofil-a içeriği ile kontrolleri karşılaştırıldığında, en fazla azalma oranı Osmancık-97'de %9.9, Kızıltan'da %8, Beşer'de %6.9, Karacadağ'da %6.3, Hazro'da %5.6, Gönen'de % 5.5 ve Paşalı'da% 4.2 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Klorofil-a miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.9. Kuraklık Stresinin Klorofil-b Miktarı Üzerine Etkisi

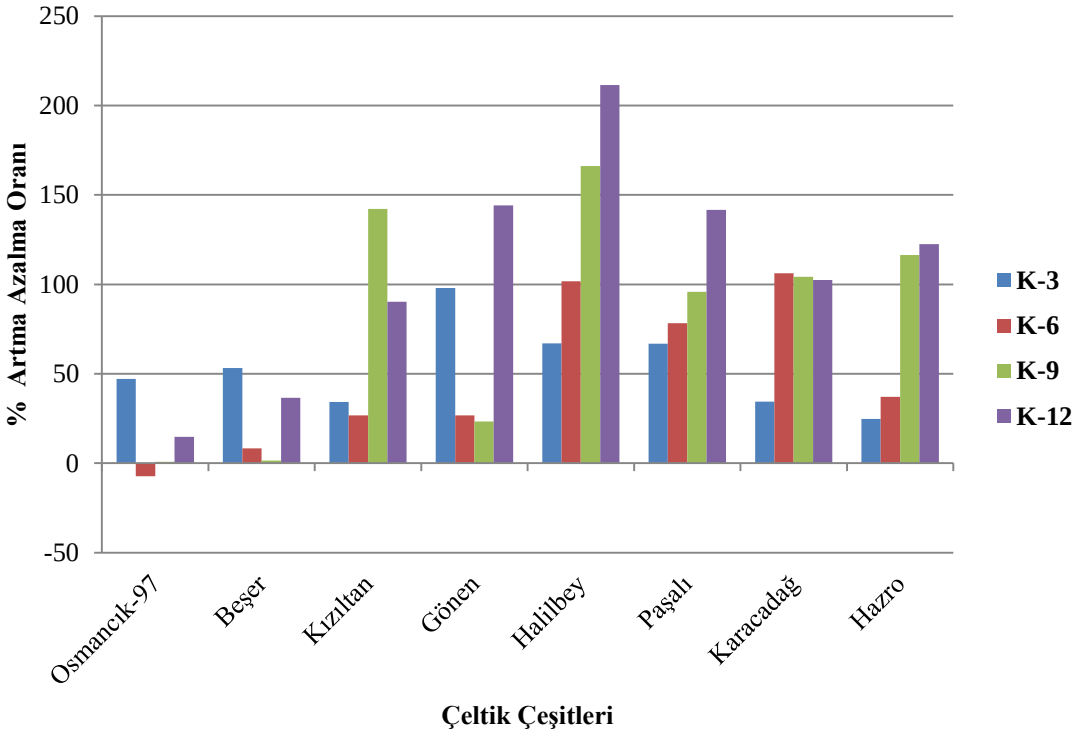
3, 6, 9 ve 12 gün süre ile kuraklık stres faktörüne maruz bırakılan çeltik çeşitlerinin klorofil-b miktarı ile ilgili değişimler Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Stres uygulamalarından sonra çeşitlerin klorofil-b değerlerine ait veriler incelendiğinde, kuraklık etkisiyle birlikte genel olarak tüm çeşitlerde klorofil-b miktarı kontrole göre anlamlı artışlar sağlamış ve kuraklık süresi uzadıkça bu artışın daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Paşalı çeşidinde stres süresi arttıkça klorofil-b içeriği paralel olarak artış göstermiş ve tüm gruplar istatistiki olarak birbirlerinden anlamlı ($p \leq 0.05$) farklılıklar göstermiştir. Osmancık-97 çeşidinde klorofil-b miktarı, 3 günlük stres uygulamasında kontrole göre anlamlı ($p \leq 0.05$) artarken diğer gruplar kontrolle benzerlik göstermiştir.

Çizelge 4.9. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde klorofil-b miktar değişimleri (mg g^{-1} TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	0.265±0.021^{b}	0.390±0.041^{a}	0.246±0.033^{b}	0.267±0.023^{b}	0.304±0.036^{b}
Beşer	0.205±0.012^{b}	0.314±0.021^{a}	0.222±0.019^{b}	0.208±0.024^{b}	0.280±0.027^{a}
Kızıltan	0.341±0.024^{d}	0.458±0.008^{c}	0.432±0.034^{c}	0.826±0.054^{a}	0.649±0.039^{b}
Gönen	0.292±0.035^{d}	0.578±0.014^{b}	0.370±0.027^{c}	0.360±0.036^{c}	0.713±0.021^{a}
Halilbey	0.225±0.013^{d}	0.376±0.034^{c}	0.454±0.052^{c}	0.599±0.033^{b}	0.701±0.027^{a}
Paşalı	0.290±0.018^{e}	0.484±0.021^{d}	0.517±0.036^{c}	0.568±0.055^{b}	0.701±0.016^{a}
Karacadağ	0.407±0.016^{c}	0.547±0.029^{b}	0.839±0.021^{a}	0.831±0.054^{a}	0.824±0.046^{a}
Hazro	0.383±0.027^{d}	0.478±0.023^{c}	0.525±0.041^{b}	0.829±0.033^{a}	0.852±0.052^{a}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)



Şekil 4.11. Klorofil-b miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

Kontrolleri ile karşılaştırıldığında Gönen, Halilbey, Paşalı ve Hazro çeşitlerinin klorofil-b miktarındaki en yüksek artış oranı 12. gün sonunda görülürken Kızıltan ve Karacadağ çeşitlerinde 9. gün, Osmancık-97 ve Beşer çeşitlerinde ise 3. günde belirlenmiştir. Klorofil-b miktarı ile ilgili sonuçlar değerlendirildiğinde, kontrole göre en yüksek artış oranları yaklaşık olarak Halilbey'de 3.1, Kızıltan'da 2.4, Gönen'de 2.4,

Paşalı'da 2.4 Hazro'da 2.2, Karacadağ'da 2.1, Beşer'de 1.5 ve Osmancık-97'de 1.5 kat olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.11.).

4.10. Kuraklık Stresinin Klorofil a/b Oranı Üzerine Etkisi

Kuraklık stres faktörü, Osmancık-97 çeşidinin 6 günlük uygulaması hariç tüm çeşitlerde klorofil a/b oranında anlamlı azalmalara neden olmuştur (Çizelge 4.10.). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en düşük klorofil a/b oranı Osmancık-97 ve Beşer çeşitleri için 3. günde, Karacadağ için 6. günde, Kızıltan için 9. günde, Halilbey, Paşalı ve Hazro çeşitlerinde ise uygulamanın 12. gününde gözlenmiştir.

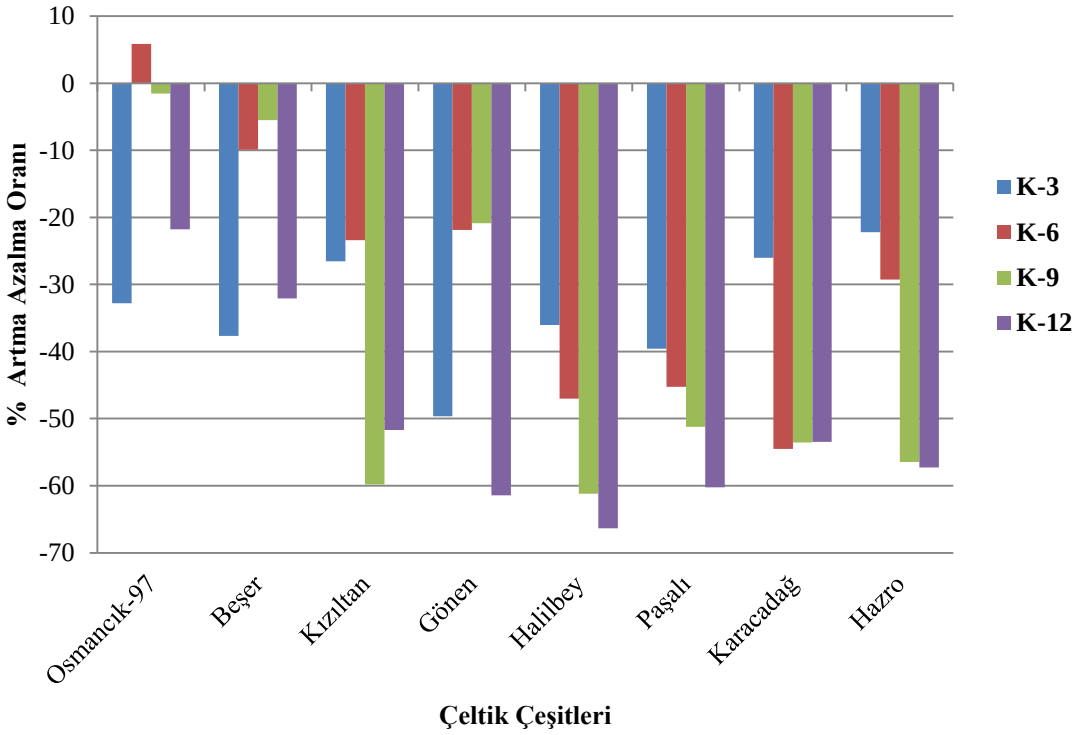
Osmancık-97 ve Beşer çeşitlerinin kontrol ve tüm uygulama gruplarından elde edilen klorofil a/b oranının, diğer çeşitlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm çeşitlerin kontrol grupları incelendiğinde en yüksek klorofil a/b oranı Beşer çeşidinde, en düşük ise Karacadağ çeşidinde gözlenmiştir.

Çizelge 4.10. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde klorofil a/b oranı

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	1.75±0.16^{ab}	1.17±0.09^{c}	1.85±0.12^{a}	1.72±0.12^{ab}	1.37±0.08^{bc}
Beşer	2.30±0.12^{a}	1.43±0.14^{b}	2.07±0.15^{a}	2.17±0.04^{a}	1.56±0.05^{b}
Kızıltan	1.35±0.08^{a}	0.99±0.05^{b}	1.04±0.06^{b}	0.54±0.04^{d}	0.65±0.04^{c}
Gönen	1.60±0.11^{a}	0.80±0.06^{c}	1.25±0.09^{b}	1.26±0.03^{b}	0.61±0.05^{d}
Halilbey	1.98±0.06^{a}	1.26±0.07^{b}	1.05±0.10^{c}	0.76±0.05^{d}	0.66±0.04^{d}
Paşalı	1.61±0.12^{a}	0.97±0.08^{b}	0.88±0.07^{bc}	0.78±0.06^{c}	0.64±0.06^{d}
Karacadağ	1.16±0.13^{a}	0.86±0.09^{b}	0.53±0.06^{c}	0.54±0.04^{c}	0.54±0.03^{c}
Hazro	1.24±0.09^{a}	0.96±0.11^{b}	0.88±0.07^{b}	0.54±0.05^{c}	0.53±0.04^{c}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Çeşitlerin kontrol grupları ile kuraklık uygulaması sonucundaki en düşük klorofil a/b oranı karşılaştırıldığında, azalma oranının Osmancık-97 'de 3. günde %33.1, Karacadağ'da 6. günde %54.3, Hazro'da 12. günde %57.2, Kızıltan'da 9. günde %60, Paşalı'da 12. günde %60.2, Beşer'de 3. günde %60.8, Gönen'de 12. günde %61.8 ve Halilbey'de 12. günde %66.6 olduğu görülmüştür (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Klorofil a/b değerlerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.11. Kuraklık Stresinin Karotenoid Miktarı Üzerine Etkisi

Çizelge 4.11.'de verilen karotenoid miktarları ile ilgili veriler incelendiğinde, kuraklık stresine karşı çeşitlerin karotenoid miktarlarında kontrollerine göre artış belirlenmiş ve genel olarak bu artışın en yüksek değerleri Kızıltan çeşidi hariç (9. gün) 12 günlük uygulamalardan alınmıştır.

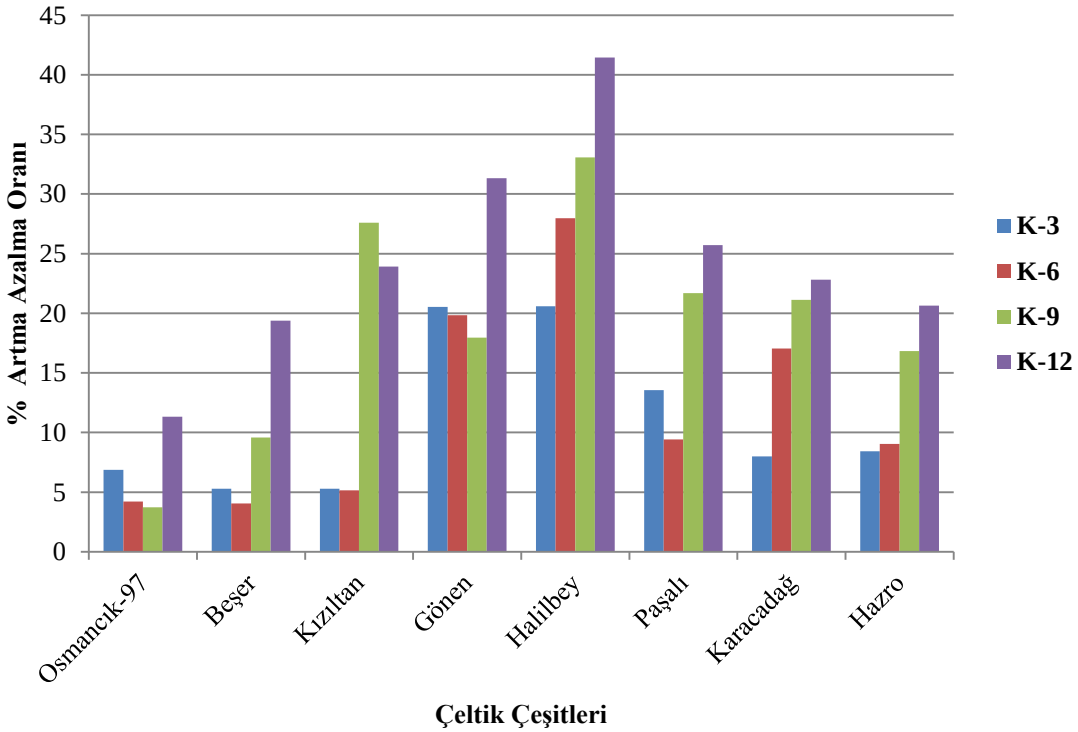
Çizelge 4.11. Kuraklık stresine maruz bırakılan çeşitlerde karotenoid miktar değişimleri (µg g^{-1} TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	8.30±0.68^{b}	8.87±0.66^{ab}	8.65±0.32^{ab}	8.61±0.17^{ab}	9.24±0.36^{a}
Beşer	8.15±0.51^{d}	8.58±0.34^{c}	8.48±0.85^{c}	8.93±0.64^{b}	9.73±0.57^{a}
Kızıltan	8.91±0.31^{b}	9.38±0.73^{b}	9.37±0.39^{b}	11.37±0.88^{a}	11.04±0.71^{a}
Gönen	8.52±0.53^{d}	10.27±0.68^{b}	10.21±0.23^{bc}	10.05±0.77^{c}	11.19±0.55^{a}
Halilbey	8.01±0.84^{e}	9.66±0.45^{d}	10.25±0.22^{c}	10.66±0.61^{b}	11.33±0.53^{a}
Paşalı	8.71±0.18^{c}	9.89±0.58^{b}	9.53±0.21^{b}	10.60±0.82^{a}	10.95±0.35^{a}
Karacadağ	9.51±0.31^{e}	10.27±0.42^{d}	11.13±0.66^{c}	11.52±0.32^{b}	11.68±0.82^{a}
Hazro	9.50±0.62^{c}	10.30±0.33^{b}	10.36±0.38^{b}	11.10±0.67^{a}	11.46±0.45^{a}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

12 günlük kuraklık uygulaması sonunda en yüksek karotenoid miktarının (11.68 µg g^{-1} TA) Karacadağ çeşidinde, en düşük karotenoid miktarının ise (9.24 µg g^{-1} TA) Osmancık-97 çeşidinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Kızıltan çeşidinin 3 ve 6 günlük uygulama grupları hariç diğer çeşitlerin tüm uygulama grupları kendi kontrollerinden anlamlı seviyede ($p \leq 0.05$) farklı bulunmuştur.

Kontrol grupları ile kuraklık uygulama gruplarına ait en yüksek karotenoid değerleri karşılaştırıldığında, sırasıyla %41.4 Halilbey'de, %31.3 Gönen'de, %27.6 Kızıltan'da, %25.7 Paşalı'da, %22.8 Karacadağ'da, %20.6 Hazro'da, %19.3 Beşer'de ve Osmancık-97 çeşidinde %11.3 oranlarında artış belirlenmiştir (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. Karotenoid miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.12. Kuraklık Stresinin Malondialdehit (MDA) Miktarı Üzerine Etkisi

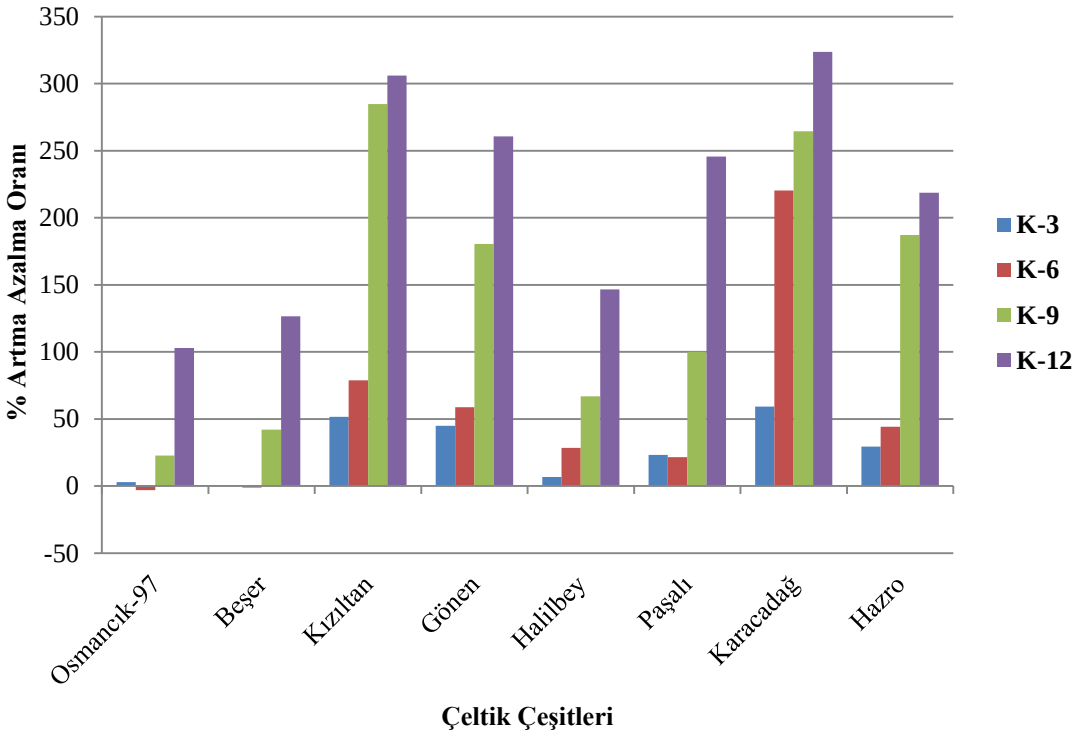
Kuraklık stres faktörüne maruz bırakılan çeşitlerde membran hasarını tespit etmek için lipit peroksidasyon sonucu oluşan MDA seviyesindeki farklılıklar Çizelge 4.12.'de gösterilmiştir. Kuraklık uygulamalarının çeltik çeşitlerinde MDA miktarında artışa yol açtığı ve hücre membranında farklı seviyelerde hasara sebep olduğu görülmüştür. Kontrol grubundaki bitkilerle karşılaştırıldığında, kuraklığa maruz kalma süresine bağlı olarak tüm çeşitlerde MDA miktarı anlamlı derecede ($p \leq 0.05$) artmış,

özellikle de 12 günlük uygulamada yer alan bitkilerdeki artış çok daha yüksek olmuştur (Çizelge 4.12.).

Çizelge 4.12. Kuraklık stresi uygulanan çeltik çeşitlerinin MDA miktarındaki değişimler (µmol g^{-1} TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	0.66±0.11^{b}	0.68±0.12^{b}	0.64±0.09^{b}	0.81±0.16^{b}	1.34±0.13^{a}
Beşer	0.83±0.15^{c}	0.83±0.05^{c}	0.82±0.11^{c}	1.18±0.09^{b}	1.88±0.05^{a}
Kızıltan	0.99±0.06^{e}	1.50±0.04^{d}	1.77±0.12^{c}	3.81±0.06^{b}	4.02±0.11^{a}
Gönen	1.07±0.09^{d}	1.55±0.04^{cd}	1.70±0.16^{c}	3.00±0.33^{b}	3.86±0.04^{a}
Halilbey	1.48±0.09^{d}	1.58±0.23^{c}	1.90±0.03^{c}	2.47±0.08^{b}	3.65±0.17^{a}
Paşalı	1.16±0.11^{c}	1.43±0.19^{c}	1.41±0.07^{c}	2.32±0.13^{b}	4.01±0.41^{a}
Karacadağ	0.93±0.08^{c}	1.48±0.12^{c}	2.98±0.34^{b}	3.39±0.05^{ab}	3.94±0.16^{a}
Hazro	1.02±0.05^{b}	1.32±0.18^{b}	1.47±0.12^{b}	2.93±0.25^{a}	3.25±0.05^{a}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir (p≤0.05)



Şekil 4.14. Malondialdehit miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

Kontrol ve çeşitler arasındaki değerlendirmeye göre, kuraklık stresi uygulamalarından (3, 6, 9 ve 12. gün) en az etkilenen çeşitler Osmancık-97 ve Beşer olurken bunun aksine kısa sürede en fazla etkilenen çeşitler ise Karacadağ, Kızıltan ve

Gönen olarak belirlenmiştir. Diğer çeşitlerle kıyaslandığında, uygulamaların 3. gününde bu çeşitlerin MDA miktarında kontrole göre ciddi bir artış gözlenmiştir.

Tüm çeşitler için 12 günlük kuraklık uygulaması kendi kontrol grupları ile karşılaştırıldığında, MDA içeriklerinin sırasıyla Karacadağ'da 4.2, Kızıltan'da 4, Gönen'de 3.6, Paşalı'da 3.4, Hazro'da 3.1, Halilbey'de 2.4, Beşer'de 2.2 ve Osmancık-97'de 2 kat arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.14.).

4.13. Tolerant ve Hassas Çeşitlerin Seçimi

Çalışmamızda, farklı sürelerde kuraklık stresine maruz kalan çeltik çeşitlerinin bağıl su içeriklerinde belirgin azalma gözlenmiş; ancak **Osmancık-97** ve **Beşer** çeşitleri bu anlamda diğer çeşitlere göre daha az etkilenmiştir. En çok etkilenen çeşitler ise **Karacadağ**, **Halilbey** ve **Gönen** olmuştur.

Doğrudan su kaybının bitkisel dokularda ozmotik potansiyelin düşmesine neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle stres altındaki bitkilerde ozmotik potansiyel değerleri su durumu hakkında fikir edinmek için ölçü olarak kullanılabilecek etkili bir parametredir. 12 günlük kuraklık stresi uygulaması sonrasında, **Halilbey**, **Karacadağ** ve **Gönen** çeşitlerinin kendi kontrol gruplarına göre en düşük ozmotik potansiyel değerine sahip oldukları, buna karşın en yüksek ozmotik potasiyel değerine sahip çeşitler ise **Osmancık-97** ve **Beşer** olarak belirlenmiştir.

Farklı stres faktörleri altındaki bitkilerin savunma sisteminde rol alan karotenoidlerin tolerans derecesine göre artış sağladığı bilinmektedir. Sonuçlarımıza göre **Osmancık-97** ve **Beşer** çeşitlerinde kuraklık uygulaması sonucunda karotenoid miktarı diğer çeşitlere oranla daha az olmuştur. Bu çeşitlerde karotenoid miktarının az olması, uygulanan kuraklık stresinden daha az etkilendiklerini düşündürmektedir.

Doymamış yağ asitlerinin yıkılmasıyla oluşan MDA miktarının belirlenmesi, hücresel membranda meydana gelen zararın derecesi hakkında fikir vermektedir. Stres faktörlerine karşı MDA miktarında meydana gelen artış veya azalma bitkinin hassas ya da tolerant olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Araştırmamızda, çeltik çeşitleri arasında en düşük MDA miktarı **Osmancık-97** ve **Beşer** çeşidinde ölçülmüştür. Bunun yanı sıra kontrole göre **Karacadağ**, **Kızıltan** ve **Gönen** çeşitlerinde MDA

miktarındaki yüksek artış oranı, bu çeşitlerin kuraklıktan daha fazla etkilendiklerini göstermektedir.

Araştırmamızda elde edilen verilere göre, kök uzunluğu bakımından en az artış oranının **Osmancık-97** ve **Beşer** çeşidinde olduğu, ayrıca taze ağırlık bakımından yine en yüksek değere sahip oldukları, kuru ağırlık bakımından da biyomaslarında (biyokütle) diğer çeşitlerin aksine artış olduğu belirlenmiştir. Tüm bunlara ilaveten 0-5 görsel skala değerlendirmesine göre en düşük puanı almış olmaları bu çeşitlerin kuraklığa karşı diğer çeşitlerden daha toleranslı olduğu fikrini vermektedir. Bununla birlikte taze-kuru ağırlık ve 0-5 görsel skala verilerine göre **Karacadağ** çeltik çeşidinin diğer çeltik çeşitlerine göre kuraklık stresinden daha fazla etkilendiği belirlenmiştir.

Tüm parametreler birlikte değerlendirildiğinde, kuraklık stresine tolerant çeltik çeşitlerinin **Osmancık-97** ve **Beşer**; hassas çeşitlerin ise **Gönen** ve **Karacadağ** olduğu sonucuna varılmıştır. Bu aşamadan sonra yapılan analizler, sadece tolerant ve hassas olarak belirtilen çeltik çeşitlerinde yapılmıştır.

4.14. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Prolin Miktarı

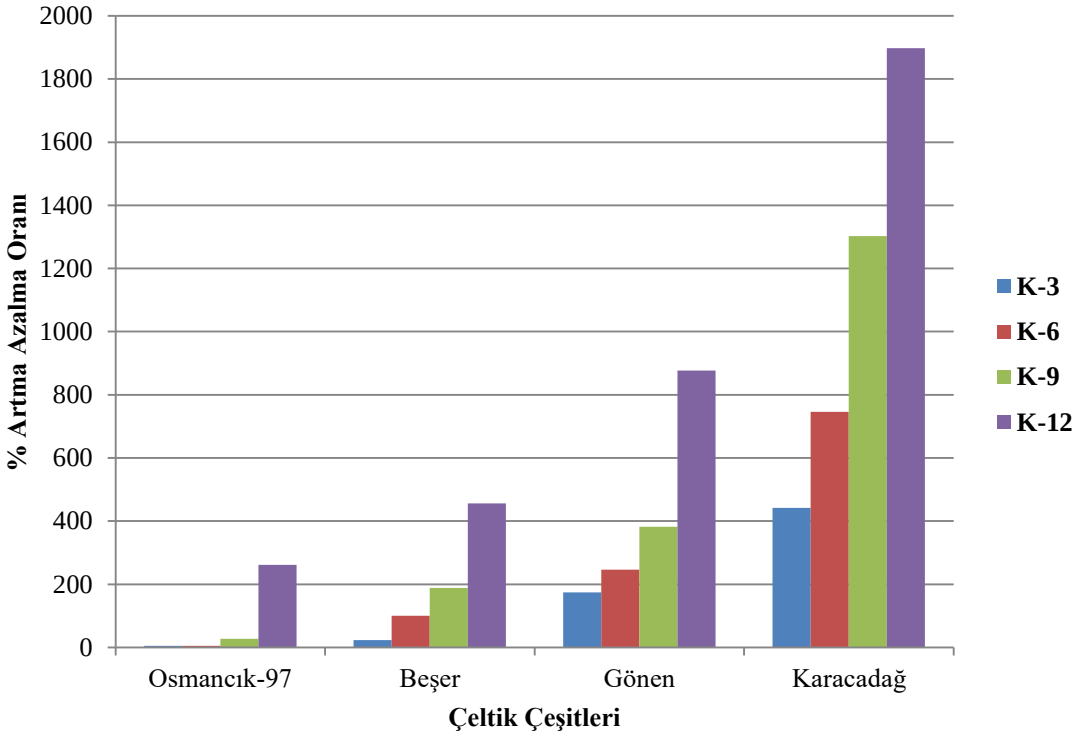
Kuraklık uygulaması sonrasında tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinin prolin miktarındaki değişimlerine ilişkin elde ettiğimiz bulgular Çizelge 4.13.'te gösterilmiştir. Kuraklığa tolerant olarak nitelendirilen Osmancık-97 ve Beşer çeşitlerinin prolin miktarındaki artış oranı hassas çeşitlerden (Gönen ve Karacadağ) daha az olmuştur. Osmancık-97 çeşidinde 9 ve 12 günlük uygulamalar birbirlerinden ve kontrol grubundan anlamlı seviyede ($p \leq 0.05$) farklılık göstermiştir. Beşer, Gönen ve Karacadağ çeşitlerinde istatistiki olarak, tüm stres uygulama grupları birbirlerinden ve kontrol grubundan anlamlı seviyede farklılık göstermiştir. Hassas çeşitler olan Karacadağ ve Gönen çeşitlerinde en hafif kuraklık stresi olan 3 günlük uygulamada, prolin miktarındaki artış kontrole göre oldukça yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.13.).

12 günlük kuraklık uygulaması için tüm çeşitler kendi kontrol grupları ile karşılaştırıldığında, prolin miktarı Karacadağ'da 19.9, Gönen'de 9.7, Beşer'de 5.5 ve Osmancık-97 çeşidinde ise 3.6 kat arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.15.). Elde edilen verilere göre kuraklıktan en az etkilenen çeşidin Osmancık-97, en fazla etkilenen çeşidin ise Karacadağ olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.13. Tolerant-hassas çeşitlerde prolin miktar değişimleri (mmol g^{-1} TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	0.44±0.11^{c}	0.46±0.08^{c}	0.46±0.06^{c}	0.56±0.09^{b}	1.59±0.21^{a}
Beşer	0.43±0.05^{e}	0.53±0.08^{d}	0.86±0.07^{c}	1.24±0.16^{b}	2.39±0.14^{a}
Gönen	0.74±0.04^{e}	2.03±0.14^{d}	2.56±0.27^{c}	3.57±0.11^{b}	7.23±0.32^{a}
Karacadağ	0.41±0.07^{e}	2.22±0.18^{d}	3.47±0.14^{c}	5.75±0.35^{b}	8.19±0.19^{a}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)



Şekil 4.15. Prolin miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.15. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Toplam Çözünebilir Karbohidrat Miktarı

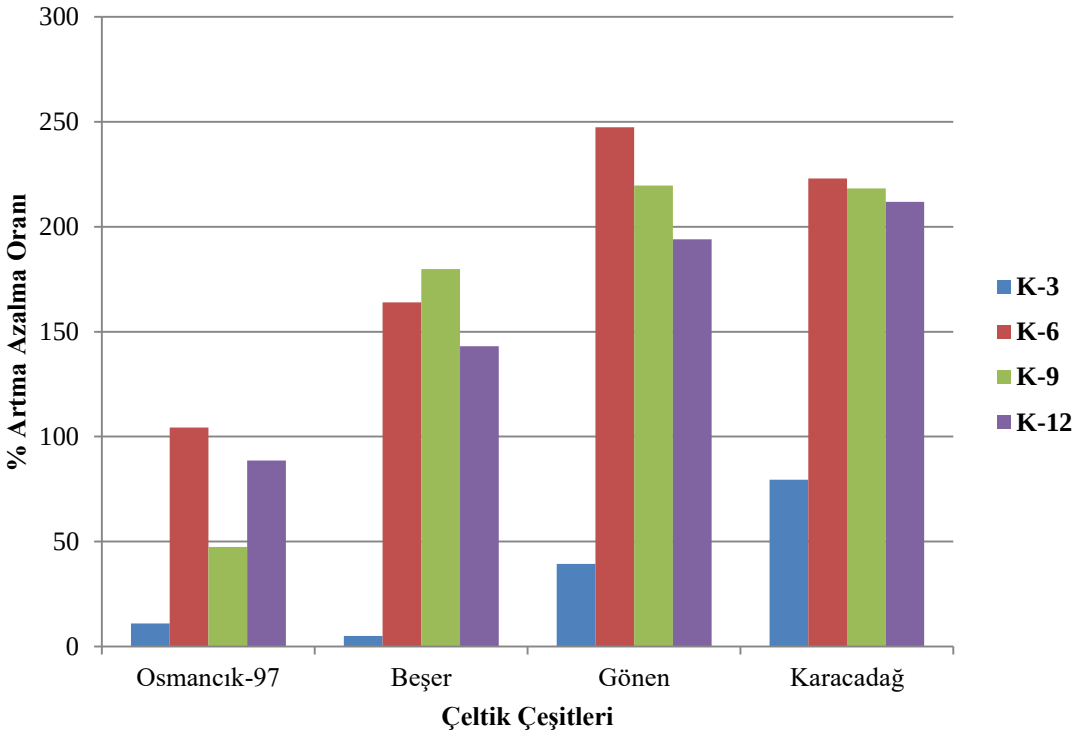
3, 6, 9 ve 12 günlük süreler ile kuraklık stresine maruz bırakılan tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinin toplam çözünebilir karbohidrat içeriklerindeki değişim değerleri Çizelge 4.14.'de görülmektedir. Tüm çeşitlere ait toplam çözünebilir karbohidrat içeriği, kuraklık uygulamalarına bağlı olarak artış göstermiştir. Osmancık-97, Gönen ve Karacadağ çeşitlerinde, en yüksek karbohidrat miktarı uygulamanın 6. günü, Beşer çeşidinde ise 9. gününde gözlenmiştir. 3 günlük kuraklık uygulaması sadece Karacadağ çeşidinde kontrole göre anlamlı farklılık gösterirken diğer çeşitlerde kontrolle benzerlik göstermiştir.

Çizelge 4.14. Tolerant-hassas çeşitlerde toplam çözünebilir karbohidrat miktar değişimleri (mg g^{-1} KA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	2.74±0,25^{c}	3.04±0.10^{c}	5.60±0.91^{a}	4.04±0.16^{b}	5.17±0.53^{a}
Beşer	2.39±0,28^{c}	2.51±0.13^{c}	6.31±0.48^{ab}	6.69±0.38^{a}	5.81±0.41^{b}
Gönen	2.49±0,18^{b}	3.47±0.50^{b}	8.65±0.43^{a}	7.96±1.14^{a}	7.32±0.94^{a}
Karacadağ	4.04±0,61^{c}	7.25±0.65^{b}	13.05±0.22^{a}	12.86±1.29^{a}	12.60±0.23^{a}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Çeşitlerin kontrol grupları ile en yüksek toplam çözünebilir karbohidrat içeriği karşılaştırıldığında, artış oranının Gönen'de 3.5, Karacadağ'da 3.2, Beşer'de 2.8 ve Osmancık-97'de 2 kat olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.16.). Toplam çözünebilir karbohidrat miktarının kontrole göre artış oranı bakımından, kuraklıktan en az etkilenen çeşidin Osmancık-97, en çok etkilenen çeşidin ise Gönen olduğu görülmüştür.



Şekil 4.16. Toplam çözünebilir karbohidrat miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.16. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Hidrojen Peroksit (H_2O_2) Miktarı

3, 6, 9 ve 12 gün boyunca kuraklık stresine maruz bırakılan dört çeşide ait H_2O_2 içerikleri ile ilgili değişimler Çizelge 4.15.'de verilmiştir. H_2O_2 içeriği, genel olarak tüm çeşitlerde kontrole göre anlamlı ($p \leq 0.05$) artışlar göstermiş ve kuraklık süresi uzadıkça artış daha fazla olmuştur.

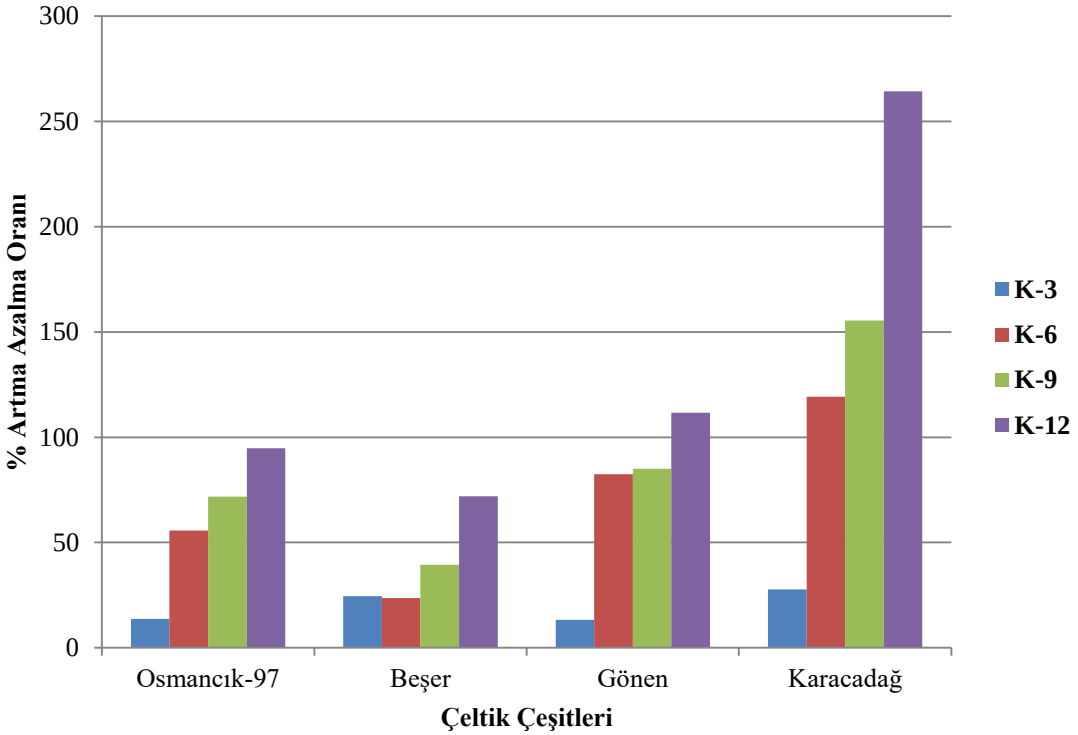
Osmancık-97 ve Karacadağ çeşidi için tüm uygulamalar ve kontrol grubu istatistiki olarak birbirinden farklılık göstermiştir. Beşer çeşidinde tüm uygulamalar kontrole göre farklılık gösterirken 3 ve 6 günlük uygulamaların kendi aralarında benzer olduğu görülmüştür. Gönen çeşidinde ise kontrol ile 3, 6 ile 9 günlük uygulamalar kendi arasında benzerlik gösterirken 12 günlük uygulama grubu diğer tüm gruplardan farklılık göstermiştir.

Çizelge 4.15. Tolerant-hassas çeşitlerde H_2O_2 miktar değişimleri (µmol g^{-1} TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	9.29±0.69^{e}	10.56±1.63^{d}	14.47±1.91^{c}	15.96±0.97^{b}	18.09±1.45^{a}
Beşer	29.98±1.32^{d}	37.34±2.05^{c}	37.05±0.80^{c}	41.82±3.49^{b}	51.54±2.11^{a}
Gönen	42.74±2.89^{c}	41.36±1.43^{c}	63.37±1.03^{b}	64.29±2.52^{b}	73.55±3.40^{a}
Karacadağ	20.96±1.26^{e}	26.77±2.63^{d}	45.96±3.28^{c}	53.55±2.20^{b}	76.36±1.34^{a}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Çeşitlerin kontrol grupları ile 12 günlük uygulama grubundaki H_2O_2 içeriği karşılaştırıldığında, artış oranının yaklaşık olarak Karacadağ'da 3.6, Osmancık-97'de 1.9, Beşer'de 1.7 ve Gönen'de 1.7 kat olduğu görülmüştür (Şekil 4.17.). H_2O_2 içeriği bakımından kuraklıktan en az etkilenen çeşidin Beşer ve Gönen, en çok etkilenen çeşidin ise Karacadağ olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.17. H_2O_2 miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.17. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Toplam Çözünebilir Protein Miktarı

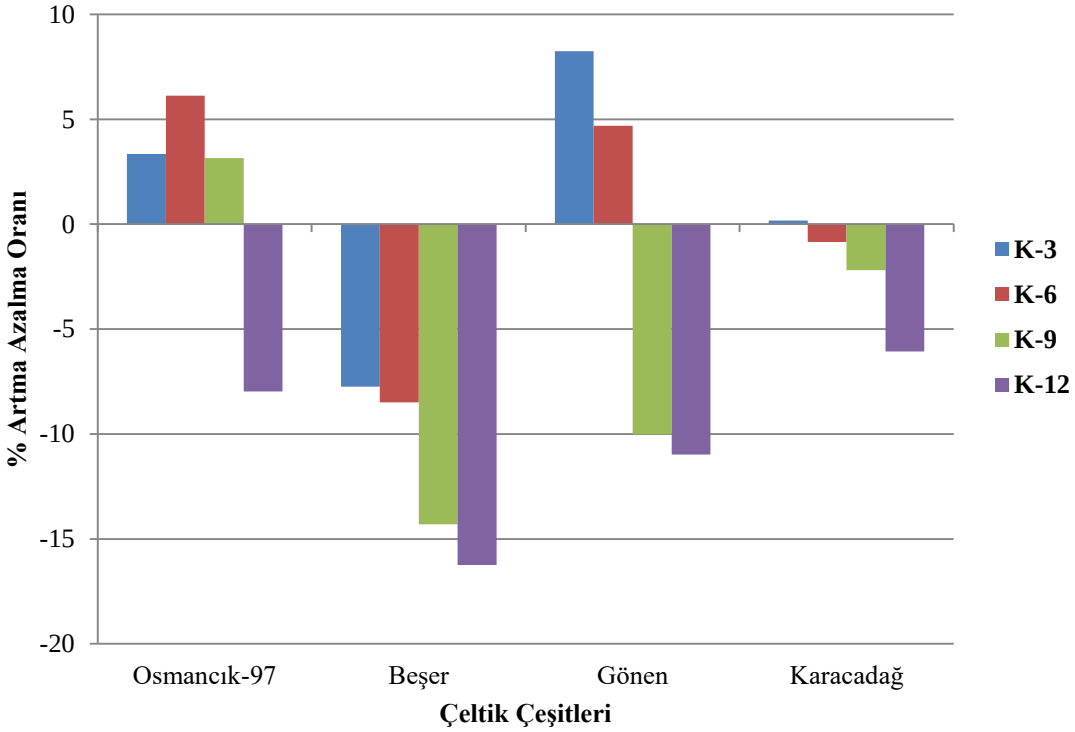
Farklı sürelerde uygulanan kuraklık stres faktörüne karşı tolerant ve hassas olarak seçilen çeltik çeşitlerinin toplam çözünebilir protein içeriklerine ait değişim değerleri Çizelge 4.16.'da verilmiştir. Elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde, 3 günlük uygulamanın Osmancık-97, Gönen ve Karacadağ çeşitlerine ait toplam çözünebilir protein içeriğini kontrole göre arttırdığı, 9 ve 12 günlük uygulamaların ise azalttığı gözlenmiştir. Beşer çeşidinde ise tüm uygulama gruplarında kontrole göre azalmanın yanı sıra kuraklık süresi arttıkça toplam çözünebilir protein içeriğindeki azalma daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.16.).

Çizelge 4.16. Tolerant-hassas çeşitlerde toplam çözünebilir protein miktar değişimleri (mg g^{-1} TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	5.39±0.36^{b}	5.57±0.18^{ab}	5.72±0.59^{a}	5.56±0.16^{ab}	4.96±0.12^{c}
Beşer	6.71±0.21^{a}	6.19±0.19^{b}	6.14±0.51^{b}	5.75±0.25^{c}	5.62±0.14^{c}
Gönen	6.19±0.18^{b}	6.70±0.85^{a}	6.48±0.24^{ab}	5.57±0.62^{c}	5.51±0.35^{c}
Karacadağ	5.94±0.29^{ab}	5.95±0.67^{a}	5.89±0.35^{ab}	5.81±0.53^{ab}	5.58±0.76^{b}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Tüm çeşitlere ait en düşük toplam çözünebilir protein değerleri 12 günlük uygulama grubunda görülmüştür. Çeşitlerin kontrol grupları ile 12 günlük kuraklık uygulaması sonucundaki toplam çözünebilir protein içeriği karşılaştırıldığında, Beşer'de %16.2, Gönen'de %10.9, Osmancık-97'de %7.9 ve Karacadağ çeşidinde ise %6 oranında azalma gözlenmiştir (Şekil 4.18.).



Şekil 4.18. Toplam çözünebilir protein miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.18. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) Enzim Aktivitesi

Kuraklık uygulamalarına karşı tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinde katalaz enzim aktivitesinin değişimlerine ilişkin elde ettiğimiz bulgular Çizelge 4.17.'de verilmiştir. Çeşitler arasındaki enzim aktivite değerlerinin, uygulama süresi ve çeşitlere göre önemli ($p \leq 0.05$) farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir.

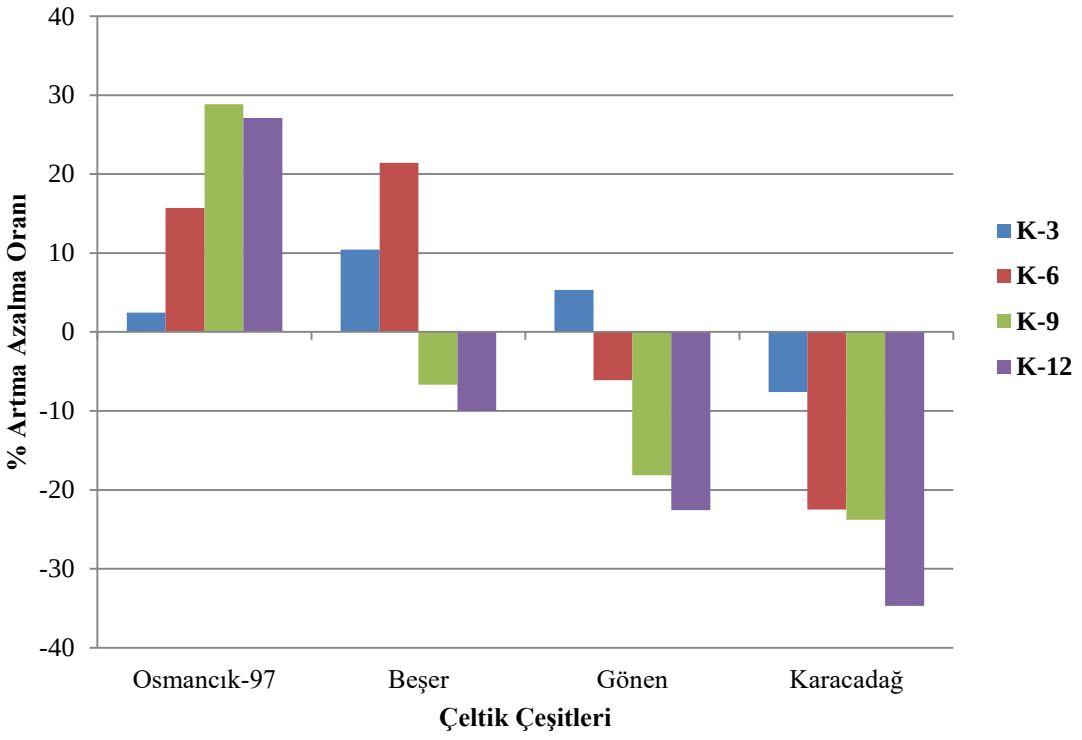
Osmancık-97 çeşidi için kontrole göre katalaz aktivitesinde kuraklık süresi ile paralel bir artış gözlenirken 12. gün sonunda kendinden önceki uygulamaya göre azalma meydana gelmiştir. Beşer çeşidinde ise 3 ve 6 günlük uygulamalarda enzim aktivitesi kontrole göre artarken 9 ve 12 günlük uygulamalar azalmaya yol açmıştır. Gönen çeşidinde 6, 9 ve 12 günlük uygulamalar aktivitenin azalmasıyla sonuçlanmıştır.

Çizelge 4.17. Tolerant-hassas çeşitlerde katalaz enzim aktivitesi (U mg^{-1} protein TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	8.60±0.41^{e}	8.81±0.58^{d}	9.95±1.07^{c}	11.08±0.52^{a}	10.93±0.75^{b}
Beşer	7.19±0.26^{c}	7.94±0.32^{b}	8.73±0.53^{a}	6.71±0.47^{d}	6.47±0.28^{e}
Gönen	6.56±0.53^{b}	6.91±0.36^{a}	6.16±1.15^{c}	5.37±0.41^{d}	5.08±0.74^{e}
Karacadağ	6.31±0.62^{a}	5.83±0.11^{b}	4.89±0.18^{c}	4.81±0.35^{d}	4.12±0.62^{e}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Karacadağ çeşidinde ise tüm stres gruplarındaki katalaz enzim aktivitesi, kontrole göre anlamlı seviyede azalmış ve bu azalma oranı kuraklığın süresi arttıkça daha şiddetli olmuştur. Kuraklık uygulaması sonrası, Osmancık-97'de 9. günde %28.8, Beşer'de 6. günde %21.4 ve Gönen'de 3. gün sonunda %5.3 artış oranı görülmüştür. Kontrollerine göre en yüksek azalma oranlarının 12. günde Karacadağ'da %34.7, Gönen'de %22.5 ve Beşer'de %10 olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.19.).



Şekil 4.19. Katalaz enzim aktivitelerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.19. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Askorbat Peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11) Enzim Aktivitesi

Tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinin, kuraklık uygulaması sonucu askorbat peroksidaz enzim aktivitesindeki değişimlerine ilişkin elde ettiğimiz bulgular Çizelge 4.18.'de verilmiştir. Enzim aktivite değerleri genel olarak incelendiğinde, tüm çeşitlerde enzim aktivitelerinin kontrole göre anlamlı seviyede ($p \leq 0.05$) arttığı görülmüştür.

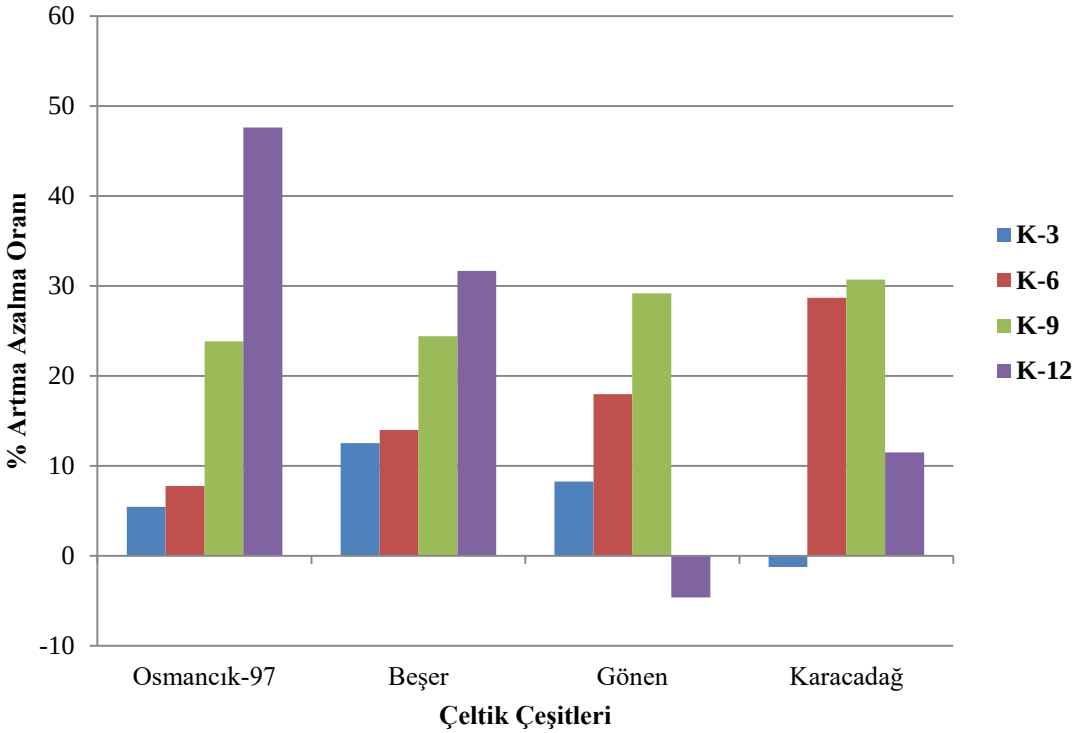
Osmancık-97 ve Beşer çeşidinde askorbat peroksidaz enziminin aktivitesi, tüm stres gruplarında kontrole göre anlamlı ($p \leq 0.05$) artış göstermiştir. Gönen çeşidinde 3, 6 ve 9 günlük kuraklık uygulamalarının APX enzim aktivitesinde, kontrole göre istatistiki olarak anlamlı artış sağladığı görülmektedir (Çizelge 4.18.). Karacadağ çeşidinde, 3 günlük uygulama ve kontrol grubu benzerlik gösterirken 6, 9 ve 12 günlük uygulama sonrası enzim aktivitesi kontrole göre artış göstermiştir. Ancak 12. gün sonundaki aktivite değeri 6 ve 9 günlük uygulamaya göre daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.18. Tolerant-hassas çeşitlerde askorbat peroksidaz enzim aktivitesi (U mg^{-1} protein TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	89.11±5.52^{e}	93.96±2.29^{d}	96.04±7.61^{c}	110.35±3.24^{b}	131.54±4.18^{a}
Beşer	86.25±3.59^{e}	97.05±4.63^{d}	98.32±8.52^{c}	107.30±3.37^{b}	113.57±7.78^{a}
Gönen	67.79±3.78^{d}	73.40±2.56^{c}	79.97±7.23^{b}	87.57±5.43^{a}	64.65±8.51^{e}
Karacadağ	60.12±7.13^{d}	59.38±5.12^{d}	77.37±4.48^{b}	78.59±8.67^{a}	67.03±2.45^{c}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Çeşitlerin kontrol grupları ile kuraklık uygulaması sonucundaki en yüksek askorbat peroksidaz enzim aktivitesi karşılaştırıldığında, artış oranının Osmancık-97'de 12. günde %47.7, Beşer'de 12. günde %31.6, Karacadağ'da 9. günde %30.7 ve Gönen'de 9. Günde %29.1 olduğu görülmüştür. Kontrollerine göre azalma oranları ise sadece Gönen'de %4.6 ile 12. günde ve Karacadağ'da %1.2 ile 3. günde tespit edilmiştir (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. Askorbat peroksidaz enzim aktivitelerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.20. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Glutatyon Redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) Enzim Aktivitesi

Tolerant ve hassas olarak seçilen çeltik çeşitlerinin, kuraklık uygulaması sonucu glutatyon redüktaz enzim aktivitesindeki değişimler Çizelge 4.19.'da verilmiştir. Çeşitler arasındaki GR enzim aktivite değerlerinin, uygulama süresi ve çeşitlere göre önemli ($p \leq 0.05$) farklılıklar ve değişkenlik gösterdiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.19. Tolerant-hassas çeşitlerde glutatyon redüktaz enzim aktivitesi (U mg^{-1} protein TA)*

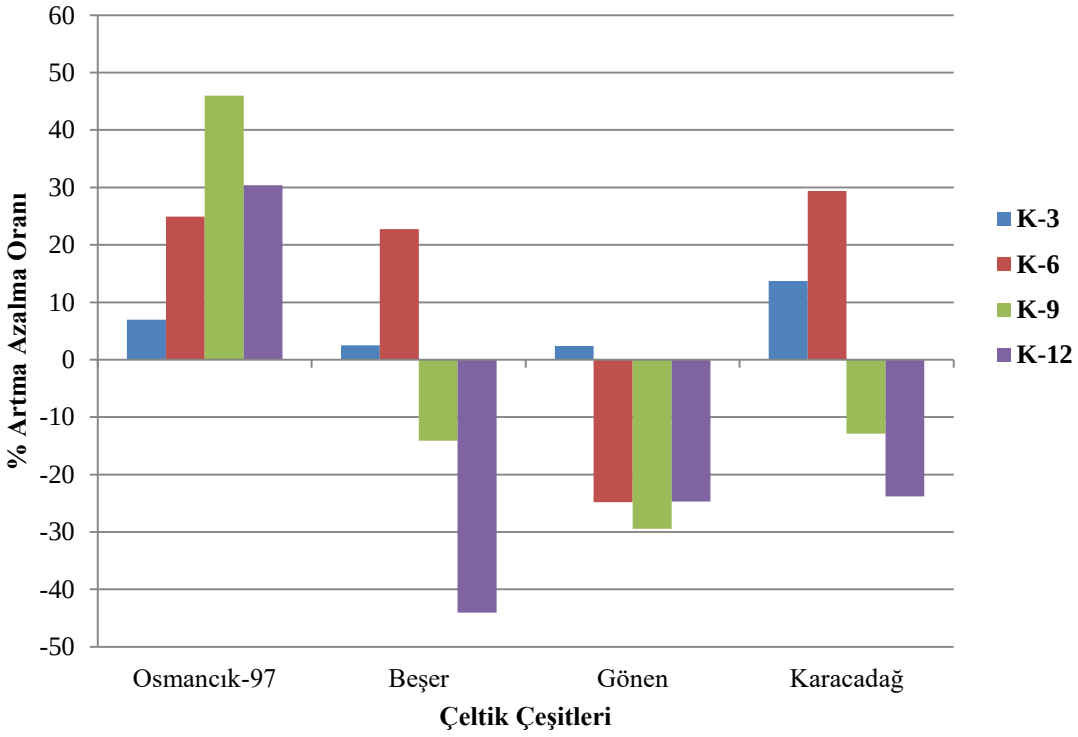
Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	150.81±8.75^{c}	161.27±2.96^{c}	188.40±9.12^{b}	220.18±4.08^{a}	196.64±7.52^{b}
Beşer	128.19±5.97^{c}	131.39±4.12^{b}	157.32±8.91^{a}	110.12±6.26^{d}	71.70±9.61^{e}
Gönen	176.36±7.04^{b}	180.60±11.61^{a}	132.57±6.68^{c}	124.47±7.48^{d}	132.74±9.32^{c}
Karacadağ	109.05±3.14^{c}	124.13±10.42^{b}	141.19±3.51^{a}	95.06±6.89^{d}	83.15±6.26^{e}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Osmancık-97 çeşidinde GR enzim aktivitesi, 12 günlük uygulama hariç 3, 6 ve 9 günlük uygulamalarda kuraklık süresi ile paralel bir artış göstermiştir. Beşer ve

Karacadağ çeşidinde, GR enzim aktivitesi kısa süreli stres (3 ve 6 gün) uygulamasında kontrole göre artış göstermiş; ancak 9 ve 12. günde değerlerde azalma gözlenmiştir. Gönen çeşidinde ise 3 günlük uygulama hariç diğer uygulamalar, kontrole göre GR enzim aktivitesinde azalmaya neden olmuştur (Çizelge 4.19.).

Kuraklık uygulaması sonrası kontrol gruplarına göre en yüksek APX aktivite artış oranı, Osmancık-97'de 9. günde %45.9, Karacadağ'da 6. günde %29.4, Beşer'de 6. günde %22.7, ve Gönen'de 3. günde %2.4 olarak belirlenmiştir. Buna karşın azalma oranı Beşer'de 12. günde %44, Gönen'de 9. günde %29.4, Karacadağ'da 12. günde %23.7 olarak bulunmuştur (Şekil 4.21.).



Şekil 4.21. Glutatyon redüktaz enzim aktivitelerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.21. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Süperoksit Dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) Enzim Aktivitesi

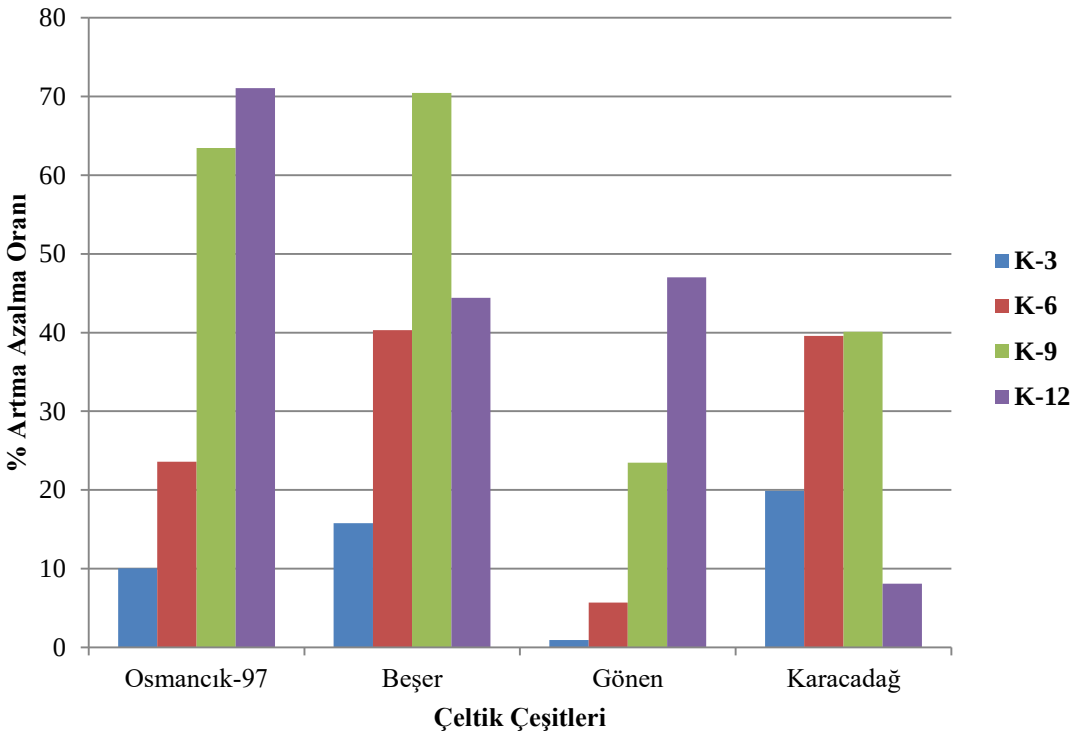
Tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinin, kuraklık uygulaması sonucu süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesindeki değişimlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.20.'de verilmiştir. SOD enzim aktivite değerleri genel olarak incelendiğinde, tüm çeşitlerin enzim aktivitelerinde kontrole göre anlamlı seviyede ($p \leq 0.05$) arttığı görülmüştür.

Çizelge 4.20. Tolerant-hassas çeşitlerde süperoksit dismutaz enzim aktivitesi (U mg^{-1} protein TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	19.15±1.10^{e}	21.07±1.56^{d}	23.67±2.26^{c}	31.30±0.95^{b}	32.76±1.11^{a}
Beşer	21.08±1.14^{e}	24.41±3.42^{d}	29.58±0.87^{c}	35.93±1.29^{a}	30.44±1.63^{b}
Gönen	16.37±0.91^{d}	16.52±1.73^{d}	17.30±1.12^{c}	20.21±2.64^{b}	24.07±1.48^{a}
Karacadağ	17.81±1.24^{d}	21.35±1.85^{b}	24.86±0.94^{a}	24.95±3.15^{a}	19.25±2.36^{c}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Osmancık-97 çeşidinde SOD enzim aktivitesinin, kuraklık süresine paralel olarak arttığı ve en yüksek aktivitenin 12. gün sonunda olduğu görülmüştür. Beşer çeşidinde enzim aktivitesi, 9 günlük uygulamaya kadar sürekli artış göstermiş; ancak 12. gün sonundaki aktivite değeri 9 günlük uygulamaya göre daha düşük bulunmuştur. 6, 9 ve 12 günlük uygulama sonrası Gönen çeşidinde enzim aktivitesi kontrole göre artış göstermiş ve bu artışın, kuraklık süresi arttıkça daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Karacadağ çeşidinde ise SOD enzim aktivite değerleri 9. gün sonunda en yüksek değer olarak kaydedilmiş; ancak istatistiki açıdan 6 ve 9 günlük kuraklık uygulamalarının sonuçları benzerlik göstermiştir (Çizelge 4.20.).



Şekil 4.22. Süperoksit dismutaz enzim aktivitelerinin kontrole (K) göre % artma azalma oranları

Çeşitlerin kontrol grupları ile kuraklık uygulaması sonucundaki en yüksek SOD enzim aktivitesi karşılaştırıldığında, artış oranının Osmancık-97'de %71, Beşer'de %70, Gönen'de %47 ve Karacadağ'da %40 olduğu görülmüştür (Şekil 4.22.).

4.22. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Absisik Asit (ABA) Hormon Miktarı

Farklı sürelerde kuraklık stresine maruz bırakılan tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinin absisik asit (ABA) hormon miktarındaki değişimlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.21.'de verilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, tüm çeşitlerin uygulama gruplarındaki hormon miktarının kontrollerine göre anlamlı seviyede ($p \leq 0.05$) arttığı gözlenmiştir.

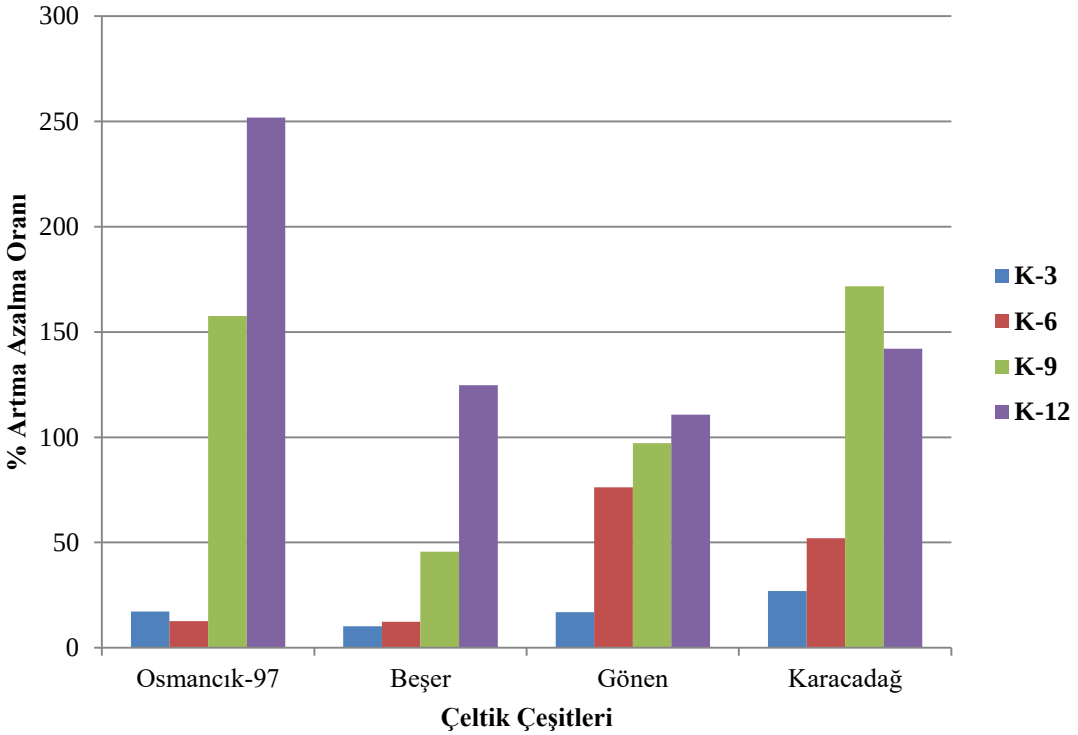
Osmancık-97 çeşidine ait ABA miktarında, 9 ve 12 günlük uygulamada istatistiksel olarak anlamlı artışlar gözlenmiş ve Beşer çeşidinde ise 12 günlük uygulama sonunda ABA miktarı en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Tüm stres uygulamalarında, Karacadağ ve Gönen çeşidine ait ABA değerlerinde kontrole göre bir artış izlenmiş, aynı zamanda istatistiki olarak tüm gruplar birbirlerinden farklı bulunmuştur. Karacadağ ve Gönen için stres uygulama süreleri karşılaştırıldığında, en yüksek hormon içeriğinin Gönen çeşidi için 12, Karacadağ çeşidi için 9 günlük uygulama sonrası olduğu görülmüştür (Çizelge 4.21.).

Çizelge 4.21. Tolerant-hassas çeşitlerde absisik asit hormon miktar değişimleri (ng g^{-1} TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	2.45 ± 0.12^{c}	2.87 ± 0.25^{c}	2.76 ± 0.15^{c}	6.31 ± 0.28^{b}	8.62 ± 0.56^{a}
Beşer	2.34 ± 0.27^{d}	2.58 ± 0.35^{c}	2.63 ± 0.23^{c}	3.41 ± 0.18^{b}	5.26 ± 0.67^{a}
Gönen	1.77 ± 0.16^{e}	2.07 ± 0.15^{d}	3.12 ± 0.23^{c}	3.49 ± 0.12^{b}	3.73 ± 0.32^{a}
Karacadağ	1.52 ± 0.09^{e}	1.93 ± 0.14^{d}	2.31 ± 0.09^{c}	4.13 ± 0.18^{a}	3.68 ± 0.34^{b}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Çeşitlerin kontrol grupları ile kuraklık uygulaması sonucundaki en yüksek ABA hormon içeriği karşılaştırıldığında, artış oranının Osmancık-97'de 3.5, Karacadağ'da 2.7, Beşer'de 2.2 ve Gönen'de 2.1 kat olduğu görülmüştür (Şekil 4.23.).



Şekil 4.23. Absisik asit miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.23. Tolerant-Hassas Çeşitlerde İndol Asetik Asit (IAA) Hormon Miktarı

Kuraklık stresi uygulamalarına maruz bırakılan tolerant ve hassas çeşitlere ait indol asetik asit (IAA) hormon miktarındaki değişimlere ilişkin bulgular Çizelge 4.22.'de verilmiştir. Çeşitlerde IAA hormon miktarı genel olarak incelendiğinde, Gönen ve Osmancık-97 çeşidinin iki parametresi (3 ve 6 gün) ile Karacadağ'ın bir parametresi (3 gün) hariç, geriye kalan tüm uygulama gruplarında hormon miktarının kontrole göre anlamlı seviyede ($p \leq 0.05$) azaldığı gözlenmiştir.

IAA hormonu içeriği bakımından Osmancık-97 ve Gönen çeşitlerinin, kuraklık uygulamalarına karşı verdikleri tepkiler benzerlik göstermiştir. Her iki çeşide ait hormon miktarı, kısa süreli stres (3 ve 6 gün) uygulamasında kontrolle benzerlik gösterirken uzun süreli stres (9 ve 12 gün) durumunda ise bitkilere ait IAA içeriğinde azalma meydana gelmiştir. Beşer çeşidinde, tüm uygulamalarda kontrole göre anlamlı azalmalar meydana gelmiş ve en düşük hormon içeriği 9. gün sonunda bulunmuştur (Çizelge 4.22.). Stres uygulamalarından sonra Karacadağ çeltiği kendi kontrol grubu ile kıyaslandığında, kontrol ile 3 günlük uygulama, 6 ile 9 günlük uygulama kendi

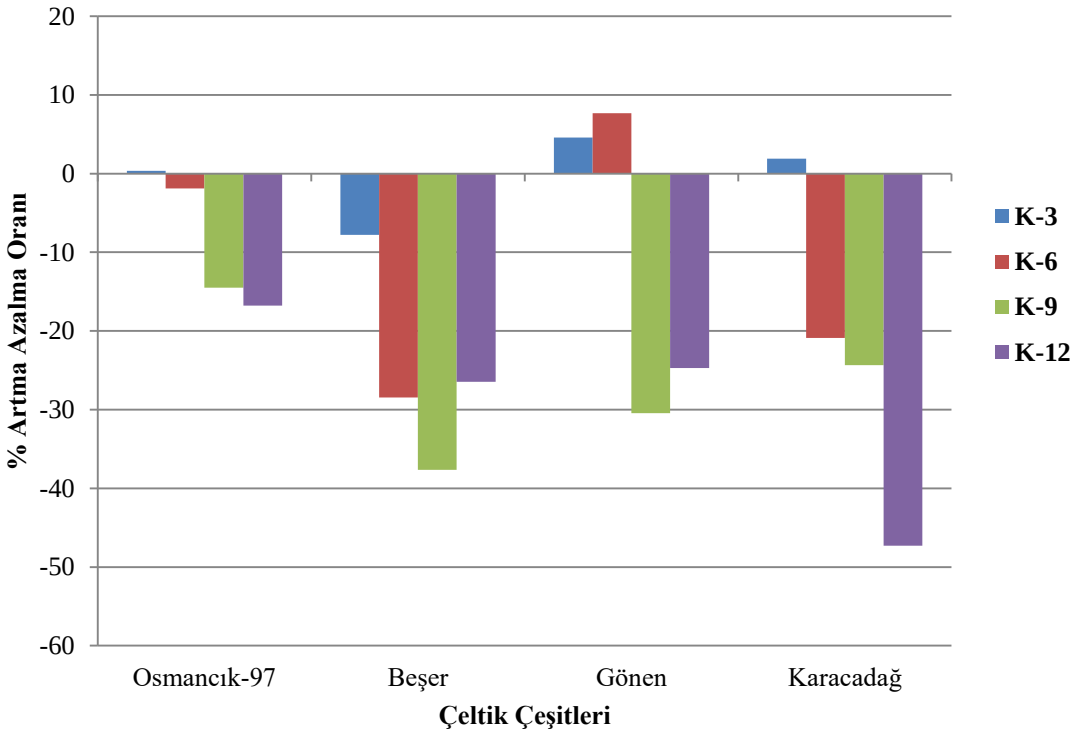
aralarında benzerlik gösterirken 12 günlük uygulamanın tüm gruplara göre farklı olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.22. Tolerant-hassas çeşitlerde indol asetik asit hormon miktar değişimleri (ng g^{-1} TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	17.12±0.25^{a}	17.18±0.85^{a}	16.80±0.43^{a}	14.64±1.18^{b}	14.25±0.55^{b}
Beşer	15.28±1.32^{a}	14.09±1.77^{b}	10.93±0.64^{c}	9.53±0.89^{d}	11.24±1.13^{c}
Gönen	19.14±1.18^{a}	20.02±0.64^{a}	20.61±1.28^{a}	13.31±1.24^{b}	14.41±0.51^{b}
Karacadağ	14.80±0.42^{a}	15.08±0.91^{a}	11.71±0.54^{b}	11.20±1.17^{b}	7.80±0.50^{c}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Çeşitlerin kontrol grupları ile kuraklık uygulaması sonucundaki en düşük IAA hormon içeriği karşılaştırıldığında, azalma oranının Karacadağ'da 12. günde %47.2, Beşer'de 9. günde %37.6, Gönen'de 9. günde %30.4 ve Osmancık-97'de 12. günde %16.7 olduğu görülmüştür (Şekil 4.24.).



Şekil 4.24. İndol asetik asit miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

4.24. Tolerant-Hassas Çeşitlerde Zeatin Ribozid (ZR) Hormon Miktarı

Tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinin, kuraklık uygulaması sonucu zeatin ribozid hormon miktarındaki değişimlerine ilişkin elde ettiğimiz bulgular Çizelge 4.23.'de verilmiştir. Zeatin ribozid hormon miktarı genel olarak incelendiğinde, Osmancık-97, Beşer ve Gönen çeşidinin 3 günlük uygulaması hariç geriye kalan tüm uygulama gruplarında, hormon miktarı kontrole göre anlamlı seviyede ($p \leq 0.05$) azalmış ve tüm çeşitler için en düşük ZR miktarı 12 günlük uygulama sonrasında gözlenmiştir.

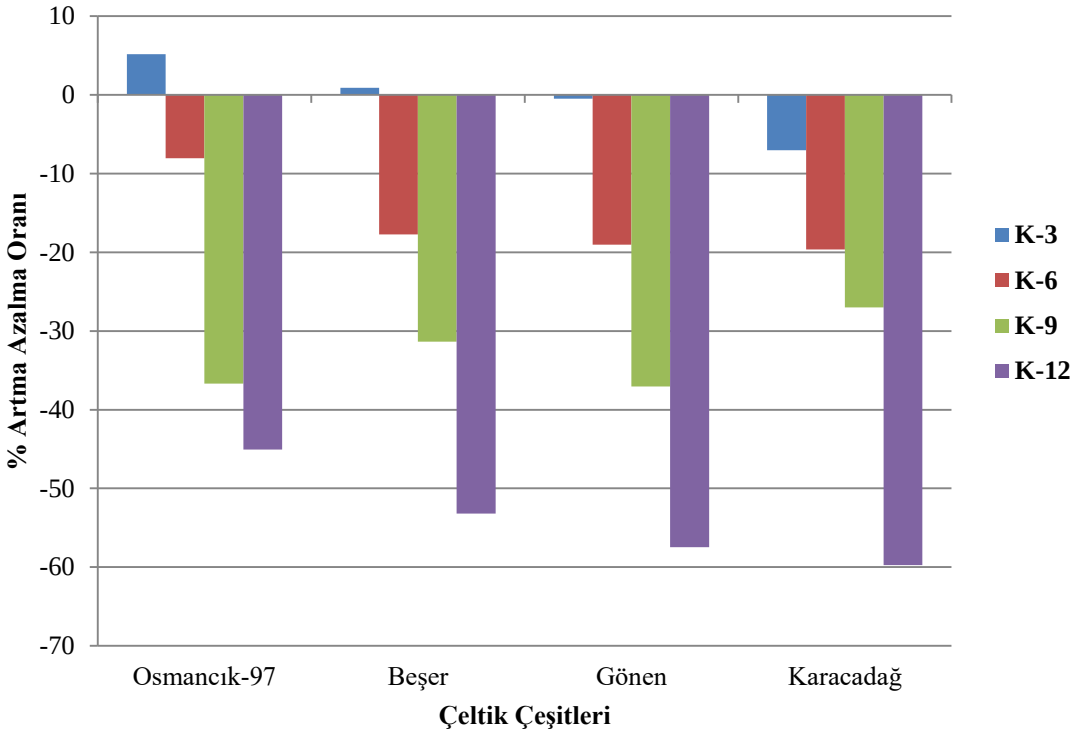
Çizelge 4.23. Tolerant-hassas çeşitlerde zeatin ribozid hormon miktar değişimleri (ng g^{-1} TA)*

Çeşitler	Kontrol	3 gün	6 gün	9 gün	12 gün
Osmancık-97	17.26±1.12^{b}	18.15±0.82^{a}	15.87±0.61^{c}	10.93±0.87^{d}	9.48±0.42^{e}
Beşer	15.19±1.22^{a}	15.33±0.91^{a}	12.50±1.05^{b}	10.43±0.34^{c}	7.11±0.73^{d}
Gönen	14.39±0.85^{a}	14.32±0.61^{a}	11.65±1.03^{b}	9.06±0.85^{c}	6.12±0.57^{d}
Karacadağ	12.07±1.13^{a}	11.22±0.96^{b}	9.70±0.65^{c}	8.81±0.55^{d}	4.86±.038^{e}

* Tüm değerler Ortalama ± Standart Sapma olarak verilmiştir. Aynı satırdaki farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p \leq 0.05$)

Osmancık-97 çeşidinde, ZR hormon miktarı 3 günlük uygulamada kontrole göre artarken 6, 9 ve 12 günlük uygulama gruplarında ise azalmaya neden olmuştur. Beşer ve Gönen çeşitlerinde, 3 günlük uygulama sonrası hormon miktarı istatistiksel olarak kontrolle benzerlik gösterirken diğer uygulamalarda kontrole göre azalma görülmüştür. Meydana gelen azalma miktarı kuraklığın süresi uzadıkça daha fazla olmuştur. Karacadağ çeltiğinde ise tüm uygulamalar sonucunda elde edilen hormon miktarı kontrole göre azalma gösterirken diğer çeşitlere benzer olarak kuraklığın süresi uzadıkça azalma daha fazla olmuştur (Çizelge 4.23.).

Çeşitlerin kontrol grupları ile en düşük ZR hormon miktarının görüldüğü 12 günlük uygulama sonuçları karşılaştırıldığında, azalma oranı Osmancık-97'de %45.1, Beşer'de %53.2, Gönen'de %57.4, Karacadağ'da %59.7 olarak bulunmuştur. Kontrollerine göre artma oranı ise sadece Osmancık-97'de (%5.1) ve Beşer'de (%0.9) 3 günlük kuraklık uygulamasında görülmüştür (Şekil 4.25.).



Şekil 4.25. Zeatin ribozid miktarlarının kontrole (K) göre % artma azalma oranları

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. Tüm Çeşitlerde Yapılan Analizlerin Değerlendirilmesi

Kuraklık, gelecek yıllarda tarımsal ürünler üzerinde baskı oluşturacak en önemli çevresel stres olarak öngörülmektedir (Lu ve ark. 2017). Nüfus artışı, tarımın çevre koruma konusundaki sorumluluğu ve iklim değişikliği gibi nedenlerden ötürü tarımsal üretim üzerindeki baskının daha fazla artacağı tahmin edilmektedir. 2020 yılına kadar küresel nüfusun yaklaşık üçte birinin su kıtlığı olan bölgelerde yaşayacağı, özellikle tarımda su kullanımının giderek kısıtlanacağı tahmininin yanı sıra yetersiz veya yağışların sağanak şeklinde olması, kuraklık ve sıcaklık dalgalanmalarının daha şiddetli hale gelerek mahsul gelişim ve verimini ciddi oranda etkileyeceği düşünülmektedir (Silva ve ark. 2012). Özellikle iklim değişikliğinden etkilenen ve yağışın sınırlı olduğu bölgelerde, uygun tarım sistemi ve ürün çeşidinin seçilmesi kuraklıkla mücadelede önemli bir adaptasyon stratejisi olabileceği düşünülmektedir (Thomas ve ark. 2007).

Bitkiler yaşamları boyunca birçok stres faktörü ile karşılaşırlar ve bu stres faktörlerinin bitkiler üzerindeki etkileri, oldukça yıkıcı ve tahrip edici olabilmektedir. Çevresel faktörlerden olan kuraklık, bitki büyümesini sınırlayan, verim miktarını ve kalitesini düşüren en önemli abiyotik stres faktörlerindendir (Riccardi ve ark. 2016). Küresel ölçekte tarım yapılan bölgelerin birçoğu kuraklık tehdidi ile ilgili ciddi sorunlarla karşı karşıyadır. Bu durum sürdürülebilir tarım için, su kullanımında verimli olan çeşitlerin seçimi gibi alternatiflerin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir (Silva ve ark. 2012). Kuraklığa dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ve tanımlanmasına ihtiyaç duyulması nedeniyle, kuraklığa dayanıklı bitkilerin su eksikliği koşulları altında büyüme ve gelişimindeki işleyiş kapasitesinin anlaşılması kaçınılmazdır (Bhardwaj ve Yadav 2012).

Literatür araştırmasından elde ettiğimiz bilgilerden yola çıkarak bitkiler için önemli bir stres faktörü olan kuraklığın, bazı çeltik çeşitleri üzerindeki etkisini ve bu çeşitlerin kuraklığa tolerant/hassas derecesini belirlemeyi hedefledik. Bu amaçla, çalışmamızda çeşitler farklı süreler ile kuraklık stresine maruz bırakılmış ve uygulama sonrası kuraklığın çeltik çeşitleri üzerindeki etkisi çeşitli parametreler açısından değerlendirilmiştir. Bazı fizyolojik ve biyokimyasal analizler sonucunda, çeşitler arasından stres koşullarına karşı farklı yanıt veren iki tolerant (Osmancık-97 ve Beşer),

iki hassas (Gönen ve Karacadağ) çeşit seçilmiştir. Bu çeşitlerin ozmolit birikimi, antioksidan savunma sistemi ve bitkisel hormon içerikleri karşılaştırılarak, hassas ya da tolerant olmalarını sağlayan mekanizmalar araştırılmıştır.

Bitkiler farklı stres ortamlarında, dokularındaki su kaybını tolere edebilmek veya su kaybını azaltmak için fizyolojik, morfolojik ve metabolik değişiklikler gösterirler (Anami ve ark. 2009). Morfolojik değişikliklerin en açık örneği, kurak şartlarda toprakta bulunan suyu daha etkili bir şekilde kullanabilmek için, bitkilerin kök gelişimlerini hızlandırması ve kökün gövdeye oranının artmasıdır (Verslues ve ark. 2006, Çırak ve Esendal 2006). Çalışmamızda, kök büyümesi üzerinde 3 günlük uygulamanın önemli derecede etkili olmadığı; ancak kuraklık şiddetindeki artışa bağlı olarak 3. günden sonraki uygulamalarda tüm çeşitlerde, kök büyümesinin anlamlı derecede arttığı gözlenmiştir. Tüm çeşitlerde en uzun kök boyu, 12 günlük uygulama gruplarında görülmüştür. Özellikle Kızıltan ve Gönen çeşidinde 12. günde kök büyümesinde kontrole göre %40'ın üzerinde bir artış görülürken kontrole göre en düşük kök büyüme oranı (%20.8) ise Osmancık-97 çeşidinde ölçülmüştür. Araştırma sonuçlarımıza göre çeltik çeşitlerindeki kök boyu artışlarının, bitkilerin toprağın derinliklerinde bulunan suya ulaşma ve bu suyun etkili bir şekilde kullanılabilmesi için meydana geldiği düşünülmektedir. Türkan ve ark. (2005), kuraklığa hassas *Phaseolus vulgaris* ile dayanıklı *Phaseolus acutifolius* çeşitlerinin kuraklık stres faktörüne karşı değişimlerini inceleyerek tolerant çeşitte kök uzunluğunun arttığını, hassas çeşitte ise bir miktar artış olduğu; ancak bu artış oranının anlamlı olmadığını bildirmişlerdir. Vijayalakshmi ve Nagarajan (1994), yaptıkları çalışmada kuraklığa toleransı olan çeltik genotiplerinin daha fazla kök oluşturduğunu ve hassas olan genotiplere göre kök yayılımının yoğun bir şekilde gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Kato ve ark. (2007), altı farklı çeltik genotipinde, Werner ve ark. (2010), transgenik tütün bitkisinde su eksikliği durumlarında kök uzunluğunun arttığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda tüm çeşitlerde kök uzunluğunun kuraklık stresi etkisi ile artması, daha önce yapılan ilgili çalışmaların sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Bitkilerin kuraklık stresine verdiği en önemli yanıtlardan bir diğeri ise büyüme hızındaki değişimdir. Sürekli ya da geçici su eksikliği, bitki büyümesini diğer çevresel stres faktörlerinden daha fazla engellemektedir. Araştırmamızda Beşer, Halilbey, Karacadağ ve Hazro çeşitlerinin kontrol grupları ile uygulama grupları arasında sürgün

boyu bakımından anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir. Kızıltan ve Gönen çeşitlerinde ise kontrole göre kuraklık uygulamalarında sürgün boyunda azalma olduğu görülmüştür. Kuraklık stresinin büyüme üzerindeki etkisine ilişkin bulgularımız, diğer çalışmalarla paralellik göstermektedir. Normal koşullarda gelişimini sürdüren bitkilerin büyümesi, hücre bölünmesi, hücre genişlemesi ve turgor basıncının varlığı altında gerçekleşmektedir. Yaptığımız çalışmada kuraklık uygulaması sonucu meydana gelen su kayıpları, turgorun yeterli bir şekilde oluşmamasına, bitki büyüme ve gelişiminde rol alan oksin ve sitokinin hormon miktarlarının düşmesine neden olduğundan bitki büyümesinin olumsuz yönde etkilendiği düşünülmektedir. Kuraklık stresinin buğday bitkisine etkisinin araştırıldığı çalışmada su eksikliğinin buğday sürgün boyunda azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Abdalla ve El-Khoshiban 2007). Patates, soya fasulyesi gibi bitkilerde sürgün boyunun kurak stresinden etkilenerek kontrol bitkilerine oranla %25 oranında azaldığı görülmüştür (Shao ve ark. 2008). Ayrıca Mundalia ve ark. (2015), farklı *Cucumis* türlerinde; Ammar ve ark. (2015), bakla bitkisinde; Ghane ve ark. (2012), *Guizotia abyssinica* bitkisinde kuraklık uygulaması sonucu sürgün boyunda azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Bitkilerde yaprak boyutu, hücre bölünmesi ve genişlemesinde azalma, kök uzama ve çoğalması kuraklığın etkilediği en temel sonuçlardandır (Li ve ark. 2009, Farooq ve ark. 2009). Bitkilerde stresin etkisiyle yaprak boyutu ve hücre bölünmesindeki azalmanın, beraberinde yaprak taze ve kuru ağırlığında azalmaya neden olabileceği bildirilmiştir (Bertamini ve ark. 2006). Bu kapsamda, kuraklık stresi uyguladığımız çeltik çeşitlerinin yaprak taze ağırlığına ilişkin deneysel bulgularımıza göre tüm çeltik çeşitlerinde taze ağırlığın kendi kontrollerine göre azaldığı belirlenmiştir. Bitki bünyesinin yaklaşık %80-95'lik kısmını su oluşturduğundan meydana gelen su kayıpları, doğrudan bitkilerin taze ağırlıklarında düşüşe yol açmaktadır. Bu nedenle araştırmamızda kuraklık uygulaması sonrası bağıl su içerikleri incelendiğinde, taze ağırlık miktarında meydana gelen azalmaların su kaybı ile ilişkili olduğunu söylemek mümkündür. Kuru ağırlık bakımından ise Osmancık-97, Gönen, Halilbey ve Paşalı çeşitlerinde kontrollerine göre istatistiksel açıdan anlamlı bir değişiklik bulunmamıştır. Karacadağ, Hazro ve Kızıltan çeşitlerinin kuru ağırlık değerleri kontrole göre azalırken sadece Beşer çeşidinde artış görülmüştür. Bitkilerdeki biyokütle artışı organik madde sentezi ile ilgili yani fotosentez kapasitesiyle ilişkilidir.

Stres koşullarında stomaların kapanması, gaz alış verişinin engellenmesi ve bununla bağlantılı olarak fotosentez kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, stres koşullarında gelişimini sürdüren çeltik çeşitlerinin fotosentez kapasitelerinde meydana gelen sınırlamanın, bitki kuru ağırlık miktarında azalmaya neden olduğu düşünülmektedir. Elde ettiğimiz araştırma sonuçları ile benzer şekilde, kuraklık etkisinin taze ve kuru ağırlık miktarında azalmalara neden olduğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Yin ve ark. 2005, Fazeli ve ark. 2007, Khoyerdi ve ark. 2016). *Catharanthus roseus*'un iki varyetesine kuraklık stresi uygulanması sonrası, uygulama bitkilerinin taze ve kuru ağırlık miktarı kontrole göre önemli ölçüde azalmıştır (Jaleel ve ark. 2008). Bir başka çalışmada PEG ile oluşturulan kuraklık stresi sonrası Yonca bitkisinde kuru ağırlık değerleri ölçülmüş ve kuraklığın etkisiyle kontrole göre kök, sürgün ve toplam kuru ağırlık miktarlarında azalma meydana gelmiştir (Mouradi ve ark. 2016). Bununla birlikte kuraklık stresinin farklı bitki türlerinde kuru madde birikimine neden olduğunu gösteren çalışmalarda mevcuttur (Türkan ve ark. 2005).

Morfolojik değişiklikler, bitkilerdeki temel görünür değişiklikler olup su stresi ile bitkilerde yaprak yüzey alanının azalması, kök sisteminin daha güçlü büyümesi, yaşlanma ve yaprakların düşmesi gibi özelliklerle kendisini gösterir. Ayrıca, yaprak kıvrılması (Kadıoğlu ve Terzi 2007), nekrozis (Cavatte ve ark. 2012) ve klorozis (Parlanti ve ark. 2011) gibi görsel olarak kolaylıkla tespit edilebilen morfolojik değişimlerde stres altındaki bitkilerde tespit edilmiştir. Uygulamalardan sonra çeşitler için yaptığımız 0-5 görsel skala değerlendirmesine göre, kuraklık stresi tüm çeşitlerde farklı düzeylerde morfolojik hasarlara yol açmış ve stres süresi arttıkça bitkilerin olumsuz yönde etkilenme derecesi daha fazla olmuştur. Morfolojik olarak en az hasar Osmancık-97 ve Beşer, en çok hasar ise Karacadağ ve Paşalı çeşidinde görülmüştür. Elde ettiğimiz sonuçlarla benzerlik gösteren çalışmada farklı kavun genotiplerine uygulanan kuraklık stresi sonrası yaprak hasarını ölçmek amacıyla 0-5 görsel skala değerlendirmesi yapılmış ve genotiplerde kuraklık etkisiyle meydana gelen hasarın, stres süresi uzadıkça daha şiddetli olduğu bildirilmiştir (Kuşvuran ve Abak 2012, Kıran ve ark. 2014).

Bitkiler, su eksikliği durumunda ortamdaki mevcut sudan maksimum düzeyde yararlanmanın yanı sıra hücrelerinde var olan suyu muhafaza etmeye yönelik bir dizi fizyolojik ve biyokimyasal tepkiler verirler. Bunlardan bazıları, stoma iletkenliğinin

düşürülmesine bağlı olarak stomaların kapanması ve transpirasyon oranında azalma, fotosistemin fotokimyasal etkinliğinde düşüş, yaprakta düşük su potansiyeli ve su içeriğinin azalması ile çeşitli ozmolitlerin sentezinde artış olarak sayılabilir (Paula ve ark. 2012). Birçok araştırmacı (Tambussi ve ark. 2002, Hu ve ark. 2010, Zhang ve ark. 2010) yaptıkları çalışmalar ile kuraklık faktörünün bitkilerde bağıl su içeriğinin azalmasına neden olduğunu bildirmiştir.

Araştırmacılar kuraklık stresine maruz bırakılan iki tolerant (IR ve LC) ve iki hassas (NB ve TP) çeltik çeşidini su içerikleri bakımından incelemişler ve hassas çeşitlere göre tolerantların su içeriklerinde daha az değişim olduğu sonucunu bildirmişlerdir (Degenkolbe ve ark. 2009). Benzer şekilde diğer bir çalışmada ise kuraklık stresi şartlarında buğday bitkisinde toplam su potansiyel oranının azaldığı ve bu azalmanın kuraklık süresi uzadıkça daha da şiddetli olduğu rapor edilmiştir (Vendruscolo ve ark. 2007). Önceki çalışmalarda araştırmacıların belirttiği sonuçlar ile uyumlu bulunan bulgularımıza göre, kuraklık stresi etkisiyle çeltik çeşitlerinin tümünde bağıl su içeriği değerleri kontrollerine göre önemli derecede düşük bulunmuş ve ayrıca stres süresi uzadıkça değerlerdeki azalmanın daha fazla olduğu belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre stres uygulaması sonrası ölçülen en yüksek bağıl su içeriği Osmancık-97'de, en düşük değer ise Karacadağ çeşidinde bulunmuştur.

Uygulamalar sonrası çeşitlerde -0.84 ile -1.55 MPa arasında değişkenlik gösteren ozmotik potansiyel değerleri kontrolleri ile karşılaştırıldığında, en yüksek ozmotik potansiyel değeri Osmancık-97 çeşidinde görülürken en düşük değer ise Karacadağ çeşidinde tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarımıza göre strese maruz kalmış çeltik çeşitlerinin tamamında ozmotik potansiyel değeri, kontrol gruplarına göre azalmış ve tüm çeşitler için en düşük ozmotik potansiyel değeri 12. gün sonunda ölçülmüştür. Bu değerler kontrolleri ile karşılaştırıldığında, azalma oranlarının büyükten küçüğe doğru sırasıyla Halilbey, Karacadağ, Gönen, Kızıltan, Paşalı, Hazro, Osmancık-97 ve Beşer şeklinde olduğu görülmüştür. Deeba ve ark. (2012), kuraklık stresi sonrası pamuk bitkisinin ozmotik potansiyelinde düşüş olduğunu ve kuraklığın etkisi arttıkça bitkilerin bu değerlerinde azalma oranının daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Bağıl su içeriği ve ozmotik potansiyel değeri, bitkisel dokularda doğrudan su durumunu ifade eden parametreler olduğundan, bitkilerin kuraklığa maruz kaldığı ortamda ozmotik potansiyel ve bağıl su içeriğinin azalması olağan bir durumdur. Aynı şekilde kuraklık

stresi sonrası buğday (Siddique ve ark. 2000) ve çeltik (Chu ve ark. 2014) bitkilerinde ozmotik potansiyelin düştüğünü rapor eden araştırmacıların sonuçları ile araştırma sonuçlarımız paralellik göstermektedir.

Fotosentetik pigmentler olan klorofil a ve b, ışık enerjisini yakalayıp fotosistemlere yönelterek fotosentez mekanizmasında merkezi bir rol oynamaktadır. Kuraklık stresi altında, bazen her iki pigment miktarında artma ya da azalma görülürken bazen birinin azalıp diğerinin arttığı görülmektedir. Araştırmamızda, uygulama grupları kontrol bitkileriyle kıyaslandığında kuraklık stresinin etkisiyle çeltik çeşitlerinin fotosentetik pigment içeriklerinde değişkenlik belirlenmiştir. Kuraklık uygulamaları sonucunda, Osmancık-97, Beşer, Kızıltan, Karacadağ ve Hazro çeşitlerinin klorofil-a içeriklerinde kontrol grubuna göre azalma meydana gelirken Halilbey çeşidinde artma olmuştur. Paşalı ve Gönen çeşidinde ise azalma gözlenmiş; ancak azalma oranı istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır. Klorofil-b miktarında ise genel olarak tüm çeşitlerde kontrole göre anlamlı artışlar tespit edilmiş ve kuraklık stresinin etkisi sürdükçe klorofil b miktarındaki artış daha fazla olmuştur. En yüksek klorofil b miktarı, Osmancık-97 ve Beşer çeşidinde kısa süreli (3 gün) uygulamada, diğer çeşitlerde ise uzun süreli (9 ya da 12 gün) uygulama gruplarında bulunmuştur. Stres koşullarından etkilenen ve diğer bir fotosentetik parametre olan klorofil a/b oranı, Osmancık-97 (sadece 6. gün) hariç tüm uygulama gruplarında kuraklık etkisiyle birlikte azalma göstermiştir.

Literatür bilgilerine göre, kuraklık stres faktörünün bitkilerin pigment içeriklerinde azalmaya neden olduğunu bildiren çalışmalar bulunmaktadır (Bertamini ve ark. 2006, Jaleel ve ark. 2008, Chen ve ark. 2011). Buna karşın, yapılan bazı araştırmalarda ise kuraklık stresinin etkisiyle birlikte bitkilerin pigment içeriğinde bir artış olduğu sonucuna varılmıştır (Sapeta ve ark. 2013, Ghotbi-Ravandi ve ark. 2014, Yang ve ark. 2015). Sengupta ve ark. (2013), tarafından yapılan çalışmada *Vigna radiata* (mungo fasulyesi) bitkisi için 3 ve 6 günlük kuraklık stres uygulamaları yapılmış ve bitkinin klorofil miktarında artış olduğu bildirilmiştir. Bir başka çalışmada, kuraklık stres faktörünün çeltik bitkisinde fotosentetik pigment içeriklerinde değişime neden olduğu ve stresin olumsuz etkisinden dolayı klorofil miktarının azaldığı bildirilmiştir (Pyngrope ve ark. 2013a). Sonuç olarak, fotosentetik pigment miktarlarındaki (klorofil a, klorofil b) değişimlere yönelik araştırma sonuçlarımız

literatür verileriyle kıyaslandığında benzerlik ve farklılık gösteren çalışmaların olduğu görülmektedir. Çalışmamızda klorofil a pigmenti azalırken klorofil b'nin artması iki pigmentin birbirlerine dönüşümü ile açıklanabilir. Çünkü bu pigmentler enzimatik reaksiyonlarla birbirlerine dönüşme özelliği gösterirler. Bailey ve ark. (2001), değişen ışık koşullarına cevaben bitkilerin ışık toplama proteinlerinin ifadesi ile klorofil a ve b arasındaki karşılıklı dönüşümü değiştirerek fotosentez reaksiyon merkezlerini ayarladıklarını belirtmektedir. Ayrıca, farklı koşullar altında fizyolojik ihtiyaca göre klorofil a veya klorofil b'nin sentezlendiği ve bu şekilde fizyolojik ihtiyacın karşılanacağı düşünülmektedir (Rüdiger 2002). Bu bilgilerden yola çıkarak araştırmamızda, klorofil a pigmentinin stres koşullarında parçalandığı veya fizyolojik ihtiyaca göre klorofil b ye dönüştüğü düşünülmektedir. Dolayısıyla stres faktörüne karşı verilen bir yanıt olarak düşünüldüğünde, stres koşullarındaki çeşitlerde klorofil a miktarının azalmasına karşın sadece klorofil b miktarındaki artışın hangi yolla yapıldığının araştırılması, bitkilerde adaptasyon mekanizmalarını anlamak için önem arz edebilir.

Kloroplastlarda yardımcı pigment olarak görev alan ve antioksidan özellikleriyle fotosistemleri ışığın zararlı etkilerinden koruyan karotenoidler, bitki antioksidan savunma sisteminin önemli bir parçasını oluşturur. Karotenoidlerin esas koruyucu rolü, oksidatif stresin neden olduğu zararların ortadan kaldırılması ve PSII pigmentlerindeki fazla enerjinin dağıtılması yönündedir. β-karotenin, stres altındaki dokularda triplet klorofili kararlı hale getirdiği, singlet oksijen üretimini engellediği ve oksidatif hasardan koruduğu düşünülmektedir (Demming-Adams ve Adams 1996, Farooq ve ark. 2009, Jaleel ve ark. 2009). Araştırma sonuçlarımıza göre karotenoid değerleri, kuraklık uygulaması sonucunda tüm çeşitlerde kontrol gruplarına oranla istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0.05$) artış göstermiş ve kuraklık süresi uzadıkça karotenoid değerinin daha fazla arttığı görülmüştür. Çeşitlerin kontrol grupları ile uygulama sonucu elde edilen en yüksek karotenoid değerleri karşılaştırıldığında en fazla artış oranı %41,4 ile Halilbey'de, en düşük artış oranı ise %11,3 ile Osmancık-97'de gözlenmiştir. Oksidatif stresle başa çıkmak için kuraklığa maruz kalan bitkilerin karotenoid seviyelerini artırdıkları yönünde birçok çalışma mevcuttur (Munné-Bosch ve Alegre 2000, Cai ve ark. 2005, Yang ve ark. 2015). Araştırma sonuçlarımıza göre karotenoid miktarındaki

artışın, çeltik çeşitlerinde oluşan oksidatif stresi önlemek için meydana geldiği söylenebilir.

Doymamış yağ asitlerinin yıkılmasıyla oluşan MDA miktarının belirlenmesi, hücresel membrandaki hasarı gösteren önemli bir parametredir. Kuraklık stresi durumunda, plazma membranından suyun ayrılmasıyla membranın lipit kompozisyonu değişmekte ve membran lipit içeriğinde azalma meydana gelmektedir (Larsson ve ark. 2006). Çeltik bitkisine uygulanan kuraklık stresi sonrası lipit peroksidasyon ürünü olan MDA miktarındaki değişimin araştırıldığı çalışmada, kuraklığa bağlı olarak tüm uygulamalarda kontrol grubuna göre MDA miktarının arttığı bulunmuştur (Shebab ve ark. 2010). Mısır (*Zea mays*) bitkisinde kuraklık stresinin lipit peroksidasyonuna etkisi araştırılmış ve MDA içeriği kontrole göre artış göstermiştir. Ayrıca, uzun süreli (8 gün) kuraklık uygulaması sonrası ölçülen MDA miktarının kısa süreli (3 gün) strese göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark. 2008).

Araştırmamızda MDA içeriklerindeki değişimler incelendiğinde, tüm kuraklık uygulamalarından sonra çeltik çeşitlerinin tamamında kontrole göre artış olduğu ve bu artışın stres süresinin uzamasına bağlı olarak daha fazla olduğu görülmüştür. Tüm çeşitlerin 12 günlük kuraklık uygulaması kendi kontrol grupları ile karşılaştırıldığında, MDA miktarındaki en yüksek artış oranı 4.2 kat ile Karacadağ'da, en düşük artış ise Osmancık-97 çeşidinde 2 kat olarak tespit edilmiştir. Kuraklık stresi uygulanan çim (Jiang ve Huang 2001), fasulye (Türkan ve ark. 2005) ve domates (Rodriguez ve ark. 2010) bitkilerinde lipit peroksidasyonu sonucu MDA birikiminin gerçekleştiğini gösteren çalışmalar ile araştırma bulgularımız örtüşmektedir.

5.2. Tolerant ve Hassas Çeltik Çeşitlerinin Seçimi

Yukarıda belirtilen analizlerden elde edilen bulgulara göre;

Kurak stres faktörüne maruz bırakılan tolerant/hassas domates (Güzel 2006) ve tolerant/hassas çeltik (Degenkolbe ve ark. 2009), bitkilerinde kuraklığa hassas olan çeşitlerin su içeriklerinin daha fazla etkilendiği, kuraklık stresine karşı bitki toleransının, yüksek bağıl su içeriğini muhafaza etme kabiliyetini içeren farklı sistemler ile ilişkilendirilebileceği bildirilmiştir (Oukarroum ve ark. 2007). Çalışmamızda, çeltik çeşitleri arasından **Osmancık-97** ve **Beşer** bağıl su içeriği bakımından daha az

etkilenirken sırasıyla **Karacadağ, Halilbey** ve **Gönen** ise en çok etkilenen çeşitler olmuştur.

Bitkiler, prolin, glisin betain, indirgeyici olmayan şekerler ve polioller gibi ozmolitleri biriktirmek suretiyle ozmotik potansiyellerini düşürerek bu şekilde strese karşı direnç gösterebilirler (Pillai ve ark. 2012). Çözünen maddelerin hücre içerisinde biriktirilmesi ozmotik düzenleme olarak bilinir ve bitkinin toprakta bulunan mevcut suyu daha etkili kullanabilmesi için etkili bir düzenlemedir. Ayrıca, bitkinin doğrudan su kaybetmesiyle de ozmotik potansiyel düşmektedir. **Halilbey, Karacadağ** ve **Gönen** çeşitlerinin, 12 günlük kuraklık stresi uygulaması sonrasında kendi kontrol gruplarına göre en düşük ozmotik potansiyel değerine sahip oldukları gözlenmiştir. En yüksek ozmotik potasiyel değerine sahip çeşitler ise **Osmancık-97** ve **Beşer** olarak bulunmuştur. Bitkinin su durumunu ölçmek için yapılan analizlerden ozmotik potansiyel ve bağıl su içeriği sonuçları incelendiğinde birbirini desteklediği görülmektedir.

Stres koşulları altında, karotenoidlerin antioksidan savunma sisteminde rol aldıkları konusuna daha önce değinilmişti. Araştırma sonuçlarımıza göre **Osmancık-97** ve **Beşer** çeşitlerinde kuraklık uygulaması sonucunda karotenoid miktarı diğer çeşitlere oranla daha az olmuştur. Karotenoid içeriği bakımından en yüksek değer ise **Karacadağ** çeşidinde ölçülmüştür. Osmancık-97 ve Beşer çeşidinin diğer büyüme parametreleri dikkate alındığında, çeltik çeşitleri arasında daha az strese girdiği ve bunun sonucunda karotenoid içeriğindeki artış oranının da daha az olduğu söylenebilir. Ayrıca bu çeşitlerde karotenoid miktarının az olması, kuraklıktan daha az etkilendikleri ve su içeriklerini daha iyi muhafaza ettiklerinden dolayı strese karşı savunmada karotenoidlere daha az ihtiyaç duydukları ya da başka antoksidan savunma sistemlerini kullandıklarını düşündürmektedir.

Lipit peroksidasyonu sonucunda oluşan MDA miktarının belirlenmesi, hücre membranında meydana gelen zararın derecesi hakkında fikir vermektedir. Domates bitkisi üzerinde yapılan bir çalışmada strese karşı hassas olan çeşitlerin MDA içeriklerinin daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir (Güzel 2006). Strese toleranslı ve hassas çeltik çeşitleri üzerine yapılan bir başka araştırmada, MDA miktarının toleranslı çeşitte hassas çeşide göre daha az olduğu bildirilmiştir (Demiral ve Türkan 2005).

Araştırmamızda çeltik çeşitleri arasında yapılan istatistik sonuçlarına göre en düşük MDA miktarı Osmancık-97 ve Beşer çeşidinde ölçülmüştür. Bu sonuçlar, **Osmancık-97** ve **Beşer** çeşidinin ölçümü yapılan diğer parametreleriyle uyumlu olup kuraklıktan daha az etkilendiklerini göstermektedir. Bunun yanı sıra kontrole göre MDA miktarındaki en yüksek artış oranının **Karacadağ, Kızıltan** ve **Gönen** çeşitlerinde olduğu ve diğer çeşitlere göre kuraklıktan daha fazla etkilendikleri sonucuna varılmıştır.

Kuraklık stresi durumunda bitkilerin topraktaki mevcut sudan daha fazla yararlanmak için kök uzunluklarını arttırdıkları bilinmektedir (Liu ve ark. 2005). Benzer şekilde araştırmamız sonucunda elde edilen verilere göre, kök uzunluğu bakımından en az artış oranının Osmancık-97 ve Beşer'de olduğu, dolayısıyla bu iki çeşidin diğer çeşitlere göre kuraklıktan daha az etkilendikleri söylenebilir. Ayrıca taze ağırlık bakımından yine en yüksek değere sahip oldukları, kuru ağırlık bakımından biyomaslarında (biyokütle) diğer çeşitlere göre artış olduğu ve 0-5 görsel skala değerlendirmesine göre en düşük puanı almış olmaları bu çeşitlerin kuraklığa karşı diğer çeşitlerden daha toleranslı olduğu fikrini vermektedir. Kök boyundaki artış oranının en yüksek olduğu çeşitlerin Kızıltan, Gönen, Karacadağ olduğu ve kuraklıktan daha fazla etkilendikleri düşünülen bu çeşitlerin ortamda bulunan mevcut suyu daha etkili almaları için kök uzunluklarının daha fazla artmış olabileceği sonucuna varılmıştır. Taze-kuru ağırlık ve 0-5 görsel skala verilerine göre Karacadağ çeltik çeşidinin diğer çeşitlere göre kuraklık stresinden daha fazla etkilendiği belirlenmiştir.

Tüm parametre sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, kuraklık stresine tolerant çeltik çeşitlerinin **Osmancık-97** ve **Beşer**, hassas çeşitlerin ise **Gönen** ve **Karacadağ** olduğu sonucuna varılmıştır. Bu aşamadan sonra yapılan analizler, sadece tolerant ve hassas olarak belirtilen çeltik çeşitlerinde yapılmıştır.

5.3. Tolerant ve Hassas Çeşitlerde Yapılan Analizlerin Değerlendirilmesi

Fizyolojik olarak bitkilerde su eksikliği durumunda başta prolin olmak üzere glisin-betain, çözünür amino asitler ve şekerler gibi metabolitlerin birikimi sağlanarak bitkinin strese uyum gücü arttırılır (Farhad ve ark. 2011). Prolin biyosentezinde rol alan prolin-5-karboksilat sentetaz (P5CS) enzimi ile ilgili genlerin çeltik bitkisine transferi sonucunda kuraklık ve tuzluluk streslerine karşı bitki toleransının arttığı bildirilmiştir (Zhu ve ark. 1998, Vendruscolo ve ark. 2007). Kuraklık stresi altında prolin içeriği

değişimlerine ilişkin elde ettiğimiz bulgulara göre, strese maruz bırakılmış dört çeşidin tümünde prolin miktarı kontrole göre büyük oranda artmıştır. Kuraklığa tolerant olduğu düşünülen Osmancık-97 ve Beşer çeşitlerinin prolin miktarındaki artış oranı Gönen ve Karacadağ (hassas) çeltiklerinden daha az olmuştur. Gönen ve Karacadağ çeltiğinde prolin miktarındaki artışın yüksek olması, bu çeşitlerin kuraklık stresine diğer çeşitlere göre daha duyarlı olduklarını göstermektedir. Elde ettiğimiz sonuçlar, kuraklık stresine maruz bırakılmış *Triticum aestivum* (Vendruscolo ve ark. 2007), *Zea mays* (Chen ve Li 2002) ve *Sorghum* bitkilerinde (Devnarain ve ark. 2016) gözlenen prolin artış verileriyle uyumludur.

Bununla birlikte prolin içerikleri ile ilgili sonuçlarımız, prolin birikimini kuraklık toleransı ile ilişkilendiren bazı araştırmacıların belirttiği sonuçlara göre farklılık göstermektedir. Stres altındaki bazı bitki türlerinde prolin birikiminin stres toleransı ile korelasyona sahip olduğu ve prolin yoğunluğunun strese toleranslı bitkilerde daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Nayyar ve Valia 2004, Türkan ve ark. 2005, Pyngrope ve ark. 2013b). Ancak araştırmamızda Osmancık-97 ve Beşer, tolerant çeşit olarak değerlendirilmesine rağmen prolin içerikleri hassas olanlardan daha düşük çıkmıştır. Tolerant çeşitlerin bağıl su içeriği ve ozmotik potansiyel değerleri incelendiğinde, her iki çeşidin de çok fazla su kaybetmediği ve su durumlarının iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda bitkide su alınımının devamlılığı için yapılan ozmotik düzenlemede, prolin yerine farklı ozmolitlerin biriktirildiğini düşündürmektedir. Cia ve ark. (2012), tarafından şeker kamışı bitkisi üzerine yapılan çalışmada kuraklığa hassas çeşitlerde toleranslı olanlara oranla daha düşük bağıl su içeriği gözlenirken prolin içeriğinin ise hassas çeşitlerde daha yüksek bulunması sonuçlarımızla paralellik göstermektedir.

Sakkaroz, glukoz ve fruktoz gibi çözünür şekerler, genellikle kuraklık stresi altındaki bitkilerde ozmotik düzenlemede rol alırlar. Kuraklık stresi altında *Arabidopsis thaliana* (Sperdouli ve Moustakas 2012), böğürtlen (Yang ve ark. 2015) ve papatya (Salehi ve ark. 2016) bitkilerinde toplam çözünür şeker miktarının kontrole göre artış gösterdiği bildirilmiştir. Farklı şiddetlerde kuraklık stresinin uygulandığı patates bitkisinde, toplam çözünür şeker miktarının en şiddetli kuraklık stresinde kontrole göre 5 kat arttığı bildirilmiştir (Farhad ve ark. 2011). Araştırma sonuçlarımıza göre kontrol grupları ile kuraklık uygulaması sonucundaki en yüksek toplam çözünebilir karbohidrat

içeriği karşılaştırıldığında, çeşitlerin karbohidrat içeriklerinin Gönen'de 3.5, Karacadağ'da 3.2, Beşer'de 2.8 ve Osmancık-97'de 2 kat arttığı bulunmuştur. Daha önce yapılan çalışmalar bu anlamda sonuçlarımızı destekler niteliktedir. Kuraklık stresi etkisiyle bitkilerde toplam çözünebilir şeker miktarında meydana gelen artış değerleri önceki çalışmalarda bitkilerin verdikleri yanıtlarla benzerlik göstermiştir. Ancak bazı çalışmalarda kuraklık stresi altında tolerant çeşitlerde çözünür şeker miktarının, hassas olan çeşitlere göre daha fazla arttığı (Nayyar ve Valia 2004, Boldaji ve ark. 2012) ifade edilirken Xu ve ark. (2015) ise kuraklığa tolerant olan çeltik bitkisindeki çözünür şeker miktarının, hassas olan genotipe göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bu farklılık bitkilerdeki nişasta birikimi ve karbohidratın bitkideki taşınır formu olan sukroz arasındaki dengeyle ilişkili olabilir. Kök, gövde ve yaprak dokusu arasında karbohidrat içeriği bakımından farklılıklar olabileceği (Xu ve ark. 2015) göz önüne alındığında, çözünür şeker bakımından detaylı çalışmaların yapılması daha net bilgiler elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

Stres koşullarına maruz kalan bitki hücrelerinde, çeşitli ROT'ların (singlet oksijen, süperoksit, hidrojen peroksit ve hidroksil radikali) üretimi artar. Bitki hücreleri, normal şartlar altında büyüme ve gelişim ile bağlantılı birçok süreçte ikincil haberciler olarak özellikle süperoksit ve H_2O_2 gibi ROT'ları kullanırlar (Gapper ve Dolan 2006). H_2O_2, biyolojik sistemlerde $O_2^{\cdot -}$ radikallerinin enzimatik ve non-enzimatik dismutasyonu sonucu oluşur (Halliwell 2006). H_2O_2 bir serbest radikal olmadığı halde ROT'lar içine girer ve serbest radikal biyokimyasında önemli bir rol oynar. Çünkü $O_2^{\cdot -}$ radikali ile H_2O_2, Haber-Weiss ve Fenton reaksiyonları yoluyla en reaktif ve zarar verici serbest radikal olan HO• radikalini oluşturur ve lipit peroksidasyonuna neden olurlar (Sharma ve Dietz 2008).

Araştırma sonuçlarımıza göre kuraklık stresi uygulaması sonrası, hassas ve tolerant çeşitlerin tamamında H_2O_2 içerikleri, kontrole göre anlamlı artış göstermiş ve kuraklık süresi uzadıkça bu artış daha fazla olmuştur. Kontrol ve tüm uygulamalarda ölçülen H_2O_2 içeriği, Osmancık-97 ve Beşer çeşitlerinde, Gönen ve Karacadağ çeşitlerine göre daha düşük bulunmuştur. Bu çeşitlerin içinde en düşük değer Osmancık-97, en yüksek değerler ise Karacadağ çeşidinde görülmüştür. Bu sonuçlar diğer parametre değerleri ile uyumlu olduğundan Osmancık-97 ve Beşer çeşidinin kuraklıktan daha az etkilendiklerini göstermektedir. Tolerant çeşitler olan Osmancık-97

ve Beşer'de H_2O_2 miktarının düşük olması, bu çeşitlerde antioksidan enzimlerin daha yüksek aktivite göstermesiyle açıklanabilir. Kuraklık stresine maruz bırakılan ayçiçeği (Güneş ve ark. 2008), şeker kamışı (Cia ve ark. 2012) ve böğürtlen (Yang ve ark. 2015) bitkilerinin H_2O_2 miktarındaki artış değerleri, araştırma sonuçlarımızla benzerlik göstermektedir. Aynı şekilde, kuraklığa hassas ve tolerant iki fasulye çeşidinde kuraklığın etkisiyle, tolerant çeşitteki H_2O_2 miktarının hassas olana göre daha düşük olduğunu belirten Rosales ve ark. (2012) ile çalışma sonuçlarımız uyumludur.

Bitkilerde proteinlerin çeşitli çevresel streslerden etkilendiği, bitki dokularında kuraklık stresine bağlı olarak protein parçalanmasının gerçekleştiği ve protein sentez hızında düşme olduğu bildirilmiştir (Chartzoulakis ve ark. 2002). Araştırmacılar kuraklık stresine maruz bırakılan *Triticum aestivum* bitkisinin protein içeriğinde azalma olduğunu (Beltrano ve Ronco 2008), benzer şekilde Yang ve ark. (2015), kuraklık stresi altındaki *Rubus sp.* bitkisinin toplam çözünebilir protein miktarının kontrole göre azaldığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda kısa süreli (3 ve 6 gün) kuraklık uygulamasının Osmancık-97, Gönen ve Karacadağ çeşitlerinde toplam çözünebilir protein içeriğini kontrole göre arttırdığı, uzun sürede (9 ve 12 gün) ise azalttığı gözlenmiştir. Ancak Beşer çeşidinin tüm uygulama gruplarında toplam çözünebilir protein içeriği kontrole göre azalmıştır. Kuraklığın etkisiyle bitkilerdeki protein miktarındaki azalmanın, protein sentez mekanizmasının bozulması veya mevcut proteinlerin denatürasyona uğraması ile gerçekleşmiş olabileceği kanısındayız.

Stres altındaki bitki hücrelerinde yüksek miktarda oluşarak zararlı hale gelen ROT'ların vereceği hasarın bertaraf edilmesi için bitkiler antioksidan savunma mekanizmalarını etkin bir şekilde kullanarak hayatta kalmaya çalışırlar. Sunulan tez çalışmasında aktivitesi ölçülen ve antioksidan enzimlerden biri olan katalaz, substrat olarak kullandığı H_2O_2'yi H_2O ve O_2 molekülüne dönüştürerek hücrelerin oksidatif hasara karşı korunmasında önemli rol oynamaktadır (Hasanuzzaman ve ark. 2012). Sharma ve Dubey (2005), kuraklık stresi koşullarında iki çeltik çeşidinde (Malviya-36 ve Pant-12) katalaz enzim aktivitesindeki değişimleri araştırmış ve katalaz aktivitesinde azalma olduğu sonucunu bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada ise kuraklık stresine maruz bırakılan iki farklı şeker kamışı genotipinde, katalaz aktivitesinin arttığı bildirilmiştir (Boeretto ve ark. 2014). Hassas çeltik çeşitleri için elde ettiğimiz veriler,

Sharma ve Dubey (2005) tarafından rapor edilen sonuçlar ile benzerlik gösterirken tolerant çeşitler için Boeretto ve ark. (2014)'nın verileri uyumludur.

Araştırma sonuçlarımıza göre katalaz aktivitesi, Osmancık-97 çeşidinde tüm uygulamalarda kontrole göre artarken Karacadağ çeşidinde azalmıştır. Beşer çeşidinde, 3 ve 6 günlük uygulamalarda kontrole göre artan enzim aktivitesi, 9 ve 12 günlük uygulamalarda azalma göstermiştir. Gönen çeşidinde ise sadece 3 günlük kuraklık uygulaması sonrası enzim aktivitesinde artış meydana gelmiş; ancak diğer kuraklık uygulamalarında aktivitenin azaldığı gözlenmiştir. Elde ettiğimiz bulgular, katalaz enzim aktivitesinin toleranslı çeşitlerde hassas çeşitlere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Tolerant ve hassas olarak belirtilen çeşitlerin kontrol gruplarını karşılaştırdığımızda, tolerant çeşitlerdeki katalaz aktivitesi daha yüksek bulunmuştur. Katalaz enziminin H_2O_2'yi parçalama özelliğini düşünecek olursak, sonuçlarımız H_2O_2 miktarı ile uyumludur. Tolerant çeşitlerde H_2O_2 miktarının daha düşük olması, katalaz enziminin yüksek aktivitesinden kaynaklanabilir.

APX, AsA-GSH döngüsü olarak bilinen bir dizi reaksiyonlarla H_2O_2'nin söndürülmesinde ilk reaksiyonu katalizleyen enzim olarak önemli rol oynar (Gill ve Tuteja 2010). Araştırma sonuçlarımıza göre, tüm çeşitlerde APX enzim aktivitesi, kontrollerine göre anlamlı seviyede ($p \leq 0.05$) artış sağlamıştır. Osmancık-97 ve Beşer çeşidindeki APX enzim aktivitesi, hassas olan çeşitlere göre daha yüksek bulunmuştur. Khanna-Chopra ve Selote (2007), kuraklığa tolerant ve hassas iki *Triticum aestivum* genotipine uygulanan kuraklık stresinin APX enzim aktivitesinde artış meydana getirdiği ve kuraklığa tolerant genotipte APX aktivite artışının daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Kuraklık stresi altındaki *Zea mays* (Islam ve ark. 2011), *Medicago sativa* (Boldaji ve ark. 2012) ve *Oryza sativa* (Pandey ve ark. 2014) bitkilerinde APX enzim aktivitesinin arttığı bildirilmiştir. Sonuçlarımız, belirtilen araştırma sonuçları ile uyumlu bulunmuştur. Bununla birlikte, tolerant çeşitteki APX aktivitesinin hassas çeşitlere göre daha yüksek olması CAT'de olduğu gibi H_2O_2 ve diğer parametre sonuçlarıyla örtüşmektedir.

APX gibi AsA-GSH döngüsünde rol alan diğer bir enzim olan GR önemli bir antioksidan savunma enzimidir. GR enzimi, bu döngünün son reaksiyonu olan NADPH varlığında GSSG'yi GSH formuna dönüştürmektedir (Hasanuzzaman ve ark. 2012).

Araştırma sonuçlarımıza göre tüm uygulamalarda, Osmancık-97 çeşidinde kontrole göre GR enzim aktivitesi artmıştır. Beşer ve Karacadağ çeşidinde ise 3 ve 6 günlük uygulamalarda artış tespit edilmiş; ancak uzun süreli stres (9 ve 12 günlük) sonrası değerlerde azalma gözlenmiştir. Gönen çeşidinde ise sadece 3 günlük uygulama sonrası enzim aktivitesinde artma meydana gelmiş, diğer uygulamalarda kontrole göre azalma gözlenmiştir. Uygulanan kuraklık stresi sonucu *Oryza sativa*'da, GR enzim aktivitesinin arttığı araştırmacılar (Srivalli ve ark. 2003) tarafından bildirilmiştir. Domates genotiplerinde kuraklık stresi sonucu GR enzim aktivitesi, kuraklığa hassas genotipte azalırken tolerant genotipte ise değerlerde artış olduğu bildirilmiştir (Sánchez-Rodríguez ve ark. 2012). Prakash ve ark. (2016), kuraklık stresi uygulanan tolerant ve hassas çeltik genotiplerinin her ikisinde GR aktivitesinin arttığını; ancak tolerant olan genotipte aktivite değerinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Sonuçlarımız literatürlerle uyumlu olup, GR enzim aktivite değerlerinin, uygulama ve çeşitlere göre önemli farklılıklar ve değişkenlik gösterdiği görülmektedir. GR aktivitesindeki bu farklılığın hücre içi GSH/GSSG oranındaki dengeyi sağlamak amacıyla oluştuğu veya NADPH miktarındaki değişimin enzim aktivitesini etkilediği düşünülmektedir.

Süperoksit ($O_2^{\bullet-}$) radikali, O_2'nin indirgenmesi yoluyla üretilir ve daha sonra süperoksit dismutaz (SOD) ile H_2O_2'ye dönüştürülür (Apel ve Hirt 2004). Normal metabolizma esnasında hücreler tarafından yüksek oranda üretilen $O_2^{\bullet-}$ radikali, SOD enzim aktivitesi sayesinde düşük tutulur ve çeşitli stres faktörünün etkisi altındaki bitkilerin adaptasyonunda önemli bir role sahiptir (Singh ve ark. 2008, Hasanuzzaman ve ark. 2012). Tez araştırma bulgularımıza göre, SOD aktivitesi tüm çeşitlerde kontrole göre artarken enzim aktivitesinin, kuraklığın süresine paralel olarak arttığı görülmüştür. Tüm çeşitler için SOD aktiviteleri karşılaştırıldığında, Osmancık-97 ve Beşer'in SOD aktivite değeri hassas olan Gönen ve Karacadağ çeşidine göre daha yüksek bulunmuştur. Çeltik genotiplerinde yapılan bir çalışmada, uygulanan kuraklık stresi sonucu SOD enzim aktivitesinin hassas ve tolerant genotipte arttığı; ancak tolerant olan genotipte artış oranının daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Prakash ve ark. 2016). Sharma ve Dubey (2005), kuraklık stresi sonrası iki çeltik genotipinde SOD aktivitesinin arttığını ve kuraklığın şiddeti arttıkça aktivite değerlerinin daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, araştırmacılar kuraklık stresi altında *Zea mays* (Islam ve ark. 2011), *Medicago sativa* (Boldaji ve ark. 2012) ve *Oryza sativa*

(Pyngrope ve ark. 2013a) bitkilerinde SOD enzim aktivite değerlerinde kontrole göre artış olduğunu bildirmişler. Sonuçlarımız literatürler ile paralellik göstermekte ve SOD aktivitesindeki bu artışın stres altındaki bitkilerde $O_2^{\bullet-}$ radikalinin artması sonucu gerçekleşmiş olabileceği düşünülmektedir. SOD enziminin $O_2^{\bullet-}$ radikalini H_2O_2'ye dönüştürme özelliği ve araştırma sonuçlarımızda H_2O_2 miktarının artması bu reaksiyonu doğrular nitelikte olup enzim aktivitesi açısından da uyumludur.

Tez çalışmamızda antioksidan enzimlerin aktivite değerleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde, tolerant çeşitlerin enzim aktiviteleri hassas olanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Bazı araştırmacılar (Contour-Ansel ve ark. 2006, Sánchez-Rodríguez ve ark. 2012, Sun ve ark. 2013) tarafından yapılan çalışmalarda, bitkilerin kuraklığa toleransının antioksidan enzim aktivitesindeki artış ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, tolerant çeşitlerdeki antioksidan enzim aktiviteleri diğer parametre sonuçlarıyla uyumlu olup literatürdeki tolerant bitkilerin kuraklığa vermiş oldukları cevaplar bakımından benzerlik göstermektedir.

Bitkisel hormonlar, büyüme ve gelişim sırasındaki düzenleyici işlevlerinin yanı sıra çevresel streslere tepkiler sırasında çeşitli sinyal iletim yollarını koordine eder ve anahtar rolleri oynarlar (Wolters ve Jürgens 2009). Bir stres hormonu olarak kabul edilen ABA'nın biyosentezi kuraklık stresi ile birlikte artarak yapraklarda stoma kapanmasını indükler ve bu şekilde su kaybını minimuma indirir. Kısaca stres durumunda artan ABA miktarı, su dengesini ve hücresel dehidrasyon toleransını arttırarak bitkilerin kuraklık ve tuz stresi altında hayatta kalmalarını sağlar (Zhu 2002, Shinozaki ve Yamaguchi-Shinozaki 2007). Tez çalışma sonuçlarımıza göre, tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinde ABA hormon miktarı, uygulanan kuraklık stresi sürelerinin artışına bağlı olarak, kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde artmıştır. Tüm uygulama süreleri için ABA miktarı, tolerant çeşitlerde (Osmancık-97 ve Beşer) hassas çeşitlere (Gönen ve Karacadağ) göre daha yüksek bulunmuştur. Sánchez-Díaz ve ark. (2008), *Laurus* azorica, *Persea indica* ve *Myrica faya* bitkilerine kuraklık uygulanması sonucu stres gruplarındaki bitkilerde ABA miktarının kontrol grubuna göre arttığını rapor etmişlerdir. Raziuddin ve ark. (2010), 10 farklı *Triticum aestivum* genotipine uygulanmış olan kuraklık stresi sonunda ABA birikiminin tüm genotiplerde arttığını ve kuraklığın şiddeti arttıkça değerlerin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Kuraklık stresi altında *Oryza sativa* (Hsu ve ark. 2003), *Zea mays* (Alvarez ve ark. 2008) ve *Hordeum vulgare* (Thameur ve ark. 2011) bitkileri ile yapılmış çalışmalarda ABA miktarının kontrole göre artmış olduğu sonuçları araştırma sonuçlarımız ile benzerlik göstermektedir. Yapılan birçok araştırma, stres toleransı ile yüksek ABA içeriği arasında doğrudan korelasyon göstermemesine rağmen, kuraklığa tolerant genotiplerin hassas genotiplerden daha yüksek ABA düzeyine sahip oldukları konusunda birkaç rapor bulunmaktadır (Perales ve ark. 2005, Veselov ve ark. 2008, Thameur ve ark. 2011). Bu literatür sonuçları, çalışmamızda tolerant olan Osmancık-97 ve Beşer çeşidinde daha yüksek ABA bulunmasını desteklemektedir. Çeşitli bitkilere eksojen olarak uygulanan ABA'nın kuraklığa toleransı arttırdığı bilinmektedir. Osmancık-97 ve Beşer çeşidinde endojen kaynaklı ABA'nın yüksek olması, bu çeşitlerin diğer parametreleriyle uyumlu olup tolerant olduğunu desteklemektedir.

Oksin grubuna dahil edilen IAA, bitkilerde endojen olarak en fazla bulunan oksin formudur. Çeşitli abiyotik stres faktörlerinin, oksin dağılımı ve metabolizması da dahil olmak üzere, oksin homeostasisi üzerinde etkisi olduğu bildirilmiştir (Potters ve ark. 2009). Araştırma sonuçlarımıza göre kuraklık uygulaması sonucu tolerant ve hassas çeşitlerdeki IAA hormon miktarının, kontrollerine göre anlamlı seviyede ($p \leq 0.05$) azaldığı görülmüştür. 3 günlük uygulama sonrası IAA miktarında önemli değişim gözlenmezken uzun süreli stres uygulamaları özellikle de 12 günlük uygulama sonrası IAA miktarında ciddi düşüşler gözlenmiştir. Yapılan bir çalışmada kurak, soğuk ve sıcaklık stres faktörü altında çeltik bitkisinde IAA miktar değişimleri incelenmiştir. 1, 2 ve 3 gün kuraklık stresine maruz kalan çeltikte IAA miktarının kontrole göre azaldığı ve kuraklığın süresi arttıkça azalma oranının daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Du ve ark. 2013a). Pinheiro ve ark. (2011), kuraklık stresi koşullarında *Lupinus albus* bitkisinin yaprak ve kök dokusundaki IAA miktar değişimini araştırdıkları çalışma sonucunda, IAA miktarının yaprakta azalırken kök dokusunda arttığını ifade etmişlerdir.

Du ve ark. (2013b), iki çeltik genotipine kuraklık uygulandığını ve çeltik genotiplerinde IAA miktarının azaldığını bildirmişlerdir. Oksinlerin bitkideki dağılımı için iki muhtemel moleküler mekanizma öne sürülmüştür. İlk olarak kutup oksinin polar taşınmasına aracılık eden PIN genlerinin değiştirilmiş ifadesi; ikinci olarak, strese tepki olarak biriken fenolik bileşikler ile oksinin polar taşınımının engellenmesi (Potters ve ark. 2009). Öte yandan oksin metabolizması, farklı stres koşulları ile indüklenen ve

peroksidazlarla katalize edilen IAA'nın oksidatif bozunması ile modüle edilir (Gazarian ve ark. 1998, Eyidogan ve ark. 2012). Dahası, çeşitli çevresel streslere yanıt olarak üretilen ROT'ların, oksin tepkisini etkileyebileceği (Kovtun ve ark. 2000, Schopfer ve ark. 2002) ve ROT ile NO'nun birikimi maksimum olduğunda, oksin seviyesinin düşebileceği bildirilmiştir (Orozco-Cardenas ve Ryan 1999). Bu gözlemler oksinlerin stres mekanizması hakkında bazı ipuçları verse de tam olarak açıklığa kavuşmamıştır. Elde edilen literatür bilgileri ile tez araştırma sonucundaki IAA miktarını değerlendirecek olursak H_2O_2 gibi ROT'ların stres uygulaması sonrası arttığını ve bu artışın IAA metabolizmasını bozarak miktarını azalttığını söylemek mümkündür.

Sitokininler (CK), çimlenme, kök-sürgün gelişimi, hücre bölünmesi gibi çeşitli gelişimsel ve fizyolojik süreçlerde görev almakla birlikte bitkilerin strese karşı verdikleri cevaplarda önemli rol oynamaktadır (Sakakibara 2006, Ha ve ark. 2012). Normal şartlar altında köklerde sentezlenip bitkinin diğer kısımlarına taşınarak etkilerini gösteren sitokininlerin, sentezi ve sürgünlere taşınımı kuraklık stresi koşullarında azalmaktadır (Pustovoitova ve ark. 2003). Tez araştırmamızda literatürde en çok çalışılan sitokinin grubu hormonlarından biri olan zeatin ribozid (ZR) miktarının değişimi incelenmiştir. Araştırmamızda kuraklık stresinin etkisiyle tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinde zeatin ribozid hormon miktarı, kontrole göre anlamlı seviyede ($p \leq 0.05$) azalmıştır. Alvarez ve ark. (2008), kuraklık stresine maruz bırakılan *Zea mays* (mısır) bitkisinde ZR miktarının strese bağlı olarak azaldığını bildirmişlerdir. Domates bitkisinde yapılan çalışmada su eksikliğine bağlı olarak ZR miktarının kontrole göre azaldığı rapor edilmiştir (Kudoyarova ve ark. 2007). Kuraklık stresi altında *Oryza sativa* (Bano ve ark. 1993), *Helianthus annuus* (Hansen ve Dörffling 2003), *Nicotiana tabacum* (Dobra ve ark. 2010), *Hordeum vulgare* (Ahmed ve ark. 2016) bitkilerinde ZR miktarının kontrole göre azaldığını bildiren çalışmalar ile araştırma sonuçlarımız benzerlik göstermektedir.

Sitokinin miktarındaki azalmanın, sitokinin sentezinde ilk reaksiyonu katalizleyen izopentenil transferaz (IPT) ve sitokininlerin degradasyonuna neden olan sitokinin oksidaz (CKX) enzimleriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Sitokinin bozunumunun uyarılması ya da IPT geninin inaktivasyonu ile sitokinin içeriğinin azaltılması, tuz ve kuraklık stresine karşı toleransın artmasına katkıda bulunur (Ha ve ark. 2012). Kuraklık stresi esnasında ABA artarken sitokininin azaldığı ve sitokinin

miktarındaki azalmanın IPT gen ekspresyonunun azalması sonucunda ortaya çıktığı bildirilmiştir (Ha ve ark. 2012). Çevresel stres tepkileri de dahil olmak üzere, çeşitli büyüme ve fizyolojik süreçlerde sitokininlerin ABA'ya karşı antagonist olarak hareket ettiği ve stres durumunda sitokinin içeriğindeki azalmanın, ABA'ya karşı aşırı duyarlılık sağladığı bildirilmiştir (Wang ve ark. 2011). Artan sitokinin konsantrasyonunun stoma açıklığını arttırdığı ve ABA'ya duyarlılığı düşürdüğü belirtilmiştir (Wilkinson ve Davies 2002).

Abiyotik stres faktörleri arasında yer alan kuraklık, bitkisel üretimimizde büyük verim kayıplarına neden olması bakımından en dikkat çekici ve üzerinde önemle durulması gereken bir konu olarak düşünüldüğünde, bitkilerin kuraklık stresine karşı tolerans seviyesi/mekanizmaları üzerine araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Mevcut literatür bilgimize göre, genel olarak kuraklığın etkisi ve bitkilerin kuraklığa karşı verdiği yanıtlar üzerine araştırmaların yoğun bir şekilde devam etmesine karşın ülkemizde tarımı yapılan çeltik çeşitleri üzerine kapsamlı herhangi bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Aslında Türkiye çeltik üretim potansiyeli yönünden şanslı ülkeler arasında olmasına rağmen, kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres faktörleri dikkate alınmadığı için sürdürülebilir bir çeltik üretimi yapılamamaktadır. Bu nedenle kuraklık stresine karşı hassas ve toleranslı çeltik çeşitlerinin belirlenmesi ve olumsuz koşullara dayanıklı çeşitler kullanılarak üretim yapılmasının önemli olduğu görüşündeyiz. Kuraklık stresinin etkileri ve tolerans/hassas derecelerinin, ilgili çeltik çeşitlerinde karşılaştırmalı olarak ilk defa araştırılması tez çalışmasının özgünlüğünü arttırmaktadır.

Bu tez çalışması ile ülkemizde tarımı yapılan 6 farklı kültür çeltik çeşidi (Beşer, Paşalı, Osmancık-97, Kızıltan, Halilbey, Gönen) ile Diyarbakır civarında yetiştirilen Karacadağ çeltiğinin iki popülasyonuna (Karacadağ ve Hazro) kuraklık stresi uygulanmış ve tüm çeşitlerin kuraklık etkisine karşı göstermiş oldukları bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlar bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Çeşitlerin kuraklık stresine karşı vermiş oldukları yanıtlara göre kuraklığa tolerant çeşitler Osmancık-97 ve Beşer, kuraklığa hassas çeşitler ise Gönen ve Karacadağ olarak belirlenmiştir. Bu çeşitlerde ozmolit birikimi, antioksidan enzim aktivitesi ve fitohormon miktarı gibi analizler yapılarak seçilen çeşitlerin kuraklığa hassas/tolerant seviyeleri desteklenmeye çalışılmıştır.

Stres koşulları altında Osmancık-97 ve Beşer çeşitlerinde az miktarda H_2O_2 içeriği, antioksidan enzim aktivitelerinin daha yüksek olması, stres hormonu olarak değerlendirilen ABA miktarının daha yüksek olması kuraklığa karşı daha dayanıklı olduğunu desteklemiştir. Diğer taraftan, Gönen ve Karacadağ çeşitlerinde stres arttıkça, oksidatif hasarın göstergeleri olan H_2O_2 ve MDA miktarındaki artış, antioksidan enzimlerin daha düşük aktivitesi, daha düşük ABA birikimi görülmüştür. Ozmolit (prolin ve karbohidrat) birikimi konusunda literatürde çelişkili bulgular mevcut olup çeşitli araştırma sonuçlarına göre tolerant çeşitte daha yüksek ozmolit birikiminin olduğu görülürken bazı araştırma sonuçları ise tolerant çeşitte daha az ozmolit birikiminin olduğunu belirtmektedir. Yaptığımız çalışmada tolerant çeşitlerde prolin ve toplam çözünebilir karbohidrat miktarı, hassas olarak belirtilen çeşitlere göre daha az olmasına karşın bağıl su içeriği daha yüksek ve ozmotik potansiyel daha düşük bulunmuştur. Tolerans çeşitlerde su durumunun buna rağmen daha iyi olması bitkide ozmotik düzenlemenin başka ozmolitler ile yapıldığını düşündürmektedir. Elde edilen tüm analiz sonuçlarına göre seçilen tolerant ve hassas çeltik çeşitlerinin kuraklıktan etkilenme derecesini Osmancık-97>Beşer>Gönen>Karacadağ şeklinde sıralayabiliriz.

Yüksek çeltik ve pirinç verimi gibi nedenlerden dolayı son yıllarda ülkemizde toplam ekim alanının %80'inden fazlasını tek başına Osmancık-97 çeşidinin oluşturduğu (Sade ve ark. 2011) ve ekim alanının hızla genişlediği bilgisi göz önüne alındığında araştırma sonuçlarımız Osmancık-97 çeşidinin geniş kapsamlı ekim alanlarına sahip olmasını açıklayabilir. Elde edilen sonuçlar Osmancık-97 çeşidinin yüksek kalite ve veriminin nedenlerinden bazılarını bilimsel olarak açıklamakta ve desteklemektedir. Araştırma sonuçlarımız, ülkemizin taleplerini karşılayabilecek kuraklığa dayanıklı genotiplerin oluşturulmasına, iklim koşullarımıza uyum sağlayabilecek yüksek verimli ve kaliteli çeşitlerin geliştirilmesi çalışmalarında, bilimsel açıdan referans olabilecek niteliktedir. Küresel iklim değişikliği ile eşzamanlı olarak öngörülemeyen ve sınırlı miktarda yağışın neden olduğu sık kuraklık baskısı göz önüne alındığında araştırma sonuçlarımızın dikkate alınması gerektiğini söyleyebiliriz. Bu çalışmanın ülkemizde yetiştirilen bazı çeltik çeşitlerinin, kuraklıktan etkilenme dereceleriyle ilgili temel bilgi açığının kapatılmasında özel bir role sahip olacağı, stres koşullarına dayanıklı çeltik çeşitlerinin üretiminin yapılması konusunda bilimsel

öneriler sunacağı, ileride yapılacak çeltik araştırmaları için temel oluşturacağı ve benzer çalışmalara katkı sağlayacağı düşüncesindeyiz.

6. KAYNAKLAR

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

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. ***Methods In Enzymology,*** 105: 121-126.

Ahmed, I.M., Nadira, U.A., Cao, F., He, X., Zhang, G., Wu, F. 2016. Physiological and molecular analysis on root growth associated with the tolerance to aluminum and drought individual and combined in Tibetan wild and cultivated barley. ***Planta,*** 243(4): 973-985.

Aküzüm, T., Çakmak, B., Gökalp, Z. 2010. Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. ***Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi***, 3(1): 67-74.

Alvarez, S., Marsh, E.L., Schroeder, S.G., Schachtman, D.P. 2008. Metabolomic and proteomic changes in the xylem sap of maize under drought. ***Plant, Cell & Environment,*** 31(3): 325-340.

Ammar, M.H., Anwar, F., El-Harty, E.H., Migdadi, H.M., Abdel-Khalik, S.M., Al-Faifi, S.A., Farooq, M., Alghamdi, S.S. 2015. Physiological and yield responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to drought stress in managed and open field environments. ***Journal of Agronomy and Crop Science,*** 201(4): 280-287.

Anami, S., Block, M.D., Machula, J., Lijsebettens, M. 2009. Molecular improvement of tropical maize for drought stres tolerance in Sub-Saharan Africa. ***Critical Reviews in Plant Science,*** 28: 16-35.

Apel, K., Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. ***Annual Review of Plant Biology,*** 55: 373-399.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolatedchloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. ***Plant Physiology,*** 24(1): 1-15.

Asada, K. 1992. Ascorbate peroxidase – a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. ***Physiologia Plantarum,*** 85(2): 235-241.

Ashraf, M., Iram, A. 2005. Drought stress induced changes in some organic substances in nodules and other plant parts of two potential legumes differing in salt tolerance. ***Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants,*** 200(6): 535-546.

Ashraf, M. 2010. Inducing drought tolerance in plants: recent advances. ***Biotechnology Advances,*** 28(1): 169-183.

Ayala, A., Muñoz, M.F., Argüelles, S. 2014. Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. ***Oxidative Medicine and Cellular Longevity***, 2014: 31, ID 360438.

Badawi, G.H., Kawano, N., Yamauchi, Y., Shimada, E., Sasaki, R., Kubo, A., Tanaka, K. 2004. Over-expression of ascorbate peroxidase in tobacco chloroplasts enhances the tolerance to salt stress and water deficit. ***Physiologia Plantarum***, 121(2): 231-238.

Bailey, S., Walters, R.G., Jansson, S., Horton, P. 2001. Acclimation of *Arabidopsis thaliana* to the light environment: the existence of separate low light and high light responses. ***Planta,*** 213(5): 794-801.

Bano, A., Dorffling, K., Bettin, D., Hahn, H. 1993. Abscisic acid and cytokinins as possible root-to-shoot signals in xylem sap of rice plants in drying soil. ***Australian Journal of Plant Physiology***, 20(1): 109-115.

Banu, N.A., Hoque, A., Watanabe-Sugimoto, M., Matsuoka, K., Nakamura, Y., Shimoishi, Y., Murata, Y. 2009. Proline and glycinebetaine induce antioxidant defense gene expression and suppress cell death in cultured tobacco cells under salt stress. ***Journal of Plant Physiology,*** 166(2): 146-156.

Basu, S., Roychoudhury, A., Saha, P.P., Sengupta, D.N. 2010. Differential antioxidative responses of indica rice cultivars to drought stress. ***Plant Growth Regulation,*** 60: 51-59.

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

Battal, P., Tileklioğlu, B., 2001. The Effects of different mineral nutrients on the levels of cytokinins in maize (*Zea mays* L.). ***Turkish Jornal of Botany,*** 25: 123-130.

Beltrano, J., Ronco, M.G. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: effect on growth and cell membrane stability. ***Brazilian Journal of Plant Physiology,*** 20(1): 29-37.

Bertamini, M., Zulini, L., Muthuchelian, K., 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.

Bhardwaj, J., Yadav, S. K. 2012. Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in a drought tolerant and a sensitive variety of horsegram (*Macrotyloma uniflorum*) under drought stress. ***American journal of Plant Physiology,*** **7**(1): 17-29.

Blum, A., Jordan, W.R. 1985. Breeding crop varieties for stress environments. ***Critical Reviews in Plant Sciences,*** 2(3): 199-238.

Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserves mobilization. ***Euphytica,*** 100: 77-83.

Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? ***Australian Journal of Agricultural Research,*** 56(11): 1159-1168.

Boaretto, L.F., Carvalho, G., Borgo, L., Creste, S., Landell, M.G.A., Mazzafera, P., Azevedo, R.A. 2014. Water stress reveals differential antioxidant responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes. ***Plant Physiology and Biochemistry***, 74: 165-175.

Boldaji, S.A.H., Khavari-Nejad, R.A., Sajedi, R.H., Fahimi, H., Saadatmand, S. 2012. Water availability effects on antioxidant enzyme activities, lipid peroxidation, and reducing sugar contents of alfalfa (*Medicago sativa* L.). ***Acta Physiologiae Plantarum,*** 34: 1177-1186.

Bolen, D.W., Baskakov, I.V. 2001. The osmophobic effect: Natural selection of a thermodynamic force in protein folding. ***Journal of Molecular Biology,*** 310(5): 955-963.

Borem, A., Ramalho, M.A.P., Fritsche-Neto, R. 2012. Abiotic stresses: challenges for plant breeding in the coming decades. Editörler; Fritsche-Neto, R., Borem, A. Plant breeding for abiotic stress tolerance. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 1-12, Germany.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of dye binding. ***Analytical Biochemistry,*** 72(1-2): 248-254.

Bray, E.A., Bailey-Serres, J., Weretilnyk, E. 2000. Responses to abiotic stresses. Editörler; Buchanan, B.B., Gruissem, W., Jones, R.L. Biochemistry and molecular biology of plants. American Society of Plant Physiologists, pp 1367, Rockville.

Brenner, M.L. 1981. Modern methods for plant growth substance analysis. ***Annual Review of Plant Physiology,*** 32: 511-538.

Burg, M.B. 1995. Molecular basis of osmotic regulation. ***American Journal of Physiology-Renal Physiology,*** 268(6): 983-996.

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

Cavatte, P.C., Martins, S.C.V., Morais, L.E., Silva, P.E.M., DaMatta, F.M. 2012. The physiology of abiotic stresses. Editörler; Fritsche-Neto, R., Borem, A. plant breeding for abiotic stress tolerance. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 21-52, Germany.

Chamberlain, J. 1995. The analysis of drugs in biological fluids (Second Edition). CRC Press, pp 368, New York.

Chartzoulakis, K., Patakas, A., Kofidis, G., Bosabalidi, A., Nastou, A. 2002. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. ***Scientia Horticulturae,*** 95(1-2): 39-50.

Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. ***Functional Plant Biology,*** *30*(3): 239-264.

Cheikh, N., Jones, R.J. 1994. Distruption of maize kernel growth and development by heat stress. ***Plant Physiology,*** 106: 45-51.

Chen, W.S. 1991. Changes in cytokinins before and during early flower bud differentitation in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). ***Plant Physiology,*** 96: 1203-1206.

Chen, W., Li, P.H. 2002. Membrane stabilization by abscisic acid under cold aids proline in alleviating chilling injury in maize (*Zea mays* L.) cultured cells. ***Plant, Cell & Environment,*** 25(8): 955-962.

Chen, Z., Young, T.E., Ling, J., Chang, S.C., Gallie, D.R. 2003. Increasing vitamin C content of plants through enhanced ascorbate recycling. ***Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,*** 100: 3525-3530.

Chen, W., Yao, X., Cai, K., Chen, J. 2011. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. ***Biological Trace Element Research,*** 142: 67-76.

Chu, G., Chen, T., Wang, Z., Yang, J., Zhang, J. 2014. Reprint of "morphological and physiological traits of roots and their relationships with water productivity in water-saving and drought-resistant rice". ***Field Crops Research,*** 165: 36-48.

Cia, M.C., Guimaraes, A.C.R., Medici, L.O., Chabregas, S.M., Azevedo, R.A. 2012. Antioxidant responses to water deficit by drought-tolerant and sensitive sugarcane varieties. ***Annals of Applied Biology,*** 161: 313-324.

Clayton, W.D., Renvoize S.A. 1986. Genera graminum. Grasses of the world. Kew Bulletin Additional Series, pp 389, London.

Contour-Ansel, D., Torres-Franklin, M.L., De Carvalho, M.H.C., D'Arcy-Lameta, A., Zuily-Fodil, Y. 2006. Glutathione reductase in leaves of cowpea: cloning of two cDNAs, expression and enzymatic activity under progressive drought stress desiccation and abscisic acid treatment. ***Annals of Botany,*** 98: 1279-1289.

Çırak, C., Esendal, E. 2006. Soyada kuraklık stresi. ***Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,*** 21(2): 231-237.

Demiral, T., Türkan, İ. 2005. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. ***Environmental and Experimental Botany,*** 53(3): 247-257.

Demming-Adams, B., 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.

DaMatta, F.M., Rena, A.B. 2001. Tolerancia do café à seca. Editör; Zambolim, L. Tecnologias de produção de cafe com qualidade. Universidade Federal de Viçosa, pp 65–100, Viçosa.

Davis, P.H. 1985. Flora of Turkey and the east aegean islands. Vol. 9, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.

Deeba, F., Pandey, A.K., Ranjan, S., Mishra, A., Singh, R., Sharma, Y.K., Shirke, P.A., Pandey, V. 2012. Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. ***Plant Physiology and Biochemistry,*** 53: 6-18.

Degenkolbe, T., Do, P.T., Zuther, E., Repsilber, D., Walther, D., Hincha, D.K., Kohl, K.I. 2009. Expression profiling of rice cultivars differing in their tolerance to long-term drought stress. ***Plant Molecular Biology,*** 69: 133-153.

Desikan, R., Cheung, M.K., Bright, J., Henson, D., Hancock, J., Neill, S. 2004. ABA, hydrogen peroxide and nitric oxide signaling in stomatal guard cells. ***Journal of Experimental Botany,*** 55: 205-212.

Devnarain, N., Crampton, B.G., Chikwamba, R., Becker, J.V.W., O'Kennedy, M.M. 2016. Physiological responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and re-watering. ***South African Journal of Botany,*** 103: 61-69.

Dobra, J., Motyka, V., Dobrev, P., Malbeck, J., Prasil, I.T., Haisel, D., Gaudinova, A., Havlova, M., Gubis, J., Vankova, R. 2010. Comparison of hormonal responses to heat, drought and combined stress in tobacco plants with elevated proline content. ***Journal of Plant Physiology,*** 167(16): 1360-1370.

Du, H., Liu, H., Xiong, L. 2013a. Endogenous auxin and jasmonic acid levels are differentially modulated by abiotic stresses in rice. ***Frontiers in Plant Science,*** 4: 1-10.

Du, H., Wu, N., Chang, Y., Li, X., Xiao, J., Xiong, L. 2013b. Carotenoid deficiency impairs ABA and IAA biosynthesis and differentially affects drought and cold tolerance in rice. ***Plant Molecular Biology,*** 83: 475-488.

Dubois, M., Gilles, A., Hamilton, K., Rebers, A., Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. ***Analytical Chemistry,*** 28(3): 350-356.

Emeklier, H.Y. 2011. Tarla Bitkileri. Bölüm III.2. Sıcak iklim tahılları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, pp 540. Ankara.

Esgici, R. 2012. Gap Bölgesi Karacadağ yöresinde çeltik tarımının hasat-harman mekanizasyonu. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 130.

Eyidoğan, F., Öz, M.T., Yücel, M., Öktem, H.A. Signal transduction of phytohormones under abiotic stresses. Editörler; Khan, N.A., Nazar, R., Noushina, I., Anjum, N.A. Phytohormones and abiotic stress tolerance in plants. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 1-48, Germany.

Faize, M., Burgos, L., Faize, L., Piqueras, A., Nicolas, E., Barba-Espin, G., Clemente-Moreno, M.J., Alcobendas, R., Artlip, T., Hernández, J.A. 2011. Involvement of cytosolic ascorbate peroxidase and Cu/Zn-superoxide dismutase for improved tolerance against drought stress. ***Journal of Experimental Botany,*** 62(8): 2599-2613.

FAOSTAT, 2016. Erişim:[http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E]. Erişim Tarihi:24.10.2016.

Farhad, M.S., Babak, A.M., Reza, Z.M., Hassan, R.S.M., Afshin, T. 2011. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. ***Australian Journal of Crop Science,*** 5(1): 55-60.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A., Ahmad, N., Saleem, B.A. 2009. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. ***Journal of Agronomy and Crop Science,*** 195: 237-246.

Fazeli, F., Ghorbanli, M., Niknam, V. 2007. Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in two sesame cultivars. ***Biologia Plantarum,*** 51(1): 98-103.

Fritsche-Neto, R., Borém, A. 2012. Plant breeding for abiotic stress tolerance. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 175, Germany.

Fritz, H., Belagaje, R., Brown, E.L., Fritz, R.H., Jones, R.A., Loes, R.G., Khorana, H.G. 1978. High-pressure liquid chromatography in polynucleotide synthesis. ***Biochemistry,*** 17(7): 1257-1267.

Fox, T.C., Geiger, D.R. 1986. Osmotic response of sugar beet source leaves at CO_2 compensation point. ***Plant Physiology,*** 80: 239-241.

Gao, J., Xiao, Q., Ding, L., Chen, M., Yin, L., Li, J., Zhou, S., He, G. 2008. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in *Alternanthera philoxeroides* and *Oryza sativa* subjected to drought stress. ***Plant Growth Regulation,*** 56: 89-95.

Gapper, C., Dolan, L. 2006. Control of plant development by reactive oxygen species. ***Plant Physiology,*** 141: 341-345.

Gazarian, I.G., Lagrimini, L.M., Mellon, F.A., Naldrett, M.J., Ashby, G.A., Thorneley, R.N. 1998. Identification of skatolyl hydroperoxide and its role in the peroxidase-catalysed oxidation of indol-3-yl acetic acid. ***Biochemical Journal,*** 333: 223-232.

Ghane, S.G., Lokhande, V.H., Nikam, T.D. 2012. Differential growth, physiological and biochemical responses of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) cultivars to water-deficit (drought) stress. ***Acta Physiologiae Plantarum.,*** 34: 215-225.

Ghotbi-Ravandi, A.A., Shahbazi, M., Shariati, M., Mulo, P. 2014. Effects of mild and severe drought stress on photosynthetic efficiency in tolerant and susceptible barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes***. Journal of Agronomy and Crop Science,*** 200: 403-415.

Ghoulam, C., Foursy, A., Fares, K. 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. ***Environmental and Experimental Botany,*** 47(1): 39-50.

Giannopolitis, C.N., Ries, S.K. 1977. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. ***Plant Physiology,*** 59: 309-314.

Gill, P.K., Sharma, A.D., Shingh, P., Bhullar, S.S. 2001. Effect of various abiotic stresses on the growth soluble sugars and water relation of *Sorghum* seedlings grown in light and darkness. ***Bulgarian Journal of Plant Physiology,*** 27(1-2): 72-84.

Gill, S.S., Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. ***Plant Physiology and Biochemistry,*** 48(12): 909–930.

Goldberg, D.M., Spooner, R.J. 1983. Glutathione reductase. Editör; Bergmeyer, U.H. Methods of enzymatic analysis. Academic press, pp 258-265, New York.

Goswami, A., Banerjee, R., Raha, S. 2013. Drought resistance in rice seedlings conferred by seed priming Role of the anti-oxidant defense mechanisms. ***Protoplasma,*** 250: 1115-1129.

Guo, B., Yu, J., Ni, X., Lee, R.D., Kemerait, R.C., Scully, B.T. 2012. Crop stress and aflatoxin contamination: Perspectives and prevention strategies. Editörler; Venkateswarlu B., Shanker, A.K., Shanker, C., Maheswari, M. Crop stress and its management: Perspectives and strategies. Springer, pp 399-427, Netherlands.

Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T., Başer, K.H.C. 2000. Flora of Turkey and the east aegean islands (supplement 2). Vol. 11, Edinburgh University Press, Edinburgh.

Güneş, A., Pilbeam, D.J., İnal, A., Çoban, Ş. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. ***Communications in Soil Science and Plant Analysis,*** 39: 1885-1903.

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.

Ha, S., Vankova, R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., Tran, L.S.P. 2012. Cytokinins: metabolism and function in plant adaptation to environmental stresses. ***Trends in Plant Science,*** 17(3): 172-179.

Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C. 1999. Free radicals in biology and medicine (3rd ed.). Oxford University Press, pp.823, New York.

Halliwell, B. 2006. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. ***Plant Physiology,*** 141: 312-322.

Hansen, H., Dörffling, K. 2003. Root-derived trans-zeatin riboside and abscisic acid in drought-stressed and rewatered sunflower plants: interaction in the control of leaf diffusive resistance?. ***Functional Plant Biology,*** 30(4): 365-375.

Harrison, M.A. 2012. Cross-Talk between phytohormone signaling pathways under both optimal and stressful environmental conditions. Editörler; Khan, N.A., Nazar, R. Iqbal, N., Anjum, N.A. Phytohormones and abiotic stress tolerance in plants. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 49-76, Germany.

Hasanuzzaman, M. Hossain, M.A da Silva, J.A.T. Fujita, M. 2012. Plant response and tolerance to abiotic oxidative stress: Antioxidant defense is a key factor. Editörler; Venkateswarlu B., Shanker, A.K., Shanker, C., Maheswari, M. Crop stress and its management: Perspectives and strategies. Springer, pp 261-315, Netherlands.

He, J.X., Wang, J., Liang, H.G. 1995. Effects of water stress on photochemical function and protein metabolism of photosystem II in wheat leaves. ***Physiologia Plantarum,*** 93: 771-777.

Hernandez-Miana, F.M., Millo, E.P., Millo, J.P. 1989. Endogenous cytokinins in developing fruits of seeded and seedles citrus cultivars. ***Journal of Experimental Botany,*** 40(219): 1127-1134.

Hernandez-Miana, F.M. 1991. Identification of cytokinins and the changes in their endogenous levels in developing *Citrus sinensis* leaves. ***Journal of Horticultural Science,*** 66(4): 505-511.

Hirt, H. Shinozaki, K. 2004. Plant responses to abiotic stress. Springer Science & Business Media, pp. 297, Berlin.

Hoerling, M., Kumar, A. 2003. The perfect ocean for drought. ***Science,*** 299: 691-694.

Horgan, R., Kramers, M.R. 1979. High-performance liguid chromatogaphy of cytokinins. ***Journal of Chromatography,*** 173(2): 263-270.

Hong-bo, S., Li-ye, C., Ming-an, S., Jaleel, C.A., Hong-mei, M. 2008. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. ***Comptes Rendus Biologies,*** 331(6): 433-441.

Hsu, S.Y., Hsu, Y.T., Kao, C.H. 2003. Ammonium ion, ethylene, and abscisic acid in polyethylene glycol-treated rice leaves. ***Biologia Plantarum,*** 46(2): 239-242.

Hu, L., Wang, Z., Du, H., Huang, B. 2010. Differential accumulation of dehydrins in response to water stress for hybrid and common bermudagrass genotypes differing in drought tolerance. ***Journal of Plant Physiology,*** 167(2): 103-109.

Islam, M.R., Hu, Y., Mao, S., Jia, P., Eneji, A.E., Xue, X. 2011. Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in corn (*Zea mays* L.) under drought stress. ***Journal of the Science of Food and Agriculture,*** 91(5): 813-819.

Jaleel, C.A., Gopi, R., Sankar, B., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sridharan, R., Panneerselvam, R. 2007. Studies on germination seedling vigour, lipid peroxidation and proline metabolism in *Catharanthus roseus* seedlings under salt stress. ***South African Journal of Botany,*** 73(2): 190-195.

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Lakshmanan, G.M.A., Gomathinayagam, M., Panneerselvam, R., 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. ***Colloids and Surfaces B: Biointerfaces,*** 61(2): 298-303.

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. ***International Journal of Agriculture and Biology,*** 11: 100-105.

Jenks, M.A. 2002. Critical issues with the plant cuticle's function in drought tolerance. Editör; Wood, A.J. Biochemical & molecular responses of plants to the environment. Research Signpost Press, pp 97-127, Kerala, İndia.

Ji, K., Wang, Y., Sun, W., Lou, Q., Mei, H., Shen, S., Chen, H. 2010. Drought responsive mechanisms in rice genotypes with contrasting drought tolerance during reproductive stage. ***Journal of Plant Physiology,*** 169: 336-344.

Jiang, Y., Huang, B. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. ***Crop Science,*** 41: 436-442.

Jones, H.G., Jones, M.B. 1989. Introduction: some terminology and common mechanisms. Editörler; Jones, H.G. Flowers, T.J. Jones, M.B. Plants under stress, Cambridge University Press, pp 1-10, Cambridge.

Jongdee, B., Fukai, S., Cooper, M. 2002. Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice. ***Field Crops Research,*** 76(2-3): 153-163.

Kadıoğlu, M. 2007. "Küresel iklim değişimi ve Türkiye: Bildiğiniz havaların sonu", Güncel Yayıncılık, pp 384, İstanbul.

Kadıoğlu, A. Terzi, R. 2007. A dehydration avoidance mechanism: leaf rolling. ***The Botanical Review,*** 73(4): 290-302.

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

Kato, Y., Kamoshita, A., Yamagishi, J. 2007. Evaluating the resistance of six rice cultivars to drought: restriction of deep rooting and the use of raised beds. ***Plant and Soil,*** 300: 149-161.

Keller, B., Feuillet, C. 2000. Colinearity and gene density in grass genomes. ***Trends in Plant Science,*** 5(6): 246-251.

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

Khoyerdi, F.F., Shamshiri, M.H., Estaji, A. 2016. Changes in some physiological and osmotic parameters of several pistachio genotypes under drought stress. ***Scientia Horticulturae,*** 198: 44-51.

Kıran, S., Özkay, F., Ellialtıoğlu, Ş., Kuşvuran, Ş. 2014. Kuraklık stresi uygulanan kavun genotiplerinde bazı fizyolojik değişimler üzerine araştırmalar. ***Toprak Su Dergisi,*** 3(1): 53-58.

Kovac, M., Zel, J. 1994. The effect of aluminium on the cytokinins in the mycelia of *Lactarius piperatus*. ***Planta Science,*** 97(2): 137-142.

Kovtun, Y., Chiu, W.L., Tena, G., Sheen, J. 2000. Functional analysis of oxidative stress-activated mitogen-activated protein kinase cascade in plants. ***Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,*** 97(6): 2940-2945.

Krishnan, N., Dickman, M.B., Becker, D.F. 2008. Proline modulates the intracellular redox environment and protects mammalian cells against oxidative stress. ***Free Radical Biology and Medicine,*** 44(4): 671-681.

Kudoyarova, G.R., Vysotskaya, L.B., Cherkozyanova, A., Dodd, I.C. 2007. Effect of partial rootzone drying on the concentration of zeatin-type cytokinins in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) xylem sap and leaves. ***Journal of Experimental Botany,*** 58(2): 161-168.

Kumar, R.R., Karajol, K., Naik, G.R. 2011. Effect of polyethylene glycol induced water stress on physiological and biochemical responses in pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.). ***Recent Research in Science and Technology,*** 3(1): 148-152.

Kuraishi, S., Tasaki, K., Sakurai, N., Sadatoku, K. 1991. Changes in levels of cytokinins in etiolated squash seedlings after illimination. ***Plant and Cell Physiology,*** 32(5): 585-591.

Kuşvuran, Ş., Abak, K. 2012. Kavun genotiplerinin kuraklık stresine tepkileri. ***Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,*** 28(5): 79-87.

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

Kün, E. 1985. Sıcak iklim tahılları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, pp 317, Ankara.

Lafitte, H., Li, Z.K., Vijayakumar, C. 2006. Improvement of rice drought tolerance through backcross breeding: evaluation of donors and selection in drought nurseries. ***Field Crops Research,*** 97(1): 77-86.

Lambers, H., Chapin III, F.S., Pons, T.L. 1998. Plant water relations, plant physiological ecology. Springer, pp 154-209, New York.

Lambers, H., ChapinIII, F.S., Pons, T.L. 2008. Plant water relations, plant physiological ecology (2nd edn). Springer, pp 163-223, New York.

Larcher, W. 2000. Temperature stress and survival ability of mediterranean sclerophyllous plants. ***Plant Biosystems,*** 134(3): 279-295.

Larsson, K.E., Nyström, B., Liljenberg, C. 2006. A phosphatidylserine decarboxylase activity in rootcells of oat (*Avena sativa*) is involved in altering membrane phospholipid composition during drought stress acclimation. ***Plant Physiology and Biochemistry,*** 44(4): 211-219.

Lawlor, D.W., Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficts in higher plants. ***Plant, Cell & Environment,*** 25(2): 275-294.

Li, H., Sherman, L.A. 2000. A redox-responsive regulator of photosynthesis gene expression in the cyanobacterium *Synechocystis* sp. strain PCC 6803. ***Journal of Bacteriology,*** 182(15): 4268-4277.

Li, Y.P., Ye, W., Wang, M., Yan, X.D. 2009. Climate change and drought: a risk assessment of crop yield impacts. ***Climate Research,*** 39: 31-46.

Li, C.H., Li, Y., Wuyun, T.N., Wu, G.L., Jiang, G.M. 2010. Effects of high concentration ozone on soybean growth and grain yield. ***The Journal of Applied Ecology,*** 21(9): 2347-2352.

Lichtenhaler, H.K. 1996. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. ***Journal of Plant Physiology,*** 148(1-2): 4-14.

Liu, F., Christian, R., Shahanzari, J.A., Andersen, M.N., Jacobsen, E.E. 2005. ABA regulated stomata control and photosynthetic water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) during progressive soil drying. ***Plant Science,*** 168(3): 831-836.

Lu, H., Xue, J., Guo, D. 2017. Efficacy of planting date adjustment as a cultivation strategy to cope with drought stress and increase rainfed maize yield and water-use efficiency. ***Agricultural Water Management,*** 179: 227-235.

Luan, S. 2002. Signaling drought in guard cells. ***Plant, Cell & Environment,*** 25: 229-237.

Ludlow, M.M., Santamaria, J.M., Fukai, S. 1990. Contribution of osmotic adjustment to grain yield in *Sorghum bicolor* L. Moench under water limited conditions. II. water stress after anthesis. ***Australian Journal of Agricultural Research,*** 41(1): 67-78.

Lum, M.S., Hanafi, M.M. Rafii, Y.M., Akmar, A.S.N. 2014. Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. ***The Journal of Animal & Plant Sciences,*** 24(5): 1487-1493.

Machackova, I., Krekule, J., Eder, J., Seidlova, F., Strnad, M., 1993. Cytokinins in photoperiodic induction of flowering in *Chenopodium* species. ***Physiologia Plantarum,*** 87: 160-166.

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

McCree, K.J., Richardson, S.G. 1987. Stomatal closure vs. osmotic adjustment: a comparison of stress response. ***Crop Science,*** 27(3): 539-543.

Meyer, S., Genty, B. 1998. Mapping intercellular CO_2 mole fraction (C_i) in *Rosa rubiginosa* leaves fed with abscisic acid by using chlorophyll fluorescence imaging: significance of C_i estimated from leaf gas exchange. ***Plant Physiology,*** 116: 947-957.

Mishra, A.K., Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. ***Journal of Hydrology,*** 391: 202-216.

Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. ***Current Science,*** 80: 758-764.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. ***Trends in Plant Science,*** 7(9): 405-410.

Moinuddin, Khanna-Chopra, R. 2004. Osmotic adjustment in chickpea in relation to seed yield and yield parameters. ***Crop Science,*** 44: 449-455.

Mooney, P.A., Staden, J.V. 1984. Seasonal changes in the levels of endogenous cytokinins in *Sargassum heterophyllum* (Phaeophyceae). ***Botanica Marina,*** 27(9): 437-442.

Morgan, J.M. 1992. Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. ***Australian Journal of Plant Physiology,*** 19(1): 67-76.

Morris, J.W., Doumas, P., Morris, R.O., Zaer, J.B. 1990. Cytokinins in vegetative and reproductive buds of *Pseudotsuga menziesii*. ***Plant Physiology,*** 93: 67-71.

Mouradi, M., Bouizgaren, A., Farissi, M., Latrach, L., Qaddoury, A., Ghoulam, C. 2016. Seed osmopriming improves plant growth, nodulation, chlorophyll fluorescence and nutrient uptake in alfalfa (*Medicago sativa* L.) – rhizobia symbiosis under drought stress. ***Scientia Horticulturae,*** 213: 232-242.

Mundalia, L., Joshi, U., Rampuria, S., Meghwal, R., Kumar, S., Sharma, R. 2015. Effect of water stress on growth and antioxidative defence system in *Cucumis* spp. at seedling stage. ***Indian Journal of Agricultural Sciences,*** 85(5): 628-633.

Mundree, S.G, Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., Willigen, C.V., Govender, K., Maredza, A., Muyanga, S., Farrant, J.M., Thomson J.A. 2002. Physiological and molecular insights into drought tolerance. ***African Journal of Biotechnology,*** 1(2): 28-38.

Munné-Bosch, S., Alegre, L. 2000. Changes in carotenoids, tocopherols and diterpenes during drought and recovery, and the biological significance of chlorophyll loss in *Rosmarinus officinalis* plants. ***Planta,*** 210: 925-931.

Nakano, Y., Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast. ***Plant and Cell Physiology,*** 22(5): 867–880.

Nayyar, H., Walia, D.P. 2004. Genotypic variation in wheat in response to water stress and abscisic acid-induced accumulation of osmolytes in developing grains. ***Journal of Agronomy and Crop Science,*** 190: 39-45.

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

Ocak, A., Türe, C., Şenmerdan, A.B. 2009. An ınvestigation of diversity, distribution and monitoring on Poaceae (Gramineae) species growing naturally in Bilecik province at the intersection of three phytogeographical regions (Northwest Anatolia – Turkey). ***Pakistan Journal of Botany,*** 41(3): 1091-1106.

Ohkawa, H., Ohishi, N., Yagi, K. 1979. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. ***Analytical Biochemistry,*** 95(2): 351-358.

Opanowicz, M., Vain, P., Draper, J., Parker, D., Doonan, J.H. 2008. *Brachypodium distachyon*: making hay with a wild grass. ***Trends in Plant Science,*** 13(4): 172-177.

Orozco-Cardenas, M., Ryan, C.A. 1999. Hydrogen peroxide is generated systemically in plant leaves by wounding and systemin via the octadecanoid pathway. ***Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,*** 96(11): 6553-6557.

O'Toole, J.C. 2004. Rice and water: The final frontier. The First International Conference on Rice for the Future, pp 1-26, Bangkok, Thailand.

Oukarroum, A., Madidi, S.E., Schansker, G., Strasser, R.J. 2007. Prohibing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and rewatering. ***Environmental and Experimental Botany,*** 60(3): 438-446.

Özer, H., Karadoğan, T., Oral, E. 1997. Bitkilerde su stresi ve dayanıklılık mekanizması. ***Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,*** 28(3): 488-495.

Öztürk, M.A., Seçmen, Ö. 1992. Bitki Ekolojisi. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, pp 141, İzmir.

Palni, L.M.S., Summons, R.E., Letham, D.S. 1983. Mass spectro analysis of cytokinins in plant tissues. ***Plant Physiology,*** 72: 858-863.

Pandey, P., Srivastava, K.R., Dubey, R.S. 2014. Water deficit and aluminum tolerance are associated with a high antioxidative enzyme capacity in Indica rice seedlings. ***Protoplasma,*** 251: 147-160.

Pang, C.H., Wang, B.S. 2010. Role of ascorbate peroxidase and glutathione reductase in ascorbate–glutathione cycle and stress tolerance in plants. Editörler; Anjum, N.A., Chan, M.T.,

Umar, S. Ascorbate-glutathione pathway and stress tolerance in plants. Springer, pp 91–113, Netherlands.

Parlanti, S., Kudahettige, N.P., Lombardi, L., Mensuali-Sodi, A., Alpi, A., Perata, P., Pucciariello, C. 2011. Distinct mechanisms for aerenchyma formation in leaf sheaths of rice genotypes displaying a quiescence or escape strategy for flooding tolerance. ***Annals of Botany,*** 107: 1335-1343.

Paula, R.C., Paula, N.F., Marino, C.L. 2012. Breeding perennial species for abiotic stress. Editörler; Fritsche-Neto, R., Borem, A. Plant breeding for abiotic stress tolerance. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 157-172, Germany.

Pedrol, N., Gonzalez, L., Reigosa, M.J. 2006. Allelopathy and abiotic stress. Editörler; Reigosa, M.J., Pedrol, N., González, L. Allelopathy: A physiological process with ecological implications. Springer, pp 171-209, Netherlands.

Peeters, A. 2004. Wild and Sown Grasses. Profiles of a temperate species selection: ecology, biodiversity and use. Blackwell Publishing, pp 328, Rome.

Perales, L., Arbona, V., Gómez-Cadenas, A., Cornejo, M.J., Sanz, A. 2005. A relationship between tolerance to dehydration of rice cell lines and ability for ABA synthesis under stress. ***Plant Physiology and Biochemistry,*** 43(8): 786-792.

Pillai, B.V.S., Kagale, S., Chellamma, S. 2012. Enhancing productivity and performance of oil seed crops under environmental stresses. Editörler; Venkateswarlu, B., Shanker, A.K., Shanker, C., Maheswari, M. Crop stress and its management: perspectives and strategies. Springer, pp 139-161, Netherlands.

Pinheiro, C., Antonio, C., Ortuno, M.F., Dobrev, P.I., Hartung, W., Thomas-Oates, J., Ricardo, C.P., Vankova, R., Chaves, M.M., Wilson, J.C. 2011. Initial water deficit effects on *Lupinus albus* photosynthetic performance, carbon metabolism, and hormonal balance: metabolic reorganization prior to early stress responses. ***Journal of Experimental Botany,*** 62(14): 4965-4974.

Porteres, P.R. 1956. Taxonomie agrobotanique des riz cultivés *O. sativa* L. et *O. glaberrima* steudel. ***Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée,*** 3(7): 341-384.

Potters, G., Pasternak, T.P., Guisez, Y., Jansen, M.A.K. 2009. Different stresses, similar morphogenic responses: integrating a plethora of pathways. ***Plant, Cell & Environment,*** 32(2): 158-169.

Prakash, C., Mithra, S.V.A., Singh, P.K., Mohapatra, T., Singh, N.K. 2016. Unraveling the molecular basis of oxidative stress management in a drought tolerant rice genotype Nagina 22. ***BMC Genomics,*** 17: 774.

Pustovoitova, T.N., Drozdova, I.S., Zhdanova, N.E., Zholkevich, V.N. 2003. Leaf growth, photosynthetic rate, and phytohormone contents in *Cucumis sativus* plants under progressive soil drought. ***Russian Journal of Plant Physiology,*** 50(4): 441–443.

Pyngrope, S., Bhoomika, K., Dubey, R.S. 2013a. Oxidative stress, protein carbonylation, proteolysis and antioxidative defense system as a model for depicting water deficit tolerance in Indica rice seedlings. ***Plant Growth Regulation,*** 69: 149-165.

Pyngrope, S., Bhoomika, K., Dubey, R.S. 2013b. Reactive oxygen species, ascorbate–glutathione pool, and enzymes of their metabolism in drought-sensitive and tolerant indica rice (*Oryza sativa* L.) seedlings subjected to progressing levels of water deficit. ***Protoplasma,*** 250: 585-600.

Qamaruddin, M., Dormling, I., Eliasson, L. 1990. Increase in cytokinin levels in scots pine in relation to chilling and bud burst. ***Physiologia Plantarum,*** 79(2): 236-241.

Raziuddin, Swati, Z.A., Bakht, J., Farhatullah, Ullah, N. Shafi, M. Akmal, M. Hassan, G. 2010. In situ assessment of morpho-physıological response of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to drought. ***Pakistan Journal of Botany,*** 42(5): 3183-3195.

Riccardi, M. Pulvento, C. Patanè, C. Albrizio, R. Barbieri, G. 2016. RETRACTED: Drought stress response in long-storage tomatoes: physiological and biochemical traits. ***Scientia Horticulturae,*** 200: 25-35.

Richardson, A.D., Aikens, M., Berlyn, G.P., Marshall, P. 2004. Drought stress and paperbirch (*Betula papyrifera*) seedlings: effects of an organic biostimulant on plant health and stress tolerance, and detection of stres effects with instrument- based, noninvasive methods. ***Journal of Arboriculture,*** 30(1): 52-61.

Riedel, M., Riederer, M., Becker, D., Herran, A., Kullaya, A., Arana-López, G., Peña-Rodríguez, L., Billotte, N., Sniady, V., Rohde, W., Ritter, E. 2009. Cuticular wax composition in *Cocos nucifera* L.: physicochemical analysis of wax components and mapping of their QTLs onto the coconut molecular linkage map. ***Tree Genetics & Genomes,*** 5: 53-69.

Riederer, M., Schreiber, L. 2001. Protecting against water loss: analysis of the barrier properties of plant cuticles. ***Journal of Experimental Botany,*** 52(363): 2023-2032.

Rodriguez, E.S., Wilhelmi, M.R., Cervilla, L., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., 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.

Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodríguez-Valentín, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J., Covarrubias, A.A. 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. ***Plant Physiology and Biochemistry,*** 56: 24-34.

Rüdiger, W. 2002. Biosynthesis of chlorophyll b and the chlorophyll cycle. ***Photosynthesis Research,*** 74: 187-193.

Sade, B., Soylu, S., Sezer, İ., Başer, N., Sürek, H., Şahin, M., Yetiş, A.T., Özkan, İ. 2011. Ulusal Hububat Konseyi Çeltik Raporu. Ulusal Hububat Konseyi, pp 64, Ankara.

Sakakibara, H. 2006. Cytokinins: activity, biosynthesis, and translocation. ***Annual Review of Plant Biology,*** 57: 431-449.

Salehi, A., Tasdighi, H., Gholamhoseini, M. 2016. Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments. ***Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine,*** 6(10): 886-891.

Salisbury, F.B., Ross, C.W. 1992. Plant physiology (4th edn). Wadsworth Publishing, pp. 682, Belmont, USA.

Sánchez-Díaz, M., Tapia, C.M., Antolín, M.C. 2008. Abscisic acid and drought response of Canarian laurel forest tree species growing under controlled conditions. ***Environmental and Experimental Botany,*** 64: 155-161.

Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M.M., Blasco, B., Leyva, R., Romero, L., Ruiz, J.M. 2012. Antioxidant response resides in the shoot in reciprocal grafts of drought-tolerant and drought-sensitive cultivars in tomato under water stress. ***Plant Science,*** 188-189: 89-96.

Santa-Cruz, A., Martinez-Rodriguez, M. M., Perez-Alfocea, F., RomeroAranda, R., Bolarin, M.C. 2002. The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. ***Plant Science,*** 162(5): 825-831.

Sapeta, H., Costa, J.M., Lourenço, T., Maroco, J., van der Linde, P., Oliveira, M.M. 2013. Drought stress response in *Jatropha curcas*: growth and physiology. ***Environmental and Experimental Botany,*** 85: 76–84.

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

Schachtman, D.P., Goodger, J.Q. 2008. Chemical root to shoot signaling under drought. ***Trends in Plant Science,*** 13(6): 281-287.

Schopfer, P., Liszkay, A., Bechtold, M., Frahry, G., Wagner, A. 2002. Evidence that hydroxyl radicals mediate auxin-induced extension growth. ***Planta,*** 214: 821-828.

Sengupta, D., Guha, A., Reddy, A.R. 2013. Interdependence of plant water status with photosynthetic performance and root defense responses in *Vigna radiata* L. Wilczek under progressive drought stress and recovery. ***Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology,*** 127: 170-181.

Sezer, İ., Akay, H., Öner, F., Şahin, M. 2012. Çeltik üretim sistemleri. ***Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi,*** 5(2): 6-11.

Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A., Zhao, C.X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. ***Comptes Rendus Biologies,*** 331(3): 215-225.

Sharma, P., Dubey, R.S. 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. ***Plant Growth Regulation,*** 46: 209-221.

Sharma, S.S., Dietz, K.J. 2008. The relationship between metal toxicity and cellular redox imbalance. ***Trends in Plant Science,*** 14(1): 43-50.

Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., Pessarakli M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. ***Journal of Botany,*** 1-26.

Shashidhar, V.R., Prasad, T.G., 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(2): 151-155.

Shebab, G.G., Ahmed, O.K., El-Beltagi, H.S. 2010. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). ***Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca,*** 38(1): 139-148.

Sherwin, H.W., Farrant, J.M. 1998. Protection mechanisms against excess light in the resurrection plants *Craterostigma wilmsii* and *Xerophyta viscosa*. ***Plant Growth Regulation,*** 24: 203-210.

Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. 2007. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. ***Journal of Experimental Botany,*** 58(2): 221-227.

Shulaev, V., Cortes , D., Miller, G., Mittler, R. 2008. Metabolomics for plant stress response. ***Physiologia Plantarum,*** 132: 199-208.

Siddique, M.R.B., Hamid, A., Islam, M.S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. ***Botanical Bulletin of Academia Sinica,*** 41: 35-39.

Silva, M.A., Santos, C.M., Labate, C.A., Guidetti-Gonzalez, S., Borges, J.S., Ferreira, L.C., DeLima, R.O., Fritsche-Neto, R. 2012. Breeding for water use efficiency. Editörler; Fritsche-Neto, R., Borem, A. Plant breeding for abiotic stress tolerance. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 87-102, Germany.

Singh, S., Khan, N.A., Nazar, R., Anjum, N.A. 2008. Photosynthetic traits and activities of antioxidant enzymes in blackgram (*Vigna mungo* L. Hepper) under cadmium stress. ***American Journal of Plant Physiology,*** 3(1): 25-32.

Smirnoff, N. 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment. Editör; Smirnoff, N. Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation. Bios Scientific Publishers, pp 217-243, Oxford.

Sperdouli, I., Moustakas, M. 2012. Interaction of proline, sugars, and anthocyanins during photosynthetic acclimation of *Arabidopsis thaliana* to drought stress. ***Journal of Plant Physiology,*** 169(6): 577-585.

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

Stein, H., Honig, A., Miller, G., Erster, O., Eilenberg, H., Csonka, L.N., Szabados, L., Koncz, C., Zilberstein, A. 2011. Elevation of free proline and proline-rich protein levels by simultaneous manipulations of proline biosynthesis and degradation in plants. ***Plant Science,*** 181(2): 140-150.

Sun, W.Q., Leopold, A.C. 1997. Cytoplasmic vitrification and survival of anhydrobiotic organisms. ***Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology,*** 117(3): 327-333.

Sun, J., Gu, J., Zeng, J., Han, S., Song, A., Chen, F., Fang, W., Jiang, J., Chen, S. 2013. Changes in leaf morphology, antioxidant activity and photosynthesis capacity in two different drought-tolerant cultivars of chrysanthemum during and after water stress. ***Scientia Horticulturae,*** 161: 249-258.

Szabados, L., Kovacs, H., Zilberstein A., Bouchereau, A. 2011. Plants in extreme environments: importance of protective compounds in stress tolerance. ***Advances in Botanical Research,*** 57: 105-150.

Székely, G., Ábrahám, E., Cséplő, A., Rigó, G., Zsigmond, L., Csiszár, J., Ayaydin, F., Strizhov, N., Jásik, J., Schmelzer, E., Koncz, C., Szabados, L. 2008. Duplicated P5CS genes of *Arabidopsis* play distinct roles in stress regulation and developmental control of proline biosynthesis. ***The Plant Journal,*** 53(1): 11-28.

Taiz, L. Zeiger, S.C.E. 2008. *Plant Physiology*, 3rd edn., Sinauer Associates, Inc., Publisher, pp 690, Sunderland.

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

Tambussi, E.A., Casadesus, J., Munné-Bosch, S., Araus, J.L. 2002. Photoprotection in water-stressed plants of durum wheat (*Triticum turgidum* var. *durum*): changes in chlorophyll fluorescence spectral signature and photosynthetic pigments. ***Functional Plant Biology,*** 29(1): 35-44.

Tardieu, F. 2005. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. ***Comptes Rendus Geoscience,*** 337(1-2): 57-67.

Taylı, T., Toruk, F., Ülger, P. 2009. Çeltiğin kurutulması ve kurutma parametrelerinin saptanması. ***Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi,*** 6(1): 37-43.

Taylor, J.S., Thompson, B., Pate, S.J., Atkins, C.A., Pharis, R.P. 1990. Cytokinins in the phloem sap of white lupin (*Lupinus albus* L.). ***Plant Physiology,*** 94: 1714-1720.

Thameur, A., Ferchichi, A., López-Carbonell, M. 2011. Quantification of free and conjugated abscisic acid in five genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) under water stress conditions. ***South African Journal of Botany,*** 77(1): 222-228.

Thomas, D.S.G., Twyman, C., Osbahr, H., Hewitson, B. 2007. Adaptation to climate change and variability: farmer responses to intra-seasonal precipitation trends a South Africa. ***Climatic Change,*** 83: 301-322.

Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W.H., Simberloff, D., Swackhamer, D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. ***Science,*** 292: 281-284.

Trethowan, R.M., Crossa, J., Ginkel, M., Rajaram, S. 2001. Relationships among bread wheat international yield testing locations in dry areas. ***Crop Science,*** 41: 1461-1469.

TTAE, 2016. Erişim: [http://arastirma.tarim.gov.tr/ttae/Link/1/Cesitlerimiz]. Erişim Tarihi: 27.12.2016.

TUBİVES, 2017. Erişim: [http://tubives.com/index.php?sayfa=1&tax_id=9858]. Erişim Tarihi: 15.01.2017.

TÜİK, 2016. Erişim: [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001]. Erişim Tarihi: 24.10.2016.

Türe, C., Böcük, H. 2007. An investigation on the diversity, distribution and conservation of *Poaceae* growing naturally in Eskişehir province (Central Anatolia-Turkey). ***Pakistan Journal of Botany,*** 39(4): 1055-1070.

Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F., Koca, H. 2005. Differential responses 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 Science,*** 168: 223-231.

Türkeş, M. 2012. Kuraklık, çölleşme ve birleşmiş milletler çölleşme ile savaşım sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi. ***Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi,*** 20(1): 7-55.

Valliyodan, B., Nguyen, H.T. 2006. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. ***Current Opinion in Plant Biology,*** 9(2): 189-195.

Velikova, M., Bankova, V., Sorkun, K., Houcine, S., Tsvetkova, I., Kujumgiev, A. 2000. Propolis from the Mediterranean region: chemical composition and antimicrobial activity. ***A Journal of Biosciences,*** 55: 790-793.

Vendruscolo, E.C.G., Schuster, I., Pileggi, M., Scapim, C.A., Molinari, H.B.C., Marur, C.J., Vieira, L.G.E. 2007. Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. ***Journal of Plant Physiology,*** 164(10): 1367-1376.

Venkateswarlu, B., Shanker, A.K., Shanker, C., Maheswari, M. 2012. Crop stress and its management: perspectives and strategies. Springer, pp 612, Netherlands.

Verslues, P.E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., Zhu, J.K. 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. ***The Plant Journal,*** 45: 523-539.

Veselov, D.S., Sharipova, G.V., Veselov, S.U., Kudoyarova, G.R. 2008. The effects of NaCl treatment on water relations, growth, and ABA content in barley cultivars differing in drought tolerance. ***Journal of Plant Growth Regulation,*** 27: 380-386.

Vijayalakshmi, C., Nagarajan, M. 1994. Effect of rooting pattern on rice productivity under different water regimes. ***Journal of Agronomy Crop Science,*** 173(2): 113-117.

Vinod, K.K. 2012. Stress in plantation crops: adaptation and management. Editörler; Venkateswarlu, B., Shanker, A.K., Shanker, C., Maheswari, M. Crop stress and its management: perspectives and strategies. Springer, pp 45-137, Netherlands.

Wang, B., Li, Z., Eneji, E., Tian, X., Zhai, Z., Li, J., Duan, L. 2008. Effects of coronatine on growth, gas exchange traits, chlorophyll content, antioxidant enzymes and lipid peroxidation in maize (*Zea mays* L.) seedlings under simulated drought stress. ***Plant Production Science,*** 11(3) : 283-290.

Wang, Y., Li, L., Ye, T., Zhao, S., Liu, Z., Feng, Y.Q., Wu, Y. 2011. Cytokinin antagonizes ABA suppression to seed germination of *Arabidopsis* by downregulating ABI5 expression. ***The Plant Journal,*** 68(2): 249-261.

Werner, T., Nehnevajova, E., Köllmer, I., Novak, O., Strnad, M., Kramer, U., Schmülling, T., 2010. Root-specific reduction of cytokinin causes enhanced root growth, drought tolerance, and leaf mineral enrichment in *Arabidopsis* and *Tobacco*. ***The Plant Cell,*** 22: 3905–3920.

Wilkinson, S., Davies, W.J. 2002. ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. ***Plant, Cell & Environment,*** 25(2): 195-210.

Wolters, H., Jürgens, G. 2009. Survival of the flexible: hormonal growth control and adaptation in plant development. ***Natural Reviews Genetics,*** 10: 305-317.

Xiong, J., Zhang, L., Fu, G., Yang, Y., Zhu, C., Tao, L. 2012. Drought-induced proline accumulation is uninvolved with increased nitric oxide, which alleviates drought stress by decreasing transpiration in rice. ***Journal of Plant Research,*** 125: 155-164.

Xu, W., Cui, K., Xu, A., Nie, L., Huang, J., Peng, S. 2015. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. ***Acta Physiologiae Plantarum,*** 37: 9.

Yadav, N., Gupta, V. Yadav, V.K. 1997. Role of benzyladenine and gibberellic acid in alleviating water-stress effect in gram (*Cicer arietinum*). ***The Indian Journal of Agricultural Science,*** 67: 381-387.

Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. 2006. Transcriptional regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses. ***Annual Review of Plant Biology,*** 57: 781-803.

Yang, H.Y., Zhang, C.H., Wu, W.L., Li, W.L., Wei, Y.L., Dong, S.S. 2015. Physiological responses of blackberry cultivar “ningzhi 1” to drought stress. ***Russian Journal of Plant Physiology,*** 62(4): 472-479.

Yin, C., Wang, X., Duan, B., Luo, J., Li, C. 2005. Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric *Populus* species as affected by water stress. ***Environmental and Experimental Botany,*** 53(3): 315–322.

Zhang, J., Jia, W., Yang, J., Ismail, A.M. 2006. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. ***Field Crops Research,*** 97(1): 111-119.

Zhang, Y.L., Zhang, H.Z., Du, M.V., Li, W., Luo, H.H., Chow, W.S., Zhang, W.F. 2010. Leaf wilting movement can protect water-stressed cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants against photoinhibition of photosynthesis and maintain carbon assimilatin in the field. ***Journal of Plant Biology,*** 53: 52-60.

Zhu, B., Su, J., Chang, M., Verma, D.P.S., Fan, Y.L., Wu, R. 1998. Overexpression of Δ^1-pyrroline-5-carboxylate synthetase gene and analysis of tolerance to water- and saltstress in transgenic rice. ***Plant Science,*** 139: 41-48.

Zhu, J.K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. ***Annual Review of Plant Biology,*** 53: 247-273.

Zinselmeier, C., Westgate M.E., Schussler J.R., Jones, R.J. 1995. Low water potential disrupts carbonhydrate metabolism in maize (*Zea Mays* L.). ***Plant Physiology,*** 107: 385-391.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı	: KURU, İbrahim Selçuk
Uyruğu	: T.C.
Doğum Yeri	: Adıyaman
Doğum Tarihi	: 01.09.1985
E-Posta	: iselcukkuru@gmail.com ibrahimselcuk.kuru@batman.edu.tr

Eğitim Bilgileri

Eğitim Derecesi	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Yüzüncü Yıl Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü	2010
Lisans	Yüzüncü Yıl Üniversitesi-Eğitim Fakültesi-Biyoloji Öğretmenliği	2008
Lise	Adıyaman Lisesi	2002

İş Deneyimi

Görev	Yer	Yıl
Araştırma Görevlisi	Batman Üniversitesi	2010-

Yabancı Dil : İngilizce

Yayınlar/Bildiriler

Işıkalan, Ç., Karakuş, P., Kuru, İ.S., Çelik, K.S. 2013. The effect of UV-B on fatty acid content and radical scavenging activity of methanolic extracts from *Hypericum retusum* aucher grown under *in vitro* conditions. Fresenius Environmental Bulletin, 22(4b): 1184-1188.

Keskin, N., Bingöl, Ö., Kuru, İ.S. 2012. Evaluation of some berry quality characteristics in *Vitis vinifera* cv. Kalecik Karasi Clones. International Journal of Agriculture & Biology, 14(3): 461-464.

Akbaş, F., Kuru, İ.S., Karakuş, P. 2015. The Effects of BAP and Kin on micropropagation of *Ajuga vestita* BOISS.; a rare endemic medicinal plant. 2nd International Conference on Advances in Environment, Agriculture & Medical Sciences (ICAEAM'15), Antalya, pp 31-33.

Akbaş, F., Karakuş, P., Kuru, İ.S., Işıkalan, Ç., Namlı, S. 2014. "Tehlike altındaki nadir endemik *Ajuga vestita* BOISS.'in *in vitro* ortamda çimlendirilmesi". 22. Ulusal Biyoloji Kongresi, 23-27 Haziran, Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir, pp 848.

Akbaş, F., Işıkalan, Ç., Kuru, İ.S., Karakuş, P. 2013. The effects of different NaCl applications on the growth of almond grown in Batman, Turkey. VI. Internatıonal Symposium On Almonds And Pistachios, 27-31 Mayıs, Murcia, Spain.

Işıkalan, Ç., Akbaş, F., Karakuş, P., Kuru, İ.S. 2013. The effect of saline and different growth conditions on seed germination of almond grown in Batman, Turkey. VI. Internatıonal Symposium On Almonds And Pistachios, 27-31 Mayıs, Murcia, Spain.

Karakuş, P., Işıkalan, Ç., Kuru, İ.S., Akbaş, F., Namlı, S. 2012. İn vitro koşullarda yetiştirilen *Hypericum spectabile'* nin antioksidan aktivitesi üzerine UV-B'nin etkisi. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, Ege Üniversitesi, 3-7 Eylül, İzmir, pp 779.

Işıkalan, Ç., Karakuş, P., Kuru, İ.S. 2012. *İn vitro* ve *İn vivo* koşullarda yetiştirilen *Hypericum spectabile*'de yağ asidi içeriğinin karşılaştırılması. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül, Ege Üniversitesi, İzmir, pp 698.

Kuru, İ.S. Battal, P. 2012. Üzerlik (*Peganum harmala*, Nitrariaceae) bitki ekstraktının buğday (*Triticum vulgare,* Poaceae) ve semiz otu (*Portulaca oleracea*, Portulacaceae) tohumları üzerine allelopatik potansiyelinin araştırılması. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, Ege Üniversitesi, 3-7 Eylül, İzmir, pp 515.

Proje Bilgileri

Projenin Adı	**Destekleyen Kuruluş**	**Tarih**	**Destek Miktarı**
Üzerlik (*Peganum harmala* L.) bitki ekstraktının buğday (*Triticum vulgare* L.) ve semiz otu (*Portulaca oleracea* L.) tohumlarının çimlenmesi üzerine etkisinin araştırılması	YYÜBAP	2009-2011	9 000 TL
Nadir endemik olan iki ajuga türünün (*Ajuga vestita BOISS.* ve *Ajuga xylorrhiza* KIT TAN) in vitro mikroçoğaltılması	BTÜBAP	2012-2016	19 000 TL
Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüs alanında Antep fıstığı (Siirt) Yetiştiriciliği ve Üretiminin Geliştirilmesi	BTÜBAP	2013-	25 000 TL
Kuraklık Stresine Karşı Bazı Çeltik (*Oryza sativa* L.) Çeşitlerinde Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişimlerin İncelenmesi	DÜBAP	2015-	13 070 TL
Tuz (NaCI) Stresine Maruz Bırakılan Çeltik (*Oryza sativa* L.) Çeşitlerinde Antioksidatif Değişimlerin Belirlenmesi	DÜBAP	2015-	13 135 TL

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	İbrahim Selçuk KURU
ÖĞRENCİ NO	11-801-512
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2016-2017
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Biyoloji
PROGRAM	DOKTORA
TEZ KONUSU	Bazı Çeltik (*Oryza sativa* L.) Çeşitlerinde Kuraklığa Tolerans Cevaplarının Araştırılması
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	163
BENZERLİK ORANI	%23
RAPORLAMA TARİHİ	11/04/2017

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 163 sayfalık kısmına ilişkin, 11/04/2017 tarihinde şahsım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %23 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

☒ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esaslarını inceledim ve bu Uygulama Esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

İmza
İbrahim Selçuk KURU

İmza 11/04/2017 Doç. Dr. Çiğdem IŞIKALAN **Tez Danışmanı**	İmza 11/04/2017 Prof. Dr. A. Selçuk ERTEKİN **Anabilim Dalı Başkanı**