

**SİVAS (HAFİK, OLUKBAŞI) BÖLGESİNDE YAYILIŞ GÖSTEREN *Helichrysum arenarium* (L.) Moench (ALTIN OTU) BİTKİSİNİN KURAKLIK STRESİNE GÖSTERMİŞ OLDUĞU ANTIOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMİ TEMELLİ YANITLAR**

**MELDA ATEŞ**

**Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Danışman: Doç. Dr. Sefer DEMİRBAŞ**

**2023**

T.C.  
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SİVAS (HAFİK, OLUKBAŞI) BÖLGESİNDE YAYILIŞ GÖSTEREN *Helichrysum  
arenarium* (L.) Moench (ALTIN OTU) BİTKİSİNİN KURAKLIK STRESİNE  
GÖSTERMİŞ OLDUĞU ANTIOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMİ TEMELLİ  
YANITLAR

MELDA ATEŞ

ORCID: 0000-0002-7486-1773

TARIMSAL BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Danışman: Doç. Dr. Sefer DEMİRBAŞ

ŞUBAT-2023

Her hakkı saklıdır.

## ÖZET

# SİVAS (HAFİK, OLUKBAŞI) BÖLGESİNDE YAYILIŞ GÖSTEREN *HELICHRYSUM ARENARIUM* (L.) MOENCH (ALTIN OTU) BİTKİSİNİN KURAKLIK STRESİNE GÖSTERMİŞ OLDUĞU ANTIOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMİ TEMELLİ YANITLAR

Melda ATEŞ

Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Sefer DEMİRBAŞ

Tıbbi ve aromatik özelliğe sahip olan *Helichrysum arenarium* (L.) Moench (altın otu) bitkisinin kuraklık stresi altında göstermiş olduğu morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal çalışmalar literatürde bulunmamaktadır. *Helichrysum* türleri geleneksel halk hekimliğinde kullanılan ve günümüzde de modern tıpta kullanılmaya devam eden tıbbi aromatik özellikte bitkiler olarak bilinmektedir. Reaktif oksijen türleri ve diğer serbest radikallerin oluşumu engellemeye yönelik aktivitelerinden dolayı doğal antioksidan olarak görülmektedir. Bu amaçla, Sivas bölgesinden toplanan altın otu bitkisinde çimlenme ve erken gelişim döneminde kuraklık stresine göstermiş olduğu morfolojik, fizyolojik ve antioksidan savunma sistemi temelli yanıtlar belirlenmeye çalışılmıştır. Kontrollü koşulların sağlandığı iklimlendirme odalarında, petri kaplarında büyütülen altın otu tohumları PEG-6000 ile (%0-30) kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. Altın otu bitkilerinin erken gelişim döneminde PEG-6000 (%0-15) uygulamalarının büyüme parametreleri, yaprak su içeriği (YSİ), tiyobarbitürik asit reaktif maddelerinin (TBARS), hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) miktarı ve antioksidan enzim aktivitelerinde (süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX), glutasyon redüktaz (GR)) meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çimlenme çalışmasında altın otu tohumlarının PEG %20 ve PEG %30 ortamlarında çimlenemediği, erken gelişim döneminde ise PEG %15 uygulamasının fidelerin gelişimi üzerinde ciddi bir baskılanmaya neden olduğu belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasının (PEG %5 ve PEG %10) altın otu bitkilerinin büyüme parametreleri, YSİ, CAT ve GR seviyesinde azalmaya, TBARS,  $H_2O_2$ , SOD ve APX değerlerinde ise artışa neden olmuştur. Altın otu bitkilerinde kuraklık şiddeti arttığında büyümenin baskılanmasına karşın antioksidan enzimlerinden APX ve SOD aktivitelerinin arttığı ilk kez bu tez çalışmasıyla ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Altın otu, Kuraklık, Stres,  $H_2O_2$ , Antioksidan Savunma Sistemi

## ABSTRACT

### ANTIOXIDANT DEFENSE SYSTEM BASED RESPONSES TO DROUGHT STRESS OF *Helichrysum arenarium* (L.) Moench (SANDY EVERLASTING) DISTRIBUTING IN SİVAS (HAFİK, OLUKBAŞI) REGION

Melda ATEŞ

Department of Agricultural Biotechnology

MSc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sefer DEMİRBAŞ

Morphological, physiological and biochemical studies of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench (sandy everlasting) plant, which has medicinal and aromatic properties, under drought stress are not available in the literature. *Helichrysum* species are known as medicinal aromatic plants that are used in traditional folk medicine and continue to be used in modern medicine today. It is seen as a natural antioxidant due to its activities to prevent the formation of reactive oxygen species and other free radicals. For this purpose, it was tried to determine the morphological, physiological and antioxidant defense system-based responses to drought stress in the germination and early development period of sandy everlasting plant collected from Sivas region. Sandy everlasting seeds grown in petri dishes were exposed to drought stress (0-30%) with PEG-6000 in air-conditioning rooms where controlled conditions were provided. Growth parameters, leaf water content (YSI), thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) amount and antioxidant enzyme activities (superoxide dismutase (SOD)) of PEG-6000 (0-15%) applications during the early development period of sandy everlasting plants. catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX), glutathione reductase (GR)) changes were investigated. In the germination study, it was determined that sandy everlasting seeds could not germinate in PEG 20% and PEG 30% media, and PEG 15% application in the early development period caused a serious suppression on the development of the seedlings. Drought treatment (PEG 5% and PEG 10%) caused a decrease in the growth parameters of sandy everlasting plants, YSI, CAT and GR levels, and an increase in TBARS, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, SOD and APX values. In this thesis, it was demonstrated for the first time that the antioxidant enzymes APX and SOD activities increased, although the growth was suppressed when the severity of drought increased in sandy everlasting plants.

**Keywords:** Sandy everlasting, Drought, Stress, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Antioxidant Defense System

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	ix
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	xi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1 Literatür Özeti .....	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	10
<b>2. HELICHRYSUM CİNSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ</b> .....	11
2.1 <i>Helichrysum arenarium</i> (L.) Moench .....	15
<b>3. KURAKLIK STRESİ VE BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ</b> .....	18
3.1 Bitki tolerans mekanizmaları .....	21
3.2 Antioksidan savunma sistemi.....	25
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	28
4.1 Bitki Materyali .....	28
4.2 Bitkilerin Yetiştirilmesi.....	28
4.2.1 Çimlenme Denemesi.....	29
4.2.2 Fide Gelişim Dönemindeki Kuraklık Yanıtları .....	33
4.2.2.1 <i>Büyüme parametreleri</i> .....	34
4.2.2.2 <i>Yaprak Su İçeriğinin (YSİ) Belirlenmesi</i> .....	34
4.2.2.3 <i>Lipit Peroksidasyonu Miktarının Belirlenmesi</i> .....	34
4.2.2.4 <i>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Miktarının Belirlenmesi</i> .....	35
4.2.2.5 <i>Toplam Protein Miktarının Belirlenmesi</i> .....	35
4.2.2.6 <i>SOD (EC 1.15.1.1.) Aktivitesinin Belirlenmesi</i> .....	36
4.2.2.7 <i>Askorbat peroksidaz (APX, E.C. 1.11.1.11) aktivitesinin belirlenmesi</i> ...	37
4.2.2.8 <i>Glutasyon redüktaz (GR, E.C. 1,6.4.2) aktivitesinin belirlenmesi</i> .....	37
4.2.2.9 <i>Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) aktivitesinin belirlenmesi</i> .....	38
4.3 İstatistiksel Analiz.....	38
<b>5. BULGULAR</b> .....	39
5.1 Çimlenme Denemesi .....	39
5.2 Fide Gelişim Dönemi .....	42
5.2.1 Gövde uzunluğu.....	42
5.2.2 Kök uzunluğu.....	43

5.2.3 Gövde yaş ağırlığı.....	44
5.2.4 Kök yaş ağırlığı .....	45
5.2.5 Gövde kuru ağırlığı.....	46
5.2.6 Kök kuru ağırlığı .....	47
5.2.7 Yaprak su içeriği (YSİ) .....	48
5.2.8 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı .....	49
5.2.9 TBARS miktarı.....	50
5.2.10 Toplam protein miktarı.....	51
5.2.11 SOD aktivitesi .....	53
5.2.12 APX aktivitesi .....	54
5.2.13 GR aktivitesi.....	55
5.2.14 CAT aktivitesi .....	56
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>58</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>65</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye’de yayılış gösteren <i>Helichrysum</i> türleri ve Türkçe isimleri .....	13
Çizelge 2.2. <i>Helichrysum arenarium</i> alt türlerinin, eş anlamlarının ve yayılım gösterdiği yerlerin listesi .....	17
Çizelge 3.1. Bitki dokularında bulunan ROT’un temel özellikleri.....	26
Çizelge 4.1. <i>Helichrysum arenarium</i> (kuru) tohumlarına uygulanan kuraklık çalışması .....	30
Çizelge 4.2. MS besi yeri ve PEG hazırlanışı. ....	32
Çizelge 6.1 Altın otu fidelerinin 7 ve 14 günlük morfolojik verilerinin korelasyon matrisi..	59
Çizelge 6.2. Altın otu bitkisinin biyokimyasal verilerinin korelasyon matrisi.....	60
Çizelge 6.3. Altın otu bitkisine ait morfolojik ve biyokimyasal genel parametrelerin korelasyon matrisi. ....	61
Çizelge.6.4. Altın otu bitkisinin morfolojik ve biyokimyasal parametrelerine ait ortalama değerler. ....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Türkiye’de bulunan bazı <i>Helichrysum</i> türleri. ....	14
Şekil 2.2. Araziden toplanan altın otu bitkileri.....	16
Şekil 3.1. Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde büyüme fonksiyonlarının azalış nedenleri .....	19
Şekil 3.2. Bitkilerin göstermiş olduğu kuraklığa direnç mekanizması. ....	24
Şekil 4.1. <i>Helichrysum arenarium</i> (L.) Moench tohumlarının toplandığı bölgenin harita üzerinde gösterimi. ....	28
Şekil 4.2. Bitkilerin in vivo bitki büyütme odasında yetiştirme ortamı .....	29
Şekil 4.3. <i>H. arenarium</i> (kuru ve yaş) tohumları ile <i>H. italicum</i> tohumlarının çimlenme oranının karşılaştırılması. ....	30
Şekil 4.4. Tohum çimlendirme denemeleri.. ....	32
Şekil 4.5. Bitki yetiştirme basamakları.....	33
Şekil 4.6. Protein standart grafiği. ....	36
Şekil 4.7. Analizlere ait görseller .....	37
Şekil 5.1. PEG uygulamasının kontrol grupları ile karşılaştırılması. ....	39
Şekil 5.2. Hoagland çözeltilisinde PEG uygulaması etkisinin karşılaştırılması. ....	40
Şekil 5.3. Yatay pozisyonda tohumlara PEG uygulaması. ....	41
Şekil 5.4. Dikey pozisyonda tohumlara PEG uygulaması.....	41
Şekil 5.5. Dikey PEG uygulamasında, altın otu tohumlarının çimlenme oranları .....	42
Şekil 5.6. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) uygulaması sonrası gövde uzunluğunda meydana gelen değişimler.....	43
Şekil 5.7. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası kök uzunluğuna etkisi. ....	44
Şekil 5.8. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası gövde yaş ağırlığına etkisi. ....	45
Şekil 5.9. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası kök yaş ağırlığına etkisi. ....	46
Şekil 5.10. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası gövde kuru ağırlığına etkisi. ....	47



Şekil 5.11. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası kök kuru ağırlığına etkisi. ....	48
Şekil 5.12. Altın otu fidelerinde 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası yaprak su içeriğinde meydana gelen değişimler. ....	49
Şekil 5.13. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14.gündeki H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarında (µM) meydana gelen değişimler. ....	50
Şekil 5.14. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14.gündeki TBARS miktarında (nmol/g YA) meydana gelen değişimler... ..	51
Şekil 5.15. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14.gündeki toplam protein miktarında (mg/g doku) meydana gelen değişimler. ....	52
Şekil 5.16. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14. gündeki SOD aktivitesinde (U mg <sup>-1</sup> protein) meydana gelen değişimler.....	54
Şekil 5.17 Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14. gündeki APX aktivitesinde (U mg <sup>-1</sup> protein) meydana gelen değişimler.....	55
Şekil 5.18. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14. gündeki GR aktivitesinde (U mg <sup>-1</sup> protein) meydana gelen değişimler.....	56
Şekil 5.19. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14. gündeki CAT aktivitesinde (U mg <sup>-1</sup> protein) meydana gelen değişimler.....	57

## SİMGELER DİZİNİ

$\mu\text{M}$	Mikromolar
$^1\text{O}_2$	Tekil oksijen
$\text{Ca}_2$	Kalsiyum
$\text{CO}_2$	Karbondioksit
$\text{H}_2\text{O}_2$	Hidrojen peroksit
$\text{HO}\cdot$	Hidroksil radikali
$\text{KPO}_4$	Potasyum fosfat
$\text{NaCl}$	Sodyum klorür
$\text{Na}_2\text{SeO}_3$	Sodyum selenit
$\text{NO}$	Nitrik oksit
$\text{Se}$	Selenyum
$\text{Si}$	Silisyum
$\text{SO}_2$	Kükürt dioksit
$\text{O}_2^-$	Süperoksit anyonu
$\text{Zn}$	Çinko
$\text{ZnSO}_4$	Çinko sülfat

## KISALTMALAR DİZİNİ

ABA	Absisik asit
AO	Antioksidan
AOT	Aktif oksijen türleri
APX	Askorbat peroksidaz
BR	Brassinosteroidler
BSA	Bovine Serum Albumin
YSİ	Yaprak su içeriği
CAT	Katalaz
cm	Santimetre
DHAR	Dehidroaskorbat redüktaz
EDTA	Etilendiamintetraasetikasit
EO	Uçucu yağ
GA <sub>3</sub>	Gibberellin <sub>3</sub>
GPX	Glutasyon peroksidaz
GR	Glutasyon redüktaz
GST	Glutasyon-S-transferaz
IAA	İndol-3-asetik asit
MeJA	Metil jasmonat
MDA	Molondialdehit
MDHAR	Monodehidroaskorbat redüktaz
mm	Milimetre
MnSOD	ManganSOD
MS	Murashige ve Skoog
NBT	Nitro Blue Tetrazolium
PAGE	Poliakrilamid jel elektroforezi
PCR	Polimeraz zincir reaksiyonu
PEG	Polietilen glikol
PMSF	Fenilmetansülfonil fülörüd

POX	Peroksidaz
PPO	Polifenaol oksidaz
PS II	Fotosistem II
PVPP	Polivinilpolipirrolidon
ROI	Reaktif oksijen ara maddesi
ROT	Reaktif oksijen türleri
RT-Qpcr	Gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu
SA	Salisilik asit
SOD	Süperoksit dismutaz
sn	saniye
TBA	Tiobarbitürik asit
TCA	Trikloroasetik asit
TMD	Triamidefon

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, güler yüzünü ve samimiyetini hiçbir zaman esirgemeyen, saygıdeğer danışman hocam, Doç. Dr. Sefer DEMİRBAŞ bölümümüz öğretim üyelerinden Doç. Dr. Banu BİLGİN, Dr. Öğr. Üyesi Şeyda SAVALAN, Dr. Öğr. Üyesi Yusuf SÜRMEİ, Arş. Gör. İbrahim UZ ve Biyoloji Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Evren CABİ hocalarıma, aynı laboratuvarında birlikte çalışma imkânı bulduğum, Burcu BOZBEY, Mimoza JAKUPİ, Ebru ALBAYRAK, Ahmet Enes URAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu önemli çalışmanın birçok aşamasında kıymetli destekleri ile her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemde haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim aileme bütün kalbimle teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca bana desteklerini esirgemeyen annem Nurcan ATEŞ'e, babam Mustafa ATEŞ'e, kardeşlerim Sena ATEŞ ve Nehir ATEŞ'e ve her zaman yanımda olan sevgili nişanlım Şener ŞENYURT'a sonsuz teşekkür ederim.

Melda ATEŞ

Moleküler Biyolog

## 1. GİRİŞ

Stres kavramı farklı tanımlamalarla ve anlamlarla karşımıza çıkan bir terimdir. Stresin meydana getirdiği bazı fizyolojik olaylar sonucunda gerçekleşen yanıtlar ile stres kavramı farklı şekillerde adlandırılmaktadır. Bu yanıtlardan bazıları bitkilerde görülen biyotik ve abiyotik stres çeşitlerinin yanıtlarıdır (Jaleel vd., 2009). Abiyotik stres çeşitlerinden biri olan kuraklık, stres çeşitleri arasında önemli bir stres çeşidi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni bitkinin fizyolojik süreçlerinin temelini suya bağlı olmasıdır. Suyun alınımında meydana gelen azalma bitkinin gelişim ve ürün miktarında azalmaya neden olmaktadır (Yıldız, Kaya ve Terzi, 2020). Kuraklık stresi, bitkilerde hücre, doku ve organlardaki su seviyelerini etkileyerek bazı özgül ve özgül olmayan hasarlara sebep olabilmektedir. Bitkiler kuraklık stresine karşı kuraklık toleransını geliştiren ve bu strese karşı tepki verebilen, uyum sağlayabilen ve hatta hayatta kalmayı başarabilen canlılardır. Geliştirdikleri kuraklık toleransı ile azami miktarda bulunan su ile fizyolojik özelliklerini yerine getirebilen ve aynı zamanda verim verme kabiliyetinde olan canlılardır (Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita ve Basra, 2009).

Kserofit (kurakçıl) bitki olarak tanımlanan *Helichrysum* türleri geleneksel halk hekimliğinde kullanılmasının yanında modern tıp alanında da kullanılmaktadır (Perrini, Fortunato, Lorusso ve Avato, 2009). Altın otu kserofit bir bitki olduğundan dolayı kuraklık ortamında farklı stres cevapları vererek yayılış gösterdiği alana uyum göstermiştir. Kserofit bitkiler kuraklık stresine karşı su miktarının sürekli az olduğu ya da su miktarının değişebildiği durumlarda farklı mekanizmalar geliştirmişlerdir. Bunlar; sakinme, kaçma, direnç ve katlanma şeklindedir. Kuraklık stresinin bu bitkilerde göstermiş olduğu etkiler ise mekanik etki, metabolik etki ve oksidatif etkilerdir. Kserofit bitkiler stres faktörleri ile mücadele edebilmek için antioksidan savunma sistemini kullanmaktadır (Keskin, 2018).

Bu tez çalışmasında, *Helichrysum arenarium* (L.) Moench bitkisinin çimlenme ve erken gelişim döneminde kuraklık stresine göstermiş olduğu morfolojik (kök uzunluğu, gövde uzunluğu, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, gövde yaş ağırlığı ve gövde kuru ağırlığı), fizyolojik (yaprak bağıl su içeriği (YSİ), hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) miktarı, lipid peroksidasyon (TBARS miktarı), toplam protein miktarı, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon redüktaz (GR), askorbat peroksidaz (APX) aktivitelerinde meydana gelen değişimler belirlenerek antioksidan savunma sistemi temelli yanıtlar belirlenmiştir.

## 1.1 Literatür Özeti

Bu bölümde ayçiçeği, fasulye, şeker pancarı, kolza, nohut, kanola, bezelye, domates, kavun, pirinç, buğday, meyan kökü, deve diken, orman adaçayı, ayı dutu, soya fasulyesi bitkilerinin abiyotik stres faktörlerinden olan kuraklık ve tuz stresine karşı geliştirmiş oldukları uygulamaların etkileri ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar anlatılmaktadır.

Pan, Whu ve Yu (2006) yaptığı çalışmada, meyan kökü fidelerinde (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch) abiyotik stres çeşitlerinden olan tuzluluk ve kuraklık stresinin antioksidan sistem (SOD, Peroksidaz (POX), CAT) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, lipid peroksidasyon seviyesinin artmasıyla hem tuz hem de kuraklık streslerinin oksidatif stresi indükleyebileceği gösterilmiş olup, SOD ve POX aktivitelerinin tuz ve kuraklık stresi tarafından artış gösterdiği tespit edilirken aynı zamanda kuraklık ve tuz stresi altında CAT aktivitesinin azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca, %2 NaCl stresine maruz kalan meyan kökünde ek bir ManganSOD (MnSOD) izoenzimi tespit edilmiştir. Sonuçlara ek olarak, kuraklık ve tuzluluk streslerinde benzer savunma sistemlerinin yer alabileceğini göstermiştir.

Güneş, Pilbeam, İnal ve Çoban (2008) yaptığı çalışmada, kuraklık stresi altında 12 ayçiçeği çeşidinde (Coban, Tarsan-1080, Sanbro, Rimisol, Meric-2002, C-70165, Sirena, Alhaja, C-207, Vanko, Sanay, TR-3080) eksojen silisyum (Si) uygulamasının antioksidan savunma stratejileri ve lipid peroksidasyonu üzerindeki rolünü ve ayçiçeği çeşitlerinde Si'nin kuraklık toleransını artırmasının olası mekanizmaları araştırılmıştır. Genel olarak kuraklık stresi altındaki tüm çeşitlerde stoma direnci, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, prolin ve MDA içeriği artmıştır. Si uygulamasıyla birlikte, YSI artış göstermiş ve membran hasarını önemli ölçüde hafifletmiştir. Si uygulamasıyla birlikte, yaprak CAT aktivitesi, kuraklık stresi ile önemli ölçüde azaldığı görülmüş ancak takviye Si'nin CAT aktivitesini arttırdığı tespit edilmiştir. Genel olarak Si uygulamasıyla kuraklık stresi altında artış gösteren SOD ve APX aktivitelerinde azalış meydana gelmiştir. Çeşitlerin enzimatik olmayan antioksidan aktivitesi ise kuraklık stresi altında Si tarafından önemli ölçüde arttırılmıştır. Sonuç olarak, Si uygulamasının ayçiçeği çeşitlerinde membran hasarını önleyerek kuraklık stresini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Terzi, Sağlam, Kutlu, Nar ve Kadioğlu (2010) yaptığı çalışmada, Göynük 98, Karacaşehir 90, Şehirli 90, ES 855, Yunus 90 gibi farklı fasulye (*Phaseolus vulgaris*) çeşitlerinin fizyolojik özelliklerinin belirlenmesi, MDA çeşitliliğine dayalı olarak kuraklık

toleransının araştırılması ve aynı zamanda fotosistem II'nin (PS II) etkinliğini ve APX, Glutasyon peroksidaz (GPX), CAT, SOD ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> düzeylerinin bu tür kuraklık toleransında farklılık gösteren enzim aktivitelerindeki değişiklikler belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmada, çeşitler arasında en toleranslı çeşit Yunus 90, en hassas çeşit Karacaşehir 90 ve diğer çeşitler ise ara formlar olarak belirlenmiştir. Kuraklık stresi altında, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriği azalırken antioksidan enzim aktivitelerinin arttığı tespit edilmiştir. Çeşitler arasındaki farklılıklardan biri de kuraklık stresi altında Yunus 90 çeşidi CAT ve APX aktivitelerindeki artış Göynük 98, Karacaşehir 90, Şehirli 90, ES 855 çeşitlerine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Farklı fasulye çeşitlerinin her birinin farklı fotokimyasal etkinlik gösterdiği ve aynı zamanda reaktif oksijen türlerini (ROT) temizlemek için farklı antioksidan enzimleri tercih ettikleri görülmüştür.

Sayfzadeh ve Rashidi (2010) yaptığı çalışmada, şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.) genotiplerinde kuraklık stresinin enzimatik savunma sistemleri (SOD, CAT ve GPX) ve kök verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Bitkinin yetiştirme mevsimi boyunca ana parsellerde düzenlenen farklı sulama uygulamaları yapılmıştır. Çalışmada kullanılan genotipler ise, 7112 (G), BP-Karaj (G) ve BP-Meşhed (G) alt parsellerdir. Sonuçlar ise, A sınıfı 1 2 3 tavadan yüzeysel sulama yöntemi ile yapılan sulamada kuraklık stresi altındaki bitkilerde kök verimini azalttığı tespit edilmiştir. Kuraklık stresi altında bitki yapraklarında CAT, SOD ve GPX aktivitelerinde önemli bir artış olduğu saptanmıştır. Enzim aktiviteleri ile kök verimi arasında negatif bir korelasyon olduğu saptanmıştır. Kuraklık stresinin bitkilerde artan membran geçirgenliği, MDA içeriği ve oksidatif stres ile sonuçlanan ROT üretimine yol açtığı tespit edilmiştir.

Abedi ve Pakniyat (2010) yaptığı çalışmada, kuraklık stresi koşullarında 10 yağlı tohumlu kolza (*Brassica napus* L.) çeşidinin (Hyola 401, Hyola 308, PF, R.G.S, Option 500, Talaie, Licord, Okapy, Opera, Zarfam) fidelerinde antioksidan enzim aktivitelerinin tepkileri ve bunların izozim modelleri belirlenmeye çalışılmıştır. Kuraklık stresi altında, SOD ve POX aktiviteleri artarken CAT aktivitesi azaltmıştır. En yüksek enzim aktivitesine sahip olan Licord, en toleranslı çeşit olarak rapor edilirken, Hyola 308 ve Okapy ise en düşük enzim aktivitelerine sahip olan ve kuraklık stresine duyarlı çeşitler olarak belirtilmiştir. Doğal poliakrilamid jel elektroforezi (PAGE) analizi ile birlikte sekiz SOD izozimi tespit edilmiştir. Yağlı tohum kolza yapraklarında beş POX izoformu tespit edilmiş olup POX-4 ve -5'in yoğunlukları kuraklık stresi altında artmıştır. Bununla birlikte, kuraklık stres koşulları altında yeni izozim bantlarının ortaya



çıkmasıyla beraber kuraklık stresi altında kuraklığa dayanıklı çeşitlerin ayırt edilmesinde biyokimyasal bir belirteç olarak kullanılabilir sonucuna varılmıştır.

Mohammadi, Habibi, Rohami ve Mafakheri (2011) yaptığı çalışmada, kuraklık stresinin üç nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşidinin antioksidan enzim aktivitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, dört tekerrürlü RCBD'ye dayalı bir bölünmüş-bölünmüş arsa tasarımı kullanılmış olup ana faktör sulama, alt faktör selenyum (iki seviyede selenyum (Se) içeren ve Se içermeyen) olmak üzere bitkiler 2 şekilde sulanmıştır. Çalışmada değerlendirilen enzim aktiviteleri ise SOD, CAT, GPX'dir. Ayrıca kuraklık stresi altında bitkilerde MDA miktarı da saptanmıştır. Sonuçlara bakıldığında ise kuraklık stresi koşullarında antioksidan enzimlerin (SOD, CAT ve GPX) aktivitesinin arttığı tespit edilmiş olup 20 g/ha Se uygulaması olan nohutlarda CAT dışında enzim aktivitesini arttırdığı tespit edilmiştir.

Zahedi ve Moghadam (2011) yaptığı çalışmada, kanola çeşitlerinde zeolit ve Se uygulaması ile kuraklık stresinin antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Uygulama da zeolit uygulama dışı ve 10 t/ha olmak üzere iki seviyede kullanılmıştır. Ayrıca bitkiler üzerine Se, sodyum selenit ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) 0, 15 ve 30 g/l olan üç konsantrasyonda püskürtülmüştür. Uygulama sonucunda ana parselerde rastgele, Zarfam, Sarıgöl ve Okapialt adlı üç kanola çeşidi parselerde rastgele seçilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, kuraklık stresinin antioksidan enzim aktiviteleri üzerinde önemli olduğunu ve enzim aktivitelerini arttırdığını göstermiştir. Genel olarak bakıldığında, zeolit ve Se uygulamalarının, su mevcudiyetini iyileştirerek ve kuraklık stresinin yok edici etkisini hafifleterek bitkilerde su stresi direncini arttırdığı tespit edilmiştir.

Karataş vd. (2012) yapmış olduğu çalışmada, bezelye bitkisinin (*Pisum sativum* L.) kuraklık stresi altında göstermiş olduğu tepkiler (klorofil, prolin, protein ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  içerikleri, MDA üzerine lipid peroksidasyonu açısından etkileri ve SOD, APX, CAT ve POX gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerindeki değişiklikler) araştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde, yapraklardaki klorofil ve protein içeriği azalırken, prolin içeriği ve MDA miktarının arttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, bezelye yapraklarında  $\text{H}_2\text{O}_2$  içeriği az miktarda değişmiştir. Antioksidan enzim değişikliklerine bakıldığında ise SOD, CAT ve POX aktivitesinin arttığı ve APX aktivitesini değiştirdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, tarla koşullarında uzun süreli kuraklığın bezelyelerde kuraklığa yatkınlığı artırdığı sonucuna varılmıştır.

Mohamadi ve Rajaei (2013) yaptığı çalışmada, domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bitkisi üzerinde triamidofon (TMD) adlı triazol türevi kullanılarak kuraklık stresi altındaki etkileri araştırılmıştır. Bitkiler, ekimden 30 gün sonra TMD (15 mg l<sup>-1</sup>) ve tek başına TMD ile 5 günlük aralıklarla kuraklık stresine ve kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak ise, kuraklık stresi ve TMD uygulaması ile birlikte bitkilerde klorofil içeriği, SOD, CAT ve Polifenaol oksidaz (PPO) aktiviteleri artış gösterirken, yaprak alanı ve prolin içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir. TMD uygulamasının antioksidan sistem üzerindeki etkisiyle kuraklık stresinin zarar verici etkisinin kısmen iyileşmesine neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Mirzaee, Moieni ve Ghanati (2013) yaptığı çalışmada, kanola bitkisi kullanılmıştır. Kanola bitkisinin SLM046 (kuraklığa dayanıklı) ve Hyola 308 (kuraklığa duyarlı) çeşitlerinin kuraklık stresi altında lipid peroksidasyon hızı ve antioksidan enzim aktivitelerindeki değişiklikler belirlenmeye çalışılmıştır. Her iki çeşide de uygulanan Polietilen glikol (PEG) uygulamaları ile bitkilerde, kök ve sürgünlerinde lipid peroksidasyonunun bir ürünü olan MDA içeriğini arttırdığı, Hyola 308 çeşidinde ise MDA artış oranının SLM046 çeşidine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık stresinin, SLM046 çeşidinin köklerindeki MDA içeriği üzerinde önemli bir etkisi olmadığı ve kuraklık stresinin bitkilerde hem sürgün hem de köklerinin SOD, POX, CAT ve APX antioksidan enzim aktivitelerini artırdığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, SLM046 çeşidinin kuraklık stresine karşı yüksek bir tolerans gösterdiği tespit edilmiştir.

Kavas, Baloğlu, Akça, Köse ve Gökçay (2013) yaptığı çalışmada, PEG kaynaklı kuraklık stresinin kavun (*Cucumis melo*) bitkisinin çeşitlerinden olan Kırkağaç ve Galia bitkileri üzerinde etkileri (fizyolojik parametreler, MDA, prolin içeriği, CAT, APX ve GR gibi antioksidan enzimler) belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada, kavun fideleri 0.2 MPa ve 0.4 MPa olmak üzere 2 farklı ozmotik potansiyele sahip PEG-6000 solüsyonlarına maruz bırakılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, stres altındaki bitkilerde sürgün ve kök dokularının yaş ve kuru ağırlıklarında azalma gözlenmiştir. Her iki çeşit için artan ozmotik potansiyel ile önemli prolin birikimi tespit edilmiştir. Antioksidan enzim aktivitelerine bakıldığında, Kırkağaç'ta 0.4 MPa ozmotik potansiyelde MDA'da önemli bir artış tespit edilmiş olup, Galia'da H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriği, PEG konsantrasyonu arttıkça önemli ölçüde artmıştır. CAT, her iki çeşitte sadece 0.4 MPa ozmotik potansiyelde önemli ölçüde artan aktivite göstermiştir. Her iki çeşitte de GR aktivitesi değiştirmiştir. Sonuç olarak, Galia'nın Kırkağaç'tan kuraklığa karşı daha toleranslı olduğu ve

her iki çeşitte de kuraklığa toleransın, antioksidan enzim aktivitesi kapasitesindeki artış ve prolinin ozmo koruyucu işlevi ile yakından ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Lum, Hanafi, Rafii ve Akmar (2014) yaptığı çalışmada, Malezya'dan topladıkları 8 yerel yayla çeltik (*Oryza sativa* L.) çeşidinin (Becor, Kusam, Nabawan, Bertih, Pulot wangi, Hita, Tenom ve Sintok) farklı kuraklık seviyelerine göstermiş olduğu tepkiler (sürgün uzunluğu, kök uzunluğu ve kuru madde verimi ve biyokimyasal parametreler; prolin ve antioksidan enzim aktiviteleri) araştırılmıştır. Bitkiler, çimlenme ve erken fide büyüme aşamasında beş farklı kuraklık seviyesine maruz bırakılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, kuraklığa dayanıklı çeşitlerde (Pulot Wangi) CAT, POX ve SOD antioksidan enzimlerinin aktivitesi kuraklık stresi sırasında belirgin şekilde artarken, kuraklığa duyarlı (Kusam) çeşitte kuraklık stresi ile azalmıştır. Aynı zamanda Pulot Wangi, PEG'i en yüksek kuraklık seviyesinde (-8 bar) tolere ettiği ve kontrol ile önemli bir fark ilişkisi göstermediği tespit edilmiş olup Kusam çeşidinde ise en düşük kuraklık seviyesinde bile belirgin şekilde etkilenmiş olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık stresi altında, yayla pirinç çeşitlerinde prolin birikiminde belirgin bir farklılığa yol açtığı saptanmıştır.

Weng vd. (2015) yaptığı çalışmada, farklı buğday genotiplerinde (Shaan253, Xinong2208, Xinong928 ve Changwu134) antioksidan enzimlerdeki değişimler izlenmiş olup, bu enzimler ile kuraklığa tolerans mekanizmaları arasında ilişki kurulmuştur ve bununla birlikte farklı buğday çeşitlerinin fizyolojik ve biyokimyasal göstergeleri ile kuraklığa dayanıklılık arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada kullanılan farklı buğday genotipleri olarak, Xinong928 ve Changwu134 kuraklığa dayanıklı buğday genotipi olarak kullanılırken Shaan253, Xinong2208 genotipleri ise kuraklığa duyarlı buğday genotipleri olarak kullanılmıştır. Genotiplerin fidelerinde nispi su içeriği, MDA, SOD, CAT ve POX dâhil izozimler değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarında, fide yapraklarındaki SOD izozimlerinin ifadesinin Changwu134 genotipin de en güçlü ve Shaan253 genotipin de ise en zayıf olduğunu göstermiştir. CAT izozimlerinin iyi bir şekilde indüklendiği ve CAT izoziminin kuraklık stresi sırasında Changwu134 ve Xinong928 fide yapraklarında Xinong2208 ve Shaan253'e göre arttığı tespit edilmiştir.

Caser vd. (2016) yaptığı çalışmada, meyan kökü (*Helichrysum petiolare* Hilliard & B.L. Burt) bitkisine uygulanan kuraklık stresi ile bitki biyokütlesi ve ikincil metabolit üretimi dinamikleri üzerindeki etkisi ve bitki tepkilerinde yer alan morfolojik ve fizyolojik mekanizmalar tespit edilmek istenmiştir. Bitkiler 34 gün boyunca kontrol, orta ve şiddetli

olarak ifade edilen üç su rejimi altında yetiştirilmiştir. Çalışmada, bitki büyüme özellikleri, yaprak su potansiyeli, gaz değişim parametreleri, fenol, flavonoid ve antosiyanin içeriği ve antioksidan aktivite değişiklikleri haftada iki kez belirlenmiş olup, deneme sonunda uçucu organik bileşikler ve uçucu yağlar (EO) da belirlenmiştir. Sonuç olarak bakıldığında uygulanan orta düzeyde kuraklık stresiyle birlikte su tasarrufu sağlayan sulama uygulaması ve yüksek kaliteli metabolit üretimi sağlanabildiği tespit edilmiştir.

ElSayed, El-hamahmy, Rafudeen, Mohamed ve Omar (2019) yaptığı çalışmada, deve dikenini (*Silybum marianum* L.) bitkisinde, kuraklık stresi altında fizyolojik ve gen ekspresyon düzeyinde antioksidan savunma sistemi araştırılmış olup aynı zamanda deve dikenini bitkisi tohumlarında silimarin biyosentezi ve birikimi araştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, kuraklık stresinin antioksidan savunma sisteminde bulunan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, prolin, SOD, CAT, POX, APX ve GR gibi antioksidan enzim aktivitelerinin arttırdığı gözlenmiş olup bunlara ek olarak 1-Cys-Prx ve PrxQ transkripsiyon seviyeleri ise önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Yaprak klorofil, askorbik asit ve glutatyon içeriğinde bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda kuraklık stresinin, silimarin ve bileşenlerinin birikimini arttırdığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ise, deve dikenini bitkisinin kuraklık stresine toleranslı olduğu ve şiddetli kuraklık stresi altındaki bitkilerden elde edilen tohumun daha yüksek silimarin seviyelerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bayat ve Moghadam (2019) yaptığı çalışmada, orman adaçayının (*Salvia nemorosa* L.) çeşidi olan Isfahan, Violet Queen ve Rose Queen'de su stresi altında büyüme, fizyoloji ve antioksidan sistemler üzerindeki karşılaştırmalı etkileri araştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, kuraklık stresi altında çeşitlerde, bağıl su içeriği, klorofil a, b ve toplam klorofil miktarının azaldığı tespit edilirken aynı zamanda, CAT ve POX enzimlerinin aktivitelerinin artış gösterdiği, prolin içeriği, toplam fenoller ve flavonoidlerin de arttığı tespit edilmiştir. Kuraklık stresi altında çeşitlerde, kök ve yaprak dokularında toplam çözünür şekerin arttığı saptanmıştır. İncelenen çeşitler arasında fizyolojik ve biyokimyasal özellikler bakımından Isfahan çeşidinin diğer çeşitlere oranla daha toleranslı olduğu tespit edilmiş olup bitki başına en fazla yaprak sayısının, yaprak alanının, kök ve sürgünün kuru ağırlığının ve toplam biyokütlenin kuraklık stresi altında yerli çeşit olan Isfahan'dan elde edildiği saptanmıştır.

Khalegh vd. (2019) yaptığı çalışmada, ayı dutu (*Maclura pomifera*) bitkisinin kuraklık stresi altında göstermiş olduğu fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal etkileri araştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, kuraklık stresi altındaki bitkide, yaprak alanı, bağıl su içeriği ve

yaprağın su potansiyeli azalmıştır. Kuraklık stresi deneyi ile birlikte MDA içeriği artmış olduğu tespit edilmiştir. Çözünür karbonhidratlar olarak bilinen sakaroz, glikoz ve früktozun şiddetli stres altındaki bitkilerde (%30 FC) 22 günlük su eksikliğinden sonra azaldığı saptanmıştır. Kuraklık stresinde antioksidan enzimler olarak ifade edilen SOD, APX, dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) ve GR'de kuraklık stresinden etkilenmiştir ve aynı zamanda prolin ve mannitol, kuraklık stresi bitkilerinde kontrol bitkilerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Rezayian, Ebrahimzadeh ve Niknam (2020) yaptığı çalışmada, kuraklık stresi altındaki soya fasulyesi bitkisinde, nitrik oksidin (NO) kuraklık stresinin iyileştirilmesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada soya bitkileri, 0, 5, 10 ve %15 şeklinde farklı PEG konsantrasyonları ile NO'suz veya NO (100 uM) ile muamele edilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, kuraklık stresi soya fasulyesi bitkilerinde büyümeyi önemli ölçüde azaltan bir faktör olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA, içeriğinde artış tespit edilmiş olup, CAT, APX, prolin ve glisin betain birikimi ve lipoksijenaz aktivitesinin yanı sıra toplam fenol ve tokoferol içeriğini arttırdığı da tespit edilmiştir. Bu durumun soya fasulyesi bitkilerinde kuraklığa bağlı oksidatif stresin meydana geldiğini göstermiştir. Kuraklık stresi, NO ile sulama yapılan bitkilerde ise NO'nun kuraklık stresi altında soya fasulyesi bitkilerinde yıkıcı etkileri hafifletme kabiliyetine sahip olduğunu tespit edilmiştir.

Jan, Hadi, Ditta, Suleman ve Ullah (2022) yaptığı çalışmada Pakistan, İslamabad Ulusal Tarımsal Araştırma Merkezi'nin (NARC) tohum bankasından elde edilen ayçiçeği tohumları kullanılmıştır. Bu çalışmada PEG-6000 kaynaklı kuraklık stresi altında ayçiçeğinde bitki büyümesi, ozmolitler ve antioksidan enzimler üzerindeki çinko (Zn) rolünün arkasındaki mekanizmaları araştırılmıştır. Çalışmada, ayçiçeğinde Zn'nin eksojen uygulamasıyla geliştirilen kuraklık stresi toleransının fizyolojik mekanizmalarını araştırmak için bir hidroponik deney yapılmıştır. Deney, 0, 7 ve 14 gün boyunca PEG-6000 kaynaklı kuraklık stresi ve tamamen rastgele faktöriyel bir tasarımda düzenlenmiş Zn tedavileri (0, 1 ve 3 µM (Çinko sülfat (ZnSO<sub>4</sub>) olmak üzere iki faktörden oluşturulmuştur. Sonuç olarak, Zn'nin eksojen uygulaması, herhangi bir Zn uygulaması yapılmayan kontrole kıyasla PEG-6000 altında ayçiçeğinin klorofil a (%31), klorofil b (%35), fotosentetik oranı (%41) ve sürgün (%44) ve kök kuru maddesi (%38) gibi fotosentetik pigmentleri önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. PEG-6000 uygulanan ayçiçeğinin fotosentetik oranı (%41) ve sürgün (%44) ve kök kuru maddesi (%38) Zn uygulaması yapılmayan kontrole göre kuraklık stresine neden olmuştur.

Kontrole kıyasla, APX, SOD ve CAT ve askorbik asit, sırasıyla %57,1; %26,6; 62,3 ve %38,3 oranında önemli ölçüde artarken, MDA içerikleri %83,0 oranında azalmıştır. Eksojen Zn uygulamasının ayçiçeğinde anti-oksidan savunmayı ve ozmotik uyumu ve kuraklık stresi toleransını arttırdığı sonucuna varılmıştır.



## 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

*Helichrysum arenarium* (L.) Moench bitkisi, günümüzde tıbbi ve aromatik bir bitki olarak kullanılmakta ROT ve diğer serbest radikallerin oluşumu engellemeye yönelik aktivitelerinden dolayı doğal antioksidan olarak görülmektedir. Aynı zamanda kserofit bir bitki olduğundan dolayı kuraklık ortamında farklı stres cevapları vererek adaptasyon sağlayabilmektedir. Antioksidan aktiviteleri ve kuraklık stresi altında göstermiş olduğu antioksidan savunma sistemi üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır.

Bu tez çalışmasının amacı, ülkemizde karasal iklimin etkisinde olan Sivas bölgesinden toplanan *Helichrysum arenarium* (L.) Moench bitkisinin kuraklık stresi altında çimlenmesinde meydana gelen değişimler ile büyüme döneminde antioksidan savunma sistemi temelli yanıtların (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TBARS, toplam protein, SOD, CAT, GR ve APX) belirlenmesidir. Tıbbi bir bitki olan *Helichrysum arenarium* (L.) bitkisinin elverişli olmayan kurak bölgelerde kültürünün yapılışı ve Türkiye için ticari değeri ve getirileri ile ilgili birçok çalışma için tüm yönleriyle daha kapsamlı bir şekilde inceleneceği yeni çalışmalar için önemli bir bilgi birikimine sahip bir çalışma olması amaçlanmaktadır.

## 2. *HELICHRYSUM* CİNSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Günümüzde tıbbi ve aromatik bitkilere olan ilgi giderek artmaktadır. Genellikle gelişmemiş ya da gelişmekte olan ülkelerde tedavi amaçlı kullanılan bu doğal antioksidanlar, modern tıpta da büyük bir rağbet görmektedir (Aslan, Katırcıoğlu, Orhan, Atıcı ve Sezik, 2007; Gonçalves vd., 2017). Tıbbi ve aromatik bitkiler içerisinde yer alan *Helichrysum* cinsinden bazı bitki türlerinin modern tıpta kullanılmaya uygun olduğuna yönelik birçok gösterge bulunmaktadır ve *Helichrysum* cinsinin birçok türü genellikle aromatik bitki olarak bilinmektedir (Giovanelli vd., 2018; Viegas, Oliveira, Salgueira, Oliveira ve Oliveira, 2014).

*Helichrysum* cinsi sistematik olarak Asteraceae ailesi, Inuleae tribusu ve *Gnaphaliinae* alt subtribusunun bir üyesi olarak kabul görmektedir. *Helichrysum* cinsi dünya üzerinde 500'den fazla türü kapsadığı bilinmekte olup yayılış gösterdiği bölgeler genellikle, Güney Afrika, Akdeniz havzası ve Avustralya'dır (Appendino vd., 2015; Giovanelli vd., 2018). Bu yayılış alanlarından 245 tanesi Güney Afrika'da olmak üzere 16 tanesi de Avrupa'da yayılış göstermiştir (Giovanelli vd., 2018). Türkiye'de ise yayılış gösteren 34 *Helichrysum* türü olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2.1). Aynı zamanda bu türlerden 17 tanesinin ise Türkiye için endemik tür olduğu kabul görülmüştür (Aksoy, 2012).

*Helichrysum* adı Yunanca bir kelime olup, güneş anlamına gelen 'helios' ve altın anlamına gelen 'chryos' kelimelerinden türetilmiştir (Nincevic, Grdisa, Satovic ve Jug-Dujakovic, 2019). *Helichrysum* türleri birçok dilde farklı şekilde adlandırılmaktadır. İngilizce de 'everlasting', Fransızca da 'immortelle', İtalyanca da 'perpetuino' ve 'sempreviva' İspanyolca da 'siempreviva' olarak adlandırılmaktadır (Albayrak, Aksoy, Sağdıç ve Budak, 2009; Appendino vd., 2015). Türkçe'de ise *Helichrysum* türleri birçok şekilde adlandırılmakta olup genel olarak ölmez otu ya da altın otu olarak ifade edilmektedir. Bunların dışında, solmaz çiçek, yayla çiçeği, sarı solmaz çiçek, yayla gülü, Erzincan altın otu, Artvin ölmezi, Hencecalik, Maranda, Saman çiçeği, Alaycık çiçeği, Beyazkurna, Mantuvar, Bozoğlan, Sivas ölmezi, Gümüşhencecalik gibi yöresel olarak farklı isimlendirmeleri (Şekil 2.1) mevcuttur (Aksoy, 2018; Eroğlu, 2018).

*Helichrysum* cinsinin genel özelliklerine bakıldığında, yüksek polimorfizme sahip bir bitki olduğu görülmektedir. Yüksek polimorfizme sahip olması genellikle bitkinin habitus (bitkinin genel morfolojik görünüşü), yaprak ve tipik kapitulum çiçeklerinde görülen bir özelliktir (Perrini vd., 2009).



*Helichrysum* cinsinin tek yıllık ya da çok yıllık bir bitki olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda yapı olarak incelendiğinde ise çalimsı veya otsu yapıda olduğu ve 90 santimetre (cm) kadar boylanabildiği saptanmıştır (Aksoy, Hamzaoğlu ve Budak, 2011; Kutluk, Aslan, Orhan ve Özçelik, 2018).

*Helichrysum* türlerinin bilinen birçok biyolojik özelliği bulunmaktadır. Bunlar kısaca; antienfektif (enfeksiyon önleyici), hepatoprotektif (karaciğere zarar verilmesini önleyen), detoksifiye edici ve kolleretik (karaciğerden safra salgılanmasını uyarıcı) özelliklerinin yanı sıra antiinflamatuvar, antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteler gibi çeşitli biyolojik özelliklerdir (Giovanelli vd., 2018).

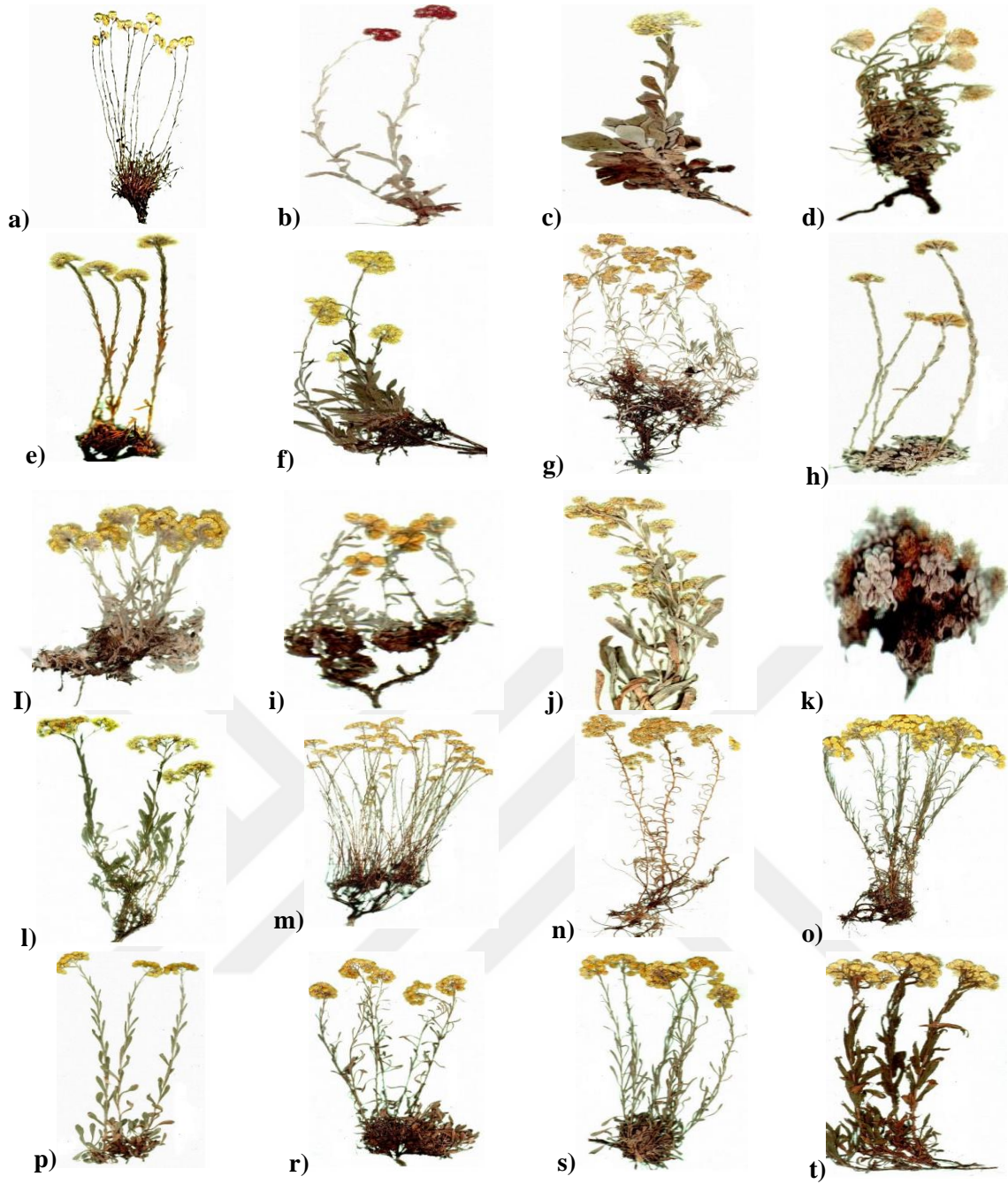
Halk hekimliğinde birçok hastalığın tedavisinde kullanılan *Helichrysum* türleri, genellikle bitki çayları olarak öksürük ve solunum problemlerinin tedavisinde kullanılmaktadır. Ayrıca, sindirim bozuklukları rahatsızlıklarında, ateşli hastalıklarda, deri apselerinde ve analjezik etkiye sahip ağrıların giderilmesinde kullanılmıştır (Giovanelli vd., 2018). *Helichrysum* cinsileri ikincil (sekonder) metabolit içeriğine sahiptir. İkincil metabolit olarak adlandırılan asetofenonlar, flavonoidler ve floroglisinoller bakteri, mantar gibi hastalık etmenlerine karşı savunma amaçlı üretmektedirler.

*Helichrysum* türlerinin bir diğer özelliği de uçucu yağ bakımından zengin bir içeriğe sahip olmasıdır (Dimitrova ve Nacheva, 2018; Mathekga, Meyer, Horn ve Drewes, 2000).

Yukarıda ifade edilen bu özellikleri ile *Helichrysum* türleri Türkiye'de ve dünyanın farklı bölgelerinde tıbbi ve aromatik bitki olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Albayrak vd., 2009).

Çizelge 2.1. Türkiye’de yayılış gösteren *Helichrysum* türleri ve Türkçe isimleri (Aksoy, 2012).

Endemik olmayan tür	Türkçe adı	Endemik olan tür	Türkçe adı
<i>H. arenarium</i> (L.) Moench	Altın otu	<i>H. arenarium</i> subsp. <i>aucheri</i> (Boiss.) P.H.Davis & Kupicha	Yayla çiçeği
<i>H. arenarium</i> subsp. <i>rubicundum</i> (K.Koch) P.H.Davis & Kupicha	Yayla gülü	<i>H. arenarium</i> subsp. <i>erzincanicum</i> P.H.Davis & Kupicha	Erzincan altın otu
<i>H. armenium</i> DC.	Altın otu	<i>H. artvinense</i> P.H.Davis & Kupicha	Artvin ölmezi
<i>H. armenium</i> subsp. <i>armenium</i> DC.	Altın otu	<i>H. chasmolyticum</i> P.H.Davis	Kaya ölmezi
<i>H. armenium</i> subsp. <i>araxinum</i> (Kirp.) Takht.	Aras altın otu	<i>H. chionophilum</i> Boiss. & Balansa	Yayla hencecalığı
<i>H. graveolens</i> (M.Bieb.) Sweet	Hencecalık	<i>H. goulandrionum</i> E.Georgiadou	Bozuntu
<i>H. orientale</i> (L.) Gaertn	Sarı solmaz	<i>H. compactum</i> Boiss.	Böbrek altın otu
<i>H. italicum</i> (Roth) G.Don	Maranda	<i>H. heywoodianum</i> P.H.Davis	Kadim altın otu
<i>H. luteoalbum</i> (L.) Rchb. <i>H. pallasii</i> (Spreng.) Ledeb.	Saman çiçeği Kocaman çiçeği	<i>H. kitianum</i> Yıldız <i>H. noeanum</i> Boiss.	Alaycık çiçeği Gülazar
<i>H. plicatum</i> DC.	Mantuvar	<i>H. pamphylicum</i> P.H.Davis & Kupicha	Beyazkurna
<i>H. plicatum</i> subsp. <i>plicatum</i> DC.	Mantuvar	<i>H. peshmenianum</i> S.Erik	Solmaz otu
<i>H. plicatum</i> subsp. <i>polyphyllum</i> (Ledeb.) P.H.Davis & Kupicha	Kalisar çiçeği	<i>H. plicatum</i> subsp. <i>isauricum</i> Parolly	Savran
<i>H. plicatum</i> subsp. <i>pseudoplicatum</i> (Nábělek) P.H.Davis & Kupicha	Bozoğlan	<i>H. sivasicum</i> Kit Tan & Yıldız	Sivas ölmezi
<i>H. sanguineum</i> (L.) Kostel.	Kırmızı guddeme	<i>H. uncapitatum</i> Şenol, Seçmen & B.Öztürk	Mantı çiçeği
<i>H. stoechas</i> (L.) Moench.	Kudama	<i>H. yuksekovaense</i> Yild.	Reşko altın otu
<i>H. stoechas</i> subsp. <i>barrelieri</i> (Ten.) Nyman	Kudama	<i>H. yurterianum</i> Y.Gemici, Kit Tan, H.Yıldırım & M.Gemici	Gümüşhencecalık



Şekil 2.1. Türkiye’de bulunan bazı *Helichrysum* türleri. *Helichrysum pallasii* (a), *Helichrysum sanguineum* (b), *Helichrysum chasmolycicum* (c), *Helichrysum peshmenianum* (d), *Helichrysum heywoodianum* (e), *Helichrysum orientale* (f), *Helichrysum stoechas* (g), *Helichrysum compactum* (h), *Helichrysum graveolens* (i), *Helichrysum chionophyllum* (i), *Helichrysum noeanum* (j), *Helichrysum unicapitatum* (k), *Helichrysum armenium* var. *armenium* (l), *Helichrysum armenium* var. *araxinum* (m), *Helichrysum plicatum* var. *pseudoplicatum* (n), *Helichrysum plicatum* var. *plicatum* (o), *Helichrysum goulandrionum* (p), *Helichrysum arenarium* subsp. *aucheri* (r), *Helichrysum rubicundum* (s), *Helichrysum polyphyllum* (t) (Aksoy vd., 2011).

## 2.1 *Helichrysum arenarium* (L.) Moench

Tıbbi ve aromatik özelliğe sahip *Helichrysum* cinsi yaygın olarak çalışılmaktadır. Genellikle, *Helichrysum arenarium* (L.) Moench, *Helichrysum stoechas* (L.) Moench, *Helichrysum graveolens* (M. Bieb.) Sweet ve *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don türleri en yaygın olarak çalışılanlarıdır (Nincevic vd., 2019). Sonsuz bitki olarak adlandırılan *Helichrysum arenarium*, Orta, Doğu ve Güneydoğu Avrupa, Balkanların Kuzeyi, Batı Sibirya, Orta Asya, Moğolistan ve Çin'de doğal bir yayılım göstermektedir (Judzentiene, Budiene, Nedveckyte ve Garjonyte, 2022) (Çizelge 2.2).

Bitki boyut olarak, 10-40 cm yüksekliğinde ve dayanıklı bir kök sistemine sahip olan bir bitki olarak bilinmektedir. Yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için genel olarak kuru kumlu toprakları tercih eden bu bitki, aynı zamanda çıplak zeminde, çimenler arasında, kum tepelerinde, ince çam ormanlarında veya yol kenarlarında yaşayabilmektedir. Aynı zamanda altın otu bitkisi, çok yıllık çalı olarak da ifade edilmektedir. (Pljevljakušić, Bigović, Janković, Jelacic ve Šavikin, 2018; Olsson, Pihlik, Radušien ve Bladh, 2005). Çiçekler renklerini, güzelliklerini ve kokusunu kaybetmeden kurduğu için 'Sonsuz' veya 'Ölümsüz' çiçek olarak adlandırılmaktadır (Olsson vd., 2005).

*Helichrysum arenarium* tür adı Latince'de arena (kum) kelimesinden esinlenerek adlandırılmıştır (Olsson vd., 2005). Altın otunun çiçeklenme dönemi haziran ve ekim ayları arasında gerçekleşmektedir (Şekil 2.2). Çiçeğin tadı ise baharatlı, aromatik ve hafif acıdır. (Dănaîlă-Guidea, Eremia, Dinu ve Miu, 2022).

Altın otu morfolojik olarak incelendiğinde, gövde kısımlarının beyazımsı renkte olduğu ve yüzeyde bulunan odunsu sürgünlerden çıktığı aynı zamanda dallanmamış bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Bitki genel olarak yoğun tomentoz tüylü halde görülmektedir. Çiçeklerinin rengi ise sarıdan turuncuya göre değişebilmektedir aynı zamanda yaprakları da grimsi renktedir (Reidel, Cioni, Ruffoni, Cervelli ve Pistelli, 2017)

Çiçek başlarına bakıldığında ise alt kısımları tüysüz, düz ve çukurlu bir yüzeye sahip olduğu tespit edilmiştir ve çaplarının 4-8 mm arasında olduğu tespit edilmiştir. Çiçeklerinin ise 3 mm uzunluğunda olduğu ve yapısal olarak incelendiğinde ise boru şeklinde olduğu tespit edilmiştir (Aksoy vd., 2011; European Medicines Agency [EMA], 2015). *Helichrysum* türleri bir eşeyli üreme türü olan hermafrodit üreme şekli ile üremektedirler ve böcekler tarafından tozlaşmaktadırlar (Olsson vd., 2005; Tutin vd., 1976).



Şekil 2.2. Araziden toplanan altın otu bitkileri (Orijinal).

Altın otu bitkisinin kullanım alanları incelendiğinde, geleneksel tıpta iyi bilinen ve sürekli olarak kullanılan bir bitkidir. Geleneksel tıpta, kolleretik (karaciğerden safra salgı hacmini arttıran), hepatoprotektif, (karaciğere zarar vermesini önleme) detoksifiye edici ajan, idrar söktürücü, antimikrobiyal ve spazmolitik (spazm çözücü) ajan olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, altın otu çiçekleri mide ve pankreas salgısını da artırabilen antibakteriyel bileşenler içermektedir. Bununla birlikte hazımsızlık ve iştahsızlık için de kullanılmaktadır. Altın otu bitkisi Rusya'da mide salgısını uyarmak, safra kesesi bozukluklarının giderilmesinde, sistit, romatizma, artrit ve gut tedavisinde infüzyon şeklinde kullanılmaktadır (Pljevljakušić vd., 2018).

Avrupa'da birçok ülkede altın otu bitkilerinden hazırlanan infüzyonların safra düzenleyici ve diüretik tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir. (Czinner vd., 2000). Son yıllarda yapılan çalışmalar, altın otu bitkisinin antioksidan özelliklerini kanıtlamış ve bu bitkinin metabolik veya nörodejeneratif hastalıkları önleyebilen potansiyel olarak biyoaktif bileşiklerin güvenilir bir kaynağı olabileceğini öne sürülmüştür (Dănăilă-Guidea vd., 2022).

Altın otu bitkisinin kapitulum kısmı Türkiye'de geleneksel olarak astım tedavisinde kullanılmaktadır. Bitkinin bu kısmı ile dekoksasyon (dâhili) şeklinde insanlar tarafından tedavi amaçlı olarak tercih edilmektedir (Melikoğlu, Kurtoğlu ve Kültür, 2015).

Çizelge 2.2. *Helichrysum arenarium* alt türlerinin, sinonim ve yayılım gösterdiği yerlerin listesi (Global Biodiversity Information Facility [GBIF], 2022).

Bilimsel Adı	Sinonim	Yayılım
<i>Helichrysum arenarium</i> subsp. <i>arenarium</i>	<i>Antennaria rubicunda</i> K.Koch, <i>Chrysocoma arenarium</i> (L.) <i>Cyttarium arenarium</i> (L.) <i>Gnaphalium arenarium</i> L. <i>Gnaphalium</i> <i>arenarium</i> var. <i>angustifolium</i> <i>Gnaphalium</i> <i>arenarium</i> var. <i>aurantiacum</i> Pers. <i>Gnaphalium aureum</i> Gilib. <i>Gnaphalium buchtarmense</i> <i>Gnaphalium elichrysum</i> Pall. <i>Gnaphalium graveolens</i> . <i>Gnaphalium ignescens</i> L. <i>Gnaphalium prostratum</i> Patrin DC. <i>Gnaphalium stoechas</i> Walther <i>Helichrysum</i> <i>arenarium</i> f. <i>glabrescens</i> (Boenn.)	Avrupa ülkeleri (Finlandiya, İspanya, Kıbrıs, Portekiz ve Yunanistan hariç)  Kosova, Belarus, Kırım, Kuzey Rusya, Kazakistan, Özbekistan, Moğolistan, Türkiye, Çin, İran, Irak, Sibirya,
subsp. <i>aucheri</i> (Boiss.) Davis & Kupicha	<i>Helichrysum aucheri</i> Boiss.	Romanya, Türkiye, Ukrayna, Suriye
subsp. <i>ponticum</i> (Velen.) Clapham	<i>Helichrysum</i> <i>arenarium</i> var. <i>ponticum</i> Velen.  <i>Helichrysum</i> <i>corymbiforme</i> Opperman.	Romanya, Bulgaristan, Ukrayna
subsp. <i>erzincanicum</i> P.H.Davis Kupicha	-	Türkiye (Bölgeye endemik)
subsp. <i>rubicundum</i> (K.Koch) P.H.Davis & Kupicha	<i>Antennaria rubicunda</i> K.Koch <i>Helichrysum rubicundum</i> (K.Koch)  <i>Helichrysum</i> <i>undulatum</i> ssp. <i>rubicundum</i> .  <i>Helichrysum rubicundum</i> (K.Koch)	Türkiye, Azerbaycan, İran, Ermenistan, Kafkasya.

### 3. KURAKLIK STRESİ VE BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

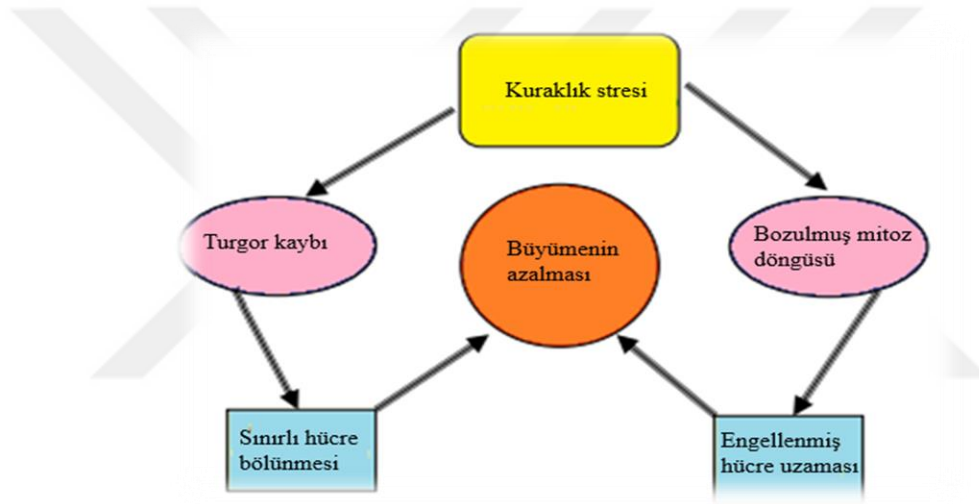
Stres kavramı birçok farklı tanımlamalarla karşımıza çıkan bir terim olarak ifade edilmektedir. İlk stres tanımlamasına bakıldığında, bazı faktörlerin, var olan bir dengeyi bozma ya da dağıtma eğiliminde olması sebebiyle gerçekleşen ve aynı zamanda değişken bir fizyolojik durum olarak ifade edilen bir tanımdır (Ansari vd., 2019). Başka bir stres tanımına bakıldığında ise, canlılar için gerekli bazı önemli faktörleri etkileyen (metabolizma, gelişim ve verim) ve bu faktörleri önemli ölçüde bozan çevresel bozulmalar olarak ifade edilmektedir (Laxa, Liebthal, Telman, Chibani ve Dietz, 2019).

Çevremizde ise yapılan bu tanımlamalara uygun birçok stres çeşidi bulunmaktadır (Ansari vd., 2019). Bu stres çeşitleri genellikle iki şekilde ifade edilmektedir. İlk olarak canlı gruplarını (parazit, patojen veya ot obur) içine alan ve biyotik stres çeşidi olarak ifade edilen stres çeşididir. Diğeri ise, biyotik stres çeşidinin tam tersi olan yani cansız olarak belirtilen maddeleri içine alan (tuzluluk, kuraklık, sıcaklık, nem, ışık, su, mineral besinler, ağır metal, radyasyon) abiyotik stres olarak ifade edilen stres çeşididir (Singh, Kumar, Singh, Singh ve Prasad, 2015). Bitkiler de bu stres çeşitlerinden en çok etkilenen canlılar olarak bilinmektedir. Çünkü bitkiler hareket etme kabiliyetleri olmayan ve aynı zamanda yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için (büyüme ve gelişme) çevrelerine bağlı olan canlı grupları olarak bilinmektedir (Dolferus, 2014). Bu stres çeşitlerinden en önemlisi ve bitkileri de en çok etkileyen stres çeşidi kuraklıktır (Anjum vd., 2011). Çünkü su molekülü bitkilerin (odunsu) bütün fizyolojik özelliklerini gerçekleştirmesinde temel bir faktör olup aynı zamanda bitkilerin, biyokütlesinin (%80-95) büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bundan dolayı bitkiler, su eksikliğinde ya da yetersizliğinde stres çeşitlerinden biri olan kuraklık stresini yaşamaktadırlar (Hirt ve Shinozaki, 2004).

Kuraklık genel olarak bitkilerde yaşamsal faaliyetleri (büyüme ve gelişime) bozan, bitki üretimini ve mahsul verimini kısıtlayan bir faktör olmaktadır (Anjum vd., 2011). Kuraklık tanım olarak ifade edildiğinde ise, su noksanlığı ya da bu su noksanlığından kaynaklanan bir durum olarak tanımlandığı gibi mahsul üretiminin gerçekleştiği bölgeleri (tropikal, kurak ve yarı kurak) etkileyen önemli bir stres çeşidi olarak da ifade edilmektedir (Kaur, Kohli, Khanna ve Bhardwaj, 2021; Zargar vd., 2017). Bitkiler kuraklık stresi altında, birçok önemli etkilere maruz kalmaktadırlar. Bunlar genellikle, morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler olarak gerçekleşen etkilerdir (Kaur vd., 2021).

Kuraklık stresine maruz kalan bitkiler de bu strese bir cevap olarak bazı fizyolojik ya da biyokimyasal tepkiler göstermektedirler. Bitkilerin kuraklık stresine göstermiş olduğu bu tepkiler bazı etkenlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu etkenler genellikle, bitki kaynaklı olabildiği gibi (türü, yaşı, fizyolojik ve gelişme aşamaları) bazı fiziksel parametrelere de (kuraklık stresinin seviyesi, süresi) bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Marcínska vd., 2013).

Kuraklık stresi bitkilerde bazı olaylarla karakterize durumdadır (Şekil 3.1). Bu karakterize olan olayların başında büyüme durumunun azalması, su içeriğinin azalması, yaprak su potansiyelinin azalması, turgor kaybı ve stomaların kapanması gibi durumlardır (Jaleel vd., 2009).



Şekil 3.1. Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde büyüme fonksiyonlarının azalış nedenleri (Farooq vd., 2009).

Kuraklık stresinin bitkilerde göstermiş olduğu morfolojik etkilere bakıldığında ise, bu karakterize olan olaylar (büyüme durumunun azalması, su içeriğinin azalması, yaprak su potansiyelinin azalması, turgor kaybı ve stomaların kapanması) karşımıza çıkmaktadır. İlk olarak, bitki büyüme aşaması incelendiğinde, kuraklık stresinden oldukça etkilediği ispatlanmıştır. Bitki büyümesi olarak adlandırılan bu morfolojik olay aslında, hücre bölünmesi, hücre büyümesi ve aynı zamanda hücre farklılaşması aşamalarıyla gerçekleştirilen bir durum olarak ifade edilmektedir (Farooq vd., 2009).



Büyüme aşamasının kuraklık stresinde etkisi kısmı ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde ise, bitki büyümesinin ilk aşamasında su noksanlığının oldukça önemli bir etken olduğu bildirilmiştir. Çünkü kuraklık stresi büyüme aşamasında olan bitkilerde, boylanmayı etkilediği gibi aynı zamanda bitki genişlemesini de etkilemektedir (Jaleel vd., 2009).

Büyümenin ilk aşaması olarak bahsedilen kısımda, ilk olarak görülen ve neredeyse en önemli etki olarak belirtilen durum, bozulmuş bir çimlenme etkisi ve zayıf meşcere durumu olarak ifade edilmektedir (Anjum vd., 2011). Kuraklık stresi altındaki bitkilerde gerçekleşen turgor kaybı, bozuk enzim aktiviteleri ve fotosentez bozukluğu sonucu meydana gelen enerji miktarındaki azalıştan dolayı, bitki büyüme aşamaları olarak adlandırılan kısımlar oldukça fazla etkilenmektedir (Salehi- Hisar ve Bakhshayeshan-Agdam, 2016).

Turgor basıncının azalması bitki büyümesine doğrudan etki eden bir faktördür. Turgor basıncının azalması ile bitki büyümesinin önemli aşamalarından biri olan hücre genişlemesi ve büyümesi baskılanmaktadır (Salehi- Hisar ve Bakhshayeshan-Agdam, 2016). Aynı zamanda, bitki hücresinin su potansiyelinin ve turgorunun azalması ile suda çözünen maddelerin, hücrenin bazı kısımlarında (sitozol ve hücre dışı matris) konsantrasyonları yükseltmektedir. Bu durumda ise hücre büyümesi azalmakta ve bu da büyümenin engellenmesine ve aynı zamanda üremede gerçekleşen sorunlara yol açmaktadır (Lisar, Motafakkerazad, Hossain ve Rahman, 2011).

Kuraklık stresinin neden olduğu morfolojik değişikliklerden biri de yaprak büyümesinin engellenmesidir. Yaprak büyümesinin engellenmesi sonucunda, terleme ve su korunumu gibi fizyolojik olaylar azalmaktadır (Avramova vd., 2015). Bununla birlikte kuraklık stresinin bitkilerde meydana getirdiği genel morfolojik etkiler şu şekildedir; stoma sayısında azalma, bazı bitki türlerinde (etli ve kserofit) stomaların batması, yaprak hücre duvarlarının kalınlaşması, yaprak yüzeyinin kütinleşmesi, iletken sistemin az gelişmesi ve erken yaşlanma durumunun indüklenmesi gibi gerçekleşen morfolojik etkilerdir (Kaur ve Asthir, 2017).

Kuraklık stresinin bitkiler üzerinde göstermiş olduğu etkilerden biri de fizyolojik etkilerdir. Fizyolojik etkiler genellikle, bitkilerin kök sistemleri üzerinde gerçekleşen etkilerdir ve bitki kuraklık stresinde bu kökler artmaktadır (Anjum vd., 2011). Çünkü, daha uzun kök yapısına sahip olan bitkiler daha kısa köklere karşı kıyas yapıldığında kuraklık toleransı açısından daha uygun olduğu saptanmıştır (Ilyas vd., 2020).

Kökler, bu değişiklik ile sürgün oranlarını arttırıp aynı zamanda ksilem yoluyla sürgünlere bir sinyal uyarısı yaparak strese karşı adaptasyon seviyesini belirleyen fizyolojik değişikliklere neden olmaktadır (Anjum vd., 2011). Diğer fizyolojik etkilere bakıldığında ise, azalmış bir turgor basıncı ve bununla birlikte gerçekleşen buhar basıncı açığı, bozulmuş bir fotosentez, stomatal iletkenlik ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) seviyelerinde azalma, değiştirilmiş CO<sub>2</sub> asimilasyonu ve engellenmiş gaz değişimi şeklinde gerçekleşen etkilerdir (Kaur vd., 2021).

Kuraklık stresinin neden olduğu biyokimyasal etkilere bakıldığında Rubisco olarak adlandırılan reaksiyonlarda ve fotokimyasal olarak adlandırılan fotosentez reaksiyonlarında bir azalma görülmektedir. Aynı zamanda kuraklık stresi bitkilerde, monodehidroaskorbat, poliaminler olarak bilinen stres metabolitlerinin birikmesine ve SOD, POX, CAT, APX, GR, glutatyon-S-transferaz (GST), GPX, monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR) gibi antioksidatif enzimlerin artmasına neden olmaktadır (Yavaş, Akgül ve Ünay, 2016). Diğer biyokimyasal etkilere bakıldığında ise, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> üretimi, ABA (Absisik asit) sinyali, Ca<sub>2</sub> (kalsiyum) sinyali, protein kinaz yollarının indüksiyonu, fotosentetik enzim aktivasyonu gibi etkilerde görülmektedir (Kaur vd., 2021).

### 3.1 Bitki Tolerans Mekanizmaları

Bitkiler hareket yeteneğinden yoksun ve aynı zamanda büyüme, gelişme gibi yaşamsal faaliyetlerini çevrelerine bağlı olarak gerçekleştiren sabit canlı grupları olarak adlandırılmaktadır. Bu hareket yeteneğinden yoksun canlılar etraflarında bir sorun ile karşılaştıklarında o sorun ile buldukları yerde mücadele etmek zorundadırlar. Bunun içinde, bitkiler çeşitli stres mekanizmaları geliştirerek hayatta kalmaya çalışmaktadırlar (Dolferus, 2014; Salehi-Lisar ve Bakhshayeshan-Agdam, 2016). Bitkilerin geliştirdikleri bu stres mekanizmaları morfolojik, fizyolojik ve kimyasal mekanizmalar olarak 3 gruba ayrılmaktadır ve aynı zamanda moleküler düzeyde bir mekanizma geliştirmişlerdir (Abobatta, 2019). Kuraklık koşulları altında bitkilerin göstermiş olduğu çeşitli morfolojik mekanizmaları da üç kategoriye ayrılmaktadır (Şekil 3.2). Bunlar;

- Kuraklık stresinden kaçış
- Kuraklık stresinden kaçınma
- Kuraklık stresine karşı tolerans şeklindedir (Akhtar ve Nazir, 2013).

Kuraklık stresinden kaçış mekanizması bitki tarafından gerçekleştirilen kısaltılmış yaşam döngüsü olarak ifade edilen morfolojik bir mekanizmadır (Farooq vd., 2009). Bu

mekanizma, ilk olarak geçici yerli bitkilerde klasik bir mekanizma olarak görülmüştür. Daha sonra evrim sürecinde bu mekanizmanın çok yıllık türlerde (çalı ve soğan) ve bazı yıllık otlarda geliştiği saptanmıştır (Shavrukov vd., 2017).

Kuraklık stresinden kaçış mekanizmasında bitkiler, gelişimlerini hızlı bir şekilde tamamlayarak bitki büyüme çeşitlerinden biri olan vejetatif büyüme dönemini normalden daha erken bir şekilde tamamlamaktadırlar (Abobatta, 2019). Bitkiler, normalden daha erken büyüme olayını ise kuraklık esnasında metabolik hızın yüksek olmasından dolayı erken büyümenin koşulları olan ileri hücre genişlemesi ve bölünmesini hızlı bir şekilde gerçekleştirerek meydana getirmektedirler (Shavrukov vd., 2017). Bu şekilde bitkiler, kısa süren yaşam döngüsünde yeni tohumlar üreterek, kuraklık stresinden kaçmış olmaktadır (Abobatta, 2019). Bitkiler bu kuraklıktan kaçış mekanizmasını gerçekleştirirken bazı morfolojik değişiklikler de meydana gelmektedir. Bunlar genellikle, yaprak alanı, stoma sayısı, iletkenlik gibi faktörlerin azaltılması şeklinde olabildiği gibi aynı zamanda kök sap oranı, kalın kök ağının artırılması şeklindeki morfolojik değişikliklerde kaçış mekanizmasında görülmektedir (Tiryaki, 2016).

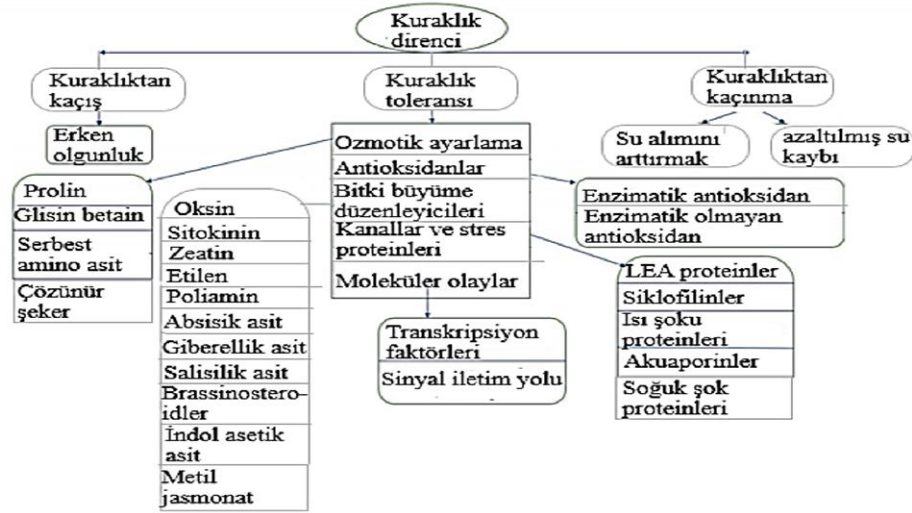
Kuraklık stresinden kaçınma mekanizması, toprakta yeterli miktarda su bulunmadığı zaman bitkilerin normal kapasitelerinden daha yüksek doku su içeriğini koruyabilme kabiliyeti olarak ifade edilmektedir (Basu, Ramegowda, Kumar ve Pereira, 2016). Kaçınma mekanizması genellikle, terlemeyi sınırlayan veya su alımını arttıran ya da teşvik eden mekanizmalardan oluşmaktadır ve genellikle sukulent bitkiler tarafından kullanılmaktadır (Mundree vd., 2002; Verslues, Bhaskara, Kesari ve Kumar, 2005). Sukulent bitkiler, su kullanımını en aza indirerek ve aynı zamanda su alımını arttırarak bu mekanizmayı kullanmaktadırlar (Mundree vd., 2002).

Kaçınma mekanizmasının temel olarak prensibi, bitkilerde yüksek su potansiyelinin muhafazasını gerçekleştirmek ve bitkinin alabileceği su alım miktarını arttırmaktır (Khan vd., 2011; Salehi-Lisar ve Bakhshayeshan-Agdam, 2016). Kuraklıktan kaçınma mekanizmasında bitkiler, mevcut olan suyu koruyarak bir su homeostazını sürdürmeye çalışmaktadırlar ve bu işlem gerçekleştiğinde doku suyu potansiyeli yüksek tutularak bol su kaynağı olan bitkilerden su potansiyeli daha az miktarda değişmektedir (Verslues vd., 2005).

Kuraklıktan kaçınma için gerekli olan sistem aslında iyi bir kök sistemidir. Kökler topraktan suyun alınabilmesini sağlayan bitki organı olarak görev almaktadır. Bundan dolayı, kök büyüme oranının, kök yoğunluğunun, kök boyutunun iyileştirilmesi aslında bitkilerin

göstermiş olduğu kaçınma tepkileridir (Abobatta, 2019). Kuraklıktan kaçınma mekanizması gerçekleşirken bitki yapısında da bazı morfolojik değişiklikler gerçekleşebilmektedir. Bunlar, genellikle, stoma kapanması (su kaybını sınırlandırmak) ve yaprak alanının azaltılması şeklinde olabildiği gibi stomatal ve kütiküler direncin artması, stomatal boyutu ve sayısının azalması şeklinde de olabilen morfolojik değişikliklerdir (Romanello, Chuchra-Zbytyniuk, Vandermer ve Touchette, 2008; Verslues vd., 2005). Diğer değişikliklere bakıldığında ise genellikle bitkilerde, yaprak dökülmesi, yaprak yuvarlanması ve düşük stomatal iletkenlik gibi görülen değişikliklerdir (Morgan, 1984).

Kuraklık toleransı tanım olarak, bitkinin su noksanlığı altında bazı yaşamsal faaliyetlerini (büyüme, çiçeklenme ve verim) yerine getirebilme kabiliyeti olarak tanımlanan bir kavramdır (Farooq vd., 2009). Kuraklık toleransı oldukça karmaşık bir mekanizmadır ve bu mekanizmayı gerçekleştirmek için bitkiler, belirli (fizyolojik ve moleküler) seviyelerde birçok adaptasyon örneği ortaya çıkarmışlardır (Aslam, Maqbool ve Cengiz, 2015). Kuraklık toleransı sağlanırken birçok faktör devreye girmekte ve aynı zamanda oldukça yüksek etkileri bulunmaktadır. Bu faktörler, bitki büyüme düzenleyicileri (Poliaminler, oksinler, sitokininler, ABA, indol asetik asit (IAA), gibberellin3 (GA3), salisilik asit (SA), brassinosteroidler (BR), metil jasmonat (MeJA), etilen ve zeatin), su kanalı proteinleri, transkripsiyon faktörleri, sinyal yolları, ozmotik ayarlama, antioksidan savunma sistemi ve strese duyarlı proteinler olarak ifade edilmektedir (Aslam vd., 2015).



Şekil 3.2. Bitkilerin göstermiş olduğu kuraklığa direnç mekanizması (Aslam vd., 2015).

Bitkilerin geliştirdikleri bu stres mekanizmalarından biri de fizyolojik mekanizmalar olarak ifade edilen mekanizmalardır (Farooq vd., 2009). Bunlar kısaca,

- **Hücre ve doku suyunun korunması:** Osmotik ayarlama olarak da bilinen hücre ve doku suyunun korunması, kuraklık tepkisinin yanında aynı zamanda kuraklık toleransı için gerçekleşen bir mekanizma olarak kabul edilmektedir ve bitkiler için son derece önemli olan su açığının olumsuz etkileri ile baş edilmesi için sıklıkla kullanılan bir sistemdir. Bu mekanizma da kısaca, osmotik potansiyel düşürülürken hücre içinde bulunan aktif olarak çözünen maddelerde artış olmaktadır. Bunun sonucunda ise, hücre su düzeyi onarılmakta ve aktif hücrelerde (yaprak vb.) turgoru korumaktadır (Mukarram, Choudhary, Kurjak, Petek ve Khan, 2021).
- **Bitki büyüme düzenleyicileri:** Fitohormonlar olarak ifade edilen bitki büyüme düzenleyicileri genellikle bitkilerin kuraklık toleransında oldukça önemli bir rolü olan ve aynı zamanda, bitkilerde kuraklığa tolerans sağlayan, bitkideki fizyolojik olaylar üzerinde büyük bir etkiye sahip olan bitki hormonları olarak ifade edilmektedir (Abobatta, 2019; Aslam vd., 2005).
- **Antioksidan savunma sistemi:** Bitkiler, abiyotik stres koşulları altında (kuraklık, tuzluluk, sıcaklık vb.) kontrolsüz bir şekilde gerçekleşen oksidasyon akışını düzenleyebilmek ve hücrelerde bulunan ROT'u temizleyebilmek için oksidatif hasardan

korumak için birlikte çalışan iyi organize edilmiş enzimatik ve enzimatik olmayan savunma sistemleri edinir.

- Bitkilerin geliştirdikleri stres mekanizmalarından biri de moleküler mekanizmalar ifade edilen sistemlerdir. Bunlar, Aquaporinler, stres proteinleri, sinyal ve kuraklık stresi toleransındır (Abobatta, 2019; Aslam vd., 2005).

### 3.2 Antioksidan Savunma Sistemi

Antioksidan savunma mekanizması kuraklık stresine tepki mekanizmalarından biri olarak ifade edilen bir sistemdir (Fang ve Xiong, 2015). Bu savunma sisteminin oluşmasında büyük bir rolü olan oksijen ( $O_2$ ) molekülü serbest bir radikal olarak ifade edilmekte ve aynı spin kuantum numarasına sahip iki bozulmuş elektrona sahip bir molekül olarak bilinmektedir. ROT oluşumunda büyük bir etkisi olan  $O_2$  molekülü, belirli olaylar sonucunda hücrelere zarar verme yeteneğinde olan ROT olarak adlandırılan formların oluşumuna neden olmaktadır ve aynı zamanda ROT, reaktif oksijen ara maddesi (ROI) ya da aktif oksijen türleri (AOS) olarak da adlandırılmaktadır (Gill ve Tuteja, 2010). ROT üretimi ile antioksidan savunma sistemi arasında ciddi bir uyumsuzluk ortaya çıktığında büyük bir hasara yol açan temel faktör oksidatif strestir (Møller, 2001). Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde dengenin bozulmasıyla birlikte hücrelerde aşırı miktarı ROT birikimi gerçekleşmektedir ve hücreler zarar görmektedir. Bunun sonucunda bitkilerde hücre ölümü gerçekleşebilmektedir (Fang ve Xiong, 2015). Bitkiler uzun bir süre kuraklık stresine maruz bırakıldığında, ROT olarak adlandırılan tekil oksijen ( $^1O_2$ ), süperoksit anyonu ( $O_2^-$ ),  $H_2O_2$  ve hidroksil radikali ( $HO\cdot$ ) gibi bu dört formun aşırı üretimi sonucu oksidatif hasara maruz kalmaktadırlar (Cruz de Carvalho, 2008). ROT'ların genel olarak özelliklerine bakıldığında (Çizelge 3.1), potansiyel olarak toksik oldukları ve üretiminin kontrolsüz bir şekilde oluşmasıyla birlikte hücresel bileşenlerin oksidatif hasarına neden oldukları tespit edilmiştir (Matamoros, Loscos, Dietz, Aparicio-Tejo ve Becana, 2010). ROT'ların her bir formu genellikle, kendine özgü özellikleri içeren, belirli bir yaşama sahip olan ve aynı zamanda potansiyel olarak oksitleme yeteneğine sahip olan formlar olarak ifade edilmektedir (Cruz de Carvalho, 2008). Örnek vermek gerekirse,  $H_2O_2$  formu stabil bir özellik göstermekle birlikte konsantrasyonu oldukça düşüktür. Diğer ROT formları ise çok kısa yarı ömürlere sahiptir ve çok düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır ve aynı zamanda bu formlar farklı reaktivitelere sahiptirler (Møller, Jensen ve Hansson, 2007).

Çizelge 3.1. Bitki dokularında bulunan ROT'un temel özellikleri (Møller vd., 2007).

Özellik	Tekil oksijen ( $^1\text{O}_2$ )	Süperoksit anyonu ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ )	Hidrojen peroksit ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	Hidroksil radikali ( $\text{OH}^{\cdot}$ )
<b>Yaşam süresi</b>	1 $\mu\text{s}$	1 $\mu\text{s}$	1 ms	1 ns
<b>Katedilen mesafe</b>	30 nm	30 nm	1 $\mu\text{m}$	1 nm
<b>Konsantrasyon</b>	?	?	$\mu\text{M}$ -mM <sup>f</sup>	?
<b>Etkiledikleri</b>				
<b>DNA</b>	Esas olarak	Hayır	Hayır	Hızla
<b>Lipit</b>	Doymamış	Neredeyse hiç	Neredeyse hiç	Hızla
<b>Karbonhidrat</b>	Hayır	Hayır	Hayır	Hızla
<b>Protein</b>	Trp, His, Tyr,	Fe-S	Sisteinler	Hızla

ROT'nin temel olarak üretildiği yerler bitkinin yeşil kısımlarında bulunan kloroplastlar ve peroksizomlardır. Burada bulunan ROT çeşitli metabolik yolların yan ürünleri olarak doğal bir şekilde sürekli olarak üretilmektedir. Karanlık altında ya da bitkinin yeşil olmayan kısımlarında ise mitokondri temel ROT üreticisidir (Apel ve Hirt, 2004; Møller vd., 2007). Ancak, normal büyüme koşulları altında hücrelerde ROT üretimi oldukça azdır. Örnek vermek gerekirse, normal büyüme aşamasında kloroplastlarda oluşabilecek maksimum ROT üretimi,  $240 \mu\text{M s}^{-1} \text{O}_2$  ve  $0,5 \mu\text{M H}_2\text{O}_2$  şeklindedir. Bazı abiyotik streslerde ise (kuraklık stresi, tuz stresi, ısı şoku, ağır metaller, ultraviyole radyasyon, ozon ve  $\text{SO}_2$  (kükürt dioksit) gibi hava kirleticileri, mekanik stres, besin yoksunluğu, patojen saldırısı ve yüksek ışık stresi) ROT üretimi artmaktadır. Örnek vermek gerekirse, stres altında kloroplastlarda oluşabilecek ROT miktarı  $240\text{-}720 \mu\text{M s}^{-1} \text{O}_2$  ve  $5\text{-}15 \mu\text{M H}_2\text{O}_2$  şeklinde değişmektedir (Mittler, 2002).

Bitkiler, hücreleri aşırı miktarda üretilen ROT'un bu zararlı etkilerine karşı korumak için birçok savunma mekanizması gerçekleştirmişlerdir. Bunlardan biri de enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma mekanizmalarıdır (Fang ve Xiong, 2015). Bitkilerdeki enzimatik savunma mekanizmalarına örnek olarak, SOD, APX, GPX ve CAT verilmektedir (Apel ve Hirt, 2004). SOD, APX ve CAT aktiviteleri arasındaki meydana gelen dengeler, bitkilerde  $\text{H}_2\text{O}_2$  dengesini sürdürmek için oldukça önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır (Fang ve Xiong, 2015). ROT'a karşı ilk savunma enzimatik mekanizmalardan biri

olan SOD'lar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. SOD'lar, süperoksidi  $H_2O_2$ 'ye çevirerek APX, GPX ve CAT'ın  $H_2O_2$ 'yi detoksifiye edilmesi sağlanmaktadır. Reaktif bir tür olarak kabul görmeyen  $H_2O_2$ ,  $O_2^-$  radikalinin dismutasyonu (bir elektronun eklenmesi) ya da  $O_2$ 'in doğrudan indirgenmesiyle oluşmaktadır. Dismutasyon kendiliğinden ya da SOD enzimi aracılığıyla gerçekleşmektedir. Oluşan  $H_2O_2$  membranlardan kolaylıkla geçebilmekte ve üretildiği yerden uzak bölgelere difüzyon yoluyla ilerleyebilmektedir.  $H_2O_2$  hücre membranlarında lipit peroksidasyonu gibi radikal tepkimelerini başlatabilmektedir. Bitkilerde  $H_2O_2$ 'in temizlemesi askorbat-glutasyon döngüsü ile CAT ve POX enzimleri tarafından gerçekleştirilmektedir (Eryılmaz, 2007). Enzimatik olmayan antioksidanlar ise, hücrel redoks tamponları askorbat ve glutasyon ile tokoferol, flavonoidler, alkaloidler ve karotenoidlerdir (Apel ve Hirt, 2004).





## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1 Bitki Materyali

Bitkisel materyal olarak Sivas, Hafik, Olukbaşı köyünden (40° 8' 48.7716" Kuzey ve 37° 14' 34.5660" Doğu) toplanan *Helichrysum arenarium* (L.) Moench (*H. arenarium*) tohumları (yaş ve kuru) ve Uludağ Agro firmasından alınan *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don (*H. italicum*) tohumları kullanılmıştır. *Helichrysum* bitkisi kuraklığa dayanıklı bir bitki olup kumlu ve tınlı toprakları tercih etmektedir (Perrini vd., 2009).

Tez çalışmasında Sivas, Hafik, Olukbaşı köyünden (40° 8' 48.7716" Kuzey ve 37° 14' 34.5660" Doğu) *H. arenarium* bitkisine ait tohumlar toplanmıştır (Şekil 4.1). Tez çalışmasında kullanılan *H. arenarium* bitkisinin tür tayini Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Biyoloji Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Evren CABİ tarafından yapılmıştır.

a)



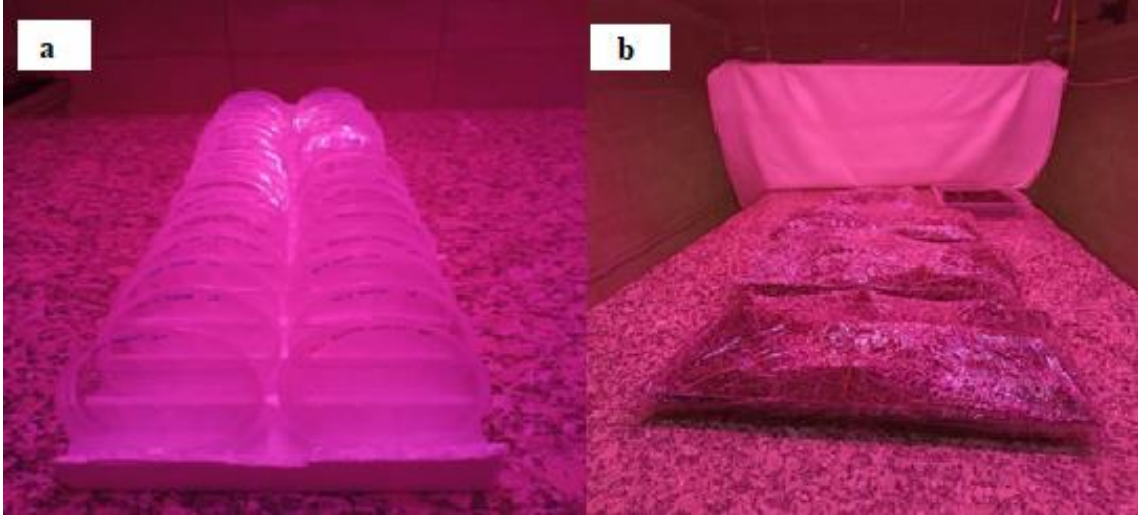
b)



Şekil 4.1. *Helichrysum arenarium* (L.) Moench tohumlarının toplandığı bölgenin harita üzerinde gösterimi (a: Sivas- Hafik- Olukbaşı köyü), b: *Helichrysum arenarium* (L.) Moench tohumların toplandığı alan.

### 4.2 Bitkilerin Yetiştirilmesi

Bitkiler, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü kontrollü bitki büyütme odasında 16/8 saat uzun gün fotoperiyotta 25±2°C sıcaklıktaki yetiştirilmiştir (Şekil 4.2).

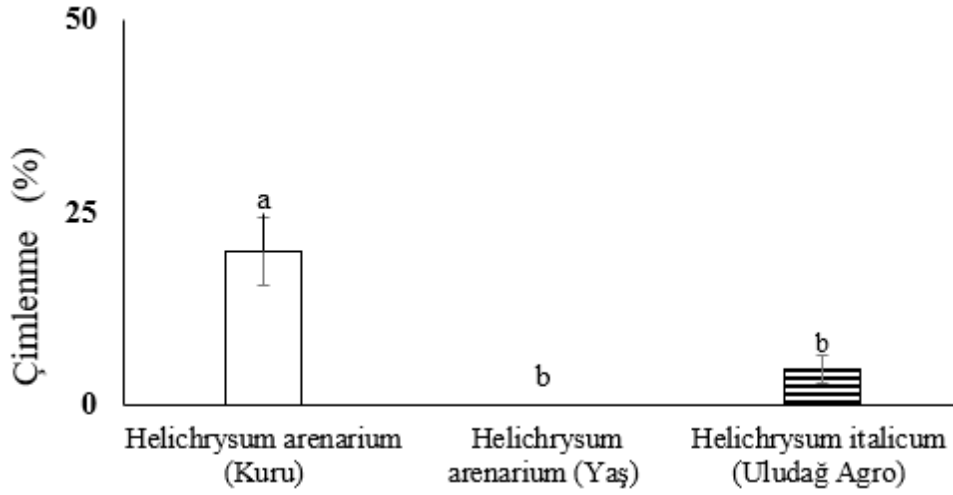


Şekil 4.2 Bitkilerin in vivo bitki büyütme odasında yetiştirme ortamı (a: Petri kabı denemesi, b: viyol aktarımı denemesi)

#### 4.2.1 Çimlenme Denemesi

Altın otu tohumlarının yüzeysel sterilizasyonu için tohumlar (yaş ve kuru) 1,5 ml'lik ependorf tüpler içerisine 4 tekrar olacak şekilde konulmuştur. Ependorf tüp içerisinde bulunan tohumlara 1 ml %20'lik ticari çamaşır suyu çözeltisi eklenmiştir ve tohumlar 10 dk süreyle yüzeysel sterilizasyonu yapılmıştır. Ardından üç defa steril saf suda 5'er dk yıkanmış ve santrifüj edildikten sonra yüzeysel sterilizasyon işlemi tamamlanmıştır (Şekil 4.5).

Yüzeysel sterilizasyonu yapılmış *H. arenarium* ve *H. italicum* türlerine ait yaş ve kuru tohumların çimlenme performanslarını belirlemek amacıyla çimlenme denemesi kurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre *H. arenarium* bitkilerine ait kurutulmuş tohumların çimlenme performansları daha yüksek (%10,33) olduğu için tez çalışmasına bu tür ile çalışılmaya devam edilmiştir. Yapılan çimlenme uygulamasında 7. günde *H. italicum* ve *H. arenarium* (yaş) tohumlarında çimlenme tespit edilmemiştir. *H. arenarium* (kuru) tohumlarının ortalama çimlenme oranı ise %9,66'dır. 14. günde *H. arenarium* (yaş) tohumlarında çimlenme olmadığı tespit edilirken *H. italicum* türünde çimlenme oranı %4,6 olarak belirlenmiştir. *H. arenarium* (kuru) tohumlarında çimlenme oranı %10,33'tür. En yüksek çimlenme oranı *H. arenarium* (kuru), en düşük çimlenme oranı ise *H. arenarium* (yaş) tohumlarında tespit edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. *H. arenarium* (kuru ve yaş) tohumları ile *H. italicum* tohumlarının çimlenme oranının karşılaştırılması. Sonuçlar ortalama  $\pm$  std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-b) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

*H. arenarium* (kuru) tohumlarının kurak koşullardaki çimlenme performanslarını belirlemek için 5 farklı deneme kurulmuştur. Bu deneme gruplarına ait bilgiler Çizelge 4.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. *Helichrysum arenarium* (kuru) tohumlarına uygulanan kuraklık çalışması

Kuraklık Uygulama Grupları								
Deneme	Kontrol (su)	H	MS	PEG	PEG	PEG	PEG	PEG
1	X	X	-	X	X	X	X	X
2	X	X	-	H+X	H+X	H+X	H+X	H+X
3	-	-	X (yatay)	MS+X	MS+X	-	-	-
4	-	-	X (dikey)	MS+X	MS+X	-	-	-
5	-	-	X (dikey)	MS+X	MS+X	MS+X	-	-

H: Hoagland besin çözeltisi (%50) (Hoagland ve Arnon, 1950), MS: Murashige ve Skoog besi ortamı (Murashige ve Skoog, 1962), X: Uygulama yapıldığını, -: Uygulama yapılmadığını ifade etmektedir.

Birinci çimlenme deneme grubunda, steril edilmiş tohumlar 9 cm çaplı Petri kaplarına, içerisinde polietilen glikol (PEG) (%5, %10, %15, %20 ve %30) ile nemlendirilmiş filtre kâğıdı üzerine her petri kabına 50 tohum olacak şekilde ekim yapılmıştır.

Ayrıca, kontrol grubu olarak petri su ile nemlendirilmiş filtre kağıdı üzerine 50 tohum olacak şekilde ekim yapılmıştır (Şekil 4.4a).

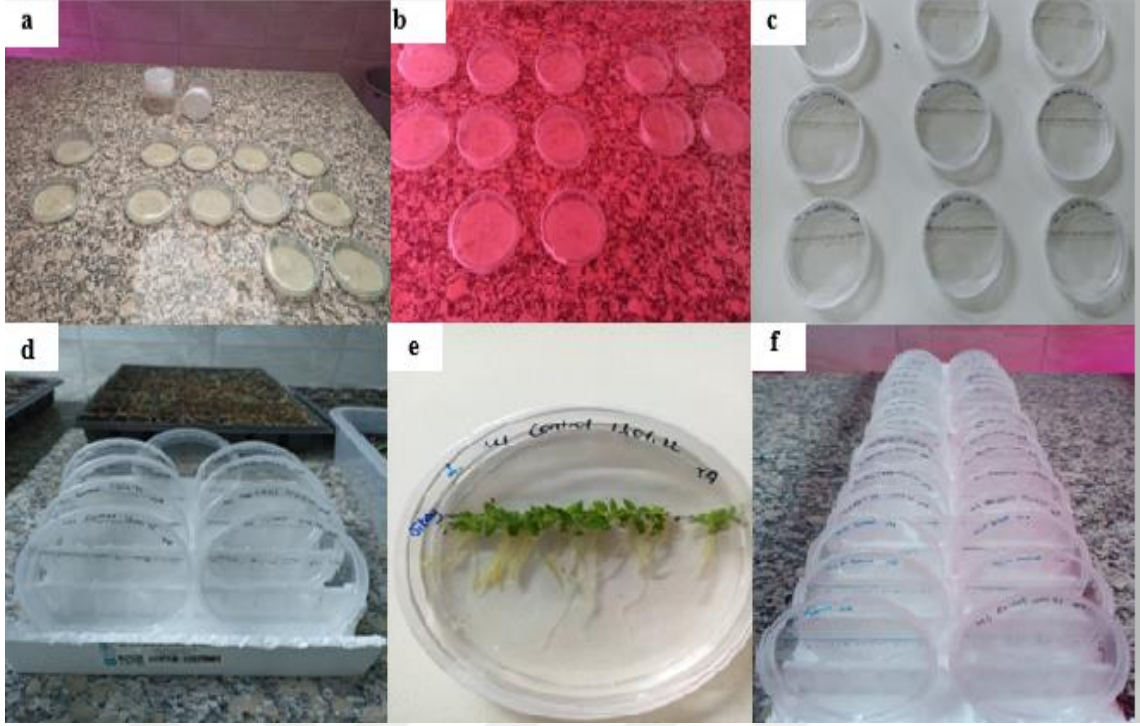
İkinci çimlenme deneme grubunda steril edilmiş tohumlar 9 cm çaplı Petri kaplarına, içerisinde %50'lik Hoagland besin çözeltisi ve PEG (%5, %10, %15, %20 ve %30) ile nemlendirilmiş filtre kağıdı üzerine her petri kabına 50 tohum olacak şekilde ekim yapılmıştır (Şekil 4.4b).

Üçüncü ve dördüncü çimlenme grubunda *H. arenarium* (kuru) tohumları, hazırlanan MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10 içeren plastik steril petri kaplarına yatay ve dikey pozisyonlarda, her bir petriye 50 tohum olacak şekilde 3 tekrarlı şekilde çimlenmeye bırakılmıştır (Şekil 4.4c-d). MS besiyeri hazırlanırken, Çizelge 4.2'deki tartım işlemleri yapılmıştır.

Beşinci çimlenme denemesinde *H. arenarium* (kuru) tohumları hazırlanan MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10 ve MS+ PEG %15 PEG içeren plastik steril petri kaplarına dikey pozisyonda her bir petriye 50 tohum olacak şekilde en az 6 tekrarlı şekilde çimlenmeye bırakılmıştır (Şekil 4.4e-f).

Bütün çimlenme denemelerinde nem kaybını engellemek için petri kapları streç film ile sarılmıştır ve aynı şekilde bütün denemelerde tohumlar bitki yetiştirme odasına alınarak, LED ışıkla aydınlatılan 16 saat fotoperiyotta,  $25\pm 2^{\circ}\text{C}/18\pm 2^{\circ}\text{C}$  (gündüz/gece) sıcaklıkta,  $\%60\pm 5$  nemli ortamda 7 gün süresince çimlenmeye bırakılmıştır.

Steril petri kaplarına ekimi yapılan tohumların kökçükleri 2 mm kadar uzadığında çimlenmiş olarak kabul edilmiştir. Çimlendirme denemesi, 3 ve tek tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Çimlendirme denemesinde belirlenen özellikler aşağıda verilmiştir. Aşağıdaki ölçümler deneme süresi sonunda Petri kaplarından tesadüfi olarak seçilerek 10 bitki üzerinde yapılmıştır.



Şekil 4.4. Tohum çimlendirme denemeleri. (a: Tohumların PEG (%5, %10, %15, %20 ve %30) ile çimlendirilme denemesi, b: Tohumların Hoagland besin çözeltisi ve PEG ile çimlendirilme denemesi, c-d: Tohumların MS besin yeri bulunan petrilerde PEG (%5, %10) yatay ve dikey olarak çimlendirilme denemesi, e-f: Tohumların MS besin yeri bulunan plastik petri kaplarında PEG (%5, %10, %15) dikey olarak çimlendirme denemesi (Orijinal).

Çizelge 4.2. MS besin yeri ve PEG hazırlanışı.

	MS Kontrol	PEG %5 + MS	PEG %10 + MS	PEG %15 +MS
MS	1,32 g	1,32 g	1,32 g	1,32 g
Şeker	9 g	9 g	9 g	9 g
Gelrite	0,9 g	0,9 g	0,9 g	0,9 g
PEG-6000	-	15 g	30 g	45 g
dH <sub>2</sub> O	300 ml	300 ml	300 ml	300 ml

Yukarıdaki çizelgeye göre hazırlanan çözeltiler 121 °C’de 15 dk 1 atm otoklavda steril edilmiştir. Steril kabin içerisinde plastik petri kaplarına hazırlanan çözeltiler dökülmüştür. Plastik petri kapları 4 °C de muhafaza edilmiştir. Daha sonra steril kabin içerisinde tohumların ekimi gerçekleşmiştir.



Şekil 4.5. Bitki yetiştirme basamakları [a-b: Bitkiden tohumların toplanılması, c-d: Tohumların yüzeysel sterilizasyonu, e: Petri kaplarının ve besi yerlerinin hazırlanması, f: Tohumların petri kaplarına ekimi, g-h-i: Bitkinin hasat edilmesi ve tartımı (Orijinal)]

#### 4.2.2 Fide Gelişim Dönemindeki Kuraklık Yanıtları

Çimlendirme denemesinden (Çizelge 4.1) elde edilen veriler doğrultusunda MS ortamında %0, %5, %10 ve %15 derişimde PEG-6000 uygulamasına karşı altın otu fidelerinin vermiş olduğu yanıtlar morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal düzeyde incelenmiştir.

Bitkiler  $250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışık yoğunluğunda LED lambalarla aydınlatılan 16 saat fotoperiyotta,  $25\pm 2^\circ\text{C}/18\pm 2^\circ\text{C}$  (gündüz/gece) sıcaklıkta,  $\%60\pm 5$  nemli ortam koşullarında yetiştirilmiştir. Bitkilerin kuraklık stresine karşı vermiş olduğu yanıtları belirlemek için bitkilerden 7. ve 14. günlerde örnekleme yapılmıştır. Biyokimyasal analizler için bitki yaprakları örnekleme günü derin dondurucuya alınmış ve analiz yapılacağı güne kadar  $-18^\circ\text{C}$ 'de saklanmıştır.

#### 4.2.2.1 *Büyüme parametreleri*

Kök uzunluğunun belirlenebilmesi için, bitkilerin kök tacı ile köklerinin en uç noktası arasındaki mesafe ölçülüp, ortalaması cm olarak belirlenmiştir. Kök yağ ağırlığı; bitkilerin kökleri kök tacından kesilerek hassas terazide tartılarak ortalaması alınarak miligram (mg) olarak belirlenmiştir. Kök kuru ağırlığı; bitkilerin yağ ağırlıkları belirlenen kökleri, 70°C'lik etüvde 24 saat kurutulduktan sonra tartılarak, ortalaması alınarak mg olarak belirlenmiştir. Gövde yağ ağırlığı; kök tacından kesilen bitkilerin gövde kısımları hassas terazide tartılarak, ortalaması alınarak mg olarak belirlenmiş ve en son olarak gövde kuru ağırlığı bitkilerin yağ ağırlıkları belirlenen gövde kısımları 70°C'lik etüvde 24 saat kurutulduktan sonra tartılmış aritmetik ortalaması alınarak mg olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.2.2 *Yaprak Su İçeriğinin (YSİ) Belirlenmesi*

7. ve 14. günlerinde PEG-6000 uygulaması yapılmış bitkilerin, bütün bitki şeklinde tartılarak taze (yaş) ağırlıkları (YA) (mg) olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu yapraklar 104°C'de 2 saat daha sonra 80°C'de 72 saat kurutularak, kuru ağırlıkları (KA) bulunmuştur. Bitkinin YSİ hesaplaması aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Jin, Shi, Yu, Yamada ve Sacks, 2017).

$$YSİ (\%) = [YA-KA]/[YA] \times 100 \quad (4.2)$$

#### 4.2.2.3 *Lipit Peroksidasyonu Miktarının Belirlenmesi*

Madhava Rao ve Sresty (2000)'in metoduna göre, TBARS miktarının belirlenmesi yapılmıştır. 200 mg bitki örneği %0,1 trikloroasetik asit (TCA) çözeltisi ile homojenize edilmiştir ve homojenize olan özütler 4°C 5 dk boyunca 12000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminden sonra oluşan süpernatant kısmına TCA ve TBA (tiobarbitürik asit) içeren reaksiyon karışımı eklenmiştir. Daha sonra oluşan karışım karanlıkta 95°C 30 dk su banyosunda (Mommert WNB 10 marka) bekletilmiştir. Bu işlemde alınan örnekleri buzlu ortama koyarak soğuk şok uygulaması yapılmıştır. Bu işlemin ardından karışım 4°C 15 dk 14000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Oluşan üst fazın spektrofotometrik olarak 532 ve 600 nm verdiği absorpsiyon değerleri kullanılarak TBARS miktarı hesaplanmıştır. TABRS seviyesi, nmol/g yağ ağırlık olarak hesaplanmıştır.

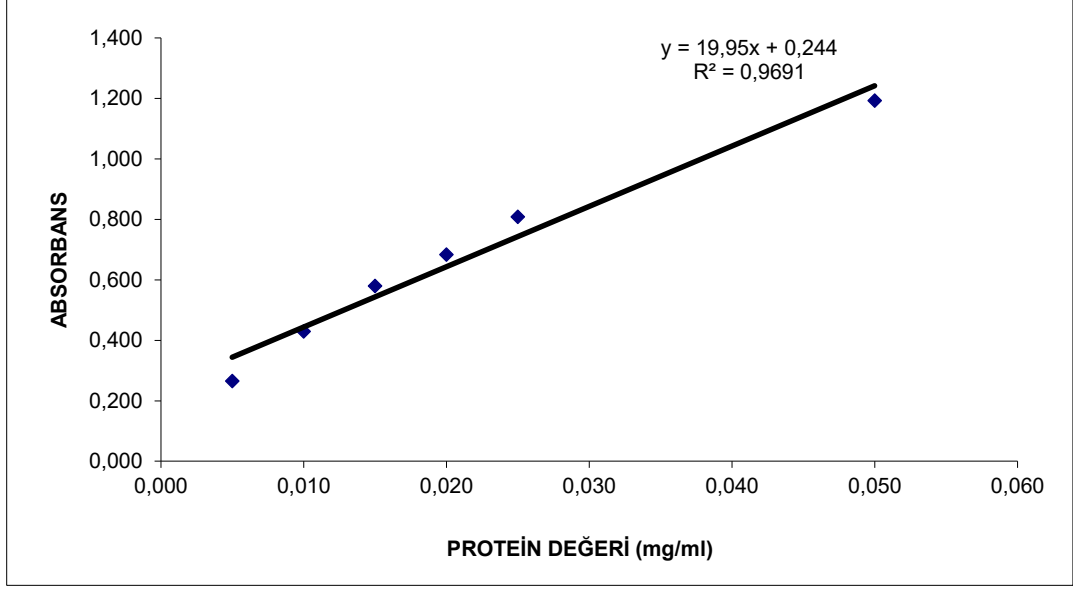
#### 4.2.2.4 $H_2O_2$ Miktarının Belirlenmesi

Bernt ve Bergmeyer (1974) metodu kullanılarak  $H_2O_2$  miktarının belirlenmesi yapılmıştır. 200 mg bitki örnekleri 1,5 mililitre (ml) 100 mM Sodyum fosfat ( $KPO_4$ ) tamponu (pH 6,8) ile homojenize edilmiştir. Homojenizasyon işleminden sonra özütler 30 dk 12000 rpm  $4^\circ C$  de santrifüj işlemi yapılmıştır. Santrifüj işleminden sonra 0,5 ml süpernatant 2,5 ml peroksidaz reaktifi ile karıştırılmıştır ve sıcak su banyosunda (10 dk boyunca  $30^\circ C$ ) inkübasyona bırakılmıştır. Deney tüpü içerisine 0,5 ml 1 N perklorik asit eklenerek inkübasyon işlemi sonrası reaksiyon durdurulmuştur. Daha sonra karışımdan alınan 1 ml numune küvetlere konularak 436 nanometrede (nm) spektrofotometrede okuma yapılmıştır. Örneklerin  $H_2O_2$  seviyesi,  $H_2O_2$  standart eğrisine göre belirlenmiştir.

#### 4.2.2.5 Toplam Protein Miktarının Belirlenmesi

Bradford (1976) yöntemi kullanılarak toplam protein miktarı belirlenmiştir. 200 mg bitki örneği 1-1,5 ml, 1 mM EDTANA<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeren 50 mM Na-P tamponu ve pH: 7,8 olan ekstraksiyon tamponu ile homojenize edilmiştir (Şekil 4.8a-b) Homojenizasyon sonrası elde edilen özütler ( $4^\circ C$ 'de 14000 rpm'de 30 dk) santrifüj işlemi yapılmıştır (Şekil 4.7c-d) (Eppendorf centrifuge 5804 R). Bu işlemden sonra süpernatant kısmı toplam protein miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Toplam protein miktarını belirlemek üzere 50 µl süpernatant ve üzerine 1 ml reaktif karışımı konulmuştur. Daha sonra 5 dk karanlıkta bekletildikten sonra örnekler spektrofotometrede (Mecasys Optizen POP UV-VIS marka) okunmak için küvetlere aktarılmıştır (Şekil 4.7h). Örnekler, 595 nm dalga boyunda okutulmuştur. Bitki örneklerinin protein içeriğinin belirlenmesi üzerine protein standart grafiği oluşturulmuştur (Şekil 4.6). Grafik, Bovine Serum Albumin (BSA) kullanılarak yapılmıştır ve bu grafik üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Belirlenen protein miktarı (mg/g doku) enzim aktivitelerinin hesaplaması sırasında kullanılmıştır.



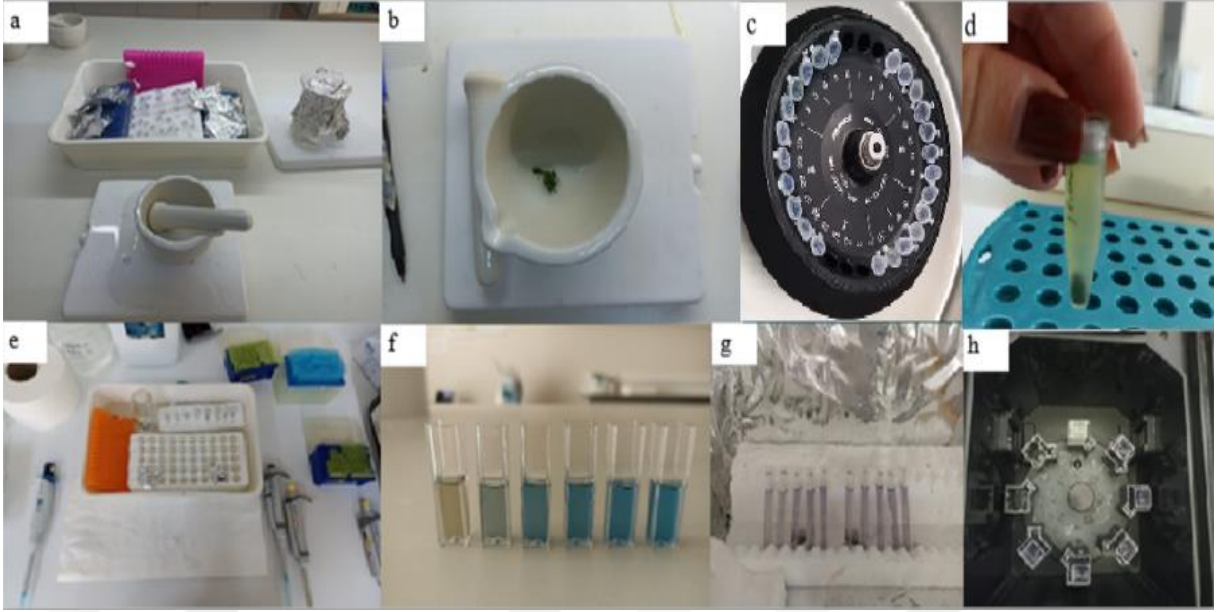


Şekil 4.6. Protein standart grafiği.

#### 4.2.2.6 SOD (EC 1.15.1.1.) Aktivitesinin Belirlenmesi

Giannipolites ve Ries (1977) ve Beauchamp ve Fridovich (1971) metotlarına SOD aktivitesi belirlenmiştir. 200 mg bitki yaprağı 4°C’de 1 mM EDTA<sub>Na</sub>·H<sub>2</sub>O içeren Na-P (pH 7,8) ile homojenize edilmiştir. Homojenizasyon sonrasında elde edilen özüt santrifüj edilmiştir. (30 dk 4°C’de 13000 rpm). Analiz sırasında reaksiyon karışım (50 mM Na-P tamponu (pH 7,8), 0,1M L-Metiyonin, 1mM Nitro Blue Tetrazolium (NBT), 0,1 mM EDTA.Na<sub>2</sub> ve 0,2 mM riboflavin) kullanılmıştır.

Homojen bir karışı elde etmek için süpernatant ve karışım vortekslenmiştir. Yapılan metoda göre, farklı konsantrasyonlarda süpernatant ve reaksiyon karışımı belirli bir sıcaklıkta ve sürede (300 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ışıklı 25°C’ de 10 dk) renk değişimi meydana geldiği bilinmektedir. Bu renk değişimleri, Mecasys Optizen Pop spektrofotometre cihazında 560 nm dalga boyunda ölçülmesiyle belirlenmiştir. Spesifik enzim aktivitesi, enzim ünitesi (U) mg protein<sup>-1</sup> g yaş ağırlık<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Analizlere ait görseller [a-b] Homojenizasyon, c) Santrifüj cihazının görünüşü, Süpernatant kısmı, d) Süpernatant kısmı, e) Analize hazırlık işlemi, f) Numunelerin renk değiştirme aşaması, g) Hazırlanan numunelerin ışık altında tutulduktan sonraki hali, h) Spektrofotometrede okuma (Orijinal).

#### 4.2.2.7 Askorbat peroksidaz (APX, E.C. 1.11.1.11) aktivitesinin belirlenmesi

Nakano ve Asada (1981) yöntemi kullanılarak APX enziminin aktivitesi belirlenmiştir. 200 mg bitki örnekleri 2 mM ASC ve 1 mM EDTA<sub>Na2</sub>.2H<sub>2</sub>O içeren 50 mM Na-P tamponu ile homojenize edilmiştir. Homojenize edilen özütler, reaksiyon karışımı (50 mM Na-P tamponu (pH: 7,0), 5 mM Askorbat çözeltisi, 1 mM EDTA.Na<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltisi) ile homojenize edilerek reaksiyon işlemi başlatılmıştır. Reaksiyon 90 saniye (sn) boyunca spektrofotometre (Mecasys Optizen Pop) cihazında 290 nm'de izlenmiştir. Spesifik enzim aktivitesi, enzim ünitesi mg protein<sup>-1</sup> yaş ağırlık<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.2.8 Glutasyon redüktaz (GR, E.C. 1,6.4.2) aktivitesinin belirlenmesi

Foyer ve Halliwell (1976)'in yöntemi kullanılarak GR enziminin aktivitesi belirlenmiştir. 200 mg bitki örneği kullanılmıştır. Süpernatant ve reaksiyon karışımı (25 mM Na-P tamponu (pH: 7,8), GSSG tamponu ve NADPN<sub>4</sub> tamponu) 90 sn boyunca spektrofotometre cihazında (Mecasys Optizen Pop) 340 nm'de ölçümü izlenmiştir. 1 enzim ünitesi, dakikada okside olan glutasyon (µmol ml<sup>-1</sup>) miktarıdır. Spesifik enzim aktivitesi, enzim ünitesi mg protein<sup>-1</sup> yaş ağırlık<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.2.9 Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) aktivitesinin belirlenmesi

Bergmeyer (1970) metodu kullanılarak katalaz enzimi aktivitesi belirlenmiştir. 200 mg bitki örneği kullanılmıştır. 1 mM EDTA, 0,05 M Na-P tamponu (pH 7,0), dH<sub>2</sub>O ve %3 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeren reaksiyon karışımı kullanılmıştır. Spektrofotometrede (Mecasys Optizen Pop) 240 nm'de 90 sn süre ile köre karşı okutularak H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarında oluşan azalma gözlenmiştir. Dakikada tüketilen  $\mu$ mol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı, 1 enzim ünitesi olarak saptanmış ve spesifik enzim aktivitesi, enzim ünitesi mg protein<sup>-1</sup> g olarak belirlenmiştir.

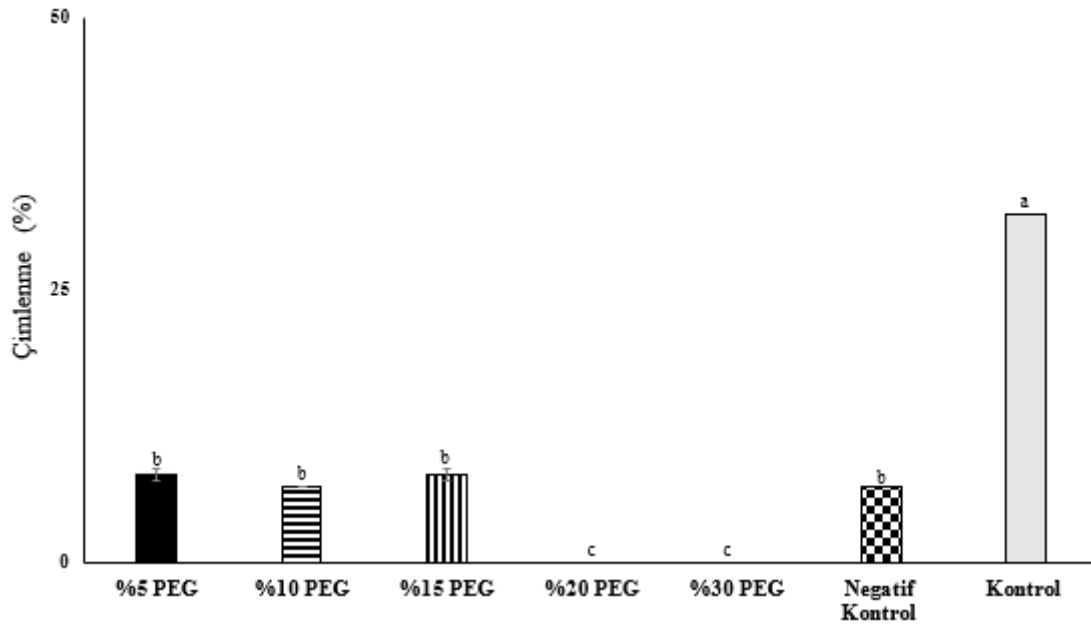
### 4.3 İstatistiksel Analiz

Bu çalışma, tesadüf parsellerinde bölünen bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Tüm fizyolojik ve biyokimyasal veriler tek yönlü varyans analizi (One Way Anova) ile SPSS 18.0 istatistik paket programı kullanılarak incelenmiş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD Testi ile karşılaştırılmıştır. P  $\leq$ 0,05 olan değerler istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Biyokimyasal ve morfolojik analizlerde Pearson korelasyon analizi kullanılarak analizlerin birbirileri ile ilgili pozitif ve negatif ilişkileri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ortalama  $\pm$ standart hata olacak şekilde çizlege ve şekillerde sunulmuştur.

## 5. BULGULAR

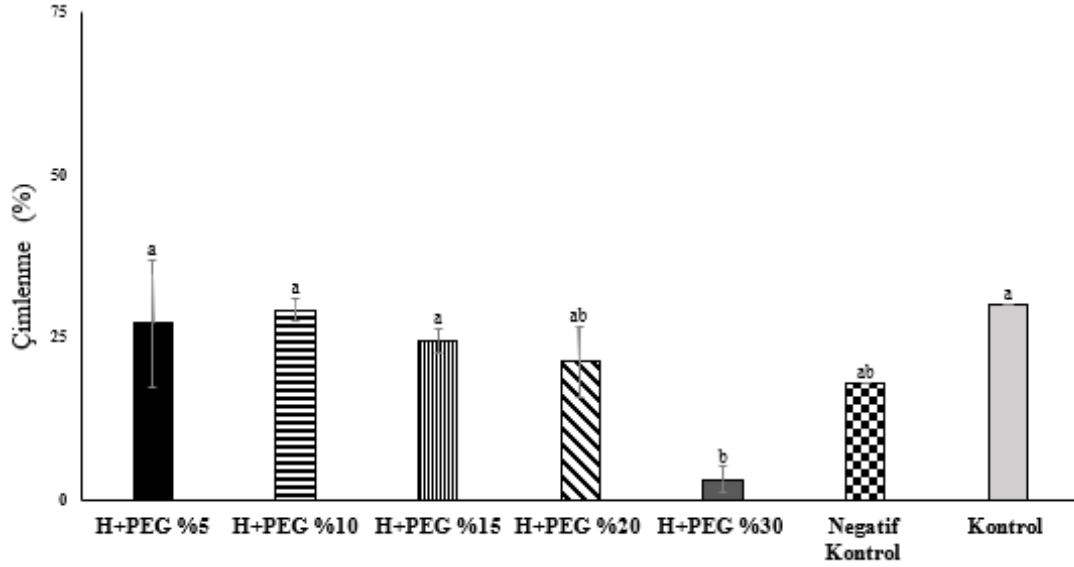
### 5.1 Çimlenme Denemesi

Birinci çimlenme denemesi grubunda yapılan PEG (%5, %10, %15, %20 ve %30), negatif kontrol ve kontrol uygulamasında altın otu tohumlarının çimlenme oranı sırasıyla %8; 7; 8; 0; 0; 8 ve 32'dir. En yüksek çimlenme oranının kontrol grubunda olduğu, PEG %20 ve PEG %30 gruplarında ise çimlenmenin gerçekleşmediği belirlenmiştir (Şekil 5.1).



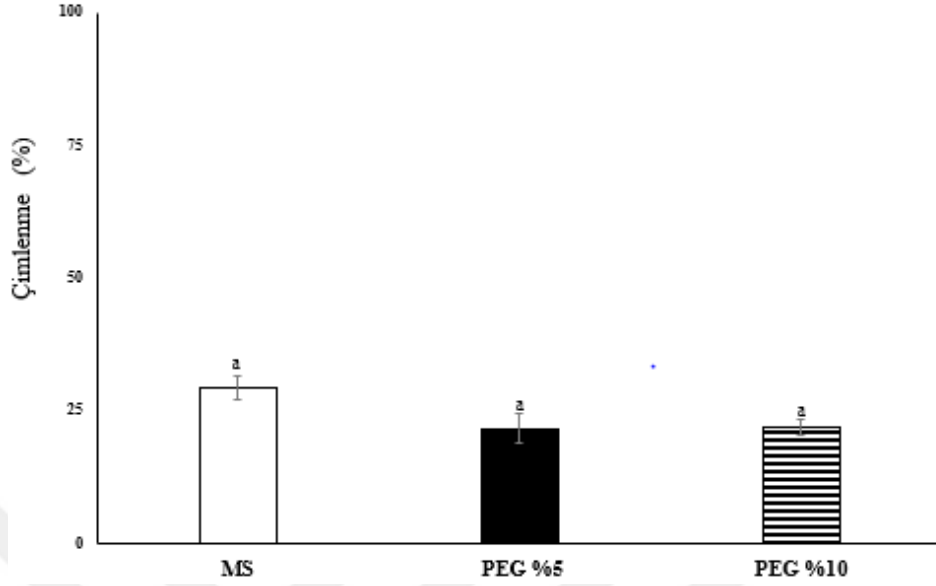
Şekil 5.1. PEG uygulamasının kontrol grupları ile karşılaştırılması (Negatif kontrol = Saf su, Kontrol = %50 Hoagland besin çözeltisi). Sonuçlar ortalama  $\pm$  std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

İkinci çimlenme denemesi grubunda yapılan %50'lik Hoagland besin çözeltisi + PEG (%5, %10, %15, %20 ve %30), negatif kontrol ve kontrol uygulamasında altın otu tohumlarının çimlenme oranı sırasıyla %27,33; 29,33; 24,67; 21,33; 3,33; 18,0 ve 30,0'dır. En yüksek çimlenme oranı kontrol uygulamasında, en düşük çimlenme oranı ise PEG %30 uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 5.2).

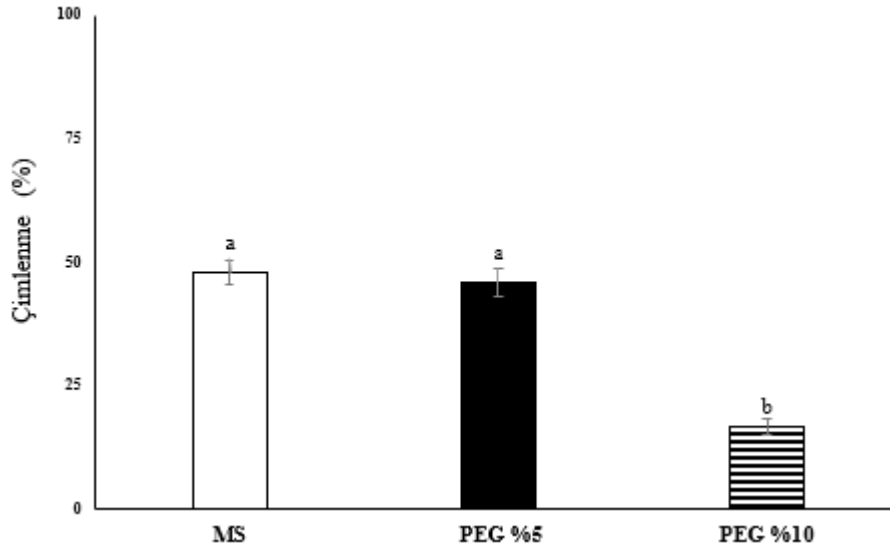


Şekil 5.2. Hoagland çözeltilisinde PEG uygulaması etkisinin karşılaştırılması (Negatif kontrol = Saf su, Kontrol = Hoagland çözeltilisi (%50)). Sonuçlar ortalama  $\pm$  std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-b) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

Üçüncü ve dördüncü çimlenme denemesi grubunda yapılan yatay ve dikey MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10 uygulamasında altın otu tohumlarının çimlenme ortalaması yatay uygulamada sırasıyla %29,33; 21,67 ve 22,0 olarak saptanmıştır (Şekil 5.3). Dikey uygulamada ise çimlenmenin sırasıyla %53,33; 48,0 ve 16,67 oranında gerçekleştiği saptanmıştır (Şekil 5.4). En yüksek çimlenme oranı dikey uygulama kontrol grubunda gerçekleşmiştir. En düşük çimlenme oranı dikey uygulamada yapılan PEG %10 uygulamasında saptanmıştır.



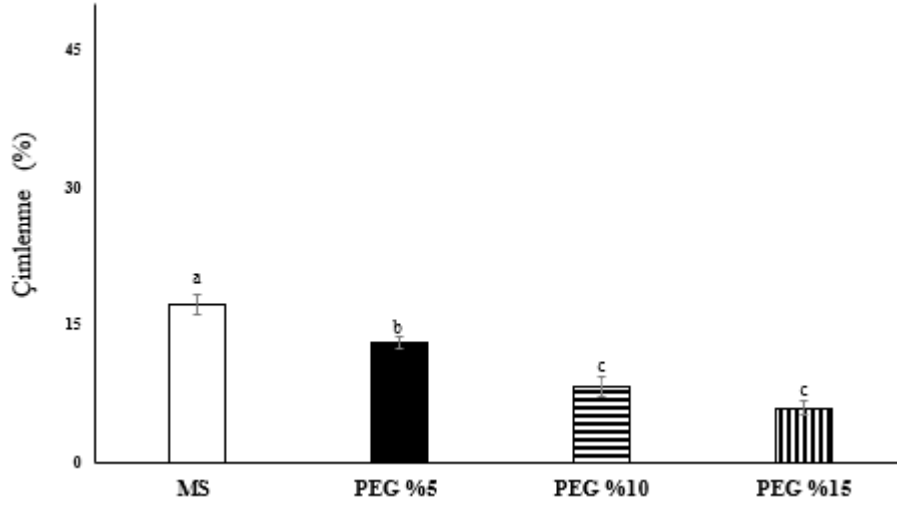
Şekil 5.3. Yatay pozisyonda tohumlara PEG uygulaması. Sonuçlar ortalama  $\pm$  std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.



Şekil 5.4. Dikey pozisyonda tohumlara PEG uygulaması. Sonuçlar ortalama  $\pm$  std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-b) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

Beşinci çimlenme denemesi grubunda Kontrol, MS+PEG %5, MS+PEG %10, MS+PEG %15 dikey uygulamasında altın otu tohumlarının çimlenme ortalaması sırasıyla,

%17,33; 13,10; 8,27 ve 6,0 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek çimlenme oranı kontrol grubunda, en düşük çimlenme oranı ise PEG %15 uygulama grubunda saptanmıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Dikey PEG uygulamasında altın otu tohumlarının çimlenme oranları. Sonuçlar ortalama  $\pm$  std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda fide dönemi çalışmalarında bitkilerin yetiştirilmesi sırasında MS ortamı kullanılmasına, bitkilerin en iyi gelişim gösterdiği dikey pozisyonda petri kaplarının konumlandırılmasına ve çimlenmenin gerçekleşmediği PEG %20 ve PEG %30 gruplarının çıkarılmasına karar verilmiştir.

## 5.2 Fide Gelişim Dönemi

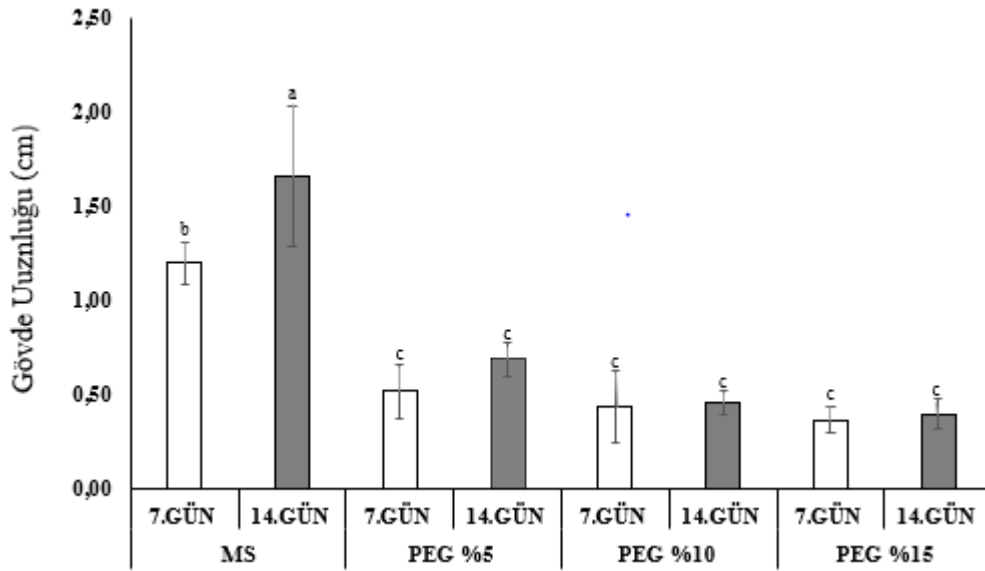
### 5.2.1 Gövde uzunluğu

MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10, MS+ PEG %15 dikey uygulamasında kuraklık stresi altında çimlenmeye bırakılan altın otu tohumlarının gövde uzunluğunda (GU) anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu tohumlarının MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10, MS+ PEG %15 7.günde ortalama GU sırasıyla 1,2; 0,52; 0,44 ve 0,37 cm olarak belirlenmiştir. En yüksek GU Kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%5-15) bağlı olarak GU istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla PEG %5, %10, %15 uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama GU sırasıyla %56,67, %63,3 ve %69,17 oranında azalma

göstermiştir. PEG uygulamalarının ortalama GU değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde değişime neden olduğu belirlenmiştir.

14. günde ortalama GU sırasıyla, 1,66; 0,69; 0,46 ve 0,4 cm olarak belirlenmiştir. En yüksek GU, kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir. En düşük GU ise PEG %15 grubunda olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%0-%15) bağlı olarak GU istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla PEG %5, %10, %15 uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama GU sırasıyla %58,43, %72,29 ve %75,90 oranında azalma göstermiştir. PEG uygulamalarının ortalama GU değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde değişime neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) uygulaması sonrası gövde uzunluğunda meydana gelen değişimler. Sonuçlar ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

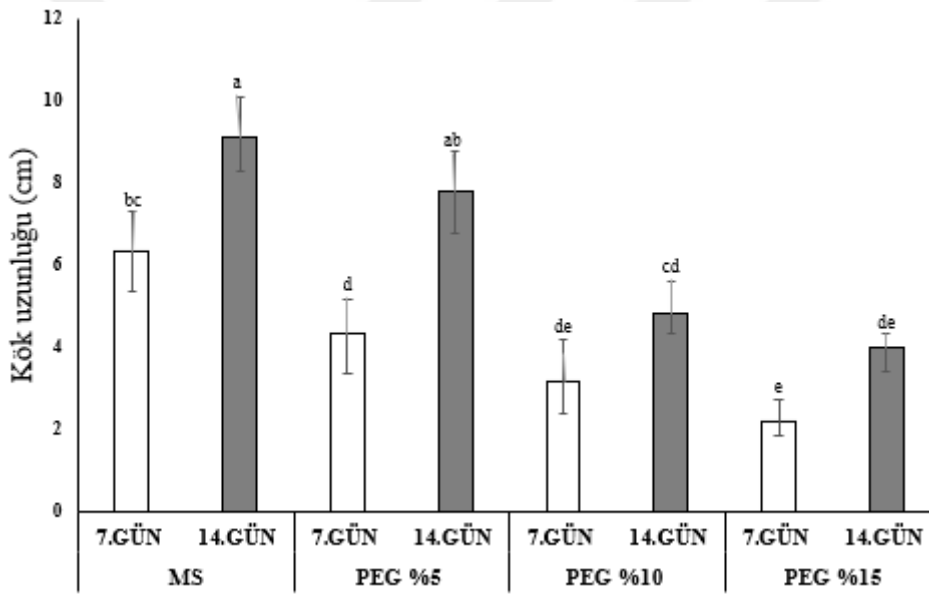
### 5.2.2 Kök uzunluğu

MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10, MS+ PEG %15 dikey uygulamasında kuraklık stresi altında çimlenmeye bırakılan altın otu tohumlarının kök uzunluğunda (KU) anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu tohumlarının 7.günde ortalama KU sırasıyla, 6,36; 4,37; 3,20 ve 2,22 cm olarak belirlenmiştir. En yüksek KU kontrol grubunda, en düşük ise PEG %15 uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%5-15) bağlı olarak KU istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla PEG %5, %10 ve %15



uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama KU sırasıyla %31,29, %49,69 ve %65,09 oranında azalma göstermiştir. PEG uygulamalarının ortalama KU değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde değişime neden olduğu belirlenmiştir.

14. günde ortalama KU sırasıyla, 9,11; 7,81; 4,85 ve 4 cm olarak belirlenmiştir. En yüksek KU kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir. En düşük KU ise PEG %15 uygulamasında tespit edilmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%5-15) bağlı olarak KU istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla PEG %5, %10, %15 uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama KU sırasıyla %14,27; %46,76 ve %56,09 oranında azalma göstermiştir. PEG uygulamalarının ortalama KU değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde değişime neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası kök uzunluğuna etkisi. Sonuçlar ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-e) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

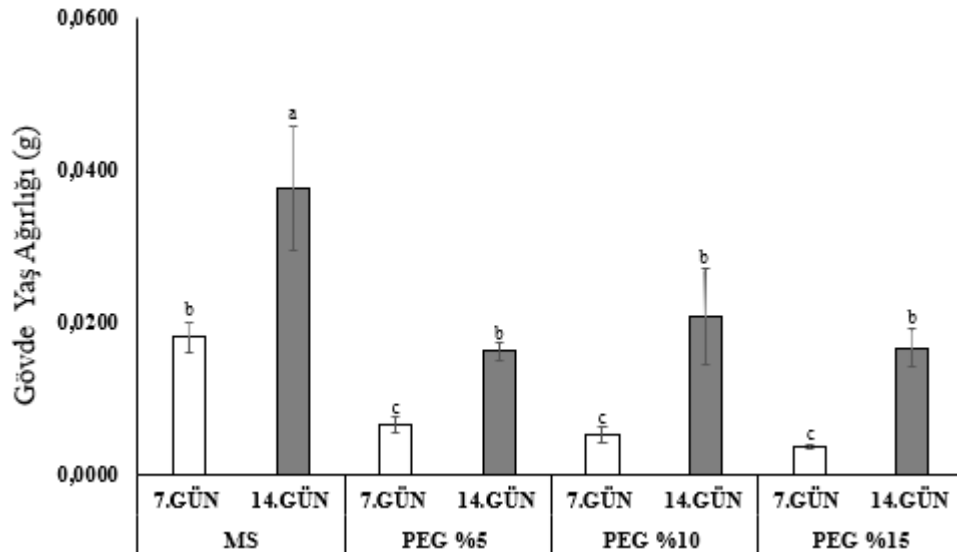
### 5.2.3 Gövde yaş ağırlığı

MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10, MS+ PEG %15 dikey uygulamasında kuraklık stresi altında çimlenmeye bırakılan altın otu tohumlarının gövde yaş ağırlığında (GYA) anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu tohumlarının 7. günde ortalama GYA sırasıyla 0,0180; 0,0064; 0,0052 ve 0,0036 g olarak belirlenmiştir. En yüksek GYA kontrol grubunda,

en düşük ise PEG % 10 ve % 15 gruplarında olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%5-15) bağlı olarak GYA istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla PEG %5, %10 ve %15 uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama GYA sırasıyla %64,44, %71,11 ve %80,0 oranında azalma göstermiştir. PEG uygulamalarının ortalama GYA değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde değişime neden olduğu belirlenmiştir.

14.günde, ortalama GYA sırasıyla 0,0378; 0,0162; 0,020 ve 0,016 g olarak belirlenmiştir. En yüksek GYA Kontrol grubunda, en düşük ise PEG %15 gruplarında olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%5-15) bağlı olarak GYA istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla PEG %5, %10 ve %15 uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama GYA sırasıyla %57,14; %47,09 ve %57,67 oranında azalma göstermiştir. (Şekil 5.8).



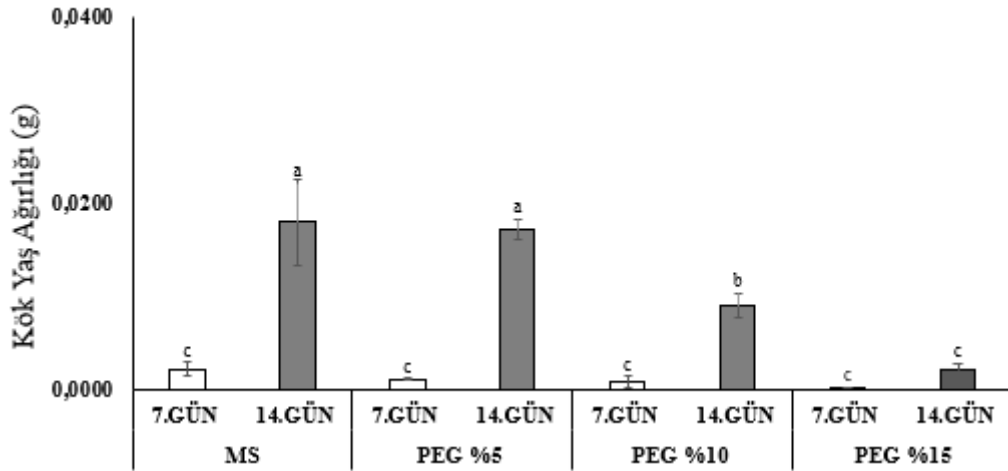
Şekil 5.8. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası gövde yaş ağırlığına etkisi. Sonuçlar ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

#### 5.2.4 Kök yaş ağırlığı

MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10, MS+ PEG %15 dikey uygulamasında kuraklık stresi altında çimlenmeye bırakılan altın otu tohumlarının kök yaş ağırlığında (KYA) anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu tohumlarının 7. günde ortalama KYA sırasıyla 0,0023; 0,0012; 0,0009 ve 0,0001 g olarak belirlenmiştir. En yüksek KYA Kontrol grubunda, en düşük ise PEG %15 gruplarında olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%5-15) bağlı olarak KYA istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla PEG %5, %10 ve %15 uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama KYA sırasıyla %47,83, %60,87 ve %95,65 oranında azalma göstermiştir. PEG uygulamalarının ortalama KYA değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde değişime neden olduğu belirlenmiştir.

14.günde ortalama KYA sırasıyla 0,0180; 0,0172; 0,0090 ve 0,0022 g olarak belirlenmiştir. En yüksek KYA Kontrol grubunda, en düşük ise PEG %10 gruplarında olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%5-15) bağlı olarak KYA istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla PEG %5, %10 ve %15 uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama KYA sırasıyla %4,44; %50,0 ve %87,78 oranında azalma göstermiştir. (Şekil 5.9).

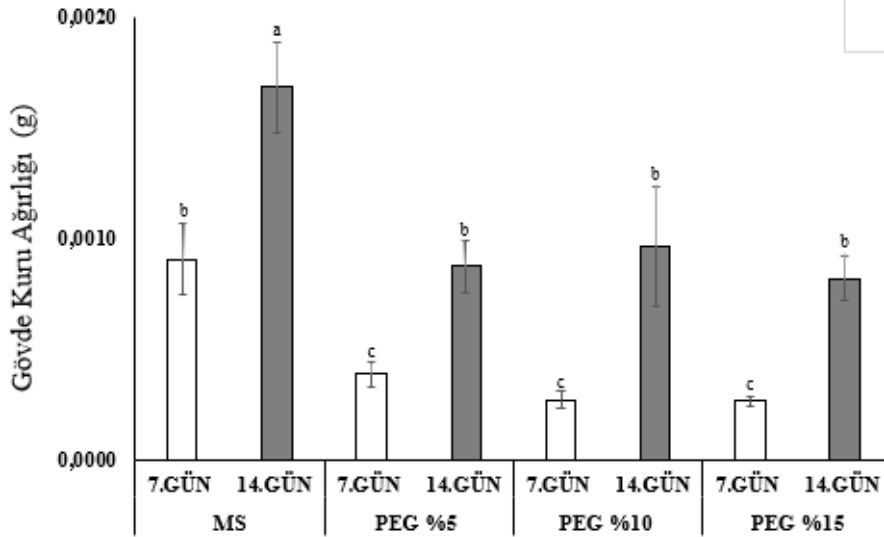


Şekil 5.9. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası kök yaş ağırlığına etkisi. Sonuçlar ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

### 5.2.5 Gövde kuru ağırlığı

MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10, MS+ PEG %15 dikey uygulamasında kuraklık stresi altında çimlenmeye bırakılan altın otu tohumlarının gövde kuru ağırlığında (GKA) anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu tohumlarının 7. günde ortalama GKA sırasıyla 0,0009; 0,0003; 0,0002 ve 0,0002 g olarak belirlenmiştir. En yüksek GKA kontrol grubunda, en düşük ise PEG %15 gruplarında olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%5-15) bağlı olarak GKA istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla PEG %5, %10, %15 uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama GKA sırasıyla %66,67, %70,11 ve %70,78 oranında azalma göstermiştir. PEG uygulamalarının ortalama GKA değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde değişime neden olduğu belirlenmiştir. 14.günde, ortalama GKA sırasıyla 0,0016; 0,0008; 0,0009 ve 0,0008 g olarak belirlenmiştir. En yüksek GKA kontrol grubunda, en düşük ise %5 PEG gruplarında olduğu belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla %5, %10, %15 PEG uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama GKA sırasıyla %50,0, %43,75 ve %50,0 oranında azalma göstermiştir. (Şekil 5.10).



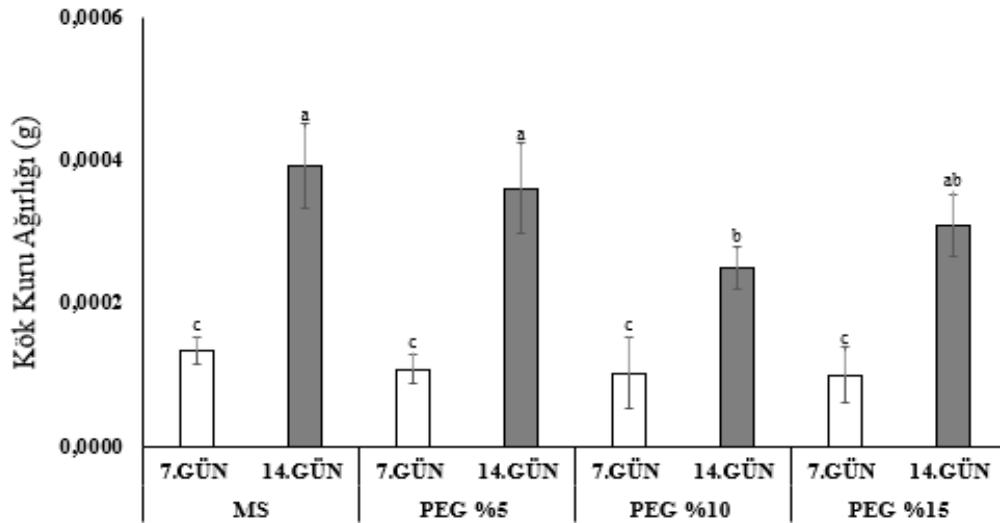
Şekil 5.10. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası gövde kuru ağırlığına etkisi. Sonuçlar ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

### 5.2.6 Kök kuru ağırlığı

MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10, MS+ PEG %15 dikey uygulamasında kuraklık stresi altında çimlenmeye bırakılan altın otu tohumlarının kök kuru ağırlığında (KKA) anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu tohumlarının 7. günde ortalama KKA sırasıyla 0,00013; 0,00011; 0,00010 ve 0,00010 g olarak belirlenmiştir. En yüksek KKA kontrol

grubunda, en düşük ise PEG %10 ve PEG %15 gruplarında olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%5-15) bağlı olarak KKA istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla PEG %5- %10 %15 uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama KKA sırasıyla %15,38; %23,08 ve %23,08 oranında azalma göstermiştir. PEG uygulamalarının ortalama KKA değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde değişime neden olduğu belirlenmiştir. 14.günde, ortalama KKA sırasıyla 0,00039; 0,00036; 0,00025 ve 0,00031 g olarak belirlenmiştir. En yüksek KKA kontrol grubunda, en düşük ise PEG %10 ve %15 gruplarında olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında uygulanan PEG konsantrasyonu artışına (%5-15) bağlı olarak KKA istatistiksel olarak anlamlı şekilde baskılandığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla %5, %10, %15 PEG uygulamasının yapıldığı gruplarda ortalama KKA sırasıyla %7,69, %35,90 ve %20,51 oranında azalma göstermiştir. PEG uygulamalarının ortalama KKA değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde değişime neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.11).

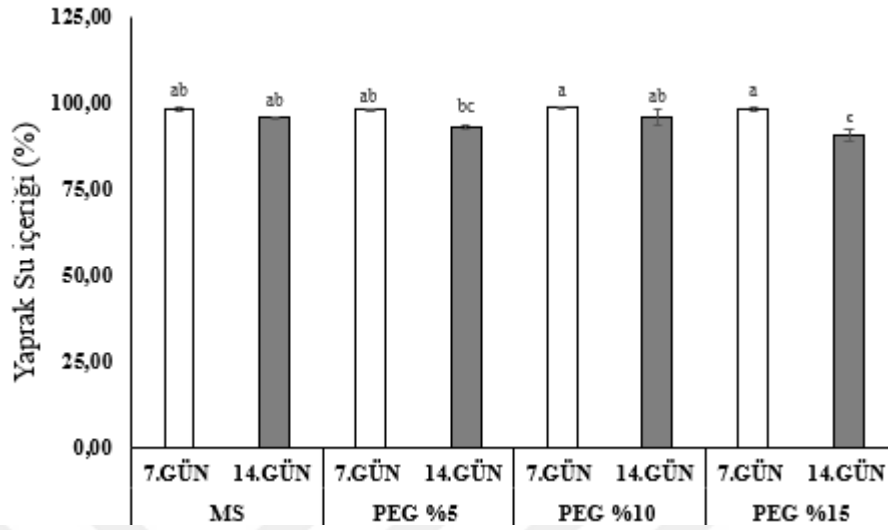


Şekil 5.11. Altın otu fidelerinin 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası kök kuru ağırlığına etkisi. Sonuçlar ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

### 5.2.7 Yaprak su içeriği (YSİ)

PEG konsantrasyonu artışına (%5-%15) bağlı olarak YSİ değerleri, 7. gün ortalama 98,37; 98,03; 98,64 ve 98,55 olarak belirlenmiştir. PEG %5 uygulamaları kontrol grubuna kıyasla %0,35 oranında azalma meydana gelmiştir. PEG %10 ve %15 gruplarında ise kontrole kıyasla %0,27 ve 0,18 oranında artış meydana gelmiştir. 14. gün YSİ ortalamaları %96,04; 93,25; 95,94 ve 90,60 olarak belirlenmiştir. 14. gününde YSİ PEG %5, %10 ve %15

değerlerinde sırasıyla %2,91 %0,10 ve %5,66 oranında azalma olduğu saptanmıştır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Altın otu fidelerinde 7. ve 14. gün PEG (%5, %10, %15) stresi sonrası yaprak su içeriğinde meydana gelen değişimler. Sonuçlar ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

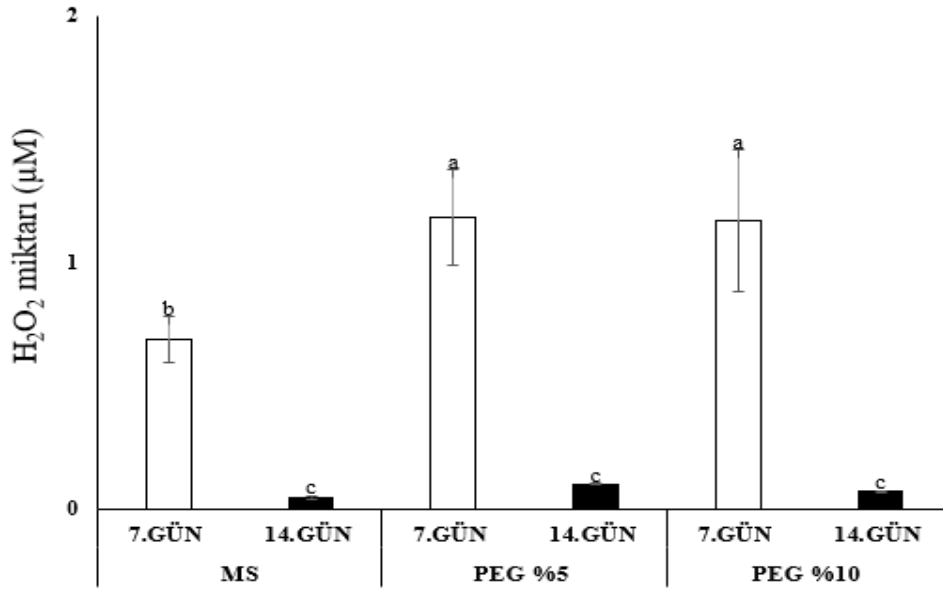
Fidelerin 14 günlük kuraklık uygulaması altında büyüme parametreleri dikkate alındığında PEG %15 uygulamasının bitki gelişimi üzerinde ciddi bir baskı oluşturmasından dolayı biyokimyasal parametrelerin incelenmesi sırasında PEG %15 grubunun çıkarılmasına karar verilmiştir.

### 5.2.8 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı

MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10 altında yetiştirilmeye bırakılan altın otu bitkisinin 7. ve 14. günde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu bitkilerinin yetiştirmenin 7. gününde ortalama H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı sırasıyla 0,686; 1,182 ve 1,167  $\mu$ M olarak belirlenmiştir. En yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı PEG %5, en düşük ise kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir. PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %72,3 ve %70,12 artmıştır. 14.günde ortalama H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı sırasıyla 0,046; 0,099 ve 0,07  $\mu$ M olarak belirlenmiştir. En yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı PEG %5, en düşük ise kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir. PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %115,22 ve %52,17 artmasına neden olmuştur (Şekil 5.13).

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı incelendiğinde 7 ve 14 günlük bitkilerin tüm gruplardaki (kontrol, PEG %5 ve PEG %10) ortalama H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı sırasıyla 1,0; 1,0 ve 0,07 µM olarak saptanmıştır. 14 günlük bitkilerin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarındaki değişim 7 günlük bitkilere oranla %92,89 oranında azalış olduğu belirlenmiştir. Kontrol, PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarındaki 7 ve 14 günlük bitkilerin karşılaştırmaları incelendiğinde, ortalama H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı sırasıyla 0,37; 0,64 ve 0,62 µM olduğu saptanmıştır. PEG %5 ve PEG %10 uygulaması kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %75,01 ve %69,05 oranında artış göstermiştir.



Şekil 5.13. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14.gündeki H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarında (µM) meydana gelen değişimler. Sonuçlar ortalama ± std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

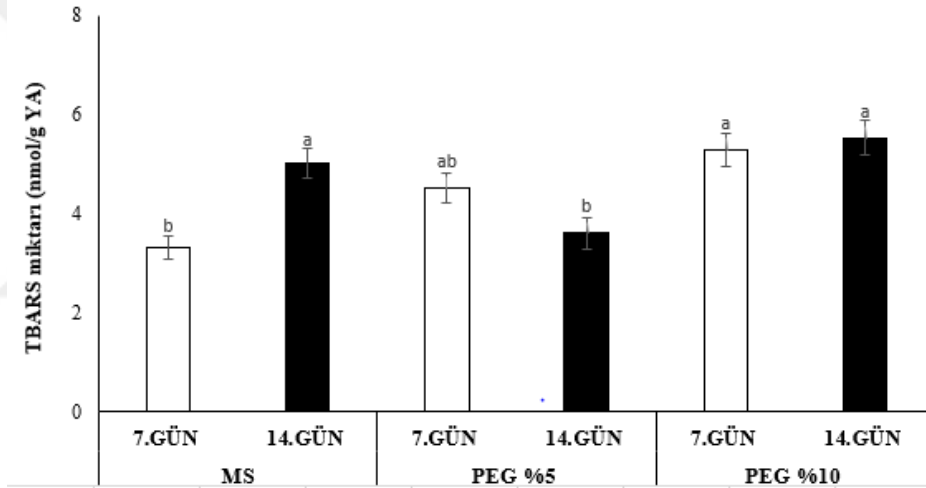
### 5.2.9 TBARS miktarı

MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10 uygulaması altında yetiştirilmeye bırakılan altın otu bitkilerinin 7. ve 14. günde TBARS miktarında istatistiksel olarak anlamlı değişimler elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu bitkilerinin yetiştirilmesinin 7. gününde ortalama TBARS miktarı sırasıyla 3,300; 4,517 ve 5,281 nmol/g YA olarak belirlenmiştir. En yüksek TBARS miktarı PEG %10, en düşük ise kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir. PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %36,88 ve %60,03 artmasına neden olmuştur. 14. günde ortalama TBARS miktarı sırasıyla 5,010; 3,598 ve 5,529 nmol/g YA olarak belirlenmiştir. En yüksek TBARS miktarı PEG %10, en düşük ise PEG %5 grubunda

olduğu belirlenmiştir. PEG %5 uygulamasının kontrol grubuna kıyasla %28,18 oranında azalış göstermiştir. PEG %10 uygulamasının kontrol grubuna kıyasla %10,36 oranında artış göstermiştir (şekil 5.14).

TBARS miktarı incelendiğinde, 7 ve 14 günlük bitkilerin tüm gruplardaki (kontrol, PEG %5 ve PEG %10) ortalaması sırasıyla, 4,37 ve 4,71 nmol/g YA olarak saptanmıştır. 14 günlük bitkilerin TBARS miktarındaki değişim 7 günlük bitkilere oranla %7,94 oranında artış olduğu belirlenmiştir. Kontrol, PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarındaki 7. ve 14. günlük bitkilerin karşılaştırmaları incelendiğinde, TBARS miktarı ortalama olarak sırasıyla 4,15; 4,06 ve 5,41 nmol/g YA olduğu saptanmıştır. PEG %5 uygulaması kontrol grubuna kıyasla %2,84 oranında azalış göstermiştir. PEG %10 uygulaması ise kontrol grubuna kıyasla %30,10 oranında artış göstermiştir.



şekil 5.14. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14. gündeki TBARS miktarında (nmol/g YA) meydana gelen değişimler. Sonuçlar ortalama  $\pm$  std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-b) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

### 5.2.10 Toplam protein miktarı

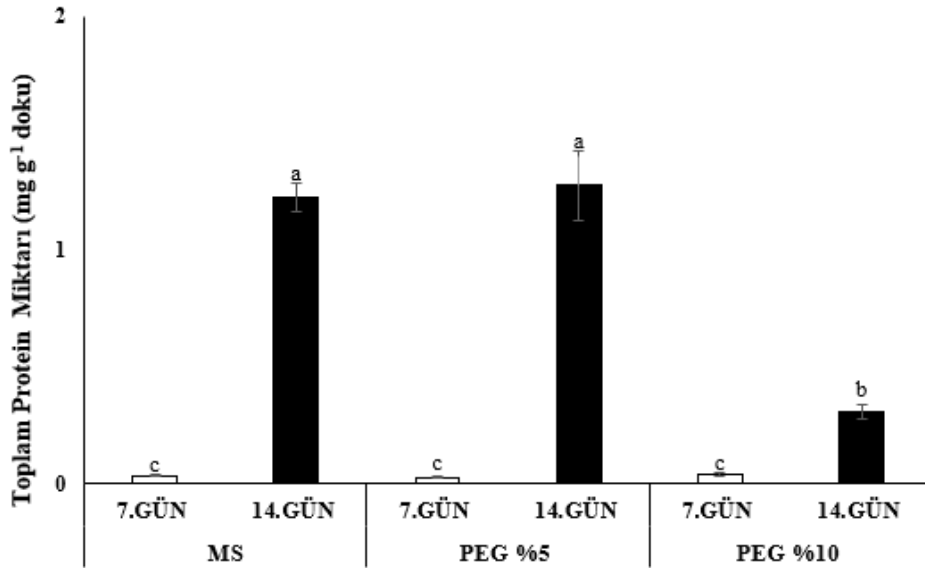
MS kontrol, MS+ PEG %5 ve MS+ PEG %10 altında yetiştirilmeye bırakılan altın otu bitkisinin 7. ve 14. günde toplam protein miktarında anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu bitkilerinin yetiştirilmesinin 7. gününde toplam protein miktarında sırasıyla 0,03; 0,03 ve 0,04 mg g<sup>-1</sup> doku olarak belirlenmiştir. En yüksek toplam protein miktarının PEG %10, en düşük ise kontrol ve PEG %5 gruplarında olduğu belirlenmiştir.



PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla %17,54 arttığı tespit edilmiştir. PEG %5 uygulamalarının ise kontrol grubuna kıyasla değişmediği tespit edilmiştir. 14.günde ortalama protein miktarı 1,22; 1,28 ve 0,31 mg g<sup>-1</sup> doku olarak belirlenmiştir. En yüksek protein miktarı PEG %5, en düşük ise PEG %10 grubunda olduğu belirlenmiştir. PEG %5 uygulamasının kontrol grubuna kıyasla %4,30 oranında artış göstermiştir. PEG %10 uygulamaları kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %74,82 oranında azalış göstermiştir (Şekil 5.15). Toplam protein miktarındaki değişim incelendiğinde, 7 ve 14 günlük bitkilerin tüm gruplardaki (kontrol, PEG %5 ve PEG %10) ortalaması sırasıyla 0,04 ve 0,94 mg g<sup>-1</sup> doku olarak saptanmıştır. 14 günlük bitkilerin toplam protein miktarındaki değişim 7 günlük bitkilere oranla %2439,65 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

Kontrol, PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarındaki 7. ve 14. günlük bitkilerin karşılaştırmaları incelendiğinde, toplam protein miktarı ortalama olarak sırasıyla 0,63; 0,65 ve 0,17 mg g<sup>-1</sup> doku olduğu saptanmıştır. PEG %5 uygulaması kontrol grubuna kıyasla %4,18 oranında artış göstermiştir. PEG %10 uygulaması ise kontrol grubuna kıyasla %72,26 oranında azalış göstermiştir.



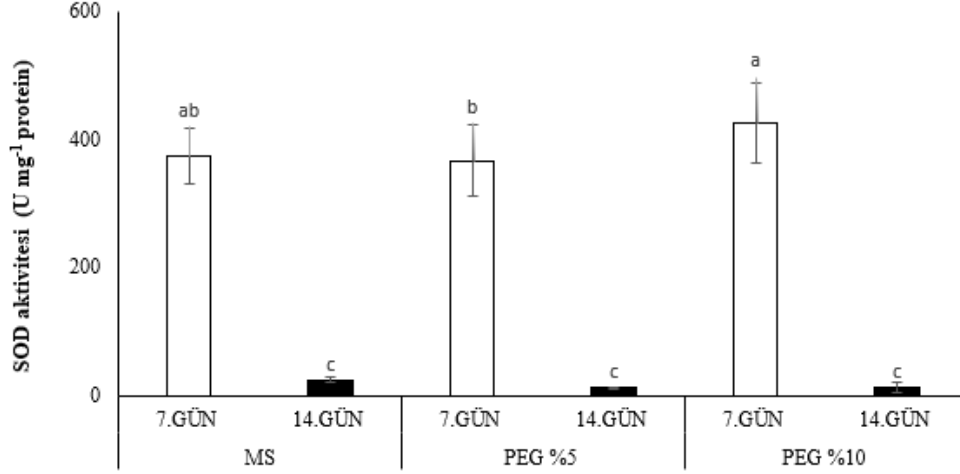
Şekil 5.15. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14.gündeki toplam protein miktarında (mg/g doku) meydana gelen değişimler. Sonuçlar ortalama ± std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

### 5.2.11 SOD aktivitesi

MS kontrol, MS+ PEG %5 ve MS+ PEG %10 altında yetiştirilmeye bırakılan altın otu bitkisinin 7. ve 14. günde SOD aktivitesinde anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu bitkilerinin yetiştirilmenin 7. gününde SOD aktivitesinde sırasıyla, 374,75; 366,25 ve 425,82, U mg<sup>-1</sup> protein olarak belirlenmiştir. En yüksek SOD aktivitesi PEG %10 en düşük ise PEG %5 olduğu belirlenmiştir. PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla %13,63 oranında artış göstermiştir. PEG %5 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla %2,27 oranında azalış göstermiştir. 14.günde ortalama protein miktarı 24,01; 11,92 ve 46,37 U mg<sup>-1</sup> protein olarak belirlenmiştir. En yüksek SOD aktivitesi PEG %10 grubunda belirlenmiştir. En düşük SOD aktivitesi PEG %5 uygulamalarında belirlenmiştir. PEG %10 uygulaması kontrol grubuna kıyasla %93,13 oranında artış göstermiştir. PEG %5 uygulaması ise kontrol grubuna kıyasla %50,37 oranında azalış göstermiştir (Şekil 5.16).

SOD aktivitesi incelendiğinde, 7 ve 14 günlük bitkilerin tüm gruplardaki (kontrol, PEG %5 ve PEG %10) ortalaması sırasıyla 388,94 ve 27,43 U mg<sup>-1</sup> protein olarak saptanmıştır. 14 günlük bitkilerin SOD aktivitesindeki değişim 7 günlük bitkilere oranla %92,95 oranında azalış olduğu belirlenmiştir. Kontrol, PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarındaki 7. ve 14. günlük bitkilerin karşılaştırmaları incelendiğinde, SOD aktivitesi ortalama olarak sırasıyla 199,38; 189,08 ve 236,10 U mg<sup>-1</sup> protein olduğu saptanmıştır. PEG %5 uygulaması kontrol grubuna kıyasla %5,16 oranında azalış göstermiştir. PEG %10 uygulaması ise kontrol grubuna kıyasla %18,42 oranında artış göstermiştir.



Şekil 5.16. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14. gündeki SOD aktivitesinde ( $U\ mg^{-1}\ protein$ ) meydana gelen değişimler. Sonuçlar ortalama  $\pm$  std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

### 5.2.12 APX aktivitesi

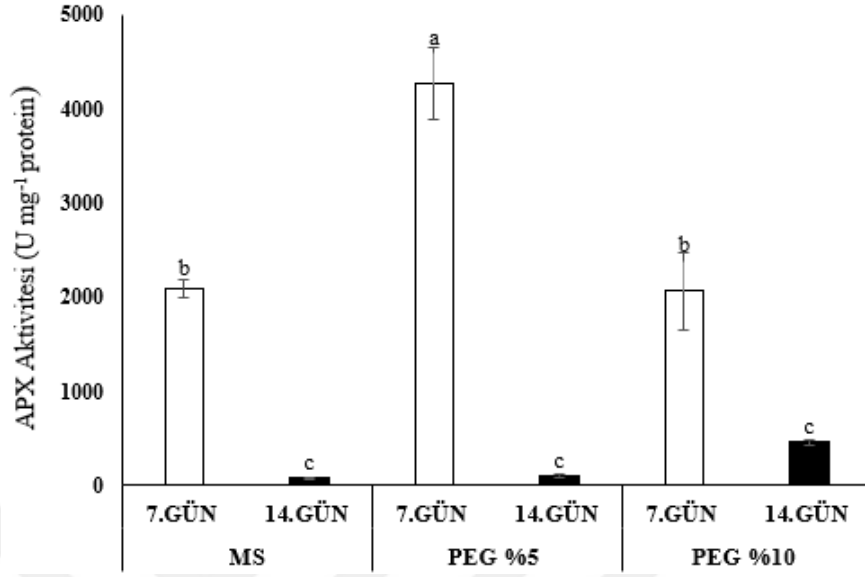
MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10 altında yetiştirilmeye bırakılan altın otu bitkisinin 7. ve 14. günde APX aktivitesinde anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu bitkilerinin yetiştirmenin 7. gününde APX aktivitesinde sırasıyla, 2087,31; 4266,14 ve 2066,90  $U\ mg^{-1}\ protein$  olarak belirlenmiştir.

En yüksek APX aktivitesi PEG %5, en düşük ise PEG %10 olduğu belirlenmiştir. PEG %5 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla %104,38 oranında artış göstermiştir. PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla %0,98 oranında azalış göstermiştir. 14.günde ortalama protein miktarı 78,8; 101,95 ve 459,34  $U\ mg^{-1}\ protein$  olarak belirlenmiştir. En yüksek APX aktivitesi PEG %10 en düşük ise kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir. PEG %5 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla %29,26 oranında artış göstermiştir. PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla %482,39 oranında artış göstermiştir (Şekil 5.17).

APX aktivitesi incelendiğinde, 7 ve 14 günlük bitkilerin tüm gruplardaki (kontrol, PEG %5 ve PEG %10) ortalaması sırasıyla 2806,79 ve 213,39  $U\ mg^{-1}$  olarak saptanmıştır. 14 günlük bitkilerin APX aktivitesindeki değişim 7 günlük bitkilere oranla %92,40 oranında azalış olduğu belirlenmiştir. Kontrol, PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarındaki 7. ve 14. günlük bitkilerin karşılaştırmaları incelendiğinde, APX aktivitesi ortalama olarak sırasıyla 1083,09; 2184,04 ve

1263,12 U mg<sup>-1</sup> olduğu saptanmıştır. PEG %5 ve PEG %10 uygulaması kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %101,65 ve %16,62 oranında artış göstermiştir.



Şekil 5.17 Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14. gündeki APX aktivitesinde (U mg<sup>-1</sup> protein) meydana gelen değişimler. Sonuçlar ortalama ± std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

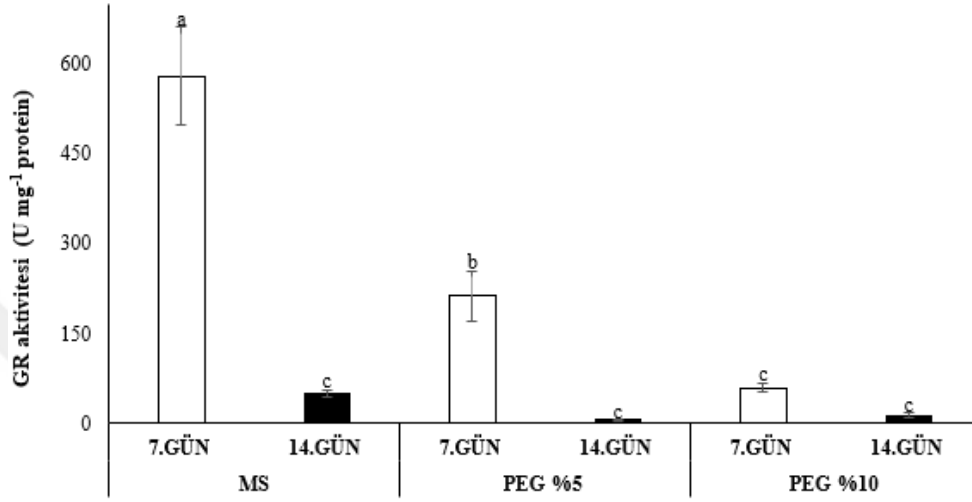
### 5.2.13 GR aktivitesi

MS kontrol, MS+ PEG %5, MS+ PEG %10, MS+ PEG %15 altında yetiştirilmeye bırakılan altın otu bitkisinin 7. ve 14. günde GR aktivitesinde anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu bitkilerinin yetiştirmenin 7. gününde GR aktivitesinde sırasıyla, 579,50; 212,30 ve 59,16 U mg<sup>-1</sup> protein olarak belirlenmiştir. En yüksek GR aktivitesi, kontrol grubunda en düşük ise PEG %10 olduğu belirlenmiştir. PEG %5 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla %63,36 oranında azalış göstermiştir. PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla 89,79 oranında azalış göstermiştir. 14.günde ortalama protein miktarı 49,10; 5,27 ve 3,10 U mg<sup>-1</sup> protein olarak belirlenmiştir. En yüksek GR aktivitesi kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir. En düşük GR aktivitesi ise PEG %10 olduğu belirlenmiştir. PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %89,27 ve %73,33 oranında azalış göstermiştir (Şekil 5.18).

GR aktivitesinde incelendiğinde, 7 ve 14 günlük bitkilerin tüm gruplardaki (kontrol, PEG %5 ve PEG %10) ortalaması sırasıyla 283,66 ve 22,49 U mg<sup>-1</sup> olarak saptanmıştır. 14

günlük bitkilerin GR aktivitesindeki değişim 7 günlük bitkilere oranla %92,07 oranında azalış olduğu belirlenmiştir. Kontrol, PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarındaki 7. ve 14. günlük bitkilerin karşılaştırmaları incelendiğinde, GR aktivitesi ortalama olarak sırasıyla olduğu 314,30; 108,79 ve 36,13 U mg<sup>-1</sup> saptanmıştır. PEG %5 ve PEG %10 uygulaması kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %65,39 ve %88,50 oranında azalış göstermiştir



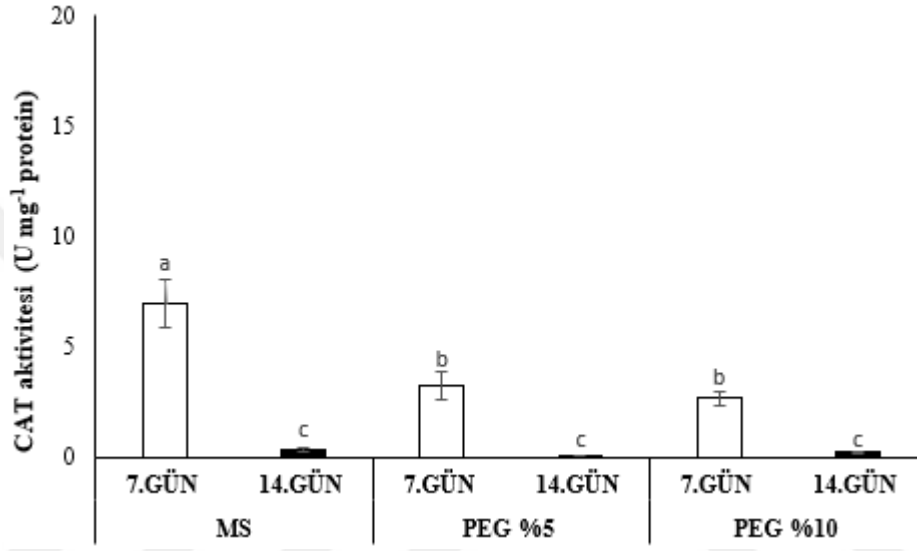
Şekil 5.18. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14. gündeki GR aktivitesinde (U mg<sup>-1</sup> protein) meydana gelen değişimler. Sonuçlar ortalama ± std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

#### 5.2.14 CAT aktivitesi

MS kontrol, MS+ PEG %5 ve MS+ PEG %10 altında yetiştirilmeye bırakılan altın otu bitkisinin 7. ve 14. günde CAT aktivitesinde anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan altın otu bitkilerinin yetiştirilmesinin 7. gününde CAT aktivitesinde sırasıyla, 579,50; 212,30 ve 59,16; U mg<sup>-1</sup> protein olarak belirlenmiştir. En yüksek CAT aktivitesi kontrol grubunda, en düşük CAT aktivitesi ise PEG %10 olduğu belirlenmiştir. %5 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla %53,53 oranında azalış göstermiştir. PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla %61,97 oranında azalış göstermiştir. 14.günde ortalama protein miktarı 49,10; 5,27 ve 3,10 U mg<sup>-1</sup> protein olarak belirlenmiştir. En yüksek CAT aktivitesi kontrol grubunda belirlenmiştir. En düşük CAT aktivitesi ise PEG %10 olduğu belirlenmiştir. PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %77,17 ve %44,13 oranında azalış göstermiştir (Şekil 5.19).

CAT aktivitesi incelendiğinde, 7 ve 14 günlük bitkilerin tüm gruplardaki (kontrol, PEG %5 ve PEG %10) ortalaması sırasıyla 4,29 ve 0,21 U mg<sup>-1</sup> olarak saptanmıştır. 14 günlük bitkilerin CAT aktivitesindeki değişim 7 günlük bitkilere oranla %95,01 oranında azalış olduğu belirlenmiştir. Kontrol, PEG %5 ve PEG %10 uygulamalarındaki 7. ve 14. günlük bitkilerin karşılaştırmaları incelendiğinde, CAT aktivitesi ortalama olarak sırasıyla 3,67; 1,66 ve 1,43 U mg<sup>-1</sup> olduğu saptanmıştır. PEG %5 ve PEG %10 uygulaması kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %54,69 ve %61,09 oranında azalış göstermiştir.



Şekil 5.19. Altın otu bitkisinin kuraklık uygulaması sonrası 7. ve 14. gündeki CAT aktivitesinde (U mg<sup>-1</sup> protein) meydana gelen değişimler. Sonuçlar ortalama ± std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, *Helichrysum arenarium* (L.) Moench bitkisinin çimlenme ve erken gelişim döneminde kuraklık uygulamasına karşı göstermiş olduğu fizyolojik ve biyokimyasal tepkiler araştırılmıştır.

*H. arenarium* (kuru), *H. arenarium* (yaş) ve *H. italicum* (Uludağ Agro) türlerinin çimlenme oranı kendi arasında karşılaştırıldığında, en iyi gelişimin *H. arenarium* (kuru) türünde olduğu saptanmıştır (Şekil 4.3). Hoagland çözeltilisinde PEG uygulamasının çimlenme oranı üzerindeki etkisi incelendiğinde en iyi gelişimin kontrol grubunda olduğu, en düşük gelişimin ise PEG %30 grubunda olduğu saptanmıştır (Şekil 5.1). PEG uygulamasının çimlenme oranı üzerindeki etkisi incelendiğinde, en yüksek çimlenme oranının kontrol (%50 Hoagland çözeltilisi) grubunda olduğu, en düşük çimlenme oranının PEG %20 ve PEG %30 grubunda olduğu saptanmıştır (Şekil 5.2) Yatay (Şekil 5.3) ve dikey (Şekil 5.4) olarak konumlandırılan petrilerin çimlenme oranları karşılaştırıldığında en yüksek çimlenme oranının yatay kontrol grubunda olduğu en düşük çimlenme oranının ise PEG %10 grubunda olduğu saptanmıştır.

Kuraklık stresi bitkilerde stresin şiddetine oranına ve süresine bağlı olarak tüm gelişme dönemlerini etkileyen önemli bir stres çeşididir (Çarpıcı ve Erdel, 2015). Bu tez çalışmasında, dikey uygulamada PEG konsantrasyonunun artışına bağlı olarak tohumların çimlenme oranının en yüksek kontrol grubunda en düşük ise PEG %15 grubunda olduğu saptanmıştır (Şekil 5.5). PEG-6000 uygulamasının çimlenme oranını önemli oranda azalttığı tespit edilmiştir. Yonca (Çarpıcı ve Erdel 2015) ve nohut (Gürbüz vd., 2009) bitkilerine kuraklık uygulamasının kontrol grubuna oranla çimlenmede baskılanmaya neden olduğunu tespit etmiştir. Queiroz vd. (2019) mısır ve sorgum bitkileri ile yaptığı çalışmada, mısır bitkisine yapılan PEG uygulamasının mısırdaki çimlenme oranında azalmaya sebep olurken aynı zamanda çimlenme süresinin uzamasına neden olduğu saptanmıştır. Bu araştırmalar ile bu tezde elde edilen çimlenme sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Bu tez çalışmasında altın otu fidelerinin kuraklık stresine maruz bırakılması sonucu büyümelerinde baskılanma olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.6-12). Soya fasulyesi (Rezayian, Ebrahimzadeh ve Niknam, 2020) ve ayçiçeği (Jan vd., 2022) ile bitkilerine yapılan kuraklık stresi uygulamasından elde edilen sonuçlar ile elde ettiğimiz sonuçlar ile benzer niteliktedir.

Erken gelişim dönemine ait morfolojik parametrelerin korelasyon matrisi incelendiğinde morfolojik parametrelerin birbiri ile pozitif yönde ilişkili olduğu sonucu saptanmıştır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 Altın otu fidelerinin 7 ve 14 günlük morfolojik verilerinin korelasyon matrisi

	KU	GU	KKA	GKA	KYA	GYA	YSİ
KU	1						
GU	0,624**	1					
KKA	0,628**	0,319**	1				
GKA	0,735**	0,651**	0,602**	1			
KYA	0,682**	0,396**	0,708**	0,699**	1		
GYA	0,594**	0,594**	0,588**	0,845**	0,714**	1	
YSİ	-0,196	0,086	-0,555**	-0,317**	-0,304**	-0,254*	1

\*\*  $P \leq 0,01$ , (GU: gövde uzunluğu, GKA: gövde kuru ağırlığı, GYA: gövde yaş ağırlığı, KKA: kök kuru ağırlığı, KU: kök uzunluğu, KYA: kök yaş ağırlığı, YSİ: Yaprak sı içeriği)

Morfolojik parametrelerin korelasyon matrisi sonuçları incelendiğinde, kök uzunluğunun gövde uzunluğu ( $r = 0,624$ ,  $p < 0,01$ ), kök kuru ağırlığı ( $0,62$ ,  $p < 0,01$ ), gövde kuru ağırlığı ( $r = 0,735$ ,  $p < 0,01$ ), kök yaş ağırlığı ( $r = 0,682$ ,  $p < 0,01$ ), gövde yaş ağırlığı ( $r = 0,594$ ,  $p < 0,01$ ) ile, gövde uzunluğunun kök kuru ağırlığı ( $r = 0,319$ ,  $p < 0,01$ ), gövde kuru ağırlığı ( $r = 0,651$ ,  $p < 0,01$ ), gövde kuru ağırlığı ( $r = 0,396$ ,  $p < 0,01$ ), gövde yaş ağırlığı ( $r = 0,594$ ,  $p < 0,01$ ) ile, kök kuru ağırlığının gövde kuru ağırlığı ( $r = 0,602$ ,  $p < 0,01$ ), kök yaş ağırlığı ( $r = 0,708$ ,  $p < 0,01$ ), gövde yaş ağırlığı ( $r = 0,588$ ,  $p < 0,01$ ) ile, gövde kuru ağırlığının kök yaş ağırlığı ( $r = 0,699$ ,  $p < 0,01$ ), gövde yaş ağırlığı ( $r = 0,845$ ,  $p < 0,01$ ) ile, kök yaş ağırlığının gövde yaş ağırlığı ( $r = 0,714$ ,  $p < 0,01$ ) ile pozitif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. YSİ'nin kök kuru ağırlığı ( $r = -0,555$ ,  $p < 0,01$ ), gövde kuru ağırlığı ( $r = -0,317$ ,  $p < 0,01$ ) ve kök yaş ağırlığı ( $r = -0,304$ ,  $p < 0,01$ ) ile negatif yönde bir ilişki olduğu saptanmıştır (Çizelge 6.1).

Bitkilerde fotosentez etkinliğini ve biyokütle üretkenliğini sınırlayan aynı zamanda bitki kuraklığı ve tuzluluk toleransının belirlenmesinde YSİ değeri kullanılan en yaygın fizyolojik parametrelerden biridir (Jin vd., 2017). Bu tez çalışmasında, altın otu bitkilerinde YSİ 7. günde kontrol grubuna kıyasla PEG %5 uygulamasında azalma meydana gelirken, PEG %10 ve %15



uygulamalarında artış meydana gelmiştir. Stres süresinin uzamasıyla birlikte 14. günde YSİ’de PEG konsantrasyon (%5-%15) artışına bağlı olarak kontrol grubuna kıyasla büyük oranda azalma meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, kuraklık stresi koşullarında karpuz (Demirel, Genç, Çamoğlu ve Aşık, 2010) ve ada mimozası (*Leucaena leucocephala*) (Yige, Fangqing, Lei ve Shunbo, 2012) bitkilerinde YSİ oranında azalmanın meydana geldiğini çalışmalar ile benzer niteliktedir.

Çizelge 6.2. Altın otu bitkisinin biyokimyasal verilerinin korelasyon matrisi

	TBARS	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Protein	SOD	CAT	GR	APX
TBARS	1						
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,052	1					
Protein	-0,092	-0,665**	1				
SOD	-0,05	<b>0,773**</b>	-0,796**	1			
CAT	-0,286*	<b>0,483**</b>	-0,612**	<b>0,698**</b>	1		
GR	-0,398**	<b>0,341**</b>	-0,527**	<b>0,563**</b>	<b>0,856**</b>	1	
APX	0,008	<b>0,808**</b>	-0,719**	<b>0,750**</b>	<b>0,518**</b>	<b>0,424**</b>	1

\*\*  $P \leq 0,01$ , \*  $P \leq 0,05$ , (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı, TBARS: Lipid peroksidasyon miktarı, SOD: Süperoksit dismutaz aktivitesi, CAT: Katalaz, GR: Glutatyon redüktaz aktivitesi, APX: askorbat peroksidaz aktivitesi)

Altın otu bitkisine ait biyokimyasal parametrelerin korelasyon matrisi sonuçları incelendiğinde, TBARS miktarının GR ( $r = -0,398$ ,  $p < 0,01$ ) aktivitesi ile negatif yönde ilişkili olduğu sonucu saptanmıştır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının SOD ( $r = 0,773$ ,  $p < 0,01$ ), CAT ( $r = 0,483$ ,  $p < 0,01$ ), GR ( $r = 0,341$ ,  $p < 0,01$ ) ve APX ( $r = 0,808$ ,  $p < 0,01$ ) ile pozitif, toplam protein miktarı ( $r = -0,665$ ,  $p < 0,01$ ) ile negatif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. Toplam protein miktarının SOD ( $r = -0,796$ ,  $p < 0,01$ ), CAT ( $r = -0,612$ ,  $p < 0,01$ ), APX ( $r = -0,719$ ,  $p < 0,01$ ) ve GR ( $r = -0,527$ ,  $p < 0,01$ ) aktivitesi ile negatif yönde ilişkili olduğu sonucu saptanmıştır. SOD aktivitesinin CAT ( $r = 0,698$ ,  $p < 0,01$ ), GR ( $r = 0,563$ ,  $p < 0,01$ ) ve APX ( $r = 0,750$ ,  $p < 0,01$ ) ile pozitif yönde ilişkili olduğu sonucu saptanmıştır. CAT aktivitesinin GR ( $r = 0,856$ ,  $p < 0,01$ ) ve APX ( $r = 0,518$ ,  $p < 0,01$ ) ile pozitif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. GR aktivitesinin APX ( $r = 0,424$ ,  $p < 0,01$ ) ile pozitif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır (Çizelge 6.2).

Altın otu bitkisine ait morfolojik ve biyokimyasal genel parametrelerin korelasyon matrisi sonuçları incelendiğinde (Çizelge 6.3) KU’nun, GU ( $r = 0,961$ ,  $p < 0,01$ ), GKA ( $r =$

0,854,  $p < 0.01$ ), GY ( $r = -0,908$ ,  $p < 0.01$ ), CAT ( $r = 0,969$ ,  $p < 0.01$ ) ve GR ( $r = 0,996$ ,  $p < 0.01$ ) ile pozitif yönde ilişkili olduğu sonucu saptanırken,  $H_2O_2$  ( $r = -0,921$ ,  $p < 0.01$ ), TBARS ( $r = -1,000$ ,  $p < 0.01$ ) miktarı ile negatif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. GU'nun, GKA ( $r = 0,889$ ,  $p < 0.01$ ), GYA ( $r = 0,947$ ,  $p < 0.01$ ), GR ( $r = 0,981$ ,  $p < 0.01$ ) ve CAT ( $r = 1,000$ ,  $p < 0.01$ ) ile pozitif yönde ilişkili olduğu sonucu saptanırken,  $H_2O_2$  ( $r = -0,933$ ,  $p < 0.01$ ), TBARS ( $r = -0,956$ ,  $p < 0.01$ ) miktarı ile negatif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. GKA'nın GYA ( $r = 0,894$ ,  $p < 0.01$ ), GR ( $r = 0,872$ ,  $p < 0.01$ ) ve CAT ( $r = 0,888$ ,  $p < 0.01$ ) ile pozitif yönde ilişkili olduğu sonucu saptanırken,  $H_2O_2$  ( $r = -0,882$ ,  $p < 0.01$ ), TBARS ( $r = -0,850$ ,  $p < 0.01$ ) miktarı ile negatif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. GYA'nın GR ( $r = 0,928$ ,  $p < 0.01$ ) ve CAT ( $r = 0,946$ ,  $p < 0.01$ ) ile pozitif yönde ilişkili olduğu sonucu saptanırken,  $H_2O_2$  ( $r = -0,940$ ,  $p < 0.01$ ), TBARS ( $r = -0,904$ ,  $p < 0.01$ ) miktarı ile negatif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır.  $H_2O_2$  miktarının, TBARS miktarı ( $r = -0,914$ ,  $p < 0.01$ ) ile pozitif yönde ilişkili olduğu belirlenirken, GR ( $r = -0,950$ ,  $p < 0.01$ ) ve CAT ( $r = -0,988$ ,  $p < 0.01$ ) ile negatif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. TBARS miktarının, GR ( $r = -0,995$ ,  $p < 0.01$ ) ve CAT ( $r = -0,965$ ,  $p < 0.01$ ) ile negatif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. Toplam protein miktarının, APX ( $r = -0,932$ ,  $p < 0.01$ ) ile negatif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. GR aktivitesinin CAT ( $r = 0,986$ ,  $p < 0.01$ ) ile pozitif yönde ilişkili saptanmıştır.

Hücrede fazla miktarda bulunan  $H_2O_2$  miktarı oksidatif hasar meydana getirmektedir.  $H_2O_2$ , normal bitki fizyolojik süreçlerinde ve streslere karşı dirençte çok yönlü rol oynamaktadır (Quan, Zhang Shi ve Li, 2008).  $H_2O_2$ , miktarındaki değişim altın otu bitkisinde PEG konsantrasyon artışına bağlı olarak artış göstermiştir. Bu sonuç, fasulye (Kılıçaslan, Yıldırım, Ekinçi ve Kul, 2020) ve şeker otu bitkilerinin kuraklık altında meydana gelen  $H_2O_2$  artışı ile uyusmaktadır.

Çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonunun ürünü olan TBARS, bitkilerde stresin öncelikli etkilerinden biri olarak gösterilen ve stresin öncelikli hedefi olan membranlardaki etkilerinin tespit edilmesinde kullanılan önemli parametreler arasında yer almaktadır (Hodges, Delong, Forney ve Prage, 1999; Yıldız, Terzi ve Uruşak, 2011). Bu tez çalışmasında kuraklık uygulanmış bitkilerde TBARS miktarında artış tespit edilmiştir. TBARS miktarındaki artış; bitkilerde abiyotik stres etmenlerince meydana gelen aktif oksijen bileşiklerine bağlı olarak çeşitli zararların biyokimyasal belirteci olarak bilinmektedir. Kuraklık stresine maruz kalmış bitkilerdeki hücre membranlarının zarar görmesi, hücre büyümesinin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Eryılmaz, 2007). Bu artış bezelye (Karataş vd., 2012), kanola (Mirzaee, vd.,

2013), mısır (Mohammadkhani ve Heidari, 2007) ve buğday (Zang ve Kirkham, 1994) bitkisinde yapılan kuraklık uygulamalarından elde edilen sonuçlar ile benzer niteliktedir.

Çizelge 6.3. Altın otu bitkisine ait morfolojik ve biyokimyasal parametrelerin korelasyon matrisi.

	KU	GU	KKA	GKA	KYA	GYA	YSİ	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	TBARS	SOD	Protein	APX	GR	CAT
KU	1													
GU	<b>0,961**</b>	1												
KKA	0,259	0,261	1											
GKA	<b>0,854**</b>	<b>0,889**</b>	0,177	1										
KYA	0,557	0,566	<b>0,777*</b>	0,549	1									
GYA	<b>0,908**</b>	<b>0,947**</b>	0,45	<b>0,894**</b>	<b>0,744*</b>	1								
YSİ	-0,144	-0,017	-0,273	-0,286	-0,381	-0,134	1							
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-0,921**	-0,993**	-0,255	-0,88**	-0,556	-0,94**	-0,04	1						
TBARS	-1,000**	-0,956**	-0,258	-0,85**	-0,555	-0,904**	0,151	<b>0,914**</b>	1					
SOD	-0,224	-0,151	0	0,097	0,288	-0,064	-0,14	0,115	0,228	1				
Protein	-0,229	0,047	-0,018	0,042	-0,021	0,051	0,461	-0,169	0,246	0,278	1			
APX	-0,14	-0,407	-0,078	-0,362	-0,187	-0,391	-0,42	0,516	0,123	-0,20	-0,932**	1		
GR	<b>0,996**</b>	<b>0,981**</b>	0,262	<b>0,872**</b>	0,564	<b>0,928**</b>	-0,11	-0,95**	-0,99**	-0,20	-0,147	-0,22	1	
CAT	<b>0,969**</b>	<b>1,000**</b>	0,261	<b>0,888**</b>	0,567	<b>0,946**</b>	-0,03	-0,98**	-0,97**	-0,16	0,017	-0,38	<b>0,986**</b>	1

\*\*  $P \leq 0,01$ , \*  $P \leq 0,05$ , (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı, TBARS: Lipid peroksidasyon miktarı, SOD: Süperoksit dismutaz aktivitesi, CAT: Katalaz, GR: Glutasyon redüktaz aktivitesi, APX: askorbat peroksidaz aktivitesi, GU: gövde uzunluğu, GKA: gövde kuru ağırlığı, GYA: gövde yaş ağırlığı, KKA: kök kuru ağırlığı, KU: kök uzunluğu, KYA: kök yaş ağırlığı, YSİ: Yaprak su içeriği)

Hücrede fazla miktarda bulunan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı oksidatif hasar meydana getirmektedir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, normal bitki fizyolojik süreçlerinde ve streslere karşı dirençte çok yönlü rol oynamaktadır (Quan, Zhang Shi ve Li, 2008). H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, miktarındaki değişim altın otu bitkisinde PEG konsantrasyon artışına bağlı olarak artış göstermiştir. Bu sonuç, fasulye (Kılıçaslan, Yıldırım, Ekinci ve Kul, 2020) ve şeker otu bitkilerinin kuraklık altında meydana gelen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> artışı ile uyumaktadır.

Çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonunun ürünü olan TBARS, bitkilerde stresin öncelikli etkilerinden biri olarak gösterilen ve stresin öncelikli hedefi olan membranlardaki etkilerinin tespit edilmesinde kullanılan önemli parametreler arasında yer almaktadır (Hodges, Delong, Forney ve Prage, 1999; Yıldız, Terzi ve Uruşak, 2011). Bu tez çalışmasında kuraklık uygulanmış bitkilerde TBARS miktarında artış tespit edilmiştir. TBARS miktarındaki artış; bitkilerde abiyotik stres etmenlerince meydana gelen aktif oksijen bileşiklerine bağlı olarak çeşitli zararların biyokimyasal belirteci olarak bilinmektedir. Kuraklık stresine maruz kalmış bitkilerdeki hücre membranlarının zarar görmesi, hücre büyümesinin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Eryılmaz, 2007). Bu artış bezelye (Karataş vd., 2012), kanola (Mirzaee, vd.,

2013), mısır (Mohammadkhani ve Heidari, 2007) ve buğday (Zang ve Kirkham, 1994) bitkisinde yapılan kuraklık uygulamalarından elde edilen sonuçlar ile benzer niteliktedir.

SOD, süperoksit radikallerini oksijen ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'e dönüşümünü katalize eden metal içeren enzimlerdir. Oksijen radikallerinin oluşumu çevresel baskı altında şiddetlenebilmekte, SOD enzimi bitki stres toleransında önemli yere sahiptir (Bowler, Camp, Montagu ve Inze, 1994). Bu tez çalışmasında kuraklık stresi uygulanmış bitkilerde önemli miktarda SOD artışı tespit edilmiştir. Bu artış daha önce yapılan ayçiçeği (Güneş vd., 2008) kanolan (Abedi ve Pakniyat, 2010; Mirzaee vd., 2013), Çin meyankökü (Pan vd., 2006) ve şeker pancarı (Sayfzadeh ve Rashidi, 2010) ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Bu artış aynı zamanda altın otu bitkilerinde oksidatif hasarı işaret etmektedir. Mohammadi vd. (2011) nohut bitkisinde kuraklık stresi altında SOD aktivitesinde meydana gelen artışın oksidatif hasar ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

Hücre ve DNA yapı bütünlüğü için tehlikeli olan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, hidroksil radikaline dönüşerek hücreye zarar vermektedir. CAT H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'i H<sub>2</sub>O ve O<sub>2</sub>'e dönüştüren antioksidan savunma sistemi enzimidir. CAT oksidatif stres sırasında redoks dengesini korumak için kritik bir görev almaktadır (Sade, Soylu ve Yetim, 2011). Bu tez çalışmasında, PEG konsantrasyon artışına bağlı olarak kuraklık stresi altındaki altın otu bitkisinde CAT aktivitesinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalış Pan vd. (2006)'nın meyan kökünde ve Güneş vd. (2008)'nin ayçiçeğinde yapmış oldukları çalışma ile uyumlu olmasına karşın kuraklık stresi uygulanan orman adaçayı (*Salvia nemorosa* L.) (Bayat ve Moghadam, 2019), kavun (Kavas vd., 2013) ve deve dikenini (*Silybum marianum* L.) (ElSayed vd., 2019) bitkilerinde elde edilen CAT aktivitesindeki artış ile ters yönlüdür.

APX H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detoksifikasyonuna maksimum düzeyde katkıda bulunan kuraklık stresi toleransında ve bitkilerin iyileşmesinde önemli bir yere sahiptir (Pandey, 2017). Altın otu bitkisinde PEG konsantrasyon artışına bağlı olarak SOD aktivitesindeki artış gibi APX aktivitesinin arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, ayı dutu (*Maclura pomifera*) (Khalegh vd., 2019), fasulye (Terzi vd., 2010) ve kanola (Zahedi ve Moghadam, 2011) bitkilerinde yapılan kuraklık uygulamasında meydana gelen APX artış ile benzer niteliktedir.

Glutasyon bitkilerde çok işlevli bir metabolittir ve hücrel savunma ve korumada çok önemli işlevlere sahiptir. Enzim katalizli reaksiyonlar indirgenmiş glutasyonu askorbat-glutasyon döngüsünde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin detoksifikasyonunu sağlar. Ayrıca, indirgenmiş glutasyon

proteinleri stres sırasında protein tiyol gruplarının oksidasyonunun neden olduğu denatürasyona karşı korumaktadır (Noctor, Gomez, Vanacker ve Foyer, 2002). Bu tez çalışmasında GR aktivitesi, PEG konsantrasyon artışına bağlı olarak azalış göstermiş olup kiraz ağaçlarında (Sofu, Tuzio, Dichio ve Xiloyannis, 2005) ve süt devedikeni bitkilerinin (ElSayed vd., 2019) kuraklık yanıtı ile uyuşmamaktadır.

Çizelge 6.4. Altın otu bitkisinin morfolojik ve biyokimyasal parametrelerine ait ortalama değerler.

	<b>KONTROL</b>	<b>PEG %5</b>	<b>PEG %10</b>
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	0,286 ± 0,12a	0,460± 0,164a	0,440± 0,17a
<b>TBARS</b>	3,843 ± 0,25b	4,08± 0,242b	5,43± 0,25a
<b>SOD</b>	199,37 ± 80,85a	189,08± 82,96a	236,09± 89,44a
<b>Protein</b>	0,628 ±0,27a	0,650± 0,287a	0,174± 0,06a
<b>APX</b>	832,03 ± 368,75a	1952,0± 793,5a	1062,0± 0,05a
<b>GR</b>	352,18 ± 115,83a	94,00± 44,8b	36,13± 9,39b
<b>CAT</b>	3,670 ±1,22a	1,890± 0,720a	1,730± 0,48a
<b>KU</b>	7,735 ± 0,46a	6,090 ± 0,54b	4,025± 0,31c
<b>GU</b>	1,43 ±0,11a	0,605± 0,048b	0,45±0,05b
<b>KKA</b>	0,00026 ±6,41a	0,0002±0,0001a	0,000176±0,0001a
<b>GKA</b>	0,00129 ±0,0002a	0,0006±0,0001ab	0,00061±0,0002b
<b>KYA</b>	0,01011 ±0,004a	0,0091± 0,0036a	0,00495±0,0019a
<b>GYA</b>	0,0279 ±0,005a	0,011±0,0023b	0,0129± 0,0045ab
<b>YSİ</b>	97,210 ±0,55a	95,64± 1,11a	97,29± 1,13a

Sonuçlar ortalama ± std hata şeklinde verilmiştir. Sonuçların yanındaki harfler (a-c) ortalamalar arasındaki önemlilik düzeyini ifade etmektedir.

Sonuç olarak, farklı kuraklık uygulamalarına maruz bırakılan altın otu bitkisinde antioksidan savunma sistemi enzimleri uyarılmasına karşın bu yanıtların bitkinin gelişimine anlamlı bir şekilde katkı sağlamadığı bu tez çalışmasıyla ilk defa ortaya konmuştur. Bu çalışmada elde edilen bilgilerin, altın otu bitkisinde kuraklık stresinin bitki tolerans seviyesini nasıl arttırdığı antioksidan savunma sisteminin tüm yönleriyle daha kapsamlı bir şekilde inceleneceği yeni çalışmalar için önemli bir bilgi birikimine sahip olduğu söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- Abedi, T. ve Pakniyat, H. (2010). Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Czech J. Genet. Plant Breed*, 46, (1), 27-34.
- Abobatta, W. F. (2019). Drought adaptive mechanisms of plants – a review. *Adv. Agr. Environ. Sci.*, 2(1), 42-45.
- Aksoy, A., Hamzaoğlu, E. ve Budak, Ü. (2011). Türkiye *Helichrysum* Mill. (Asteraceae) türlerinin taksonomik revizyonu. *Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi*. Araştırma Projesi, Proje No: FBA-08-519.
- Aksoy, A. (2012). *Helichrysum* Mill. Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. ve Babaç, M.T. (edlr.). Türkiye bitkileri listesi (damarlı bitkiler), İstanbul: *Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını*. 163-165.
- Akhtar, I. ve Nazir, N. (2013). Effect of waterlogging and drought stress in plant. *International Journal of Water Resources and Environmental Sciences*, 2(2), 34-40.
- Albayrak, S., Aksoy, A., Sağdıç, O. ve Budak, Ü. (2009). Phenolic compounds and antioxidant and antimicrobial properties of *Helichrysum* species collected from eastern Anatolia, Turkey. *Turk J Biol*, 34, 463-473.
- Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C. ve Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032.
- Ansari, W.A., Atri, N., Pandey, M., Singh, A.K., Singh, B. ve Pandey, S. (2019). Influence of drought stress on morphological, physiological and biochemical attributes of plants: a review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 16(4), 697-709.
- Apel, K. ve Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55, 373-99.
- Appendino, G., Scafati, O.T., Minassi, A., Pollastro, F., Ballero, M. ve Maxia, A. (2015). *Helichrysum italicum*: Sleeping giant of the Mediterranean herbal medicine. *Herbalgram The Journal of the American Botanical Council*, 105, 35-45.
- Aslam, M., Maqbool, M. A. ve Cengiz, R. (2015). Mechanisms of drought resistance. Drought stress in maize (*Zea mays*), 19–36. doi:10.1007/978-3-319-25442-5\_3
- Aslan, M., Katircioğlu, H., Orhan, İ., Atıcı, T. ve Sezik, E. (2007). Antibacterial potential of the capitula of eight anatolian *Helichrysum* species. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4(2), 71-77.
- Avramova, V, AbdElgawad, H., Zhang, Z., Fotschki, B., Casadevall, R., Vergauwen, L., Knapen, D., Taleisnik, E., Guisez, Y., Asard, H ve Beemster, G.T.S. (2015). Drought

- induces distinct growth response, protection, and recovery mechanisms in the maize leaf growth zone. *Plant Physiol*, 169.
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A. ve Pereira, A. (2016). Plant adaptation to drought stress. *F1000Research*, 5(*F1000 Faculty Rev*), 1554.
- Bayat, H. ve Moghadam, A.N. (2019). Drought effects on growth, water status, proline content and antioxidant system in three *Salvia nemorosa* L. cultivars. *Acta Physiologiae Plantarum* (2019) 41, 149.
- Beauchamp, C. ve Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assay and applicable to acrylamid gels. *Anal. Biochem.* 44, 276-287.
- Bergmeyer, N. (1970). Methoden der enzymatischen analyse, Vol:1, Akademie Verlag, Berlin Pp: 636-647.
- Bernt, E. ve Bergmeyer, H. U. (1974). Inorganic peroxides. In: Bergmeyer HU. (Ed.) Methods of enzymatic analysis. Academic Press, 2246-2248.
- Bowler, C., Camp, W.V., Montagu, M.V. ve Inze, D. (1994). Superoxide dismutase in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13(3), 199-218.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72, 248-254.
- Caser, M., D'Angiolillo, F., Chitarra, W., Lovisolo, C., Ruffoni, B., Pistelli, L., Pistelli, L. ve Scariot, V. (2016). Water deficit regimes trigger changes in valuable physiological and phytochemical parameters in *Helichrysum petiolare* Hilliard & B.L. Burt. *Industrial Crops and Products*, 83, 680-692.
- Cruz de Carvalho, M.H. (2008). Drought stress and reactive oxygen species. *Plant Signaling & Behavior* 3 (3), 156-165.
- Czinner, E., Hagymasi, K., Blazovics, A., Kery, A., Szoke, E. ve Lemberkovics, E. (2000). In vitro antioxidant properties of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench. *Journal of Ethnopharmacology*, 73, 437-443.
- Çarpıcı, E.B. ve Erdel B. (2015). Bazı yonca çeşitlerinde (*Medicago sativa* L.) kuraklık stresinin çimlenme özellikleri üzerine etkisi *Derim*, 32 (2), 201-210.
- Dănăilă-Guidea, S.M., Eremia, M.C., Dinu, L.D. ve Miu, D.M. (2022). *Helichrysum arenarium*: from cultivation to application. *Appl. Sci.* 12(20), 10241.
- Demirel, K., Genç, L., Çamoğlu, G. ve Aşık, Ş. (2010). Karpuz bitkisinde yaprak su içeriği ve klorofil okumalarından yararlanılarak su stresinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 7 (3), 155-162.
- Dimitrova, N. ve Nacheva L. (2018). Micropropagation of *Helichrysum italicum* (Roth G. Don -a medicinal plant with ornamental value. *J. BioSci. Biotech*, 7(2), 97-101.

- Dolferus, R. (2014). To grow or not to grow: A stressful decision for plants. *Plant Science*, 229 247-261.
- ElSayed, A.I., El-hamahmy, M.A.M., Rafudeen, M.S., Mohamed, A.H. ve Omar, A.A. (2019). The impact of drought stress on antioxidant responses and accumulation of flavonolignans in milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn). *Plants*, 8, (12), 611.
- Eroğlu, H.E. (2018). Türkiye *Helichrysum* taksonlarının Türkçe ve diğer dillerdeki isimleri. *Avrasya Terim Dergisi*, 6 (1), 26-34.
- Eryılmaz, F. (2007). *Bakır (cu) uygulanmış mısır (Zea mays L.) fidelerindeki antioksidan aktivitelerin fizyolojik ve anatomik yönden incelenmesi* (Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
- European Medicines Agency [EMA], (2015). European Union herbal monograph on *Helichrysum arenarium* (L.) Moench, flos.
- Fang, Y. ve Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cell. Mol. Life Sci.* 72, 673-689.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. ve Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.*, 29, 185-212.
- Foyer, C. H. ve Halliwell, B. (1976). Presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. *Planta*, 133: 21-25.
- Giannopolities, N. ve Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutase occurrence in higher plants. *Plant Physiol.* 59, 309-314.
- Gill, S.S. ve Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 48, 909-930.
- Giovanelli, S., Leo, M.D., Cervelli, C., Ruffoni, B., Ciccarelli, D. ve Pistelli, L. (2018). Essential oil composition and volatile profile of seven *Helichrysum* species grown in Italy. *Chemistry and Biodiversity*, 15(5), e1800545.
- Global Biodiversity Information Facility [GBIF] (2022). Erişim adresi: <https://www.gbif.org/species/3131809>
- Gonçales, S., Moreira, E., Grosso, C., Andrade, P.B., Valentao, P. ve Romano, A. (2017). Phenolic profile, antioxidant activity and enzyme inhibitory activities of extracts from aromatic plants used in Mediterranean diet. *Journal Food Science Technology*, 54(1), 219-227.
- Güneş, Aydın., Pilbeam, D. J., Inal, A. ve Çoban, S. (2008). Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress: growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39 1885-1903.
- Gürbüz, A., Kaya, M., Türkan, A.D., Kaya, G., Kaya, M.D. ve Çiftçi, C.Y. (2009). Bazı nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinde tane iriliği ve kuraklık stresinin çimlenme özelliklerine etkisi. *Akdeniz Üniversitesi ziraat fakültesi dergisi*, 22 (1), 69-74.



- Hirt, H. ve Shinozaki, K. (2004). Plant responses to abiotic stress. Germany. 2-3.
- Hoagland, D. R. ve Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. *Circular. California agricultural experiment station*, 347.
- Hodges, D.M., DeLong, J.M., Forney, C.F. ve Prange, R.K. (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207, 604-611
- Ilyas, M., Nisar, M., Khan, N., Hazrat, A., Khan, A.H., Hayat, K., Fahat, S., Khan, A. ve Ullah, A. (2020). Drought tolerance strategies in plants: a mechanistic approach. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 926-944.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R. ve Panneerselvam R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture & Biology*, 11, 100-105.
- Jan, A.U., Hadi, F., Ditta, A., Suleman, M. ve Ullah, M. (2022). Zinc-induced anti-oxidative defense and osmotic adjustments to enhance drought stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 193.
- Jin, X., Shi, C., Yu, C.Y., Yamada, T. ve Sacks, E.J. (2017). Determination of leaf water content by visible and near-infrared spectrometry and multivariate calibration in miscanthus. *Front. Plant Sci.* (8) 1-8.
- Judzentiene, A., Budiene, J., Nedveckyte, I. ve Garjonyte, R. (2022). Antioxidant and toxic activity of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench and *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don essential oils and extracts. *Molecules* 2022, 27(4), 1311
- Karataş, İ., Öztürk, L., Demir, Y., Ünlükara, A., Kurunç, A. ve Düzdemir, O. (2012). Alterations in antioxidant enzyme activities and proline content in pea leaves under long-term drought stress. *Toxicology and Industrial Health*, 30(8), 1-8.
- Kaur, H., Kohli, S.K., Khanna, K. Ve Bhardwaj, R. (2021). Scrutinizing the impact of water deficit in plants: transcriptional regulation, signaling, photosynthetic efficacy and management. *Physiologia Plantarum*, 172, 935-962.
- Kaur, G. ve Asthır, B. (2017). Molecular responses to drought stress in plants. *Biologia Plantarum*, 61 (2), 201-209.
- Kavas, M., Baloğlu, M.C., Akça, O., Köse, F.S. ve Gökçay, D. (2013). Effect of drought stress on oxidative damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings. *Turk J Biol*, 37, 491-498.
- Keskin, B. (2018). Kuraklık ve kuraklık stresi. Erişim adresi: <https://www.igdir.edu.tr/bilimsel-etkinlik-dokümanları>.
- Khan, M.A., Iqbal, M., Jameel, M., Nazeer, W., Shakir, S., Aslam, M.T. ve Iqbal, B. (2011). Potentials of molecular based breeding to enhance drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 10(55), 11340-11344.

- Khaleghi, A., Naderi, R., Brunetti, C., Maserti, B.E., Salami, S.A. ve Babalar, M. (2019). Morphological, physiochemical and antioxidant responses of *Maclura pomifera* to drought stress. *Scientific Reports* 9.
- Kılıçaslan, S.C., Yıldırım, E., Ekinci, M. ve Kul, R. (2020). Kuraklık stresinin fasulyede bitki gelişimi, bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 36, (2), 264-273.
- Kutluk, I., Aslan, M., Orhan, I.E. ve Özçelik, B. (2018). Antibacterial, antifungal and antiviral bioactivities of selected *Helichrysum* species. *South African Journal of Botany* 119, 252-257.
- Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K. Ve Dietz, K.-J. (2019). The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants*, 8, 94.
- Lisar, S.Y.S., Motafakkerzad, R., Hossain, M.M. ve Rahman, I.M.M (2011). Water stress in plants: causes, effects and responses. *Water Stress*, 2-14. Editör: Ismail M. M. Rahman, Hiroshi Hasegawa.
- Lum, M.S., Hanafi, M.M., Rafii, Y.M. ve 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.
- Madhava Rao, K.V. ve Stresty, T.V.S. (2000). Antioksidatif parametreler in the seedlings of Pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. *Plant Science*, 157, 113-128.
- Marcińska, I., Czyczyło-Mysza, I., Skrzypek, E., Filek, M., Grzesiak, S., Grzesiak, M.T., Janowiak, F., Hura, T., Dziurka, M., Dziurka, K., Nowakowska, A. Ve Quarrie, SA. (2013). Impact of osmotic stress on physiological and biochemical characteristics in drought-susceptible and drought-resistant wheat genotypes. *Acta Physiol Plant*, 35, 451-461.
- Matamoros, M.A., Loscos, J., Dietz, K.J., Aparicio-Tejo, P. M. Ve Becana, M. (2010). Function of antioxidant enzymes and metabolites during maturation of pea fruits. *Journal of Experimental Botany*, 61, (1), 87-97.
- Mathekg, A.D.M., Marion-Meyer, J.J., Hornb, M.M., ve Drewes, S.E. (2000). An acylated phloroglucinol with antimicrobial properties from *Helichrysum caespitium*. *Phytochemistry* 53, 93-96.
- Melikoğlu, G., Kurtoğlu, S. ve Kültür, Ş. (2015). Türkiye’de astım tedavisinde geleneksel olarak kullanılan bitkiler. *Marmara Pharmaceutical Journal* 19, 1-11.
- Mirzaee, M., Moieni, A. ve Ghanati, F. (2013). Effects of drought stress on the lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *J. Agr. Sci. Tech*, 15, 593-602.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *TRENDS in Plant Science*, .7 (9), 405-410.
- Mohamadi, N. ve Rajaei, P. (2013). Effect of Triamidefon fungicide on some growth parameters and antioxidant enzymes activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

- plant under drought stress. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1, (4), 341-350
- Møller, I.M., Jensen, P.E. ve Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 58, 459-81.
- Møller, I.M. (2001). Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, nadph turnover, and metabolism of reactive oxygen species. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 52, 561-591.
- Morgan, J.M. (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol*, 35, 299-319.
- Mohammadkhan N. ve Heidari R. (2007). Effects of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10, 3835-3840.
- Mohammadi, A., Habibi, D., Rohami, M. ve Mafakheri, S. (2011). Effect of drought stress on antioxidant enzymes activity of some chickpea cultivars. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 11, (6), 782-785.
- Mukarram, M., Choudhary, S., Kurjak, D., Petek A. ve Khan, M.M. (2021). Drought: Sensing, signalling, effects and tolerance in higher plants. *Physiol Plant*, 172(2):1291-1300.
- Mundree, S.G, Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., Willigen, C. V., Govender, K., Maredza, A., Muyanga, S., Farrant J.M. ve Thomson J. A. (2002). Physiological and molecular insights into drought tolerance. *Africa Journal of Biotechnology*, 1(2), 28-38.
- Murashige, T. ve Skoog, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15, 473-97.
- Nakano, Y. ve Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol*, 22 (3): 867-880.
- Noctor, G., Gomez, L., Vanacker, H. ve Foyer, C.H. (2002). Interactions between biosynthesis, compartmentation and transport in the control of glutathione homeostasis and signaling. *Journal of Experimental Botany*, 53, (372). 1283-1304.
- Nincevic, T., Grdisa, M., Satovic, Z. ve Jug-Dujakovic, M. (2019). *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don: Taxonomy, biological activity, biochemical and genetic diversity. *Industrial Crops & Products*, 138, 111487.
- Olsson, K., Pihlik, U., Radušien J. ve Bladh, K.W. (2005). *Helichrysum arenarium* (L.) Moench (Everlasting). *Spice and Medicinal Plants in the Nordic and Baltic Countries Conservation of Genetic Resources*. 55-65.
- Pan, Y., Wu, L.J. ve Yu, Z.L. (2006). Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Plant Growth Regul*, 49, 157-165.

- Pandey S., Fartyal D., Agarwal, A., Shukla, T., James, D., Kaul, T., Negi, Y.K., Arora, S. ve Reddy M. K. (2017). Abiotic stress tolerance in plants: myriad roles of ascorbate peroxidase. *Front. Plant. Sci.*, (8), 1-13.
- Perrini, R., Fortunato, I.M., Lorusso, E. ve Avato, P. (2009). Glands, essential oils and in vitro establishment of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don ssp. *microphyllum* (Willd.) Nyman. *Industrial Crops and Products*, 29, 395–403.
- Pljevljakušić, D., Bigović, D., Janković, T., Jelačić, S. ve Šavikin, K. (2018). Sandy everlasting (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench): botanical, chemical and biological properties. *Frontiers in Plant Science* 7 (9), 1123.
- Reidel, R.V.B., Cioni, P.L., Ruffoni, B., Cervelli, C. ve Pistelli, L. (2017). Aroma profile and essential oil composition of *Helichrysum* species. *Natural Product Communications*, 12 (9), 1507-1512.
- Rezayian, M., Ebrahimzadeh, H. ve Niknam, V. (2020). Nitric oxide stimulates antioxidant system and osmotic adjustment in soybean under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 1122-1132.
- Romanello, G.A., Chuchra-Zbytniuk, K.L., Vandermer, J.L. ve Touchette, B.W. (2008). Morphological adjustments promote drought avoidance in the wetland plant *Acorus americanus*. *Aquatic Botany*, 89, 390-396.
- Sade, B., Soylu, S. Yetim, E. (2011). Drought and oxidative stress. *African Journal of Biotechnology*, 10 (54), 11102-11109.
- Salehi-Lisar, S. Y. ve Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. *Drought stress Tolerance in Plants*. 1, 1-16.
- Sayfzadeh, S. ve Rashidi, M. (2010). Effect of drought stress on antioxidant enzyme activities and root yield of sugar beet (*Beta vulgaris*). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 9, (3), 223-230.
- Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., de Groot, S., Soole, K. ve Langridge, P. (2017). Early flowering as a drought escape mechanism in plants: how can it aid wheat production? *Frontiers In Plant Science*, 8 doi: 10.3389/fpls.2017.01950.
- Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V.P. ve Prasad, S.M. (2015). Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 14, 407-426.
- Sofa, A., Tuzio, A.C., Dichio, B. ve Xiloyannis, C. (2005). Influence of water deficit and rewatering on the components of the ascorbate–glutathione cycle in four interspecific *Prunus* hybrids. *Plant Science* 169, 403–412.
- Terzi, R., Sağlam, A., Kutlu, N., Nar, H. ve Kadioğlu, H. (2010). Impact of soil drought stress on photochemical efficiency of photosystem II and antioxidant enzyme activities of *Phaseolus vulgaris* cultivars. *Turk J Bot*, 34, 1-10.

- Tiryaki, İ. (2016). Yoncada (*Medicago sativa*) kuraklık stresi ve toleranslık mekanizması. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 19(3), 296-305.
- Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. ve Webb, D.A. (1976). *Flora europaea. Plantaginaceae to compositae (and Rubiaceae)*. (4.cilt) Cambridge University Press. 128-130.
- Verslues, P.E., Bhaskara, G.B., Kesari, R. ve Kumar, M.N. (2005). Plant Abiotic Stress. *Drought tolerance mechanisms and their molecular basis*. (2. Baskı) içinde (15-38). Blackwell Publishing.
- Viegas, D.A., Oliveira, A.P., Salgueiro, L., Oliveira, J.M. ve Oliveira, R.P. (2014). *Helichrysum italicum*: From traditional use to scientific data. *Journal of Ethnopharmacology*, 151, 54-65.
- Yavaş, İ., Akgül, H.N. ve Ünay, A., 2016. Bitkilerin kuraklığa dayanıklılığını artırmaya yönelik uygulamalar. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(1): 48-57.
- Yıldız, M., Terzi, H. ve Uruşak, B. (2011). Bitkilerde krom toksisitesi ve hücrel cevaplar. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 27(2), 163-176
- Yıldız, M., Kaya, F. ve Terzi, H. (2020). Kuraklık stresi ve bitki proteomiği. *Güfbed/Gustij*, 10 (1), 286-297.
- Yige, C., Fangqing, C., Lei, L. ve Shunbo, Z. (2012). Physiological responses of *Leucaena leucocephala* seedlings to drought stress. *Procedia Engineering* 28, 110-116.
- Zahedi H. ve Moghadam, H.R.T. (2011). Effect of drought stress on antioxidant enzymes activities with zeolite and selenium application in canola cultivars. *Reserach on Crops*, 12 (2), 388-392.
- Zargar, S.M., Gupta, N., Nazir, M., Mahajan, R., Malik, F.A., Sofi, N.R., Shikari, A.B. ve Salgotra, R.K. (2017). Impact of drought on photosynthesis: Molecular perspective. *Plant Gene*, 11, 154-159.
- Jingxian Zhang, J. ve Kirkham M.B. (1994). Drought-stress-induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase in wheat species. *Plant and Cell Physiology*, 35 (5), 785–791.
- Quan, L.J., Zhang, B., Shi, W.W. ve Li, H.Y. (2008). Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50, (1), 2–18
- Queiroz, M.S., Oliveira, C.E.S., Steiner, F., Zuffo, A.M., Zoz, T., Vendruscolo, E.P., Silva, M.V., Mello, B.F.F.R., Cabral, R.C. ve Menis, F.T. (2019). Drought stresses on seed germination and early growth of maize and sorghum. *Journal of Agricultural Science*, 11 (2), 310-318.
- Weng, M., Cui, L., Liu, F., Zhang, M., Shan, L., Yang, S. ve Deng, X. (2015). Effects of drought stress on antioxidant enzymes in seedlings of different wheat genotypes. *Pak. J. Bot*, 47(1), 49-56.