

**BAZI SENTETİK SIKLİTOL TÜREVLERİNİN
KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN *CICER*
(NOHUT) FİDELERİ ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK VE
BİYOKİMYASAL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

GURBET YANDIM

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOLOJİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
HAZİRAN-2013**

**BAZI SENTETİK SIKLİTOL TÜREVLERİNİN
KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN *CICER*
(NOHUT) FİDELERİ ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK VE
BİYOKİMYASAL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

GURBET YANDIM

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOLOJİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR**

**MERSİN
HAZİRAN-2013**

Gurbet YANDIM tarafından Prof. Dr.Serpil ÜNYAYAR danışmanlığında hazırlanan "Bazı Sentetik Siklitol Türevlerinin Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Cicer (Nohut) Fideleri Üzerindeki Fizyolojik ve Biyokimyasal Etkilerinin Araştırılması" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR

Prof. Dr. Yüksel KELEŞ

Prof. Dr. Füsun YÜREKLİ

Doç. Dr. Rıza BİNZET

Doç. Dr. Nermin ŞİMŞEK KUŞ

.....
.....
.....
.....
.....

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26./06./2013.tarih ve 2013.12...../379..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç.Dr.Mehmet KÜÇÜKASLAN
Enstitü Müdürü

BAZI SENTETİK SIKLİTOL TÜREVLERİNİN KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN CİCER (NOHUT) FİDELERİ ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Gurbet YANDIM

ÖZ

Kuraklık stresi altında kültür nohut *Cicer arietinum* Küsme 99 (kuraklığa duyarlı) ve yabancı nohut *Cicer reticulatum* AWC611 (kuraklığa dayanıklı) 'de bazı sentetik siklitol türevlerinin gövde/kök büyümesi, yaprak su potansiyeli (YSP, Ψ_{Yaprak}), antioksidan enzimler, lipid peroksidasyonu (MDA) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) seviyesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Kuraklık stresinin ilk üç günü kuraklık uygulanan ve uygulanmayan bitkilerin yapraklarına *dl*- siklopentan-1,2,3-triol (A siklitol), *dl*- sikloheksan-1,2,3-triol (B siklitol), *dl*- sikloheptan-1,2,3-triol (C siklitol) 10 μM , 20 μM ve 30 μM konsantrasyonlarda püskürtüldü. Kuraklık stresi gövde uzunluğunu stresin süresine bağlı olarak azaltmış ve siklitol uygulamaları ise etkili olmamıştır. Kuraklık stresi her iki türün kök uzunluklarının artmasına neden olmuştur. Kuraklık stresinde siklitol uygulanan *C. reticulatum*'un kök uzunluğu 20 μM C siklitol uygulamasıyla belirgin bir artış göstermiştir. Kuraklık stresi ve siklitol her iki türde de YSP'yi azaltmıştır. C siklitol uygulamaları *C. reticulatum*'un ve B siklitol uygulamalar da *C. arietinum*'un YSP'ni belirgin bir şekilde azaltmıştır. Kuraklık stresinde her iki türün yaprak ve köklerinde süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz ve katalaz enzim aktiviteleri artış göstermiştir. Siklitolün antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkisinin siklitol türevine, konsantrasyonuna ve bitki türüne bağlı olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresi uygulanan bitkilerin kök ve yapraklarında MDA ve H_2O_2 miktarı artmıştır. Kuraklık stresine maruz kalan ve siklitol uygulanan bitkilerin yaprak ve köklerindeki MDA ve H_2O_2 seviyesi önemli oranda azalmıştır. Sonuç olarak, dışsal uyguladığımız sentetik siklitol türevlerinin kültür ve yabancı nohut türlerinde kuraklık stresini azalttığı ve biyolojik olarak aktif oldukları söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Nohut, kuraklık stresi, siklitoller, antioksidan enzimler, lipid peroksidasyonu, hidrojen peroksit

Danışman: Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR, Mersin Üniversitesi, Biyoloji ABD

INVESTIGATION OF BIOCHEMICAL AND PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF SOME SYNTHETIC CYCLITOL DERIVATIVES IN *CICER* (CHICKPEA) SEEDLING UNDER DROUGHT STRESS

Gurbet YANDIM

ABSTRACT

The effects of some synthetic cyclitol derivatives on stem and root growth, leaf water potential (LWP, Ψ_{Leaf}), antioxidant enzymes, lipid peroxidation (MDA) and hydrogen peroxide (H_2O_2) levels studied in cultivated chickpea *Cicer arietinum* Küsmen 99 (drought sensitive) and wild chickpea *Cicer reticulatum* AWC611 (drought resistant) under drought stress. Synthetic cyclitols, *dl*-cyclopentane- 1,2,3-triol (A cyclitol), *dl*-cyclohexane- 1,2,3-triol (B cyclitol), *dl*-cycloheptane- 1,2,3-triol (B cyclitol) (10 μM , 20 μM ve 30 μM for each cyclitol), were sprayed to drought stressed- and unstressed-plants for three days. Shoot lengths of drought stressed-plants decreased due to time of stress and significantly unchanged with cyclitol treatments. Root lengths of cyclitol treated-*C. reticulatum* remarkably increased with 20 μM C treatments under drought stress. Drought stress and cyclitol treatments decreased the LWP of both species. Superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, glutathione reductase and catalase enzyme activities remarkably increased in both species. It is determined that effect of cyclitol derivatives on the antioxidant enzyme activities in both species depend on the cyclitol type, concentration and plant species. MDA and H_2O_2 significantly increased in roots and leaves of drought stressed-plants. MDA and H_2O_2 remarkably decreased in roots and leaves of drought stressed- and cyclitol treated-plants. In conclusion, exogenous treated synthetic cyclitols could contribute to alleviation the effect of drought stress and they could be biologically active.

Keywords: Chickpea, drought stress, cyclitols, antioxidant enzymes, lipid peroxidation, hydrogen peroxide

Advisor: Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR, Mersin University, Biology Department.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında bana destek veren, bilgi, öneri, deneyim ve görüşlerini her zaman benimle paylaşan, saygıdeğer danışman hocam sayın Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR'a (Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü) çok teşekkür ederim. Tüm bu süreç boyunca tecrübelerini benden esirgemeyen ve büyük emeklerini gördüğüm, değerli hocam Arş. Gör. Sertan ÇEVİK'e (Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü) teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım süresince büyük yardım ve desteklerini gördüğüm Arş. Gör. Aytunç YILDIZLI (Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü) ve Biyolog Gizem KIZGUT'a, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Arş. Gör. Aysin GÜZEL DEĞER'e (Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü) teşekkür ederim. Sonuçlarımın istatistiksel değerlendirmesinde emeği olan Arş. Gör. Didem DERİCİ'ye (Mersin Üniversitesi, Tıp Fakültesi Biyoistatistik Bölümü) ve analizlerim süresince ilgisini esirgemeyen Uzm. Fadile YALDIZ'a (Mersin Üniversitesi, İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezi) teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamda uyguladığım siklitol türevlerini sentezleyen Doç. Dr. M. Serdar GÜLTEKİN'e (Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü), kullandığım bitki tohumlarını elde etmemi sağlayan Prof. Dr. Cengiz TOKER'e (Akdeniz Üniversitesi Tarla Bitkileri Bölümü) ve Abdulkadir AYDOĞAN'a (Yemelik Tane Baklagil Islah Birimi) teşekkür ederim.

BAP-FEF BY(SU) 2010-5B no'lu projenin bir bölümünü oluşturan yüksek lisans çalışmama destek sağlayan Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi'ne teşekkür ederim.

Bana her zaman destek olan ve ışık tutan sevgili ablama, her durumda yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
EKLER DİZİNİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	5
2.1. NOHUT VE KURAKLIK STRESİ.....	5
2.2. BİTKİLERDE ROT OLUŞUMU VE ANTİOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMLERİ.....	7
2.3. KURAKLIK TOLERANSINDA SİKLİTOLLERİN ROLÜ	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
3.1. BİTKİ YETİŞTİRME KOŞULLARI	16
3.2. YAPRAK SU POTANSİYELİ (YSP, Ψ_{Yaprak})'NİN ÖLÇÜLMESİ	18
3.3. ÇÖZÜNÜR PROTEİN MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ	18
3.4. ANTİOKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNİN ÖLÇÜMÜ	19
3.4.1. Süperoksit Dismutaz (SOD, EC.1.15.11) Aktivite Tayini	19
3.4.2. Katalaz (KAT, EC.1.11.1.6.) Aktivite Tayini.....	20
3.4.3. Askorbat Peroksidaz (AP, EC.1.11.1.11) Aktivite Tayini	20
3.4.4. Glutasyon Redüktaz (GR, EC.1.6.4.2.) Aktivite Tayini.....	20
3.5. HİDROJEN PEROKSİT (H ₂ O ₂) SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ.....	21
3.6. MALONDİALDEHİT (MDA) İÇERİĞİ ÖLÇÜMÜ	21

3.7. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME.....	21
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	22
4.1. BULGULAR.....	22
4.1.1. Gövde ve Kök Büyümesi.....	22
4.1.1.1. <i>C. arietinum</i> 'un gövde ve kök büyümesi.....	22
4.1.1.2. <i>C. reticulatum</i> 'un gövde ve kök büyümesi.....	23
4.1.2. Yaprak Su Potansiyeli (Ψ_Y).....	25
4.1.2.1. <i>C. arietinum</i> 'un yaprak su potansiyeli (Ψ_Y).....	25
4.1.2.2. <i>C. reticulatum</i> 'un yaprak su potansiyeli (Ψ_Y).....	27
4.1.3. <i>C. arietinum</i> 'un Yaprak Dokularında Antioksidan Enzim Aktiviteleri.....	27
4.1.3.1. SOD aktivitesi.....	27
4.1.3.2. KAT aktivitesi.....	29
4.1.3.3. AP aktivitesi.....	30
4.1.3.4. GR aktivitesi.....	31
4.1.4. <i>C. reticulatum</i> 'un Yaprak Dokularında Antioksidan Enzim Aktiviteleri.....	32
4.1.4.1. SOD aktivitesi.....	32
4.1.4.2. KAT aktivitesi.....	33
4.1.4.3. AP aktivitesi.....	34
4.1.4.4. GR aktivitesi.....	35
4.1.5. <i>C. arietinum</i> 'un Yaprak Dokularında H_2O_2 Konsantrasyonu.....	36
4.1.6. <i>C. reticulatum</i> 'un Yaprak Dokularında H_2O_2 Konsantrasyonu.....	37
4.1.7. <i>C. arietinum</i> 'un Yaprak Dokularında MDA İçeriği.....	38
4.1.8. <i>C. reticulatum</i> 'un Yaprak Dokularında MDA İçeriği.....	39

4.1.9. <i>C. arietinum</i> 'un Kök Dokularında Antioksidan EnzimAktiviteleri	40
4.1.9.1. SOD aktivitesi	40
4.1.9.2. KAT aktivitesi	41
4.1.9.3. AP aktivitesi	42
4.1.9.4. GR aktivitesi.....	43
4.1.10. <i>C. reticulatum</i> 'un Kök Dokularında Antioksidan Enzim Aktiviteleri.....	44
4.1.10.1. SOD aktivitesi	44
4.1.10.2. KAT aktivitesi	45
4.1.10.3. AP aktivitesi	46
4.1.10.4. GR aktivitesi.....	47
4.1.11. <i>C. arietinum</i> 'un Kök Dokularında H ₂ O ₂ Konsantrasyonu	48
4.1.12. <i>C. reticulatum</i> 'un Kök Dokularında H ₂ O ₂ Konsantrasyonu	49
4.1.13. <i>C. arietinum</i> 'un Kök Dokularında MDA İçeriği	50
4.1.14. <i>C. reticulatum</i> 'un Kök Dokularında MDA İçeriği.....	51
4.2. TARTIŞMA	52
4.2.1. Gövde ve Kök Büyümesi.....	52
4.2.2. Yaprak Su Potansiyeli (Ψ_Y).....	53
4.2.3. Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi	54
4.2.4. Katalaz (KAT) Aktivitesi	55
4.2.5. Askorbat Peroksidaz (AP) Aktivitesi	56
4.2.6. Glutatyon Redüktaz (GR) Aktivitesi.....	57
4.2.7. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Konsantrasyonu ve Malondialdehit (MDA) İçeriği.....	58
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	61

KAYNAKLAR.....	63
EKLER.....	79
ÖZGEÇMİŞ	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> 'un yapraklarına siklitol türevlerinin uygulaması için oluşturulan deneme deseni	18
Çizelge 4.1. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> 'un gövde ve kök büyümesi üzerine sentetik siklitollerin etkisi.....	24
Çizelge 4.2. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> 'da Yaprak Su Potansiyeli (Ψ_Y) üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	26

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. İnositol, Quersitol ve Konduritol moleküllerinin yapısal formülleri	2
Şekil 2.1. Bitki hücresinde ROT oluşum bölgeleri.....	11
Şekil 2.2. Myo-inositolden; ononitol ve pinitol sentezlenme reaksiyonları	14
Şekil 3.1. Sentetik olarak sentezlenen siklitol türevlerinin yapısal formülleri.....	16
Şekil 3.2. Alkenlerden 1,2/3-triol moleküllerinin sentezlenmesi.	17
Şekil 4.1. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. arietinum</i> yapraklarında SOD aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	28
Şekil 4.2. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. arietinum</i> yapraklarında KAT aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	29
Şekil 4.3. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. arietinum</i> yapraklarında AP aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi.....	30
Şekil 4.4. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. arietinum</i> yapraklarında GR aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi.....	31
Şekil 4.5. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. reticulatum</i> yapraklarında SOD aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	32
Şekil 4.6. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. reticulatum</i> yapraklarında KAT aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	33
Şekil 4.7. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. reticulatum</i> yapraklarında AP aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi.....	34
Şekil 4.8. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. reticulatum</i> yapraklarında GR aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi.....	35
Şekil 4.9. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. arietinum</i> yapraklarında H ₂ O ₂ Konsantrasyonu üzerine siklitol uygulamalarının etkisi.....	36
Şekil 4.10. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. reticulatum</i> yapraklarında H ₂ O ₂ Konsantrasyonu üzerine siklitol uygulamalarının etkisi.....	37
Şekil 4.11. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. arietinum</i> yapraklarında MDA içeriği üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	38
Şekil 4.12. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. reticulatum</i> yapraklarında	

MDA içeriği üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	39
Şekil 4.13. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C.arietinum</i> köklerinde SOD aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	40
Şekil 4.14. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C.arietinum</i> köklerinde KAT aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	41
Şekil 4.15. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C.arietinum</i> köklerinde AP aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	42
Şekil 4.16. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C.arietinum</i> köklerinde GR aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi.....	43
Şekil 4.17. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C.reticulatum</i> köklerinde SOD aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	44
Şekil 4.18. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C.reticulatum</i> köklerinde KAT aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	45
Şekil 4.19. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C.reticulatum</i> köklerinde AP aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	46
Şekil 4.20. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C.reticulatum</i> köklerinde GR aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi.....	47
Şekil 4.21. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C.arietinum</i> köklerinde H ₂ O ₂ konsantrasyonu üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	48
Şekil 4.22. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. reticulatum</i> köklerinde H ₂ O ₂ konsantrasyonu üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	49
Şekil 4.23. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. arietinum</i> köklerinde MDA içeriği üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	50
Şekil 4.24. Kuraklık stresine maruz bırakılan <i>C. reticulatum</i> köklerinde MDA içeriği üzerine siklitol uygulamalarının etkisi	51

EKLER DİZİNİ

Sayfa

Ek 1. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> 'da uygulamanın birinci ve yedinci günü gövde uzunluğuna ait varyans analizi sonuçları.....	79
Ek 2. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> 'da uygulamanın birinci ve yedinci günü kök uzunluğuna ait varyans analizi sonuçları	80
Ek 3. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> 'da uygulamanın birinci ve yedinci günü yaprak su potansiyeline (Ψ) ait varyans analizi sonuçları	81
Ek 4. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> yapraklarında uygulamanın birinci ve yedinci günü SOD enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.....	82
Ek 5. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> yapraklarında uygulamanın birinci ve yedinci günü KAT enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.....	83
Ek 6. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> yapraklarında uygulamanın birinci ve yedinci günü AP enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.....	84
Ek 7. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> yapraklarında uygulamanın birinci ve yedinci günü GR enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları	85
Ek 8. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> yapraklarında uygulamanın birinci ve yedinci günü H ₂ O ₂ konsantrasyonuna ait varyans analizi sonuçları.....	86
Ek 9. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> yapraklarında uygulamanın birinci ve yedinci günü lipid peroksidasyonuna ait varyans analizi sonuçları.....	87
Ek 10. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> köklerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü SOD enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları	88
Ek 11. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> köklerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü KAT enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları	89
Ek 12. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> köklerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü AP enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları	90
Ek 13. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> köklerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü GR enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları.....	91
Ek 14. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> köklerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü H ₂ O ₂ konsantrasyonuna ait varyans analizi sonuçları	92
Ek 15. <i>C. arietinum</i> ve <i>C. reticulatum</i> köklerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü lipid peroksidasyonuna ait varyans analizi sonuçları	93

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

ROT	: Reaktif oksijen türleri
SOD	: Süperoksit dismutaz
KAT	: Katalaz
AP	: Askorbat peroksidaz
GR	: Glutasyon redüktaz
AsA	: Askorbik asit
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
DHA	: Dehidroaskorbat
DHAR	: Dehidroaskorbat redüktaz
GSH	: Redükte glutasyon
GSSG	: Okside glutasyon
MDA	: Malondialdehit
MDHA	: Monodehidroaskorbat
MDHAR	: Monodehidroaskorbat redüktaz
¹ O ₂	: Tekli oksijen
O ₂ ⁻	: Süperoksit radikali
OH [·]	: Hidroksil radikali
YSP (Ψ_{Yaprak})	: Yaprak su potansiyeli

1. GİRİŞ

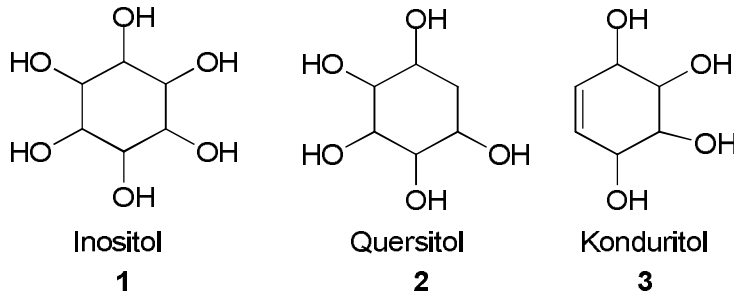
Nohut (*Cicer arietinum* L.) *Fabaceae* familyasına ait dünyada kültürü yapılan önemli baklagil türlerinden birisidir. Nohutun gen merkezi, Türkiye'nin güneydoğusu ve Suriye'dir [1]. Güney Asya, Batı Asya, Kuzey Afrika, Doğu Afrika, Güney Avrupa, Kuzey ve Güney Amerika, Avustralya gibi farklı bölgelere ait 33'den fazla ülkede nohut tarımı yapılmaktadır [2]. En büyük nohut üreticisi ülkeler Hindistan, Pakistan, Türkiye ve Avustralya'dır. Türkiye 446.218 ha ekim alanı ve 530.564 ton nohut üretimi ile dünyada üçüncü sıradadır [3].

Kıyı bölgelerimiz hariç, Orta Anadolu'da genellikle sulanmadan yetiştirilen nohut kuraklık tehdidi altındadır ve bu nedenle verim ve kalite kayıpları nohut bitkisi yetiştiriciliğinde önemli bir sorundur. Son yıllarda, nohut ekiminin ve üretiminin yanı sıra veriminin de gözle görülür derecede azaldığı görülmektedir. Nohutun verim ve kalitesindeki bu azalma, bitkinin büyüme ve gelişimi sırasında karşı karşıya kaldığı biyotik (*Ascochyta rabiei*, *Fusarium oxysporum*, *Liriomyza cicerina* gibi patojenler) ve abiyotik (düşük veya yüksek sıcaklık, kuraklık gibi) etmenlerden kaynaklanmaktadır [2]. Özellikle kuraklığın dünya nohut üretiminde 3,3 milyon ton verim kaybına yol açtığı tahmin edilmektedir [4].

Bitkiler yaşam süreçleri içerisinde biyotik ve abiyotik stres koşulları ile karşılaşır. Strese maruz kalan bitkilerin büyüme ve gelişmeleri ve verimlilikleri belirgin bir şekilde azalır. Bu tür olumsuz koşullarda bitki hücrelerinde toksik etkileri çok yüksek olan reaktif oksijen türleri (ROT) oluşmaktadır [5, 6, 7]. Bunlar arasında; süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$); hidrojen peroksit (H_2O_2); hidroksil radikali (OH^{\cdot}) bulunmaktadır [8]. ROT, öncelikle hücre zarlarının fosfolipitlerini (özellikle doymamış yağ asitlerini) [9], proteinleri [10], nükleik asitleri [9] ve klorofili parçalamakta ve bu etkiler yüksek ışık yoğunluğunda daha da artmaktadır. Bu hasarı azaltmak için bitkiler flavonoid, karotenoid, tokoferol, glutatyon ve askorbat gibi enzimatik olmayan; süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (KAT), glutatyon redüktaz (GR), askorbat peroksidaz (AP), peroksidaz (PO) ve polifenol oksidaz (PPO) gibi enzimatik bileşiklerden oluşan bir antioksidan savunma sistemi geliştirmişlerdir [11, 12, 13].

Kuraklık, tüm tarım alanlarını ve tarımsal ürünleri olumsuz etkileyen en önemli stres faktörlerinden biridir [14, 15]. Kuraklık stresi bitki su ilişkilerini bozar, büyümeyi azaltır ve tarım ürünlerinde verim kaybına neden olur. Bitkilerdeki en yaygın stres toleransı stratejilerinden birisi çeşitli uygun çözünebilir maddelerin üretimini arttırmaktır. Bitkilerde kuraklık gibi stres koşullarında, uygun çözünenler (osmolitler) üretilerek osmotik düzenleme sağlanır ve bu yolla ROT oluşumu azaltılarak hücre zarlarının, protein ve enzimlerin doğal yapısının korunması sağlanır. En yaygın bilinen osmolitler prolin, glisinbetain, şekerler ve şeker alkoller olan siklitollerdir [16].

Bu çözünebilir maddelerden siklitoller polihidroksisikloalkanlar için kullanılan genel bir isimdir [17]. Siklitoller karbonhidrat türevi moleküllerdir. Konduritol, Quersitol ve İnositol olmak üzere üç ana gruba ayrılır (Şekil 1.1). Bu moleküllerin sadece osmotik ayarlama yapan uygun çözücüler değil, aynı zamanda hücre zarlarına zarar veren ROT'un ortadan kalkmasına etki eden bileşikler oldukları da belirlenmiştir. Özellikle inositol türevlerinin fosforillenmiş formu olan inositol fosfat molekülleri hücre içi sinyal iletiminde görev alarak stresin algılanmasında ve tolerans gelişiminde rol alır [18, 19].



Şekil 1.1. İnositol, Quersitol ve Konduritol moleküllerinin yapısal formülleri

Siklitoller ve türevleri birçok biyolojik aktiviteye sahip, doğada bulunabilen doğal ürünlerdir [18, 19]. Siklitollerin yapı olarak literatürde yüzlerce türevi bulunmaktadır. Bu yapılarda hidroksi grubu yerine amin, halojen, kükürt, fosfat gibi fonksiyonel grup bulunan bir çok türevi de bulunmaktadır. Siklitoller bütün bitkiler tarafından sentezlenir ancak, bitkinin tolerans derecesine göre sentez miktarı da değişiklik göstermektedir [20]. Pinitol, Quersitol, D-chiro-inositol, ve D-ononitol gibi siklitol türevleri tuzluluk, kuraklık gibi streslere karşı bitkilerin toleransının artmasında rol almaktadır [21, 22, 23]. Hücre içinde Ca^{2+} iyon salınımını aktive ederek özellikle bitkilerin düşük sıcaklıklara karşı dayanıklılığını artırırlar [24].

Stres sırasında bitki hücrelerinin siklitol miktarı belirgin şekilde artarak hücre içi osmotik denge ayarlanmaktadır [20, 25]. Özellikle tuz stresi, su stresi [25] ve düşük ısı stresi [26] sırasında siklitoller yaprak hücrelerinde yüksek konsantrasyonda birikerek strese toleransı arttırmaktadır. Tuzluluğa ve kuraklığa dayanıklı CAM (*Crassulacean* asit metabolizması) bitkilerinde bir siklitol türevi olan myo-inositol yüksek miktarlarda üretilmektedir ve bu moleküller sadece osmotik ayarlama yapan uygun çözünenler değil, aynı zamanda hücre zarlarına zarar veren ROT'ların ortadan kalkmasına etki eden bileşiklerdir [27].

Siklitoller, antioksidan sistemin önemli elemanlarından olan süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesini artırarak serbest radikallerin süpürülmesinde rol almaktadır [28, 27]. Bu doğal siklitollerden inositol fosfatlar ökaryotik hücrelerde ikincil haberci moleküller olarak önemli bir role sahiptirler. İnositoller birçok tarımsal önemi olan bitkide bulunur, özellikle fasulye ve nohutta bol miktarda bulunmaktadır [26]. Bu moleküllerin aynı zamanda hücreleri fotoinhibisyondan ve metabolik detoksifikasyondan koruma gibi etkileri de bulunmaktadır [22]. Siklitoller, tersiyer protein yapılarını koruyarak antioksidan kapasiteyi arttırmaktadır [22, 26].

Tez çalışmasının amacı sentetik olarak üretilen bazı siklitol türevlerinin kuraklık koşullarında yetiştirilen ve toleransları farklı olan iki *Cicer* (nohut) türünün stres toleransları üzerine etkilerini göstermek ve biyolojik olarak aktif olup olmadıklarını belirlemektir. Bunun için kök ve gövde uzunlukları, yaprak su potansiyeli, enzimatik antioksidanlar, H_2O_2 seviyesi, lipid peroksidasyon

(malondialdehit içeriği) düzeyi belirlenmiştir. Doğal siklitollerin bitkilerde etkilerinin araştırıldığı çalışmalar olmakla birlikte sentetik siklitol türevlerinin bitkiler üzerindeki etkileriyle ilgili herhangi bir literatür bilgisine rastlanmamıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. NOHUT VE KURAKLIK STRESİ

Nohut (*Cicer arietinum* L.) baklagiller arasında fasulyeden (*Phaseolus vulgaris* L.) sonra en fazla üretilen ikinci üründür. Dünyada, 12 milyon hektar ekim alanı, 10,9 milyon ton üretim miktarı ve birim alanda 913 kg ha⁻¹ verime sahiptir. Nohut tüketiminde artan küresel bir talep bulunmaktadır. 1990 yılında nohut ithal eden ülke sayısı 64 iken, 2009 yılında bu rakam 164'e yükselmiştir. [3].

Nohut; % 20-25 protein, % 40-60 karbonhidrat, % 4.5-5.5 yağ, fosfor ve kalsiyum bulundurmasından dolayı insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir [29]. Köklerinde simbiyotik olarak yaşayan *Rhizobium* bakterileri sayesinde atmosferin serbest azotunu toprağa fikse edebilmesi ve bitkinin faydalanabileceği forma dönüştürebilmesi nedeniyle önemli bir baklagil türüdür [30]. Ülkemizde genellikle yıllık yağışı düşük kuru tarım alanlarında sulama yapılmadan, yağışlarla toprakta biriktirilen nemden yararlanarak yetiştirilmektedir. Bu nedenle yağışlara bağlı olarak verim yıllara göre önemli dalgalanmalar göstermektedir [31].

Yarı kurak bir iklim kuşağında bulunan Türkiye'de yağışların mevsimsel dağılımı düzensizdir. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de küresel ısınmanın özellikle su kaynaklarının zayıflaması, kuraklık ve çölleşme ile buna bağlı ekolojik bozulmalarla karşı karşıya olup küresel ısınmanın potansiyel etkileri açısından risk grubu ülkeler arasındadır. Küresel iklim değişikliği ile birlikte ülkemizde kuraklığın şiddetinin gün geçtikçe daha çok hissedileceği belirtilmektedir [32].

Bitkiler yaşam süreçleri içerisinde değişik stres koşulları ile karşılaşılırlar. Bitkide metabolizmayı, büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkileyen, uygun olmayan herhangi bir durum veya madde "stres" olarak ifade edilir. Elverişsiz bir çevre faktörüne karşı bitkinin hayatta kalabilme yeteneği ise "stres direnci" veya "toleransı" olarak adlandırılır [33]. Stres faktörleri, 'abiyotik' ve 'biyotik' olmak üzere iki grupta incelenir. Biyotik stres faktörleri virüs, bakteri ve fungusları içeren patojenler, böcekler ve herbivorlardır. Abiyotik stres faktörleri ise kuraklık, tuzluluk,

soğuk, sıcak, su fazlalığı, radyasyon, çeşitli kimyasallar, oksidatif stres, rüzgar ve toprakta besin yetersizliği gibi çevresel faktörlerdir [34]. Stres altında bitkilerin gelişmeleri, metabolizmaları ve verimleri önemli ölçüde olumsuz etkilenir [35].

Abiyotik stres faktörleri arasında kuraklık bitkisel üretimi sınırlandıran en önemli stres koşuludur. Dünya tarım alanlarının yaklaşık olarak % 45'i sürekli olarak kuraklık stresine maruz kalmaktadır [36]. Kuraklık; iklimsel değişikliklerin neden olduğu geçici bir durum olup, kurak ve yarı kurak bölgelerin yanı sıra, orta enlemlerin nemli-denizel iklimleri ile diğer iklim bölgelerinde de oluşabilir. Genel olarak; meteorolojik bir olgu olup, toprağın su içeriği ile bitki gelişiminde gözle görülür azalmaya neden olacak kadar uzun süren yağışsız bir dönemdir [37]. Yağışsız dönemin kuraklık oluşturması, toprağın su tutma kapasitesi ve bitkiler tarafından gerçekleştirilen evapotranspirasyon hızına bağlı olarak gerçekleşmektedir [38].

Nohut, su kullanımı ve transpirasyon oranı oldukça yüksek olmasına rağmen, vejetatif kısmının küçüklüğü ve derin kökleri nedeniyle kurak şartlara dayanıklı bir bitki olarak tanınır [39]. Kökün gelişmesi danelerin olgunlaşmasına dek sürer. Bu nedenle nohut, topraktaki besin maddelerinden çok iyi yararlanır. Nohutun suya en çok ihtiyaç duyduğu dönem bakla bağlama dönemidir. Nohut genel olarak yağışlar sonucu toprakta birikmiş su ile yetiştiğinden kuraklığa dayanıklılık istenilen özelliklerindedir [40]. Bununla beraber, nohut üretilen bölgelerde kuraklık önemli derecede sınırlayıcı faktör olarak tanımlanmaktadır. Çünkü nohut az miktarda da olsa nem ile büyümekte ve ürünler terminal kuraklıktan etkilenmektedir [41]. Kuraklık stresi hastalık etmenlerinden sonra nohut üretimini kısıtlayan ikinci önemli faktördür [42].

Toker ve Çağırğan [43] 64 nohut hattının kuraklık stresine tepkilerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, kuraklık stresi olmayan koşullar altında yetiştirilen hatların dane verimlerinin kuraklık stresi kuşallarında elde edilen verime göre %53 oranında daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Leport vd. [44], Akdeniz ikliminin olduğu bölgelerde sınırlı su koşullarında yetiştirilen nohut çeşitleri ile yaptıkları çalışmada kuraklık koşullarında yetiştirilen bitkilerde yaprak su potansiyelinin -3 MPa'nın altına düştüğü ve fotosentezin dane dolum başlangıcında azaldığı gözlenmiştir. Su noksanlığının, dane verimini %50-80 oranında azalttığı belirtilmiştir.

Makbul vd. [45] soya fasulyesi (*Glycine max* L.) üzerine kuraklık stresinin meydana getirdiği anatomik ve fizyolojik değişimleri incelemiştir. Kontrolle kıyaslandığında kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilerde kök:gövde oranının arttığını rapor etmişlerdir. Yaprak su potansiyelinin ise kuraklık stresi altındaki bitkilerde -1,18 MPa değerine düştüğünü belirtmişlerdir.

Krouma [46] kuraklığa maruz bırakılan nohut bitkisinde; Machado ve Paulsen [47] ise buğday ve darı bitkilerinde yaprak su potansiyelinin kontrole göre önemli oranda azaldığını rapor etmişlerdir.

2.2. BİTKİLERDE ROT OLUŞUMU VE ANTİOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMLERİ

Atomik oksijen; yer kabuğunda çok fazla bulunan bir elementtir. Su ve atmosferde bulunan oksijen (O₂) aerobik hayatın bütün formlarının devamı için zorunludur. Mevcut oksijen rezervi, fotosentezin bir sonucu olarak sudaki oksijenin serbest bırakılmasıyla meydana gelir ve solunumda en son elektron alıcısı olarak kullanılmasıyla devamlılığı sağlanır [48]. Bu süreçte reaktif oksijen türleri (ROT) aerobik yaşamın kaçınılmaz bir parçası olmuştur [49]. O₂ reaktif bir molekül olmamasına rağmen, normal metabolik faaliyetler sırasında veya çeşitli stres faktörleri nedeniyle uyarılmış reaktif formları meydana gelebilir [50].

Yapılarında eşleşmemiş elektron içeren atom veya bileşikler serbest radikaller olarak tanımlanmaktadır [52]. Biyolojik serbest radikaller oldukça dayanıksız ve aynı zamanda reaktif moleküller olup, elektronları hücredeki diğer moleküllerle etkileşime girerek hasar meydana getirirler [51, 52].

Bitkilerde serbest radikaller endojen olarak kloroplastlardaki fotosentez reaksiyonlarında, plastid ve peroksizomlarda, mitokondrilerdeki sitrik asit döngüsünde NADPH oksidaz, hücre duvarı peroksidazları ve amino oksidazlar gibi enzimlerin etkisiyle oluşur [53,54] (Şekil 2.1). Biyotik ve abiyotik stres faktörleri serbest radikal kaynaklarıdır [55,56]. Bu faktörler arasında “kuraklık stresi” bitkisel üretimi sınırlandıran en önemli stres etmenidir [57, 15].

Kurak koşullarda önce toprağın, ardından bitkinin su potansiyeli azalır ve daha ileri safhalarda turgor basıncında düşme, stomalarda kapanma, yaprak büyümesinde azalma ve fotosentez oranında düşüş meydana gelir [58]. Bitkinin daha fazla su kaybetmemek için stomalarını kapatması fotosentez için gerekli CO₂ alımının kısıtlanmasına yol açar. Bu durum fotosentetik reaksiyon merkezlerindeki enerjinin aşırılığına neden olur [59]. Bitki dokularında moleküler oksijen ile rekabet eden NADP⁺’ler indirgenerek NADPH birikir. Bu koşullarda bitki dokularında NADP⁺ miktarı azalır ve O₂ alternatif elektron alıcısı olarak görev yapar [60].

Suyun kısıtlı olduğu periyotlarda, bitkide kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleri oksidatif strese neden olur [61]. Oksidatif etki serbest radikallerin, özellikle reaktif oksijen türlerinin (O₂^{·-}, [□]O₂, H₂O₂ ve OH[·]) Haber-Weiss ve Fenton adı verilen reaksiyonları ile oluşumunu içerir [62, 63]. ROT; lipid peroksidasyonu, hücre zarlarının zarar görmesi, proteinlerin ve DNA yapısının bozulması, enzimlerin etkinliğinin azalması gibi ciddi hücresel ve dokusal hasarlara yol açmaktadır [64, 65, 66]. Süperoksit ve hidrojen peroksidin OH[·] radikalini oluşturmak üzere tepkimesi sırasında artan Fe⁺³ veya Cu⁺² gibi geçiş metalleri, bu oksidatif hasarı daha da arttırabilir [67].

Bitkiler, ROT’un zararlı etkilerini antioksidan sistemleri ile detoksifiye edebilirler. Hücreleri oksidatif hasara karşı koruyan enzim yapısında olan ve enzim yapısında olmayan çok sayıda savunma mekanizmaları vardır. Enzimatik olmayanlar arasında glutatyon (GSH), askorbat (AsA), sistein, hidrokinonlar, mannitol, vitamin C ve E, flavonoidler, bazı alkoloidler ve β-karoten sayılabilir. Bitkilerdeki enzimatik antioksidanlar ise; süperoksit dismutaz (SOD: EC 1.15.1.1), katalaz (KAT: EC 1.11.1.6), askorbat peroksidaz (AP: EC 1.11.1.11), glutatyon redüktaz (GR: EC

1.6.4.2) gibi düşük molekül ağırlıklı enzimleri içermektedir [68, 69]. Bitkilerde kuraklık stresi nedeniyle artan $O_2^{\cdot-}$ ve H_2O_2 içeriğine paralel olarak lipid peroksidasyonun da arttığı belirlenmiştir [70,71]. Mısır (*Zea mays* L.) bitkisi ile yapılan çalışmalarda kuraklık stresinin SOD ve KAT enzim aktivitesinde önemli bir artışa neden olduğu rapor edilmiştir [72, 71].

Masoumi vd. [73] kuraklık stresine maruz kalan bitkilerin KAT, AP ve GR gibi enzim aktivitelerinde artış olduğunu belirlemişlerdir. Raheleh vd. [74] nohut (*C. arietinum* L.) bitkisi ile yaptıkları çalışmada kuraklık stresinin özellikle KAT enzim aktivitesinde önemli bir artışa neden olduğunu rapor etmiştir.

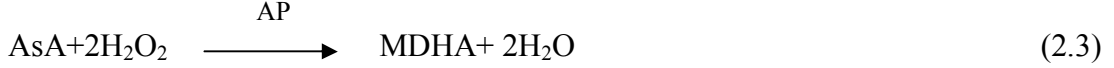
Stres sonucu bitki hücrelerinde oluşan süperoksit radikalleri SOD enziminin reaksiyonu ile H_2O_2 'ye dönüştürülür [75,76] (2.1). SOD antioksidatif stres savunma mekanizmasının anahtar enzimidir ve $O_2^{\cdot-}$ serbest radikalini O_2 ve H_2O_2 'ye dönüştürdüğünden $O_2^{\cdot-}$ ve H_2O_2 'nin hücre derişimlerini doğrudan belirler. SOD enzimi; bakır/çinko (Cu/Zn SOD), demir (Fe SOD) ve manganez (Mn SOD) içeren izoenzimler olarak metal kofaktörlerine göre sınıflandırılırlar [28].



KAT, SOD'un katalizlediği reaksiyon sonucu oluşan ve kuvvetli bir oksidant olan H_2O_2 'nin hücrede birikimini önleyen etkili bir enzimdir [75] (2.2). Katalaz enzimi H_2O_2 'yi su ve moleküler oksijene dönüştürmektedir. Bu enzimin substrata ilgisi düşük olmasına karşın yüksek katalitik aktiviteye sahiptir.

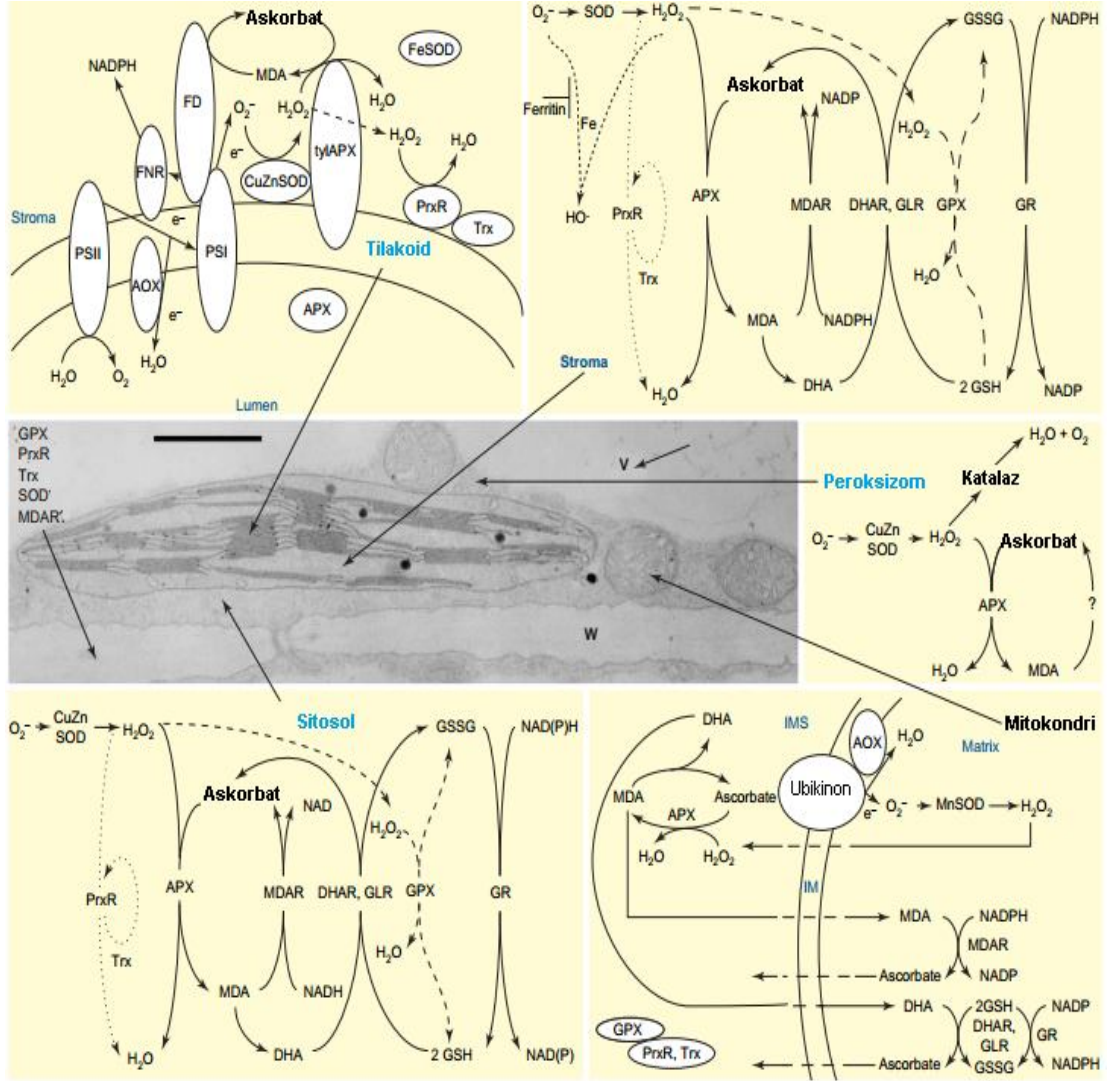


H₂O₂'nin yıkılmasında alternatif diğer bir yol ise peroksidazların aktivasyonu ile gerçekleştirilebilmekte ve H₂O₂'nin suya indirgenmesini sağlamaktadır [77]. Askorbat peroksidaz (AP), askorbat– glutatyon döngüsünde hidrojen peroksidi suya indirgemekle görevlidir. Bu sırada askorbat, monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR) tarafından monodehidroaskorbata (MDHA) okside olur (2.3).



Bununla beraber MDHA'nın iki molekülü enzimatik olmayan yol ile MDHA'ya ve dehidroaskorbata (DHA) oransız olarak dönüştürülür. DHA, dehidroaskorbat redüktaz (DHAR; EC: 1.6.5.4) ve glutatyon redüktaz (GR; EC: 1.6.4.2) tarafından askorbata (AsA) indirgenir. Bu reaksiyondan sonra ise redükte glutatyon (GSH), DHAR'nin etkisi ile okside glutatyon (GSSG) dönüşür ve GSSG, GR tarafından GSH'ye geri indirgenir [78,79] (Şekil 2.1).

Bitkilerin ROT etkilerini önleyebilmeleri oksidatif strese karşı önemli bir savunma mekanizmasıdır. Antioksidan sistemleri güçlü olan bitkilerin stres koşullarına toleransları artmaktadır [65, 80, 64]. Çevik [81] kuraklığa dayanıklı (*Cicer reticulatum* Ladiz.) nohut türünde duyarlı türe (*Cicer arietinum* L.) göre antioksidan aktivitenin daha yüksek olduğunu bildirmiştir.



Şekil 2.1. Bitki hücresinde ROT oluşum bölgeleri [50]

2.3. KURAKLIK TOLERANSINDA SİKLİTOLLERİN ROLÜ

Kuraklık sonucunda osmotik strese maruz kalan bitkiler, osmolitler olarak bilinen ve turgorun devamını sağlayan çeşitli uyumlu çözünenleri biriktirerek osmotik ayarlama yaparlar ve hücrelerin su kaybını bu yolla önlerler. [23]. Osmolitler, osmotik dengelemede suyun hücrede tutulmasını kolaylaştırırlar ve Na⁺'un apoplastta veya vakuolde birikimini sağlar. Böylece, hüresel yapılar ve makromoleküller korunmaktadır [82].

Osmotik düzenleme, hücrenin çevresindeki su potansiyelinin düşüşüne yanıt olarak, hücrede organik ve inorganik uyumlu çözünenlerin aktif birikimini içermektedir [83]. Biriken bu uyumlu bileşikler hücre içinde kararlı durumda bulunmakta, kolaylıkla metabolize edilememekte ve yüksek konsantrasyonlarda birikimleri durumunda bile hücresel fonksiyonlara karşı herhangi bir etki yapmamaktadır [84]. Osmotik düzenleme, su noksanlığına yanıtta, çözünenlerin net birikimlerine bağlı olarak, osmotik potansiyelin azalmasını ifade etmektedir. Bu durum büyüme, fotosentez ve stomaların açılması gibi fizyolojik olaylar üzerinde stresin etkilerini sınırlayan yüksek bir turgor potansiyelinin oluşmasıyla sonuçlanmaktadır [85]. Prolin, betain, dimetilsülfoniopropionat (DMSP), şeker alkoller (mannitol, sorbitol, siklitoller), trehaloz ve fruktanlar osmotik moleküllere örnektir [86].

Siklitoller osmotik strese yanıt olarak yüksek miktarda birikerek osmotik basıncın düzenlenmesinde görev alırlar [87]. Siklik şeker alkoller olan pinitol ve ononitolün tuzlu koşullara maruz kalan birçok bitki türünde biriktiği belirlenmiştir [88]. Pinitol soya fasulyesinde tüm bitki kısımlarında önemli seviyelerde bulunmaktadır. Kuraklık stresine yanıt olarak soyanın yapraklarında pinitol, prolin ve şekerlerin biriktiği; fakat pinitol miktarının prolin ve şekerlere göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir [20]. Fougere vd. [89], yonca (*Medicago sativa* L.) bitkisinde pinitol ve ononitolün önemli düzeyde biriktiğini belirlemiş ve pinitolün tuz stresine karşı toleransta katkı sağlayabileceğini ileri sürmüştür. Birçok baklagilde oluşan pinitol ve D-pinitol moleküllerinin vakuol ve sitoplazma arasında hücre içi osmotik ayarlama önemli rol oynadıkları da bildirilmiştir [90]. Ononitol bitki dokularında teşhis edilmiştir fakat pinitol üretiminde kullanıldığı için oldukça düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır [20]. Transgenik tütün bitkileri ile yapılan çalışmalarda, kuraklık ve tuza toleransta ononitol birikiminin önemli bir rolü olduğu belirtilmiştir [91].

Bu moleküllerin sadece osmotik ayarlama yapan uygun çözünenler değil, aynı zamanda zar sistemlerine zarar veren ROT'un ortadan kalkmasına etki eden bileşikler oldukları da belirlenmiştir [92,28]. Ayrıca hücreleri fotoinhibisyondan ve metabolik detoksifikasyondan koruma gibi etkileri de bulunmaktadır [22]. In

vitro’da siklitollerin tersiyer protein yapılarını korudukları ve antioksidan kapasiteyi arttırdıkları belirlenmiştir [92, 93, 22]. Tuzlu ortamlarda ROT süpürülmesinde görev olarak oksidatif stresin azaltılmasında rol oynadıkları rapor edilmiştir [94]. Ayrıca, siklitollerin antioksidan sistemin önemli elemanlarından olan SOD enzim aktivitesini arttırarak serbest radikallerin süpürülmesinde rol aldığı çalışmalarla belirlenmiştir [27].

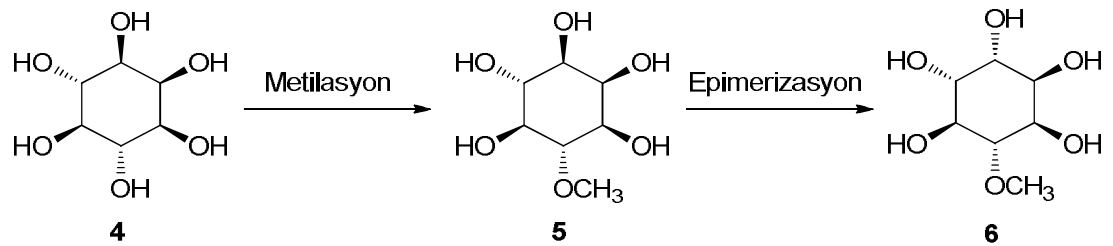
Stres sinyalinin algılanması ile ilgili moleküler olaylar toleransa neden olan genomik tepkilerdir [95]. Kuraklık stresine karşı oluşturulacak yanıtın düzenlenmesinde ilk basamak stresin algılanmasıdır. Hücreden suyun kaybı, hücrenel bir sinyal iletim yolunu tetiklemektedir. Bu durumda su kaybının hücrenel algılanmasını takiben ardından, bir sinyal mekanizması ile ilgili genler aktifleşmektedir [96]. İkinci aşamada strese karşı yanıtta rol oynayan genlerin ifadesinin ve sinyal iletiminin ileri basamaklarının düzenlenmesinde görev alan protein kinazlar, transkripsiyon faktörleri ve fosfolipaz C gibi proteinler yer almaktadır [97].

Özellikle inositol (siklitol) türevlerinin fosforillenmiş formu olan inositol fosfat (IP) molekülleri ikincil mesajcı sisteminin kaynağı olarak hücre içi sinyal iletiminde görev olarak stresin algılanmasında ve tolerans gelişiminde rol alır. Ayrıca, plazma zarının sentezinde de rolü vardır [98]. Zar fosfolipidleri strese karşı oluşturulan yanıtlar sırasında önemli yapısal rollerinin yanı sıra inositol 1,4,5-trifosfat (IP₃), diaçilgliserol gibi çok sayıda sinyal moleküllerini üreten dinamik bir sistem oluşturmaktadır. Çeşitli bitki sistemlerinde hiperosmotik strese yanıt olarak IP₃ seviyelerinin hızla arttığı gösterilmiştir [99, 100, 101]. IP₃ seviyeleri bakla (*Vicia faba* L.) bitkisinde bekçi hücrelerinin protoplastlarında [102] ve *Arabidopsis* fidelerinde [103] dışarıdan ABA uygulanması ile de artmaktadır. Bekçi hücrelerinde yerleşmiş olan IP₃, sitoplazmada Ca²⁺ artışını teşvik eder ve stomaların kapanmasını tetikler [104]. Dışsal uygulanan IP₃’ün izole vakuollerden ve tonoplast veziküllerinden Ca²⁺’yı serbest bıraktığı rapor edilmiştir [105]. Sitoplazmik Ca²⁺ konsantrasyonundaki artış osmotik stresle uyarılan genlerin ifadelerini tetikleyebilir [106].

Bir siklitol türevi olan myo-inositol; sinyal iletimi, stres yanıtı oluşumu, hücre duvarı oluşumu, doku gelişiminin düzenlenmesi, osmotik ayarlama, hücre zarı taşıma mekanizması gibi önemli biyolojik olaylarda görev alır ve çeşitli hücresel yapılarda bulunur [107]. Myo-inositol; fosforilasyon üzerine etkisi olan çeşitli türevleri bulunan çok yönlü bir bileşiktir. Fosfatidilinositol formu; zar lipid molekülleri yapısında ve sinyal oluşumunda görev yapan myo-inositol türevi bir gruptur. Stres altında hem anahtar metabolitler hemde sinyal molekülleri olarak çift fonksiyona sahip olmaları bu bileşiklerin önemini arttırmaktadır [108]. Bitkilerde bu moleküller; büyümeye adaptasyonun ve stres yanıtlarının düzenlenmesine paralel fonksiyon göstererek, kinazlar ve fosfatazlar ile birlikte iş görür [109]. Yapılan çalışmalarda, aynı zamanda fosfatidilinositollerin; kromatin yapısının oluşumunda anahtar rolü bulunan moleküller ile etkileşiminden dolayı nüklear fonksiyonlarda önemli rolleri olduğunu belirtmiştir [110].

Myo-inositol o-metil transferaz (IMT), siklitol biyosentez yolunda görev alan önemli bir enzimdir. *Mesembryanthemum crystallinum* L. bitkisinde tuzlu koşullara yanıt olarak IMT gen transkripsiyonunun artış gösterdiği belirlenmiştir [21]. Bundan dolayı siklitollerin CAM (*Crassulacean* Asit Metabolizması) bitkilerinde tuzluluk ve diğer abiyotik streslere karşı oksidatif hasarı azaltmada rol aldığı bildirilmiştir [27].

Yapılan çalışmalarda hücre içerisinde metilasyon ve epimerizasyon basamakları ile siklitol moleküllerinden başka siklitol türevlerinin sentezlendiği ve yapraklardan köklere taşındıkları belirlenmiştir [111]. ¹⁴C-myoinositol ile etiketleme çalışmalarında pinitolün myo-inositol ile başlayan iki reaksiyonda sentezlendiği gösterilmiştir [112] (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Myo-inositolden (4); ononitol (5) ve pinitol (6) sentezlenme reaksiyonları

Ispanak (*Spinacia oleracea* L.) ve nohut tilakoidleri ile yapılan çalışmada soğuk stresine karşı siklitollerin koruma sağladığı belirlenmiştir [26]. Legümen ve halofitlerin yapraklarında; tuz ve kuraklık stresi altında yüksek miktarda pinitol birikimi meydana geldiği gözlenmiştir [21,22]. *M. crystallinum* bitkisi ile yapılan bir araştırmada; vakuoler Na⁺ konsantrasyonu ile sitoplazmada yüksek miktarda pinitol birikiminin paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Bundan dolayı, pinitolün osmotik düzenlemede rolü olabileceği belirlenmiştir [113,114]. Pinitol molekülünün α -galaktozit formu olan Ciceritol ilk olarak nohut bitkisinde belirlendiği için bu ismi almıştır ve baklagillerde yüksek oranda bulunduğu bildirilmiştir [115]. Özellikle kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde galaktozil formunda siklitollerin yüksek oranda biriktiği rapor edilmiştir [116].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. BİTKİ YETİŞTİRME KOŞULLARI

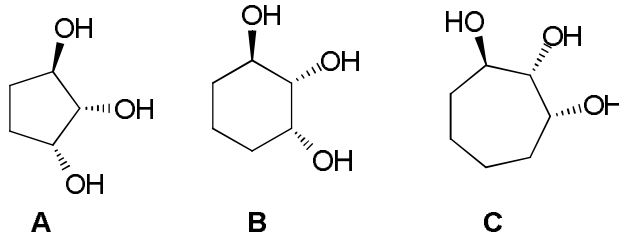
Çalışmamızda, Ankara Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü'nden alınan kuraklığa duyarlı *Cicer arietinum* Küsmen 99 ve Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nden alınan kuraklığa dayanıklı yabani nohut türü *Cicer reticulatum* AWC 611 'e ait tohumlar kullanılmıştır. Ayrıca Atatürk Üniversitesi, Kimya Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Mehmet Serdar Gültekin tarafından üç farklı siklitol türevi sentezlenmiştir (Şekil 3.1). Sentezlenen siklitol türevleri 10 µM, 20 µM ve 30 µM olmak üzere üç farklı konsantrasyonda kullanılmıştır.

Çalışmamızda kullanılan siklitol türevleri;

A: *dl*-siklopentan- 1,2,3-triol

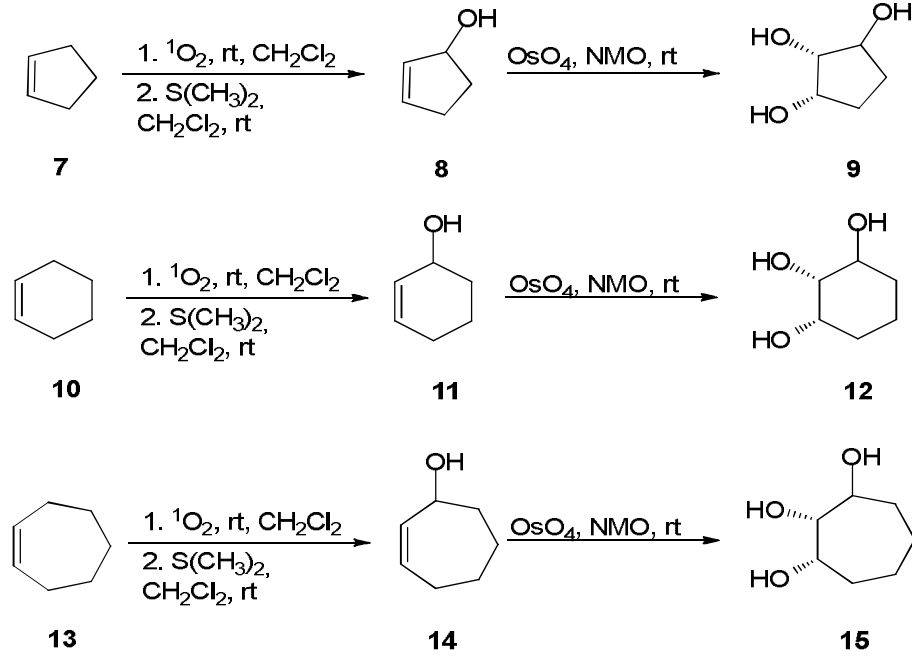
B: *dl*-sikloheksan- 1,2,3-triol

C: *dl*-sikloheptan- 1,2,3-triol



Şekil 3.1. Sentetik olarak sentezlenen siklitol türevlerinin yapısal formülleri; *dl*-siklopentan-1,2,3-triol (A), *dl*-sikloheksan- 1,2,3-triol (B), *dl*-sikloheptan- 1,2,3-triol (C)

Çalışmamızda kullandığımız siklitollerin sentezinde öncelikle ilgili alken'in fotooksjenasyon reaksiyonu yapılarak hidroperoksit elde edilmiştir. Oluşan hidroperoksitin indirgenmesi sonucu alkol sentezlenmiştir. Daha sonra alkoldeki çift bağın OsO₄ ile oksidasyonu sonucu trioller elde edilmiştir [19] (Şekil 3.2).



- Siklopentan-1,2,3-triol (9)
- Sikloheksan-1,2,3-triol (12)
- Sikloheptan-1,2,3-triol (15)

Şekil 3.2. Alkenlerden 1,2/3-triol moleküllerinin sentezlenmesi

C. arietinum Küsmen 99 (kuraklığa duyarlı) ve yabani akrabası *C. reticulatum* AWC 611 (kuraklığa dayanıklı) türlerine ait tohumlar çimlendirildikten sonra içinde 2000 g toprak/torf/gübre (2/1/1 oranında) içeren saksılara aktarılmıştır. Bitkiler iklim odasında ve kontrollü şartlar altında; 16/8 gün/gece ışık periyodu, $26 \pm 2^\circ\text{C}$ gün ve $18 \pm 2^\circ\text{C}$ gece sıcaklığında, $480 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti, $\% 65 \pm 5$ bağıl nem ortamında yetiştirildi. Fideler belirli bir büyüklüğe geldikten sonra (yaklaşık 35 gün) saksıların yarısı kuraklık stresine maruz bırakıldı. Kuraklık stresinin başlamasıyla birlikte 3 gün süre ile her gün aynı saatte yapraklara distile su içerisinde hazırlanmış olan 10 μM , 20 μM ve 30 μM konsantrasyonlarda *dl*-siklopentan-1,2,3-triol, *dl*-sikloheksan-1,2,3-triol, *dl*-sikloheptan-1,2,3-triol püskürtüldü. Siklitol uygulanmayan bitkilere ise distile su püskürtüldü.

Kuraklık stresinin başlatılmasından itibaren 1. ve 7. günlerde bitkiler hasat edildiği zaman bekletilmeden kök/gövde uzunlukları ve yaprak su potansiyeli ölçümleri yapıldı. Bitkilerin yaprak ve kökleri analizlerde kullanılmak üzere sıvı

azotta dondurulduktan sonra -70 °C’de saklandı. Çalışmada kullanılan *dl*-siklopentan-1,2,3-triol, *dl*-sikloheksan-1,2,3-triol, *dl*-sikloheptan-1,2,3-triol sırasıyla; A, B ve C harfleri ile gösterilmektedir (Çizelge 3.1). Ayrıca 10 µM, 20 µM ve 30 µM olmak üzere üç farklı konsantrasyonda kullanılan siklitol türevleri, A10, A20, A30; B10, B20, B30; C10, C20, C30 kısaltmaları ile ifade edilmektedir.

Çizelge 3.1. *C. arietinum* ve *C. reticulatum*’un yapraklarına siklitol türevlerinin uygulaması için oluşturulan deneme deseni

Uygulama grubu	A (µM)				B (µM)				C (µM)			
	<i>dl</i> -siklopentan-1,2,3-triol				<i>dl</i> -sikloheksan-1,2,3-triol				<i>dl</i> -sikloheptan-1,2,3-triol			
Kontrol	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
Kurak	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30

3.2. YAPRAK SU POTANSİYELİ (YSP, Ψ_{Yaprak})’NİN ÖLÇÜLMESİ

Zamana bağlı olarak hasat edilen taze bitki örneklerinin Yaprak Su Potansiyeli (YSP, Ψ_Y) Pressure Chamber (Model 1000, PMS) cihazı ile ölçüldü. Bitki örnekleri, sap kısmı dışarıda kalacak şekilde basınç hücresine yerleştirildi. Hücre içerisindeki basınç azot gazı kullanılarak yükseltildi, hücre kapağı dışında kalan ve büyüteçle bakılan bitki sapında, ilk su görüldüğünde basınç yükseltilmesine son verilerek o andaki basınç manometre aracılığıyla okundu. YSP, MPa cinsinden ölçülerek Ψ_Y ile ifade edildi [117].

3.3. ÇÖZÜNÜR PROTEİN MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ

Çözünür protein miktarı, Lowry metodu ile ölçüldü [118]. 1 g taze yaprak/kök dokusu 5 mL fosfat tamponu ile homojenize edildi. Saf ekstrakt 4 °C’de, 5 dk, 16 000 g’de santrifüj edildi ve süpernatant ölçümler için kullanıldı. 1 mL örnek

50°C’de su banyosuna alındı ve 10 dk. bekletildi. Üzerine 0,9 mL A solüsyonu (100 mL distile suda 0,2 g sodyum-potasyum tartarat ile 10 g NaCO₃ çözülmüştür) eklendi ve 50°C’de su banyosunda 10 dk bekletildi. Bu sürenin sonunda tüpler su banyosundan çıkarıldı ve oda sıcaklığına kadar karanlıkta soğutuldu. Üzerine 0,1 mL B Solüsyonu (100 mL distile suda 0,2 g sodyum-potasyum tartarat ile 1 g CuSO₄.5H₂O çözülmüştür) eklendi ve karıştırıldı. Daha sonra 10 dk oda sıcaklığında bekletildi. Üzerine 3 mL C Solüsyonu (Folin-Ciocolteu’nun 1 mL’si 15 mL distile su ile seyreltilmiştir) eklenip karıştırıldı ve 50°C’de su banyosunda 10 dk inkübe edildi. Tüpler su banyosundan çıkarılıp oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Ultra saf su ile hazırlanmış köre karşı spektrofotometrik olarak 650 nm’de spektrofotometrede ölçüm yapıldı. Örneklerdeki protein miktarları Bovine Serum Albumine (BSA) ile hazırlanmış standart eğriden hesaplandı.

3.4. ANTİOKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNİN ÖLÇÜMÜ

3.4.1. Süperoksit Dismutaz (SOD, EC.1.15.1.1) Aktivite Tayini

SOD aktivitesi Beyler ve Fridovich [119]’e göre yapıldı. Bunun için 1 g yaprak/kök dokusu 5 mL fosfat tamponu ile homojenize edildi. Tampon 0,1 mM EDTA ve 100 mg PVP içermektedir. Saf ekstrakt +4°C’de, 5 dk, 16 000 g’de santrifüj edildi ve süpernatant ölçümler için kullanıldı. 2,4 mL fosfat tamponu, 1 mL sodyum karbonat, 200 µL L-Methionin, 200 µL nitro blue tetrazolium (NBT), 150 µL enzim ve 150 µL ribofilavin eklenerek reaksiyon başlatıldı. Örnekler 10 dk süreyle 25 °C ışık altında tutuldu. Spesifik enzim aktivitesi U/mg⁻¹ protein olarak belirlendi. Bir birim SOD aktivitesi 560 nm’de spektrofotometrede ölçülen NBT redüksiyon hızının % 50 inhibisyonuna neden olan enzim miktarı olarak belirlendi. Bir birim (Unit), 25 °C’de 1 dk 1 µmol substratı ürüne dönüştüren enzim (SOD) miktarını göstermektedir.

3.4.2. Katalaz (KAT, EC.1.11.1.6.) Aktivite Tayini

Katalaz aktivitesi, Aebi vd. [120]'ne göre yapıldı. 1 g yaprak/kök dokusu 5 mL potasyum fosfat tamponu (pH:7 ve 0,1 mM EDTA) ile 100 mg PVP eklenerek homojenize edildi. Reaksiyon 2.8 mL potasyum fosfat tamponu (pH:7 EDTA içermez), 80 µL H₂O₂ (0.5M) ve 120 µL enzim ekstraktının karıştırılması ile başlatıldı. Katalaz aktivitesi 240 nm'de 30 sn içindeki absorbansın azalması ile tespit edildi ve sonuçlar H₂O₂ dk⁻¹mg⁻¹ protein olarak hesaplandı.

3.4.3. Askorbat Peroksidaz (AP, EC.1.11.1.11) Aktivite Tayini

AP aktivitesi Bonnet vd. [121]'ne göre yapıldı. 150 mg yaprak/kök dokusunun 200 mM (pH:7.8) HEPES, 2 mM EDTA, 5mM MgCl₂, ve 4 mM sodyum askorbat içeren 1,5 mL ekstraksiyon ortamında homojenize edildi. Saf ekstrakt 4 °C'de, 5 dk, 16 000 g'de santrifüj edildi ve süpernatant ölçümler için kullanıldı. Reaksiyon karışımı 50 mM NaH₂PO₄ (pH:7), 500 µM askorbat, 1 mM H₂O₂ ve ekstrakt içermektedir. 290 nm'de absorbanstaki azalmaya bağlı olarak okside olan askorbat ölçüldü. AP spesifik aktivitesi (nmol.dk⁻¹ mg⁻¹ protein) 290 nm'de askorbat için 2.8 µM⁻¹cm⁻¹ tükenme katsayısı kullanılarak hesaplandı.

3.4.4. Glutasyon Redüktaz (GR,EC.1.6.4.2.) Aktivite Tayini

GR aktivitesi Calberg ve Mannervik [122]'e göre yapıldı. 1g yaprak/kök dokusu 5 mL potasyum fosfat tamponu (pH:7 ve 0,1 mM EDTA) ve 100 mg PVP eklenerek homojenize edildi. Saf ekstrakt 4 °C'de, 5 dk, 16 000 g'de santrifüj edildi ve süpernatant ölçümler için kullanıldı. 3 mL'lik UV küvet içerisinde 1.5 mL fosfat tamponu, 150 µM NADPH₂, 150 µL okside glutasyon (GSSG), 1 mL H₂O ve 200 µL ekstraktın eklenmesiyle reaksiyona başlatıldı. 1 dk süreyle 340 nm'de absorbanstaki azalma ölçüldü. Sonuçlar 1 dakikada oksitlenen NADPH₂'nin µmol dk⁻¹mg⁻¹ protein değeri olarak hesaplandı.

3.5. HİDROJEN PEROKSİT (H₂O₂) SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

Hidrojen peroksit seviyesi Velikova vd. [70]'nın kullandığı metod modifiye edilerek ekstraksiyon yapıldı. Yaprak (500 mg) ve kök dokuları (500 mg), 5 ml, % 2 (v:v) TCA ile buz banyosunda homojenize edildi. Homojenat 12000 g'de 15 dakika santrifüj edildi ve süpernatant H₂O₂ analizi için kullanıldı. H₂O₂, asidik şartlarda hidrojen peroksit tarafından demir iyonlarının (Fe²⁺) ferrik iyonlarına (Fe³⁺) oksidasyonuna dayanan Bioxytech H₂O₂-560 test kiti (OXIS International, Inc., USA) ile ölçüldü. H₂O₂ içeriği standart eğriden hesaplandı.

3.6. MALONDİALDEHİT (MDA) İÇERİĞİ ÖLÇÜMÜ

Lipid peroksidasyonu Ohkawa vd. [123]'na göre, malondialdehit (MDA) içeriğinin ölçülmesi ile belirlendi. 0,2 g taze yaprak dokusu 1 mL (%5) trikloroasetik asit (TCA) solüsyonunda homojenize edildi. Homojenat 16 000 g' de 15 dakika oda sıcaklığında santrifüj edildi. Süpernatant, %0,5 thiobarbiturik asit (TBA) ve %20 TCA solüsyonlarından eşit hacimler alınarak tüplere aktarıldı. Tüpler 96°C 'de 25 dakika inkübe edildi. İnkübasyondan sonra tüpler buz banyosuna aktarılıp 12 000 g'de, 5 dk, santrifüj edildi. Süpernatantın absorbansı 532 nm'de ve 600 nm'de spektrofotometrede ölçüldü. %20 TCA solüsyonu içinde %0,5 TBA kör olarak kullanıldı. MDA içeriği, 155 mM⁻¹cm⁻¹ tükenme katsayısı kullanılarak hesaplandı.

3.7. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME

Günlerin karşılaştırılmasında tekrarlanan ölçümlü varyans analizi uygulandı. Tür, uygulama ve zaman etkileşimleri anlamlı olduğu için ileri analizler ile 1. gün ve 7. gün ölçümleri arasındaki farklar alınarak türler ve uygulamalar karşılaştırıldı. Türler arasındaki farklılık karşılaştırılırken Bağımsız Örnekler t-Test, uygulamalar arasındaki farklılık karşılaştırılırken Anova testi kullanıldı. Ayrıca Bonferroni uygulandı.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. BULGULAR

4.1.1. Gövde ve Kök Büyümesi

4.1.1.1. *C. arietinum*'un gövde ve kök büyümesi

Kuraklık stresine maruz kalan *C. arietinum*'da gövde ve kök uzunluğu değerleri bakımından günler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Kontrol bitkilerde ise gövde ve kök uzunluk değerleri bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Siklitol uygulamaları bakımından gövde uzunlukları arasında istatistiksel olarak bir fark bulunurken ($p<0,001$), kök uzunlukları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark belirlenmemiştir.

A ve C uygulanan bitkilerde uygulamanın 1. gününde gövde uzaması kontrole göre artış gösterirken, 7. günde kontrole yakın değerlerde kalmıştır (Çizelge 4.1). B10 uygulamasında gövde uzunluğu kontrole göre önemli oranda artış göstermiştir. Kuraklık stresinin birinci gününde gövde uzunluğu kontrole göre artmıştır. Buna karşılık, 7. günde gövde uzunluğu kontrol bitkilere göre belirgin bir şekilde azalmıştır. Siklitol uygulanan bitkilerde kuraklık stresinin 1. ve 7. günleri gövde uzunluklarında önemli değişiklikler gözlenmemiştir. Kuraklığın 7. günü en yüksek gövde uzunluğu A20 uygulanan bitkilerde, en düşük gövde uzunluğu ise C30 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.

B ve C siklitol uygulanan bitkilerde uygulamanın 1. günü kök uzunlukları önemli oranda azalmıştır. Bununla birlikte uygulamanın 7. günü kök uzunluklarında belirgin değişiklikler gözlenmemiştir. Kuraklık stresi kök uzunluğunun kontrol bitkilere göre önemli oranda artmasına neden olmuştur. Kuraklığa maruz kalan ve siklitol uygulanan bitkilerde kurak kontrol bitkilere göre önemli olmayan artış ve azalmalar belirlenmiştir. En yüksek kök uzunluğu B30 uygulanan bitkilerde, en düşük kök uzunluğu ise B20 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.

4.1.1.2. *C. reticulatum*'un gövde ve kök büyümesi

Kontrol bitkilerde gövde ve kök uzunluğu değerleri bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde gövde ve kök uzunluğu değerleri bakımından günler arasındaki farklar ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Siklitol uygulanan bitkilerde uygulamanın 1. günü gövde büyümesi kontrole göre belirgin bir şekilde artmıştır (Çizelge 4.1). En yüksek gövde uzunluğu A10 uygulanan bitkilerde, en düşük gövde uzunluğu C10 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Uygulamanın 7. gününde gövde uzunluklarında önemli değişiklikler olmamıştır. En yüksek gövde uzunluğu A20'de, en düşük gövde uzunluğu C30'da elde edilmiştir. Kuraklık stresinin 1. gününde gövde uzunluğunu kontrole göre artarken, 7. günde gövde uzunluğu azalmıştır. Kuraklığa maruz kalan ve siklitol uygulanan bitkilerde gövde uzunluğunda kurak kontrole göre önemli olmayan artış ve azalmalar gözlenmiştir. Kurak kontrole göre en yüksek gövde uzunluğu A30 ve B10 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.

Siklitol uygulamasının 1. günü A30 uygulanan bitkilerin kök uzunlukları kontrole göre önemli bir artış göstermiştir. Diğer uygulamalarda küçük artış ve azalmalar belirlenmiştir. Uygulamanın 7. günü kök uzunluklarında önemli değişiklikler gerçekleşmemiştir. Kontrole göre en yüksek kök uzunluğu A10 ve B30 uygulanan bitkilerde gözlenirken, en düşük kök uzunluğu A20 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Siklitol uygulamaları kuraklık stresinin ilk günü kök uzunluğunu kontrole göre az da olsa arttırmıştır. En yüksek kök uzunluğu B10 uygulanan bitkilerde, en düşük kök uzunluğu ise C10 ve C20 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Kuraklığın 7. gününde ise kök uzunluğu kontrole göre az da olsa artış göstermiştir. C20 uygulanan bitkilerde kök uzunluğu kurak kontrole göre önemli oranda artış gösterirken, diğer uygulama gruplarında dikkate değer artışlar belirlenmemiştir.

Çizelge 4.1. İyi sulanan veya kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* ve *C. reticulatum*'un gövde ve kök büyümesi üzerine sentetik siklitollerin etkisi (n:5). A10, A20, A30 uygulamaları sırasıyla 10 µM, 20 µM, 30 µM *dl*-siklopentan- 1,2,3 triol; B10, B20, B30 uygulamaları sırasıyla 10 µM, 20 µM, 30 µM *dl*-sikloheksan- 1,2,3 triol; C10, C20, C30 uygulamaları sırasıyla 10 µM, 20 µM, 30 µM *dl*-sikloheptan- 1,2,3 triol sentetik siklitol türevlerini ifade etmektedir.

Uygulamalar	<i>C. arietinum</i>								<i>C. reticulatum</i>							
	Gövde Uzunluğu (cm)				Kök Uzunluğu (cm)				Gövde Uzunluğu (cm)				Kök Uzunluğu (cm)			
	İyi Sulanan		Kurak		İyi Sulanan		Kurak		İyi Sulanan		Kurak		İyi Sulanan		Kurak	
	1.gün	7.gün	1.gün	7.gün	1.gün	7.gün	1.gün	7.gün	1.gün	7.gün	1.gün	7.gün	1.gün	7.gün	1.gün	7.gün
0	33,0±1,0	42,2±4,6	36,7±3,2	32,3±5,8	14,8±2,8	9,5±1,3	21,0±1,7	25,2±4,5	39,0±2,2	49,7±2,9	42,7±1,2	35,3±9,8	9,3±0,6	14,0±5,2	11,3±3,1	12,3±5,8
A10	41,3±7,2	40,3±4,5	36,0±1,7	33,3±1,0	13,7±2,0	12,0±0,5	24,0±1,7	19,8±2,8	53,0±4,4	50,5±0,9	43,2±1,3	39,7±7,1	12,0±2,2	18,0±5,1	11,2±2,9	12,8±2,9
A20	45,7±4,0	47,0±1,0	34,0±1,7	40,7±0,6	10,2±0,8	8,7±3,4	19,0±1,1	24,0±7,8	50,0±0,1	51,8±2,8	35,7±1,5	42,7±0,6	11,7±2,5	11,8±2,7	15,0±2,3	8,7±3,1
A30	42,0±2,0	44,0±4,4	36,0±2,0	34,0±2,6	11,3±0,6	8,7±2,1	19,0±0,1	21,0±2,6	47,7±4,1	49,2±2,4	42,3±5,5	45,3±2,5	15,3±1,5	14,3±1,6	14,0±2,6	14,7±0,6
B10	40,0±1,0	51,7±6,4	33,0±1,7	32,2±3,9	9,2±0,3	10,3±2,5	22,0±5,0	24,0±5,3	50,0±1,1	49,5±2,5	44,7±2,1	45,3±2,1	14,0±3,6	16,5±5,7	19,3±3,5	12,7±2,5
B20	39,5±0,9	45,0±1,8	33,0±2,0	39,3±2,8	10,0±2,0	9,3±1,2	19,0±1,7	16,5±1,8	47,0±1,0	50,2±1,6	32,7±9,6	44,5±0,6	11,3±1,2	13,8±1,9	13,3±4,9	10,7±2,0
B30	33,7±2,9	49,2±2,4	32,8±2,4	36,7±7,1	7,3±1,5	14,7±4,6	19,0±3,6	27,3±9,4	48,0±2,3	47,2±1,3	39,0±1,4	43,5±1,3	13,3±3,1	18,0±1,8	15,3±1,5	13,2±6,4
C10	41,7±2,5	42,8±4,4	29,3±2,5	38,0±0,5	9,8±1,3	12,5±0,9	17,0±3,6	21,7±2,3	43,3±5,2	50,5±1,3	44,3±2,9	35,2±1,5	8,7±0,6	13,7±2,5	10,7±0,6	14,5±3,9
C20	45,2±0,8	46,3±2,9	31,8±2,0	36,3±1,1	12,2±1,3	12,3±0,6	22,0±1,0	25,7±3,2	49,0±4,1	47,2±9,8	40,3±5,5	42,0±7,9	12,7±1,2	13,5±5,1	10,7±3,1	24,3±7,7
C30	40,5±0,5	42,0±2,0	41,5±3,5	27,5±1,7	11,7±0,6	10,7±3,2	21,0±3,6	19,3±4,2	46,3±1,5	44,5±1,8	38,0±8,7	35,7±1,7	10,3±1,5	13,7±1,5	13,0±6,1	15,8±3,8

4.1.2. Yaprak Su Potansiyeli (YSP, Ψ_Y)

4.1.2.1. *C. arietinum*'un yaprak su potansiyeli (YSP, Ψ_Y)

Kontrol bitkilerde YSP değerleri bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Kuraklık stresine maruz kalan ve siklitol uygulanan bitkilerde YSP değerleri bakımından günler arasında ve uygulama grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaktadır ($p<0,001$).

Siklitol uygulanan bitkilerde uygulamanın 1. günü YSP kontrole göre önemli değişiklikler göstermemiştir (Çizelge 4.2). Uygulamanın 7. günü A20 ve B30 uygulanan bitkilerde YSP değerinde önemli değişiklikler gözlenmezken, diğer uygulama gruplarında YSP kontrole göre önemli oranda azalmıştır. En düşük YSP B10 ve C10 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.

Kuraklık stresinin 1.günü YSP kontrole göre azda olsa artış göstermiştir. Siklitol uygulanan bitkilerde kuraklık stresinin 1. günü YSP kurak kontrole göre belirgin bir şekilde azalmıştır. En düşük YSP A10 uygulanan bitkilerde, en yüksek YSP ise A20 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Kuraklık stresinin 7. gününde YSP kurak kontrole göre belirgin bir şekilde azalmıştır. En önemli azalma A30 ve B10 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. İyi sulanan veya kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* ve *C. reticulatum*'da Yaprak Su Potansiyeli (Ψ_Y) üzerine siklitol uygulamalarının etkisi (n:5). A10, A20, A30 uygulamaları sırasıyla 10 μ M, 20 μ M, 30 μ M *dl*-siklopentan- 1,2,3 triol; B10, B20, B30 uygulamaları sırasıyla 10 μ M, 20 μ M, 30 μ M *dl*-sikloheksan- 1,2,3 triol; C10, C20, C30 uygulamaları sırasıyla 10 μ M, 20 μ M, 30 μ M *dl*-sikloheptan- 1,2,3 triol sentetik siklitol türevlerini ifade etmektedir.

Uygulamalar	<i>C. arietinum</i>				<i>C. reticulatum</i>			
	Yaprak su potansiyeli (Ψ_Y)				Yaprak su potansiyeli (Ψ_Y)			
	İyi Sulanan		Kurak		İyi Sulanan		Kurak	
	1.gün	7.gün	1.gün	7.gün	1.gün	7.gün	1.gün	7.gün
0	-0,87±0,08	-0,97±0,03	-0,75±0,05	-1,45±0,05	-0,87±0,03	-0,73±0,03	-1,25±0,05	-1,53±0,08
A10	-0,85±0,05	-1,20±0,02	-1,75±0,05	-1,40±0,10	-1,00±0,01	-0,92±0,03	-1,20±0,01	-1,63±0,08
A20	-0,77±0,08	-0,92±0,03	-1,25±0,05	-1,10±0,10	-1,10±0,02	-1,08±0,03	-0,98±0,03	-1,55±0,05
A30	-0,90±0,01	-1,20±0,05	-1,65±0,05	-2,20±0,10	-0,92±0,08	-1,00±0,01	-1,28±0,03	-1,78±0,08
B10	-0,82±0,03	-1,30±0,01	-1,65±0,15	-2,30±0,20	-1,05±0,13	-1,10±0,01	-1,13±0,03	-1,80±0,10
B20	-0,80±0,01	-1,22±0,18	-1,45±0,15	-1,70±0,10	-1,00±0,09	-0,95±0,02	-1,10±0,17	-1,75±0,01
B30	-0,97±0,08	-1,10±0,05	-1,45±0,25	-1,85±0,35	-0,97±0,08	-1,02±0,03	-1,05±0,01	-1,88±0,13
C10	-0,95±0,05	-1,30±0,02	-1,30±0,01	-1,15±0,15	-1,00±0,05	-0,95±0,05	-1,03±0,03	-1,95±0,05
C20	-0,97±0,03	-1,27±0,03	-1,70±0,10	-1,40±0,10	-1,00±0,05	-0,98±0,03	-1,10±0,01	-1,93±0,23
C30	-0,92±0,03	-1,22±0,16	-1,55±0,05	-1,45±0,25	-0,92±0,03	-0,90±0,01	-0,95±0,05	-1,95±0,05

4.1.2.2. *C. reticulatum*'un yaprak su potansiyeli (YSP, Ψ_Y)

Kontrol ve kuraklığa maruz kalan bitkiler YSP değerleri bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Kurak stresine maruz kalan veya kontrol grubu bitkilerde siklitol uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaktadır ($p<0,001$).

Siklitol uygulanan bitkilerde uygulamanın 1. günü A20 ve B10 uygulanan bitkilerde YSP önemli oranda azalırken, diğer uygulamalarda belirgin değişiklikler olmamıştır (4.2). Uygulamanın 7. günü bütün uygulama gruplarında YSP kontrole göre önemli oranda azalmıştır. En düşük YSP A20 uygulanan bitkilerde, en yüksek YSP ise C30 uygulanan bitkilerde elde edilmiştir.

Kuraklık stresi YSP'ni kontrol bitkilere göre belirgin bir şekilde azaltmıştır. Kuraklığın 1. günü siklitol uygulanan bitkilerde YSP kurak kontrole göre artış göstermiş (A30 hariç) ve en yüksek YSP değeri C30 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Kuraklığın 7. gününde YSP kontrolün yaklaşık iki katı azalmıştır. Kuraklığın 7. gününde B ve C siklitol uygulamalarında YSP önemli oranda azalmış ve en düşük YSP C siklitol uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.

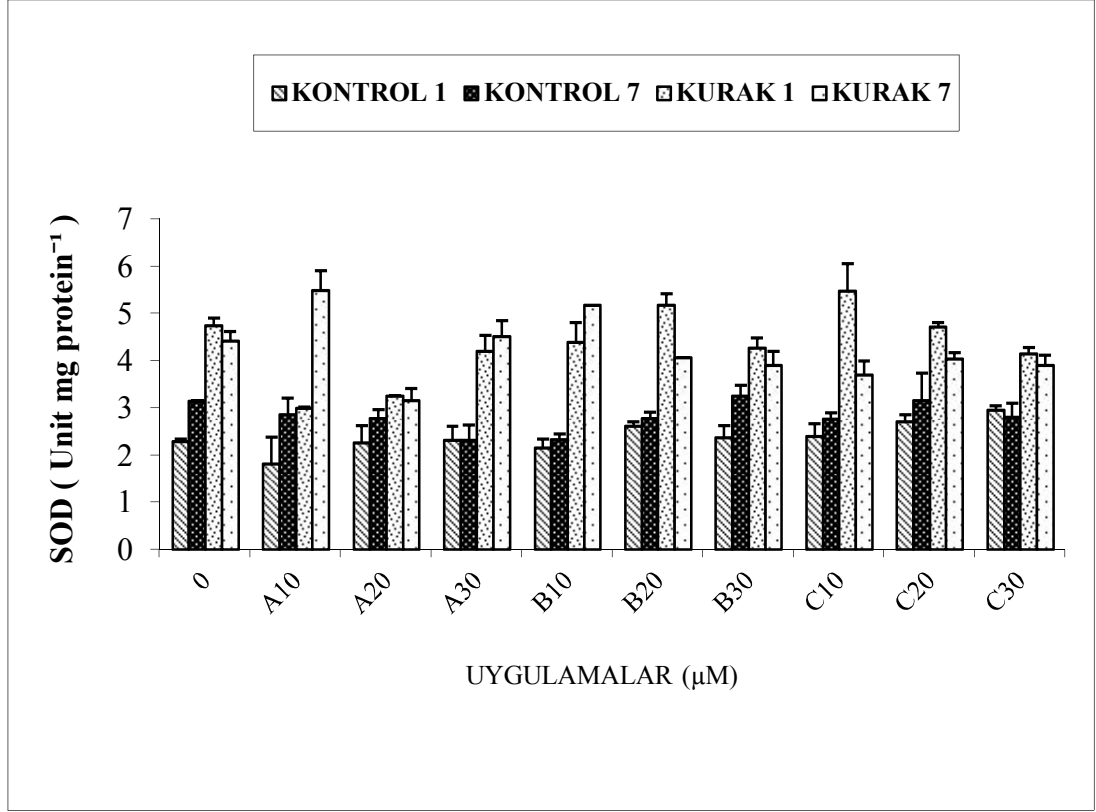
4.1.3. *C. arietinum*'un Yaprak Dokularında Antioksidan Enzim Aktiviteleri

4.1.3.1. SOD aktivitesi

Kontrol veya kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde SOD aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$).

Siklitol uygulanan bitkilerde SOD aktivitesinin genel olarak kontrol değerlerine yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1). Kuraklık stresi SOD aktivitesinde kontrole göre belirgin bir artışa neden olmuştur. Kuraklığın 7. gününde A10 uygulanan bitkilerde iyi sulanmış kontrol bitkilere ve kurak kontrole göre SOD aktivitesinde belirgin bir şekilde artarken, diğer uygulamalarda önemli artış ve

azalma (A20 hariç) belirlenmemiştir. Bununla birlikte A20 uygulanan bitkilerde enzim aktivitesi hem kuraklığın 1. günü hem de 7. günü kurak kontrollere göre önemli bir azalma göstermiştir.

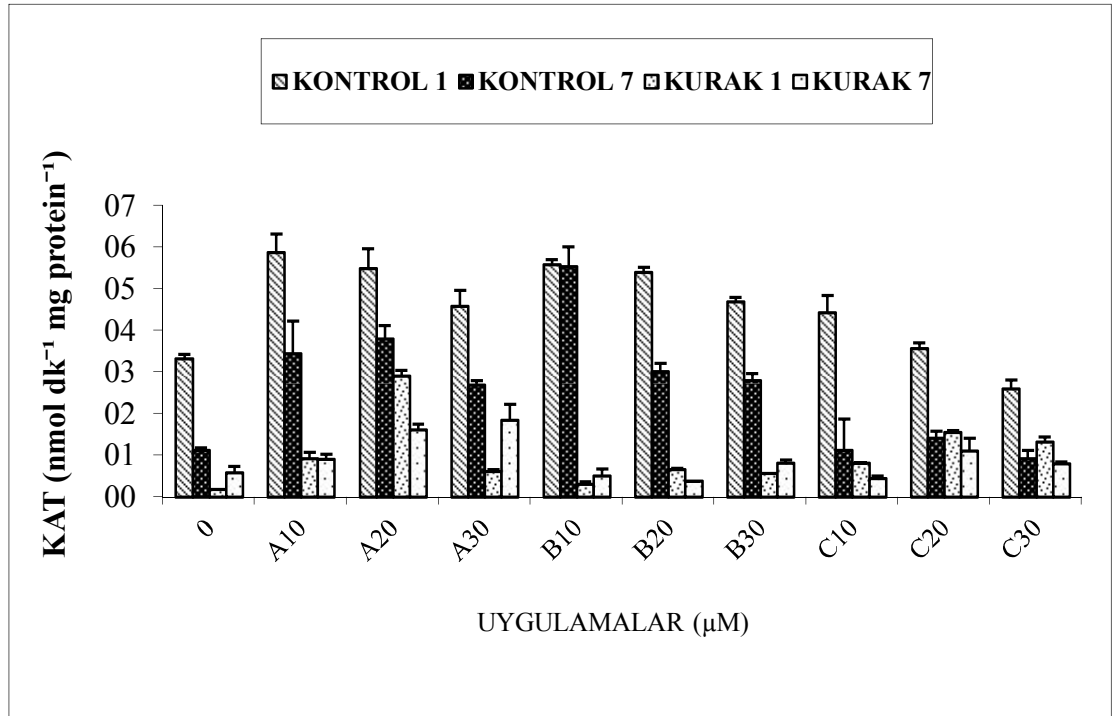


Şekil 4.1. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* yapraklarında spesifik SOD aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi (n:5). A10, A20, A30 uygulamaları sırasıyla 10 μM, 20 μM, 30 μM dl-siklopentan-1,2,3 triol; B10, B20, B30 uygulamaları sırasıyla 10 μM, 20 μM, 30 μM dl-sikloheksan-1,2,3 triol; C10, C20, C30 uygulamaları sırasıyla 10 μM, 20 μM, 30 μM dl-sikloheptan-1,2,3 triol

4.1.3.2. KAT aktivitesi

Kontrol bitkilerde KAT aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0,001$).

Kuraklığa maruz kalan bitkilerin yapraklarındaki KAT aktivitesi kontrol bitkilere göre belirgin bir azalma göstermiştir (Şekil 4.2). Siklitol uygulanan bitkilerde uygulamanın birinci gününde KAT aktivitesi artmıştır. En yüksek KAT aktivitesi A10 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Siklitol uygulamalarının 7. gününde ise A ve B siklitolleri uygulanan bitkilerde KAT aktivitesi kontrole göre belirgin bir şekilde artmıştır. En yüksek enzim aktivitesi B10 uygulanan bitkilerde elde edilmiştir. Kuraklık stresi sırasında KAT aktivitesi kontrol bitkilerine göre yaklaşık 5 kat azalmıştır. Kuraklığın 1. gününde siklitol uygulanan bitkilerde (B10 hariç) KAT aktivitesi önemli oranda artmıştır. En yüksek artış A20 uygulanan bitkilerde gözlenmiştir. Kuraklığın 7. gününde ise A20 ve A30 uygulanan bitkilerde enzim aktivitesi kurak kontrole göre belirgin bir şekilde artarken, diğer uygulamalarda küçük artış ve azalmalar gözlenmiştir.

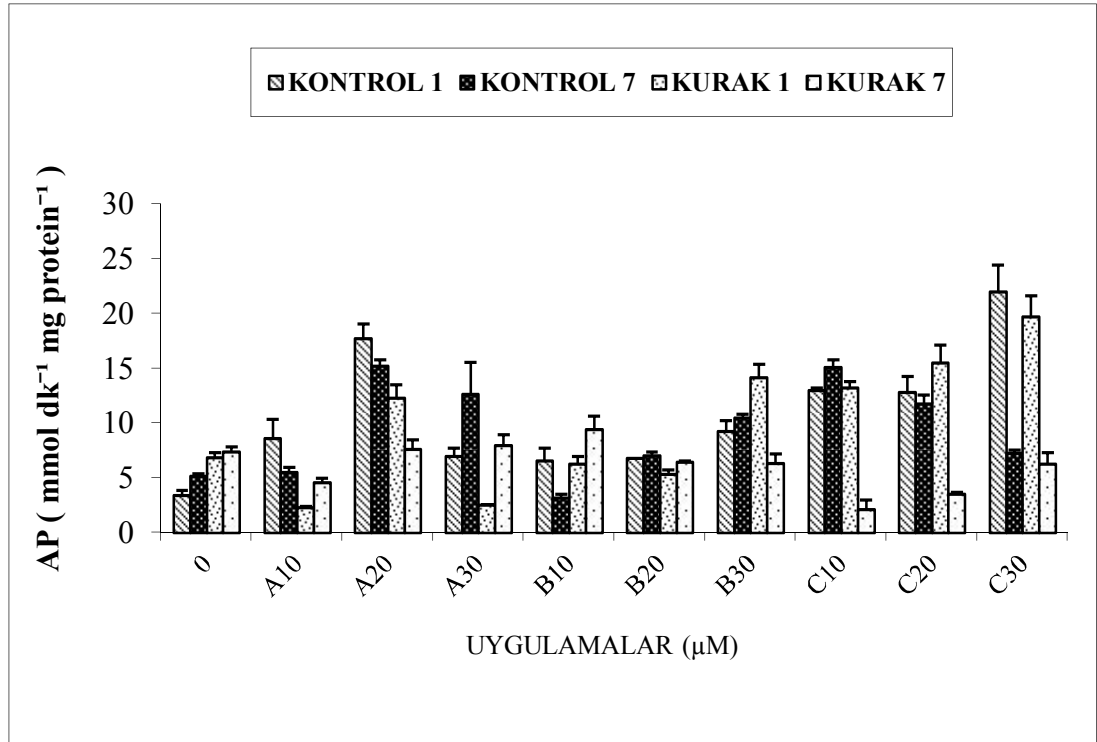


Şekil 4.2. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* yapraklarında spesifik KAT aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.3.3. AP aktivitesi

Kontrol ve kuraklığa maruz kalan bitkilerin yapraklarındaki AP aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar önemli bulunmuştur ($P<0,001$).

Siklitol uygulanan bitkilerde uygulamanın birinci gününde AP aktivitesi genel olarak kontrole göre önemli bir artış göstermiştir ve en belirgin artış C30 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir (yaklaşık 5 kat) (Şekil 4.3). Uygulamanın 7. gününde ise AP aktivitesinde kontrole göre artış ve azalmalar olduğu belirlenmiş ve en yüksek enzim aktivitesi A20 uygulanan bitkilerde elde edilmiştir. Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde AP aktivitesi kontrole göre önemli oranda artmıştır. Kuraklığın birinci günü C siklitol uygulanan bitkilerde siklitol konsantrasyonuna bağlı olarak AP aktivitesi kurak kontrol bitkilerine göre belirgin bir şekilde artmıştır. Bununla birlikte 7. günde enzim aktivitesi önemli olmayan artış ve azalma göstermiştir. En yüksek AP aktivitesi B10 uygulanan bitkilerde, en düşük AP enzim aktivitesi ise C10 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.

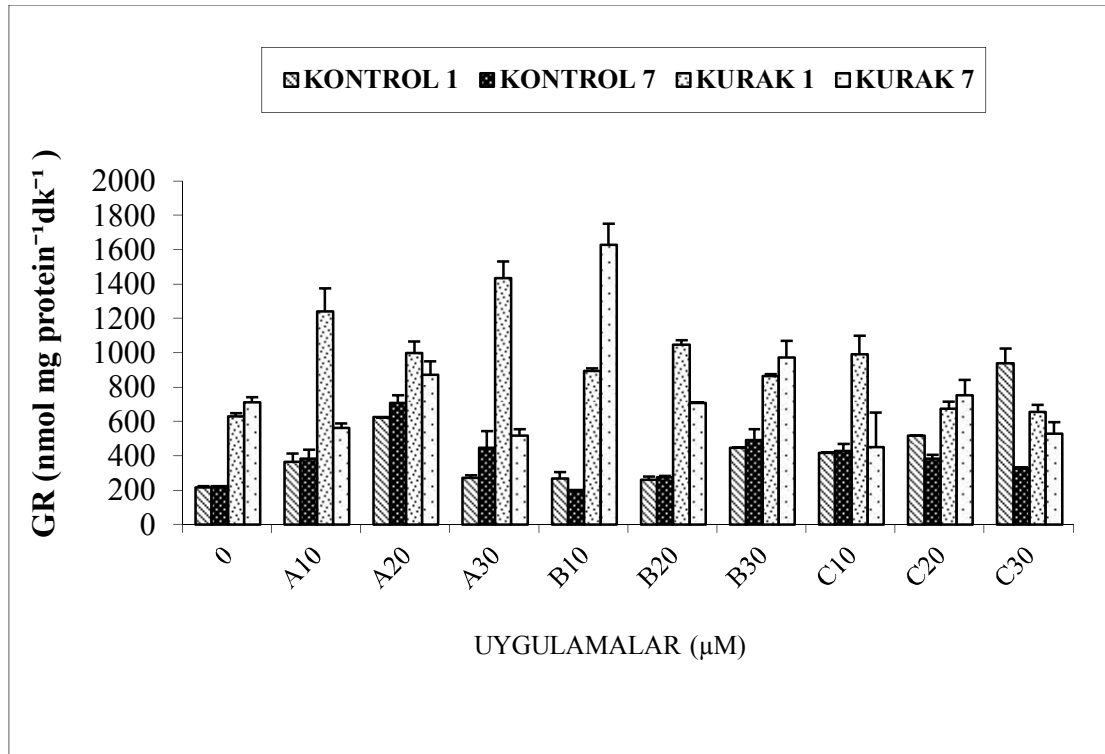


Şekil 4.3. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* yapraklarında spesifik AP aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.3.4. GR aktivitesi

Kuraklığa maruz kalan bitkilerin yapraklarındaki GR aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar önemli bulunmuştur ($P<0,001$).

A (A30 hariç) ve C siklitolün uygulandığı bitkilerde uygulamanın 1. gününde GR aktivitesi önemli oranda artmıştır (Şekil 4.4). En yüksek enzim aktivitesi C30 uygulanan bitkilerde gözlenmiştir. Uygulamanın 7. gününde ise en yüksek GR aktivitesi A20 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Kuraklık stresi GR aktivitesini kontrol bitkilere göre belirgin bir şekilde arttırmıştır. Kuraklığın 1. gününde A siklitol uygulanan bitkilerde GR aktivitesi belirgin bir şekilde artmıştır ve en yüksek enzim aktivitesi A30 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Kuraklığın 7. gününde B10 uygulanan bitkilerde kurak kontrol ve kontrol bitkilere göre GR aktivitesi 3-3,5 kat artış göstermiştir. Diğer uygulamalarda önemli olmayan artış ve azalmalar belirlenmiştir.



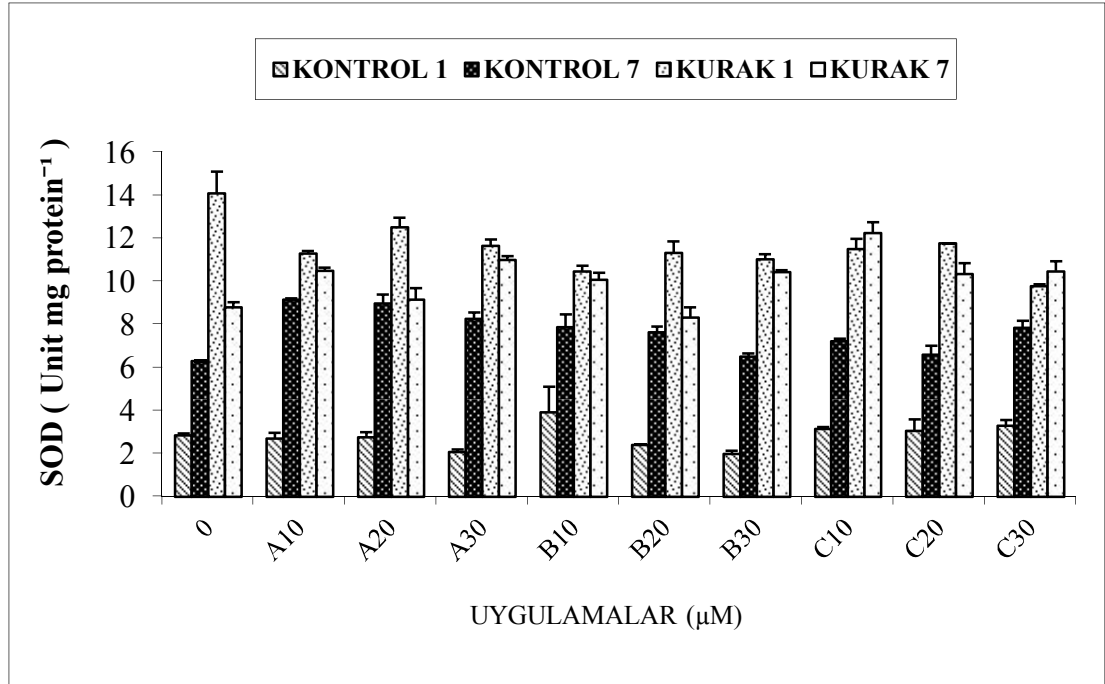
Şekil 4.4. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* yapraklarında spesifik GR aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.4. *C. reticulatum*'un Yaprak Dokularında Antioksidan Enzim Aktiviteleri

4.1.4.1. SOD aktivitesi

Kontrol veya kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde SOD aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,001$).

A siklitölü uygulanan bitkilerde uygulamanın 1. günü SOD aktivitesinde kontrole göre bir değişiklik gözlenmezken, 7. günde ise A siklitölünün uygulandığı bitkilerde enzim aktivitesi belirgin bir şekilde artış göstermiştir (Şekil 4.5). En yüksek SOD aktivitesi A10 uygulamasında belirlenmiştir. Kuraklık stresi SOD aktivitesinin kontrole göre yaklaşık 4,5 kat artmasına neden olmuştur. Kuraklık stresine maruz kalan ve siklitol uygulanan bitkilerde kuraklığın 1. günü SOD aktivitesi kurak kontrole göre belirgin bir azalma göstermiştir. Kuraklığın 7. günü SOD aktivitesi daha düşük değerdedir. Siklitol uygulanan bitkilerde SOD aktivitesi önemli olmayan artış ve azalmalar göstermiştir. En yüksek SOD aktivitesi C10 uygulanan bitkilerde, en düşük enzim aktivitesi B20 uygulamasında elde edilmiştir.

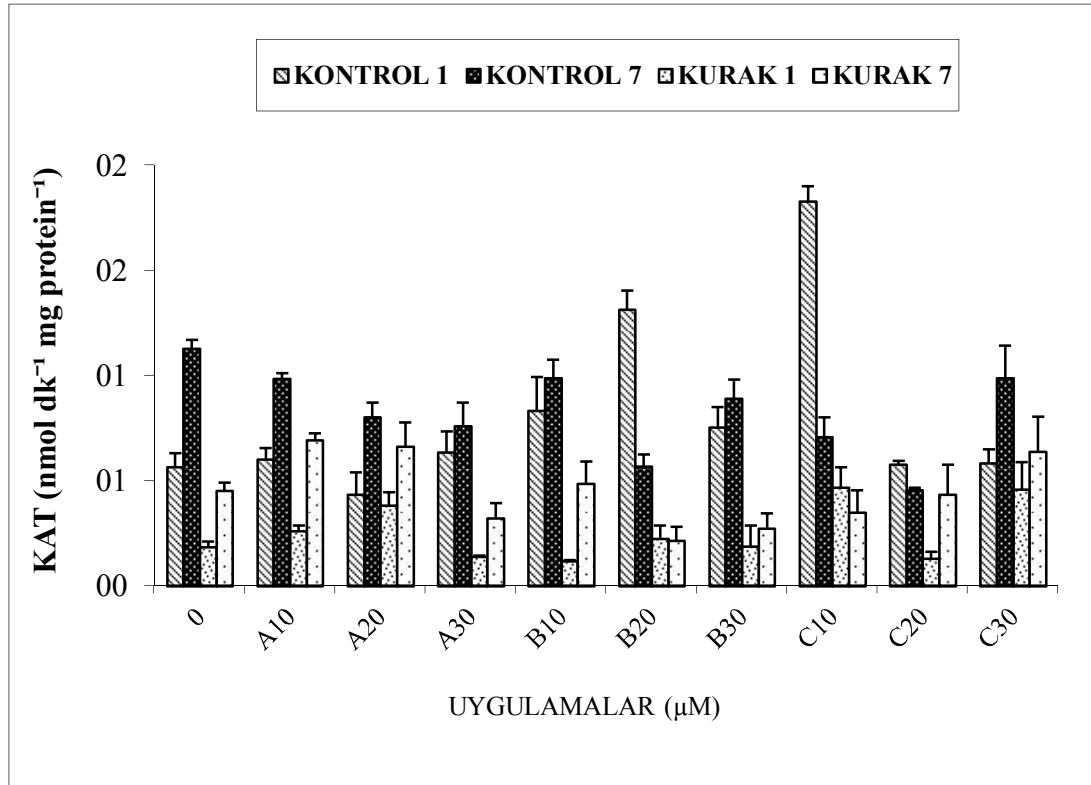


Şekil 4.5. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* yapraklarında spesifik SOD aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.4.2. KAT aktivitesi

Kontrol veya kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde KAT aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$).

B20 ve C10 uygulanan bitkilerde uygulamanın birinci günü KAT aktivitesi kontrole göre belirgin bir şekilde artmıştır (Şekil Şekil 4.6). Uygulamanın 7. günü ise KAT aktivitesi bütün uygulama gruplarında azalmıştır. En yüksek enzim aktivitesi B10 uygulamasında iken, en düşük B20’de belirlenmiştir. Kuraklık stresi KAT aktivitesinde kontrole göre önemli oranda azalmaya neden olmuştur. Bu azalma kuraklığın 1. günü daha belirgindir. Kuraklık stresi sırasında siklitol uygulanan bitkilerde enzim aktivitesi önemli olmayan artış ve azalmalar göstermiştir. En yüksek enzim aktivitesi A ve C uygulamalarında gözlenirken, en düşük enzim aktivitesi B20’de gözlenmiştir.

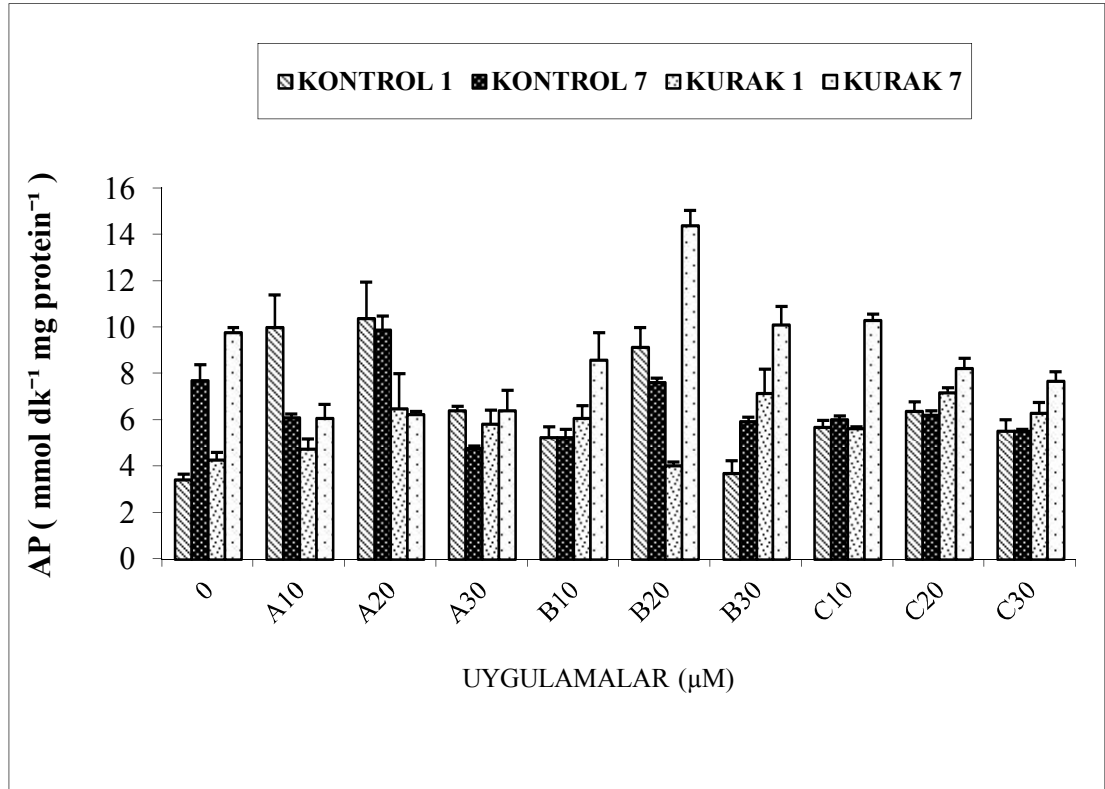


Şekil 4.6. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* yapraklarında spesifik KAT aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.4.3. AP aktivitesi

Kontrol veya kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde AP aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,001$).

Siklitol uygulamasının birinci günü AP aktivitesi (B30 hariç) artmıştır (Şekil 4.7). En yüksek enzim aktivitesi A siklitol uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Kuraklık stresi AP aktivitesini berlignin bir şekilde arttırmıştır. Kuraklık stresinin 1. gününde B30 ve C20 uygulanan bitkilerde AP aktivitesi kontrol ve kurak kontrole göre önemli bir artış göstermiştir. Kuraklığın 7. gününde siklitol uygulamalarında AP aktivitesi kurak kontrol bitkilerdeki değere yakın ya da daha düşük değerde bulunurken, B20 siklitol uygulanan bitkilerdeki enzim aktivitesinin kontrol bitkilerdekine göre önemli oranda arttığı belirlenmiştir.



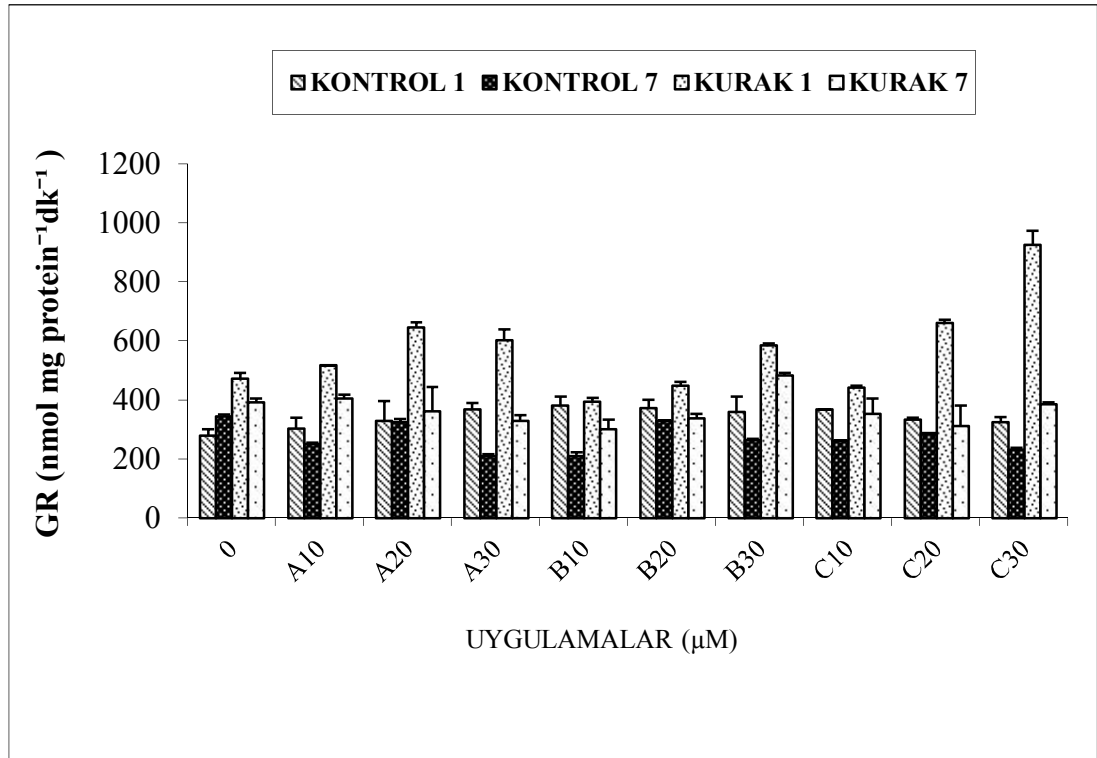
Şekil 4.7. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* yapraklarında spesifik AP aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.4.4. GR aktivitesi

Kontrol veya kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde GR aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$). Kuraklığa maruz bırakılan ve siklitol uygulanan bitkilerde GR aktiviteleri arasındaki farklar önemli bulunmuştur ($P<0,001$).

Siklitol uygulamalarının birinci gününde GR aktivitesi kontrol bitkilerine yakın değerdedir (Şekil 4.8). Uygulamanın 7. gününde ise enzim aktivitesi önemli bir azalma göstermiştir (A20 ve B20 hariç).

Kuraklık stresi GR aktivitesini kontrol bitkilere göre arttırmıştır. Kuraklığın 1. gününde özellikle A ve C siklitollerin uygulandığı bitkilerde GR aktivitesi kurak kontrol bitkilerdekine göre yüksektir (C10 hariç) ve en yüksek GR aktivitesi C30 uygulanan bitkilerde elde edilmiştir. Kuraklığın 7. gününde ise enzim aktivitesinde kontrole göre önemli değişiklikler belirlenmemiştir.

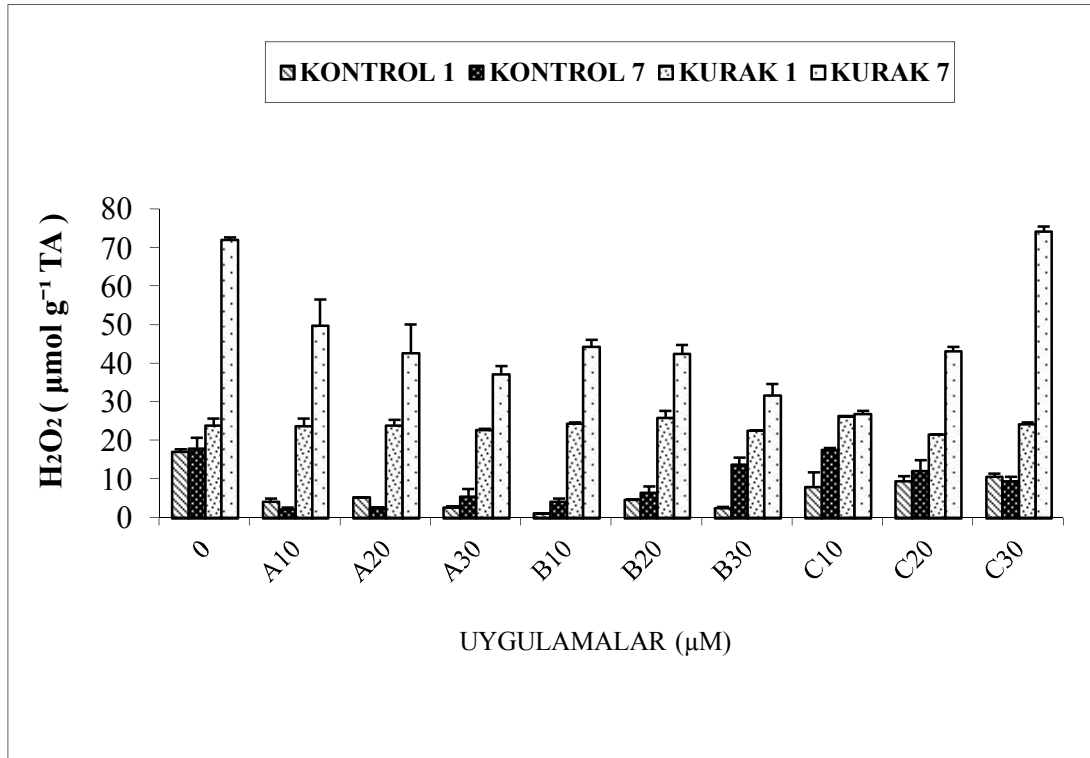


Şekil 4.8. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* yapraklarında spesifik GR aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.5. *C. arietinum*'un Yaprak Dokularında H₂O₂ Konsantrasyonu

Kuraklık sırasında H₂O₂ miktarı bakımından günler arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur (P<0,001). Kontrol veya kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde H₂O₂ miktarı bakımından siklitol uygulamaları arasında farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (P<0,001).

Siklitol uygulanan bitkilerde H₂O₂ miktarı belirgin bir şekilde azalmıştır (Şekil 4.9). En düşük H₂O₂ miktarı B10 uygulamasında belirlenmiştir. Kuraklık stresinin 1. gününde kontrole göre H₂O₂ miktarı artış gösterirken siklitol uygulamalarıyla H₂O₂ seviyesi kontrole yakın değerlerde kalmıştır. Kuraklık stresinin 7. gününde H₂O₂ miktarı kontrole göre yaklaşık 3,5 kat artış göstermiştir. Stresin 7. gününde bütün uygulamalarda kurak kontrol bitkilere göre H₂O₂ miktarı belirgin bir şekilde azalmıştır (C30 hariç). Stresin 7.gününde en belirgin azalma C10 uygulamasında belirlenmiştir.

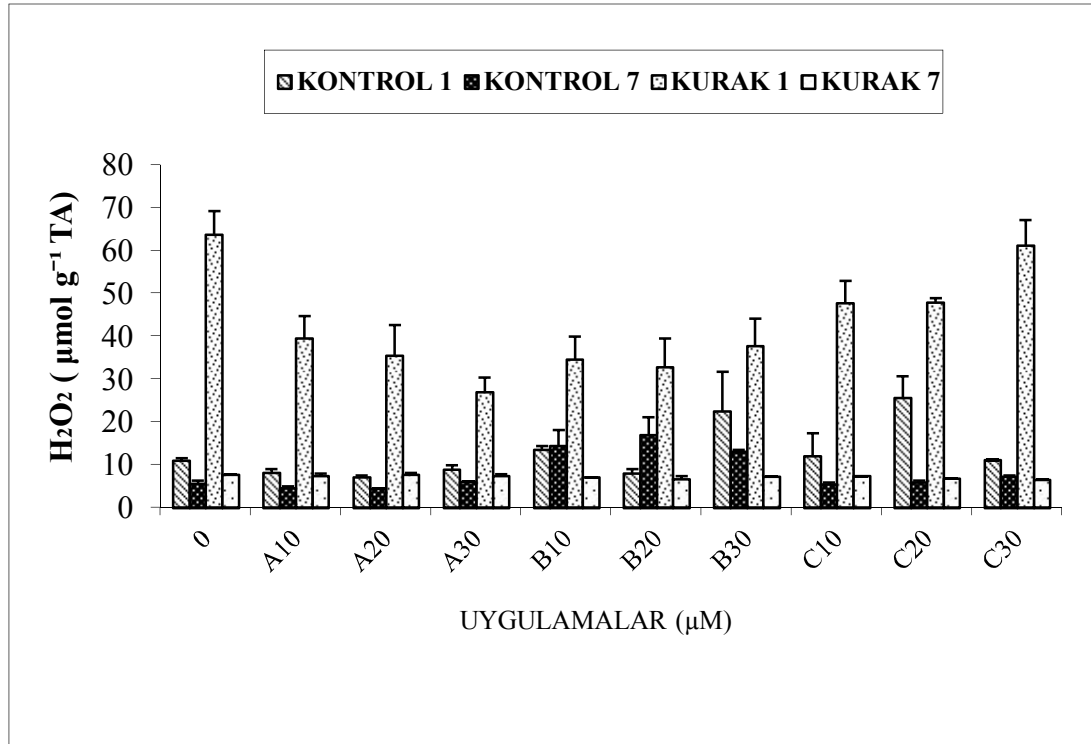


Şekil 4.9. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* yapraklarında H₂O₂ konsantrasyonu üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.6. *C. reticulatum*'un Yaprak Dokularında H₂O₂ Konsantrasyonu

Kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde H₂O₂ seviyesi bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (P<0,001).

Siklitol uygulamalarının birinci günü B30 ve C20 siklitol uygulanan bitkilerde H₂O₂ seviyesi kontrole göre artarken, diğer uygulama gruplarında belirgin değişiklikler olmamıştır (Şekil 4.10). Uygulamanın 7. gününde ise, B siklitolunun uygulandığı bitkilerde kontrol bitkilerine göre H₂O₂ miktarı önemli oranda artmıştır (B30 hariç). Kuraklığın 1. gününde H₂O₂ seviyesi kontrol bitkilerdekine göre yaklaşık olarak 6 kat artış göstermiştir. Kuraklığın 7. gününde ise bu değer kontrol seviyesine inmiştir. Kuraklığın 1. gününde siklitol uygulamaları etkili olmuş ve H₂O₂ seviyesi kurak kontrole göre belirgin bir şekilde azalmıştır. En düşük H₂O₂ seviyesi A30 uygulanan bitkilerde görülmüştür. Kuraklığın 7. gününde ise siklitol uygulamaları H₂O₂ miktarında bir değişikliğe neden olmamış, kurak kontrol ve kontrol seviyesinde kalmıştır.

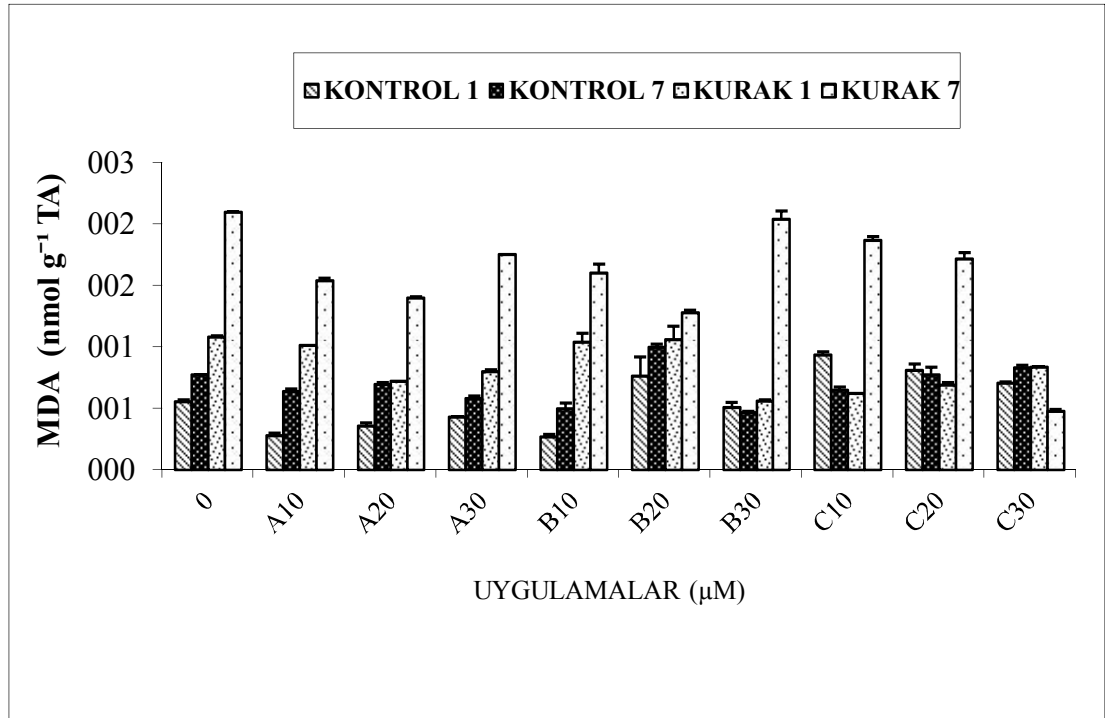


Şekil 4.10. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* yapraklarında H₂O₂ konsantrasyonu üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.7. *C. arietinum*'un Yaprak Dokularında MDA İçeriği

Kontrol veya kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde MDA miktarı bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$).

A10 ve B10 siklitol uygulanan bitkilerde uygulamanın birinci günü MDA içeriği belirgin bir şekilde azalmıştır (Şekil 4.11). B20 ve C siklitol uygulamalarında ise (C30 hariç) MDA kontrole göre artış göstermiştir. Uygulamanın 7. gününde MDA miktarında artış ve azalmalar görülmüş ve en düşük MDA miktarı B30 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilerde kontrol bitkilere göre 1. günde MDA miktarı önemli bir artış göstermiştir. Kuraklığın 1. gününde kurak kontrole göre MDA miktarı A ve C siklitollerin uygulandığı bitkilerde azalma gösterirken en düşük MDA miktarı B30 uygulamasında gözlenmiştir. Kuraklığın 7.gününde MDA miktarı kontrole göre yaklaşık 2.5 kat artmıştır. Siklitol uygulanan bitkilerde MDA miktarında belirgin azalma görülmüştür. En düşük MDA miktarı C30 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.

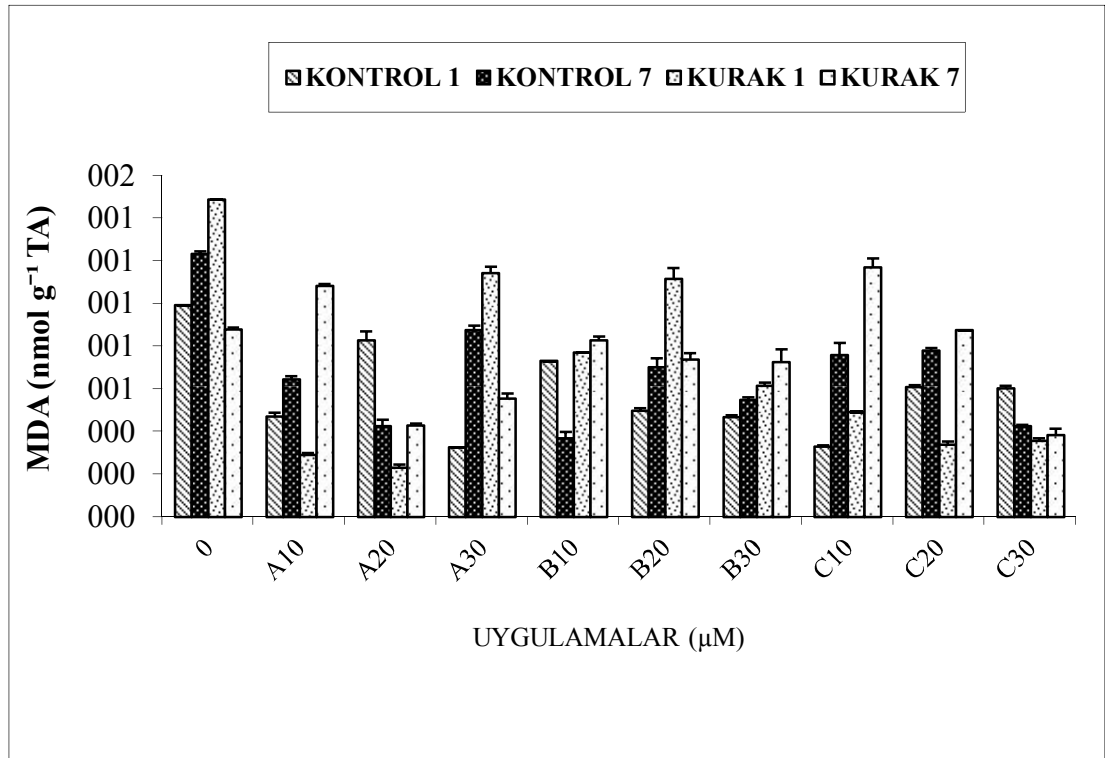


Şekil 4.11. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* yapraklarında MDA içeriği üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.8. *C. reticulatum*'un Yaprak Dokularında MDA İçeriği

Kontrol veya kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde MDA içeriği bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0,001$).

Siklitol uygulanan bitkilerde MDA miktarı belirgin bir şekilde azalmıştır (Şekil 4.12). En düşük MDA miktarı 1.günde A30 ve C10 uygulamalarında, 7.günde ise B10 uygulamasında elde edilmiştir. Kuraklık stresinin 1.gününde MDA miktarı kontrole göre önemli oranda artış gösterirken, 7. günü azalmıştır. Kuraklık stresinin 1. gününde siklitol uygulanan bitkilerde MDA miktarı belirgin bir şekilde azalmıştır. En düşük MDA miktarı A20 uygulanan bitkilerde elde edilmiştir. Siklitol uygulanan bitkilerde kuraklığın 7. günü MDA miktarında kurak kontrole göre artış ve azalmalar belirlenmiştir. C siklitol uygulanan bitkilerde konsantrasyona bağlı olarak MDA miktarı azalmıştır. En düşük MDA içeriği C30 uygulanan bitkilerde elde edilmiştir.



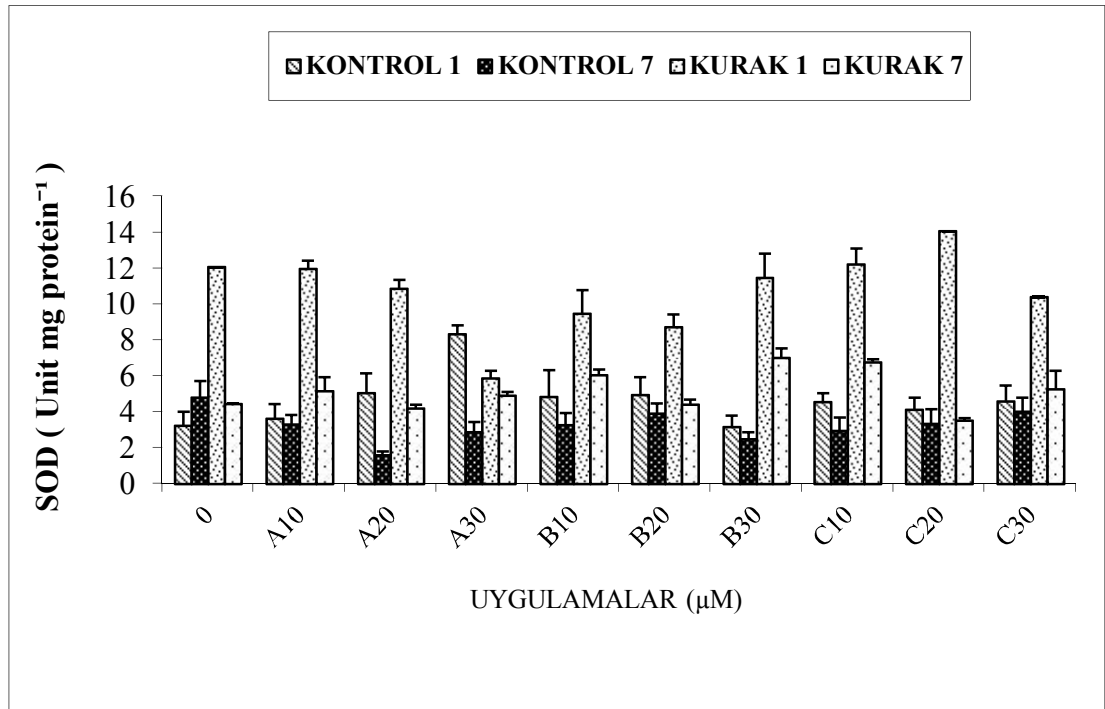
Şekil 4.12. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* yapraklarında MDA içeriği üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.9. *C. arietinum* Kök Dokularında Antioksidan Enzim Aktiviteleri

4.1.9.1. SOD aktivitesi

Kuraklığa maruz kalan bitkilerde SOD aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar ($P<0,001$) ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$).

A30 siklitol uygulanan bitkilerde uygulamanın 1.günü SOD aktivitesi belirgin bir şekilde artmıştır (Şekil 4.13). Diğer uygulamalarda enzim aktivitesinde küçük artış ve azalmalar belirlenmiştir. Kuraklığın 1. gününde SOD aktivitesi kontrol bitkilerine göre yaklaşık 3 kat artış göstermiştir. A30 ve B20 siklitol uygulanan bitkilerde SOD aktivitesi kurak kontrole göre belirgin bir şekilde azalırken, C20 uygulanan bitkilerde kurak kontrole göre az da olsa artış göstermiştir. Kuraklığın 7. gününde B30 ve C10 uygulanan bitkilerde kurak kontrole göre en yüksek enzim aktivitesi gözlenirken, diğer uygulamalar SOD aktivitesinde küçük artış ve azalmalara neden olmuştur.

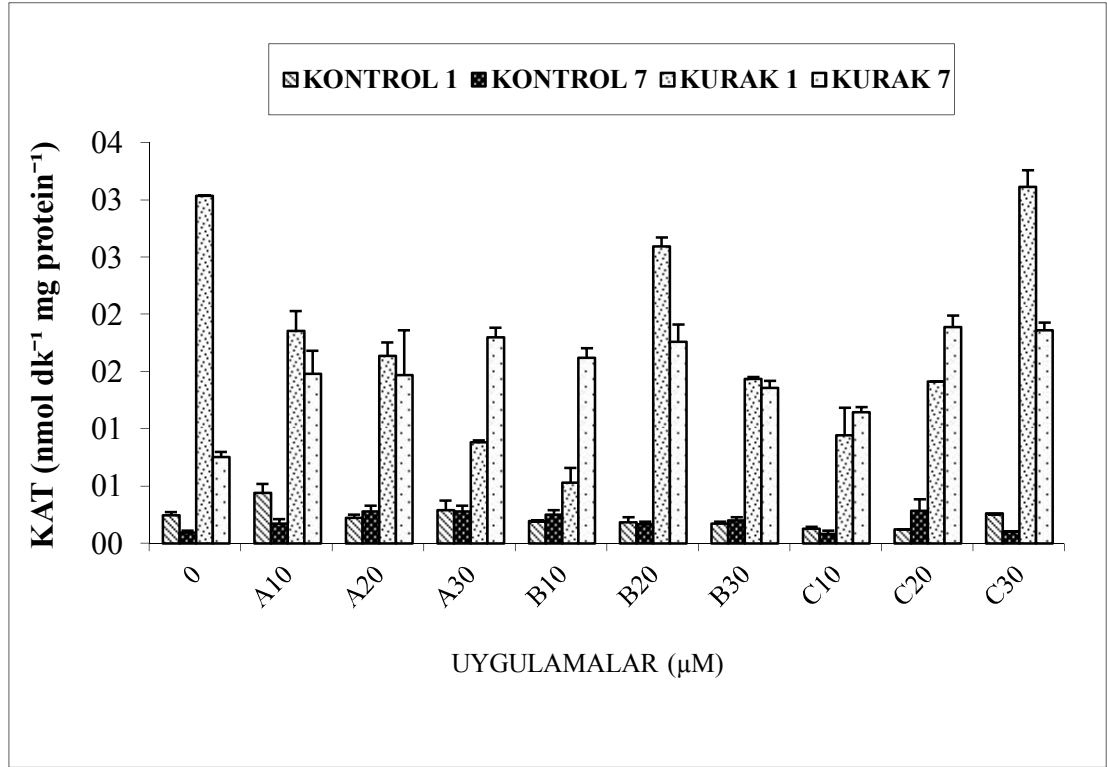


Şekil 4.13. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* köklerinde spesifik SOD aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.9.2. KAT aktivitesi

Kuraklığa maruz bırakılan bitkilerin köklerindeki katalaz aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$).

Kuraklık stresi enzim aktivitesini kontrol bitkilerine göre belirgin bir şekilde arttırmıştır (Şekil 4.14). Özellikle kuraklığın 1. gününde KAT aktivitesi kontrole göre yaklaşık 12 kat artış gösterirken, kuraklığın 7. günü ise bu artış yaklaşık 2,5 kat gerçekleşmiştir. Siklitol uygulanan ve kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde kuraklığın 1. günündeki KAT aktivitesi kurak kontrol bitkilere göre azalmıştır (C30 hariç). C30 uygulamasında kontrole yakın değerdedir. En yüksek KAT aktivitesi C30 uygulanan bitkilerde gözlenirken, en düşük B10 uygulanan bitkilerde elde edilmiştir. Siklitol uygulanan bitkilerde kuraklığın 7. gününde KAT aktivitesi kurak kontrole göre önemli oranda artmıştır. En yüksek KAT aktivitesi C20 ve C30 uygulanan bitkilerde gözlenmiştir.

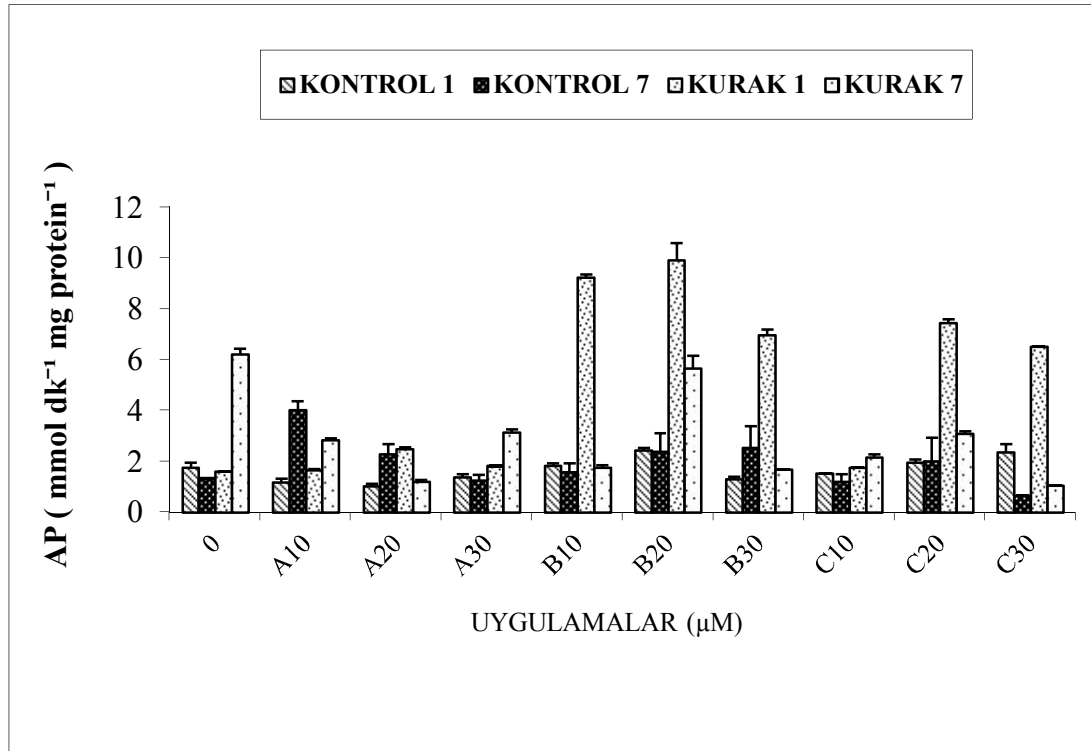


Şekil 4.14. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* köklerinde spesifik KAT aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.9.3. AP aktivitesi

Kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde AP aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0,001$).

A10 uygulanan bitkilerde uygulamanın 7. günü AP aktivitesi kontrole göre belirgin bir artış gösterirken, diğer siklitol uygulamalarında enzim aktivitesi önemli değişiklikler göstermemiştir (Şekil 4.15). Kuraklığın birinci günü AP aktivitesi kontrole yakın değerdedir. Kuraklığın 7. gününde ise enzim aktivitesi kontrole ve kuraklığın 1. gününe göre yaklaşık 3 kat artış göstermiştir. Kuraklığın 1. gününde A siklitol uygulanan bitkilerde AP aktivitesi kontrol ve kurak kontrole yakın değerdedir. Bununla birlikte, B ve C (C10 hariç) uygulanan bitkilerde AP aktivitesi kontrol ve kurak kontrole göre belirgin bir şekilde artmıştır. Kuraklık stresinin 7. gününde AP aktivitesi siklitol uygulanan bitkilerde önemli oranda azalırken B20 uygulanan bitkilerde enzim aktivitesinde artış olduğu belirlenmiştir.

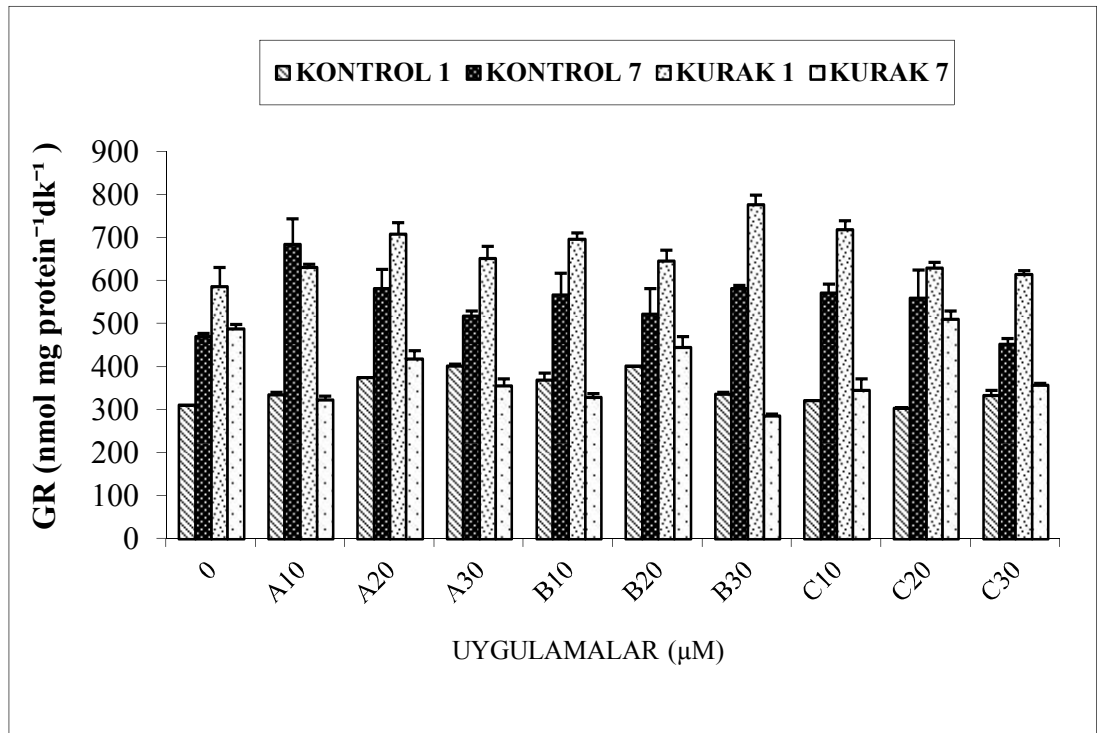


Şekil 4.15. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* köklerinde spesifik AP aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.9.4. GR aktivitesi

Kuraklık uygulanan bitkilerde GR aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.001$).

A ve B siklitol (A10 ve B30 hariç) uygulanan bitkilerde uygulamanın birinci günü kontrole göre GR aktivitesi artmıştır (Şekil 4.16). Bununla birlikte, C siklitol uygulanan bitkilerde GR aktivitesinde önemli değişiklik olmamıştır. Uygulamanın 7. günü A10 uygulanan bitkilerde kontrole göre GR aktivitesi belirgin bir şekilde artmıştır. Kuraklığın 1. gününde GR aktivitesi kontrole göre artış göstermiştir. A ve B siklitolunun uygulandığı bitkilerde ise GR aktivitesi artmıştır ve en yüksek enzim aktivitesi B30 uygulamasında belirlenmiştir. Kuraklığın 7. gününde GR aktivitesi kontrol seviyesindedir. B20 ve C20 uygulanan bitkilerinde enzim aktivitesi kurak kontrole göre bir değişiklik göstermezken, diğer uygulama gruplarında azalma gözlenmiştir.



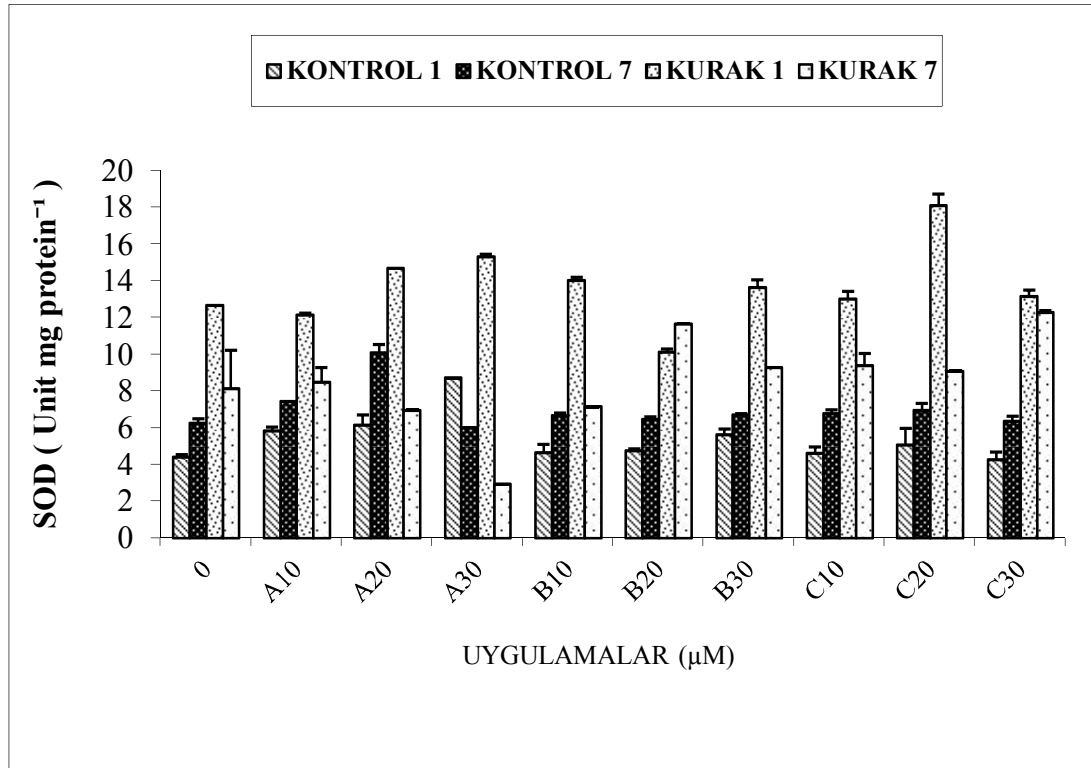
Şekil 4.16. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* köklerinde spesifik GR aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.10. *C. reticulatum* Kök Dokularında Antioksidan Enzim Aktiviteleri

4.1.10.1. *C. reticulatum*'un kök dokularında SOD aktivitesi

Kontrol ve kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde SOD aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0,001$).

A siklitol uygulanan bitkilerde SOD aktivitesi kontrole göre önemli oranda artış göstermiştir (Şekil 4.17). Diğer siklitol uygulamalarında önemli değişiklikler olmamıştır. Bununla birlikte, uygulamanın 7. günde sadece A20 uygulamasında SOD aktivitesi kontrole göre belirgin bir şekilde artmıştır. Kuraklık stresinin 1. ve 7. günlerinde SOD aktivitesi kontrole göre belirgin bir şekilde artmıştır. En yüksek SOD aktivitesi kuraklığın 1. gününde ve C20 uygulanan bitkilerde elde edilmiştir. Kuraklığın 7. gününde ise C30 uygulanan bitkilerde kurak kontrole göre en yüksek ve A30 uygulanan bitkilerde en düşük SOD aktivitesi belirlenmiştir.



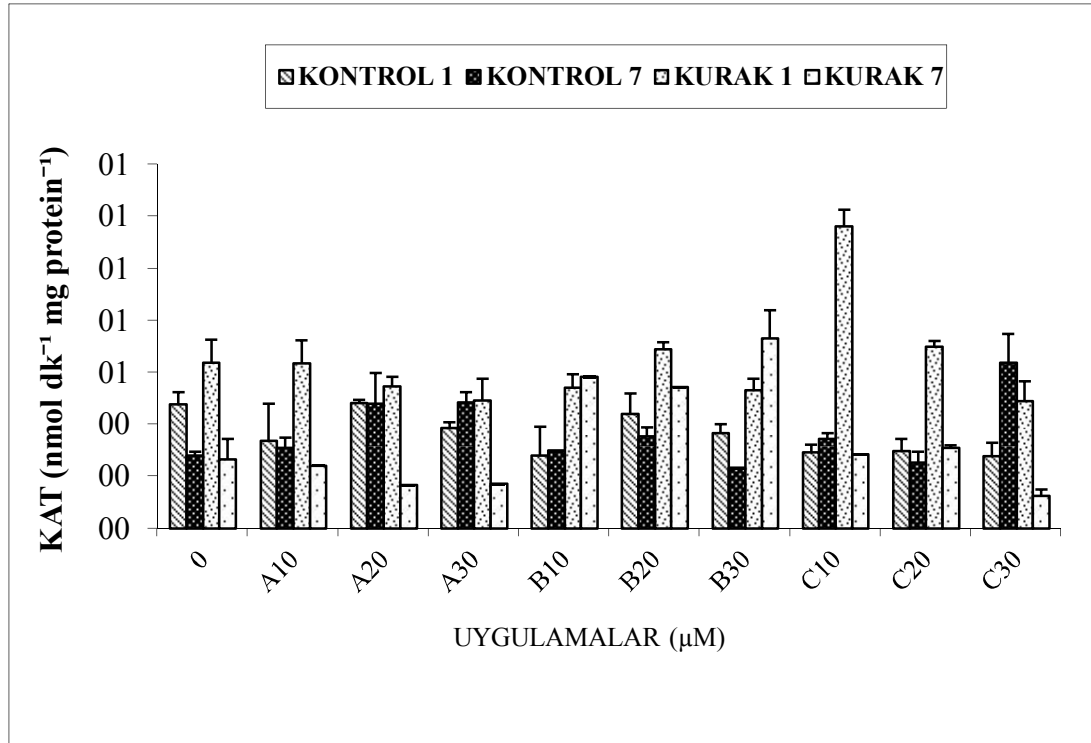
Şekil 4.17. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* köklerinde spesifik SOD aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.10.2. KAT aktivitesi

Kuraklığa maruz bırakılan bitkilerdeki KAT aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$).

Uygulamanın 7. gününde C30 uygulanan bitkilerde KAT aktivitesi kontrole göre önemli oranda artarken, diğer uygulamalarda önemli bir artış belirlenmemiştir (Şekil 4.18).

Kuraklık stresinin 1. günü KAT aktivitesi kontrol bitkilere göre önemli bir artış gösterirken, 7. günü kontrol seviyesine inmiştir. Kuraklığın 1. gününde C10 uygulanan bitkilerde KAT aktivitesi kontrol ve kurak kontrole göre yaklaşık 2 kat artmıştır. Kuraklığın 7. gününde ise B siklitol uygulanan bitkilerde enzim aktivitesi kontrol ve kurak kontrole göre artış gösterirken, en yüksek enzim aktivitesi B30 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Diğer uygulamalarda enzim aktivitesi kurak kontrole göre önemli değişiklikler göstermemiştir.

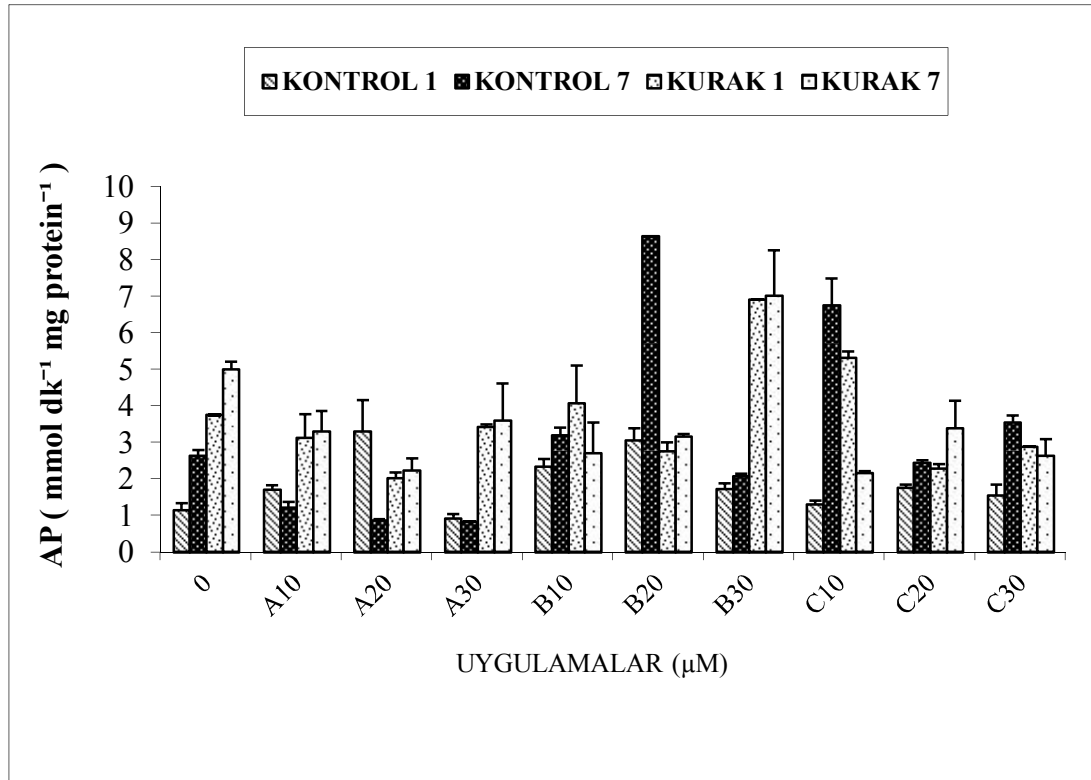


Şekil 4.18. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* köklerinde spesifik KAT aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.10.3. AP aktivitesi

Kontrol veya kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde AP aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$). Kontrol grubunda siklitol uygulanan bitkilerde AP aktiviteleri arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$).

Siklitol uygulamasının 1. gününde A20 ve B20 uygulanan bitkilerde AP aktivitesi kontrol bitkilerdekine göre artmış ve en yüksek artış A20 uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 4.19). Siklitol uygulamasının 7. gününde ise AP aktivitesindeki en yüksek artış B20 ve C10'da belirlenmiştir. Kuraklık stresi AP aktivitesini kontrol bitkilere göre belirgin bir şekilde arttırmıştır. Kuraklık stresinin 1.günü B30 ve C10 uygulanan bitkilerde enzim aktivitesi kontrole göre belirgin bir artış göstermiştir. Kuraklığın 7.günü B30 uygulanan bitkilerde kontrole göre AP aktivitesi önemli oranda artmıştır. Diğer uygulama gruplarında enzim aktivitesi azalmıştır.

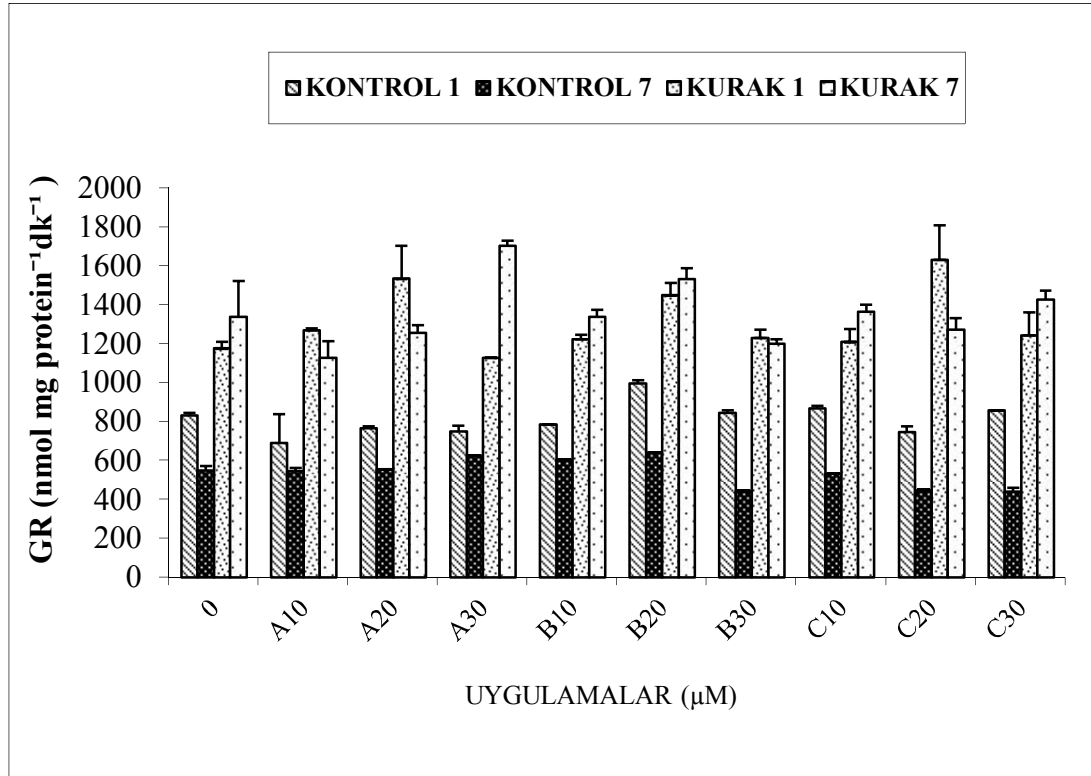


Şekil 4.19. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* köklerinde spesifik AP aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.10.4. GR aktivitesi

Kontrol ve kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde GR aktivitesi bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$).

Siklitol uygulanan bitkilerde GR aktivitesinde önemli olmayan artış ve azalmalar meydana gelmiştir (B20 hariç) (Şekil 4.20). B20 uygulanan bitkilerde kontrole göre GR aktivitesi daha yüksektir. Kuraklık stresi GR aktivitesini kontrole göre belirgin bir şekilde arttırmıştır. Kuraklığın 1.günü kurak kontrole göre en yüksek GR aktivitesi C20 uygulanan bitkilerde belirlenirken, kuraklığın 7. gününde A30 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Bununla birlikte, diğer uygulama gruplarında önemli olmayan artış ve azalmalar gözlenmiştir.

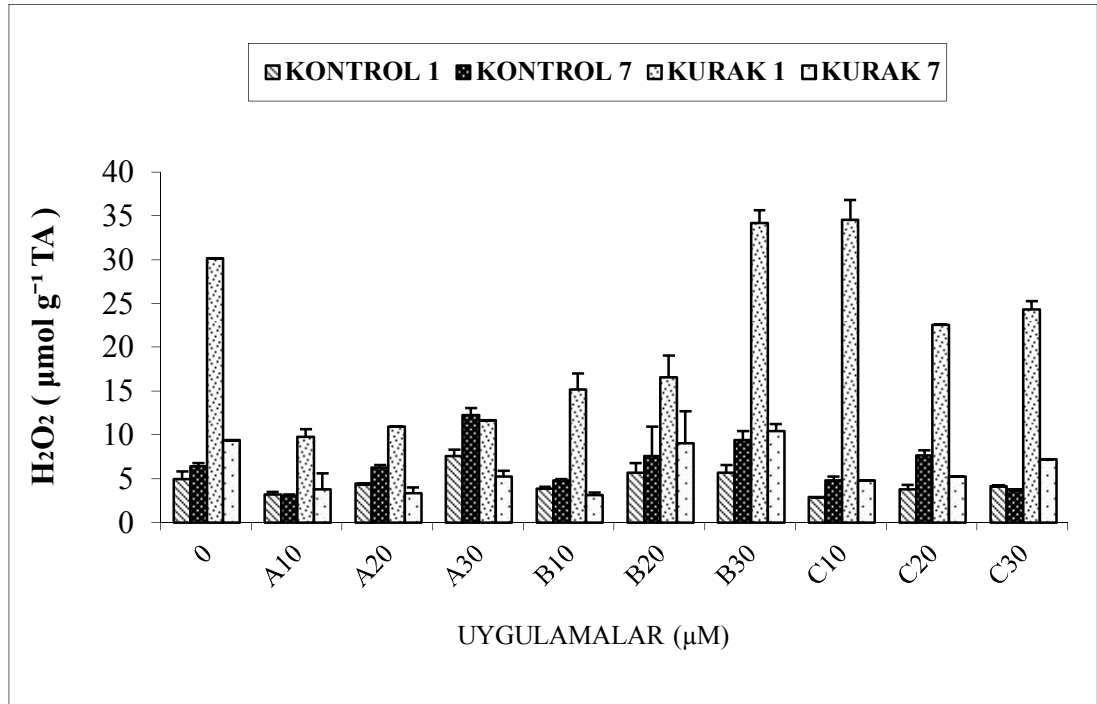


Şekil 4.20. Kuraklık stresi maruz bırakılan *C. reticulatum* köklerinde spesifik GR aktivitesi üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.11. *C. arietinum*'un Kök Dokularında H₂O₂ Konsantrasyonu

Kontrol ve kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde H₂O₂ seviyesi bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (P<0,001). Kuraklığa maruz kalan ve siklitol uygulanan bitkilerde H₂O₂ seviyesi bakımından farklar anlamlı bulunmuştur (P<0,001).

A30 uygulanan bitkilerde uygulamanın 1. günü H₂O₂ miktarı belirgin bir şekilde artış gösterirken, diğer uygulamalarda önemli değişiklikler gözlenmemiştir (Şekil 4.21). Kuraklığın 1. gününde H₂O₂ seviyesi kontrole göre belirgin bir şekilde artarken (yaklaşık 6 kat), 7. günde daha az bir artış belirlenmiştir. Kuraklık stresinin 1.günü A siklitol uygulanan bitkilerde H₂O₂ miktarı kurak kontrole göre yaklaşık 3 kat azalmıştır. B30 ve C10 uygulamalarında ise H₂O₂ miktarı kurak kontrole yakın değerdedir. Kuraklığın 7. gününde ise, siklitol uygulanan bitkilerde H₂O₂ miktarı azalmıştır (B20 ve B30 hariç). En belirgin azalma A20 ve B10 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.

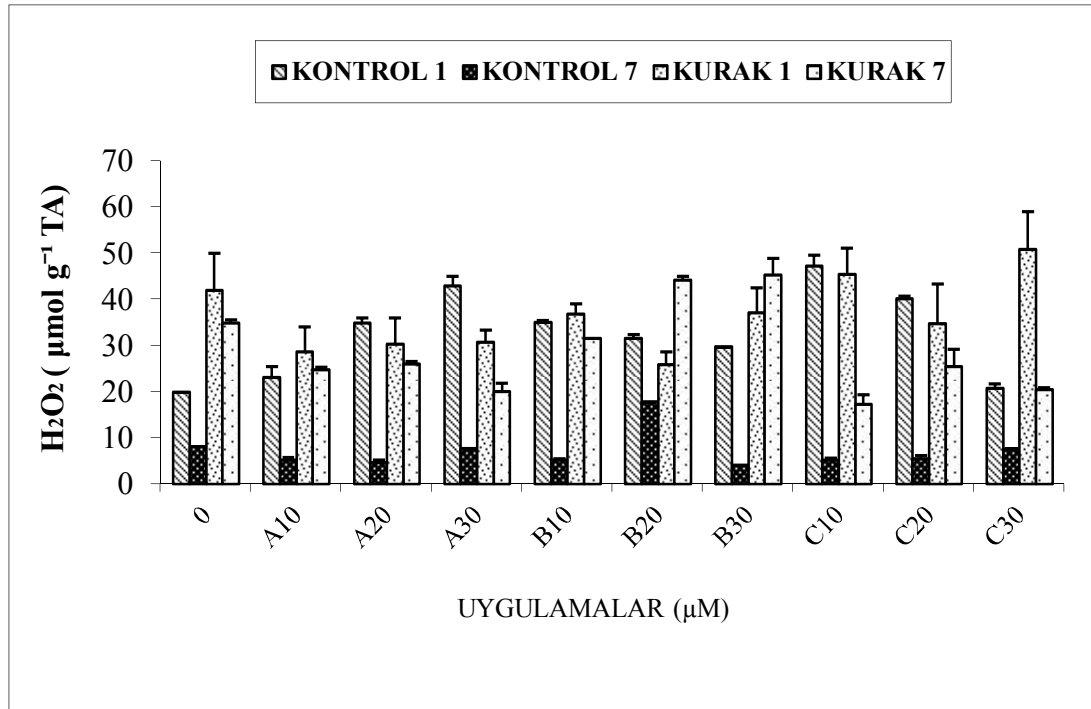


Şekil 4.21. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* köklerinde H₂O₂ konsantrasyonu üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.12. *C. reticulatum*'un Kök Dokularında H₂O₂ Konsantrasyonu

Kontrol ve kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde H₂O₂ seviyesini bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (P<0,001).

Siklitol uygulamaları, uygulamanın birinci gününde, H₂O₂ miktarını kontrole göre arttırırken (C30 hariç), en yüksek artış C10 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir (Şekil 4.22). siklitol uygulamasının 7.gününde H₂O₂ miktarı B20'de artarken, diğer uygulamalarda azalmış ya da kontrole yakın değerde kalmıştır. Kuraklık stresi H₂O₂ miktarını kontrole göre belirgin bir şekilde arttırmıştır. Kuraklık stresinin 1. günü siklitol uygulanan bitkilerde H₂O₂ miktarı kurak kontrole göre önemli olmayan artış ve azalmalar göstermiştir. En düşük H₂O₂ miktarı B20 uygulamasında görülürken, en yüksek C30'da belirlenmiştir. Kuraklığın 7. gününde H₂O₂ miktarı A ve C siklitol uygulanan bitkilerde belirgin bir şekilde azalmış ve en düşük H₂O₂ miktarı C10 uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. B30 uygulanan bitkilerde ise H₂O₂ miktarı önemli bir artış göstermiştir.



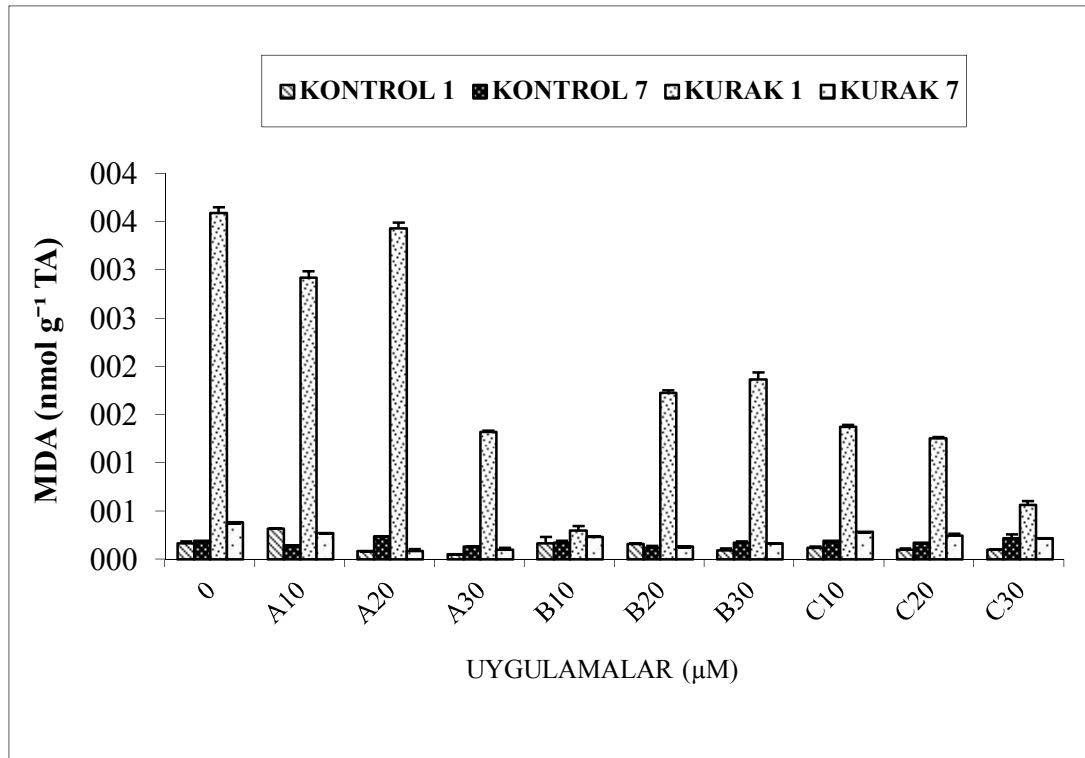
Şekil 4.22. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* köklerinde H₂O₂ konsantrasyonu üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.13. *C. arietinum*'un Kök Dokularında MDA İçeriği

Kuraklığa maruz bırakılan bitkilerin köklerindeki MDA miktarı bakımından günler arasındaki farklar ve siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0,001$).

Kontrol ve siklitol uygulanan bitkilerdeki MDA içerikleri belirgin değişiklikler göstermemiştir (Şekil 4.23). Kuraklık stresinin 1. gününde MDA miktarı kontrole göre yaklaşık 10 kat daha yüksektir. Kuraklığın 7. gününde ise MDA miktarı kontrol değerlerine yaklaşmıştır.

Kuraklığın 1. gününde ve siklitol uygulanan bitkilerde MDA miktarı belirgin bir şekilde azalmıştır (A20 hariç). En düşük MDA içeriği B10 uygulamasında bulunmuştur. Kuraklığın 7. gününde bütün siklitol uygulamalarında MDA miktarı kurak kontrole göre önemli bir azalma göstermiştir. En düşük MDA miktarı A20 uygulamasında belirlenmiştir.

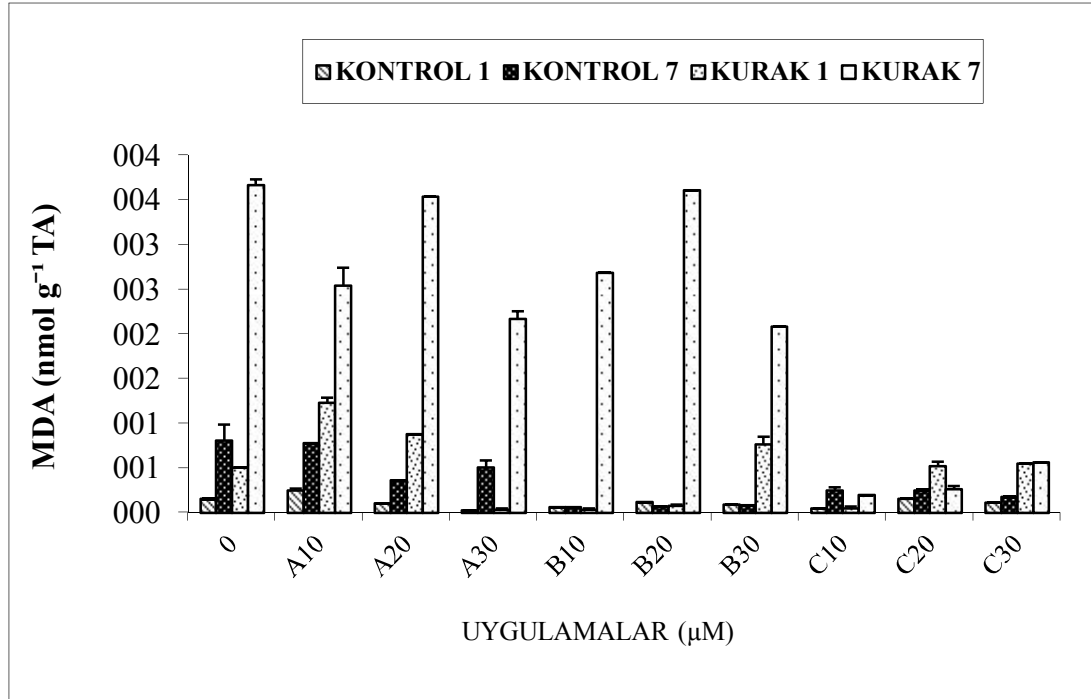


Şekil 4.23. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* köklerinde MDA içeriği üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.1.14. *C. reticulatum*'un Kök Dokularında MDA İçeriği

Kontrol ve kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde MDA seviyesi bakımından günler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$). Kontrol 7.gün bitkilerinde ve kuraklığa maruz bırakılan bitkilerde MDA seviyesi bakımından siklitol uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$).

A10 hariç, bütün siklitol uygulamaları MDA miktarını kontrole göre belirgin bir şekilde azaltmıştır. Kuraklık MDA miktarında artışa neden olmuştur (Şekil 4.24). Kuraklığın 7.gününde MDA miktarı kontrole göre yaklaşık 4 kat daha fazla bir artış göstermiştir. Kuraklığın 1. gününde A siklitol uygulanan bitkilerde (A30 hariç) MDA miktarı artarken, B (B30 hariç) ve C siklitol uygulanan bitkilerde kurak kontrole göre belirgin bir şekilde azalmıştır. En yüksek MDA miktarı A10'da belirlenirken, en düşük A30, B10 ve C10 uygulamalarında elde edilmiştir. Kuraklığın 7. gününde bütün siklitol uygulamalarında MDA miktarı azalırken, en belirgin azalma C siklitol uygulamalarında elde edilmiştir.



Şekil 4.24. Kuraklık stresine maruz bırakılan *C. reticulatum* köklerinde MDA içeriği üzerine siklitol uygulamalarının etkisi

4.2. TARTIŞMA

Bitkilerde kuraklık ve tuzluluk stresi sırasında yüksek miktarda osmoprotektanların birikmesi yaygın bir durumdur [124]. Birçok bitki stres koşullarında bu osmoprotektanlardan olan inositol türevlerini sitozolik çözünenler olarak biriktirirler ve ozmotik ayarlamayı yaparlar [125, 126]. İnositol türevleri strese yanıtta sinyal ve gelişim yolları için gerekli bileşikler olup, su absorpsiyonunun sağlanması ve hücre turgorunun devamlılığında rol alırlar [127,108]. Ayrıca protein yapısının korunması ve zarların ozmotik potansiyelinin düşürülmesinde görev alarak bitki büyüme ve gelişmesini olumlu yönde etkiler [124]. In vitro koşullarda çeşitli siklitollerin hidroksil radikallerini süpürdüğü belirlenmiştir [92]. Ayrıca antioksidan enzim aktivitesini artırarak ROS'un zararlı etkilerine karşı bitkinin korunmasını sağladığı bildirilmiştir [128].

4.2.1. Gövde ve Kök Büyümesi

Kuraklık stresi bitki büyümesini azaltır. Özellikle sürgün büyümesinin kök büyümesinden daha fazla inhibe olduğu belirlenmiştir [129]. Su sıkıntısı koşullarında gövde uzunluğunun soya [130], patates [131] ve *Citrus* [132]'da azaldığı bildirilmiştir. Çalışmamızda kullandığımız kültür nohut *C. arietinum* ve yabani nohut *C. reticulatum* türlerinde kuraklık şiddetinin artmasıyla gövde uzunluklarının azalmış olması bu bulgularla benzerlik göstermektedir (Çizelge 4.1). A siklitol uygulanan bitkilerde ise gövde uzunluğunun az da olsa artış göstermesi kuraklığın şiddetinin siklitol uygulamasıyla azalmış olabileceğini gösterir. Özellikle kuraklığa toleranslı yabani *C. reticulatum*'un kuraklık stresinde gövde uzunluğunun daha yüksek olması ve siklitol uygulamalarının gövde uzunluğunu az da olsa arttırmış olması Patel vd. [133]'nin toleranslı nohut genotipleriyle yaptıkları çalışma sonuçlarıyla uyum göstermektedir. Bu çalışmada, kuraklık stresine uyum gösteren nohut genotiplerinde büyümenin daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Su kaybı ise gövde uzunluğunu azaltmaktadır [134].

Ayçiçeği [135] ve *Catharantus roseus* L. [136] bitkileri ile yapılan çalışmalarda su stresine bağlı olarak kök büyümesinde artış gözlemlendiği, mısır ve

buğday'da [137] kök büyümesinin önemli oranda değişmediği belirlenmiştir. Abdüljalel vd. [138] kuraklık stresine maruz kalan pirinç genotiplerinde kök büyümesinin iyi sulanmış genotiplere göre daha zayıf geliştiğini belirtmiştir. *C. arietinum*'da kuraklık stresi kök uzunluğunun artmasına neden olurken, *C. reticulatum*'da önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Siklitol uygulamaları *C. arietinum*'da önemli bir etki göstermezken, *C. reticulatum*'da C20 uygulaması kök uzunluğunu belirgin bir şekilde arttırmıştır. Bitkilerin kurak koşullarda kök derinliğinin artması stresten kaçış sağlayarak kuraklığa karşı toleransının artmasında önemli rol oynamaktadır. Suyun kısıtlı olduğu koşullarda kök uzunluğunun artış gösterdiği çalışmalarla belirlenmiştir [139, 140]. Bu çalışmalarla uyumlu olarak, C siklitol uygulamasının bitkilerde kök büyümesini arttırdığı ve bitkinin topraktan su alması için bir avantaj sağladığı söylenebilir.

4.2.2. Yaprak Su Potansiyeli (YSP, Ψ_Y)

Kuraklık stresi bitki hücrelerinin su potansiyelini önemli ölçüde etkiler. Kuraklık stresi sırasında bitki hücrelerinde çeşitli siklitoler birikir [26, 87]. Siklitoler hücrelerin su potansiyellerini azaltarak çevresinden su almasını kolaylaştırır ve hücre turgorunun korunmasını sağlar [23]. Bir siklitol türevi olan Quersitol'un hücrenin ozmotik potansiyelinin azalmasında önemli bir rol oynadığı bildirilmiştir [127]. Nohut genotipleri ile yapılan çalışmalarda kuraklık stresi sırasında su potansiyelinin belirgin bir şekilde azaldığı gözlenmiştir [141,46]. Benzer şekilde çalışmamızda hem kültür hemde yabani nohut türlerinde kuraklık stresi ile birlikte su potansiyelinde önemli bir azalma meydana geldiği gözlenmiştir (Çizelge 4.2). Kuraklık stresi sırasında *C. arietinum*'da B siklitol uygulamaları, *C. reticulatum*'da ise C siklitol uygulamaları su potansiyelini belirgin şekilde azaltmıştır. Özellikle toleranslı *C. reticulatum*'un siklitol uygulanan fidelerinde su potansiyeli değerlerinin *C. arietinum*'a göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle dışarıdan uygulanan siklitol türevlerinin strese toleranslı fidelede daha etkili olduğu söylenebilir. Merchant vd. [142] *Eucalyptus leptophylla* F. Muell. bitkisi ile yaptıkları çalışmada tuzluluk ve kuraklık stresi uygulamalarında bir siklitol türevi

olan quersitolün bitkilerde önemli oranda arttığını ve osmotik kapasitenin ayarlanmasında etkin rolü bulunduğunu bildirmişlerdir.

4.2.3. Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi

Bir metaloenzim olan Süperoksit dismutaz (SOD); reaktif oksijen türlerinin meydana getirdiği oksidatif stresle başa çıkmak için hücrelerde bulunan hücre içi enzimatik antioksidandır. Süperoksit ($O_2^{\cdot -}$) radikalini H_2O_2 'ye indirger ve $O_2^{\cdot -}$ ortadan kaldırıldığı için Haber-Weiss reaksiyonu yoluyla OH^{\cdot} radikalinin oluşma riskini azaltır. SOD enzimi ROT'un seviyesini azaltarak toksik etkisine karşı ilk savunma hattını oluşturur [75,76].

Patel ve Hemantaranjan [133] kuraklık stresine maruz kalan nohut bitkisi ile yaptıkları çalışmada SOD aktivitesinin strese bağlı olarak arttığını belirlemişlerdir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde de SOD aktivitesinin belirgin bir şekilde arttığı bildirilmiştir [143]. Kuraklığa toleranslı türlerde duyarlı türlere göre SOD aktivitesinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir [144, 81, 145]. Kök dokularında da benzer sonuçlar elde edilmiştir [145]. Bu sonuçlarla uyumlu olarak, çalışmamızda kuraklığa maruz kalan yabancı nohut *C. reticulatum*'un yaprak (Şekil 4.5) ve kök (Şekil 4.17) dokularında SOD aktivitesinin *C. arietinum*'a (Şekil 4.1, Şekil 4.13) göre yaklaşık 3 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Köklerdeki artış yapraklardakiyle aynı oranda gerçekleşmiştir. Buna karşılık *C. arietinum*'un köklerindeki SOD aktivitesi kuraklık şiddetinin arttığı 7. günde kontrol bitkilerdeki seviyeye inmiştir. Farklı siklitollerin farklı konsantrasyonlarda SOD aktivitesini etkilediği görülmektedir. Streeter vd. [20], bir siklitol türevi olan pinitol konsantrasyonunun kuraklığın başlangıcında yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. İnositollerin bitki boyunca taşındığı, bulunduğu bölgelerde sinyal molekülü olarak işlev gördüğü belirlenmiştir [146]. Çalışmamızda; yapraklara uygulanan siklitollerin köklerde de antioksidan sistem üzerine etki göstermesinden dolayı bu bölgeye taşınmış olduğunu ve etki gösterdiğini ortaya koymaktadır.

4.2.4. Katalaz (KAT) Aktivitesi

Katalaz enzimi H_2O_2 'yi oksijen (O_2) ve suya (H_2O) çeviren hem içeren tetramerik bir enzimdir. Bütün enzimler içinde en yüksek devir hızına sahiptir [147].

Masoumi vd. [148] soyada, Islam vd. [149] yulafta, Mafakheri vd. [150] nohut bitkisinde kuraklık stresi sırasında KAT aktivitesinin arttığını bildirmişlerdir. KAT aktivitesindeki artışın kuraklığa toleransın artmasını sağladığı rapor edilmiştir [72, 147, 151]. Buna karşılık, kuraklığa maruz kalan çeşitli bitkilerde KAT aktivitesinin azaldığını bildiren çalışmalar da bulunmaktadır [152, 153]. Çalışmamızda kuraklık stresi sırasında her iki nohut türünün yapraklarında KAT aktivitesinin azalma göstermesi bu araştırmacıların bulgularını desteklemektedir (Şekil 4.1, Şekil 4.5). Basu vd. [154] kuraklık stresi sırasında KAT aktivitesinin azalmasını yeni enzim sentezinin önlenmesi ve yaprakların H_2O_2 'yi dağıtma kapasitesinin zayıf olması nedeniyle olabileceğini rapor etmiştir. Simova –Stoilova vd. [155] duyarlı buğday varyetelerinde kuraklık stresi altında KAT aktivitesinin dayanıklı varyetelere göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Kuraklığa maruz kalan *C. reticulatum* yapraklarında siklitol uygulamaları KAT aktivitesinde istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte artış ve azalmalar meydana getirmiştir. Buna karşılık *C. arietinum* yapraklarında kuraklığın başlangıcında bütün siklitol uygulamaları KAT aktivitesinin artmasına neden olurken, kuraklık şiddetinin arttığı 7.günde sadece A siklitol uygulamaları KAT aktivitesinin belirgin bir şekilde artmasına neden olmuştur.

Kuraklık stresine maruz kalan mısır bitkisi ile yapılan bir çalışmada bitki kök dokusunda KAT aktivitesinin arttığı bildirilmiştir [72]. Buna karşılık, Bhardwaj vd. [145] kuraklığa duyarlı fasulye köklerinde KAT aktivitesinin önemli bir değişiklik göstermediğini, dayanıklı genotiplerde ise azalma olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde çalışmamızda kültür nohut *C. arietinum*'un köklerinde (Şekil 4.14) kuraklık stresi sırasında KAT aktivitesi belirgin bir şekilde artarken, toleranslı *C. reticulatum*'da (Şekil 4.18) kuraklık şiddetinin artmasıyla kontrol değerlerine indiği görülmüştür. Kuraklığa maruz kalan *C. reticulatum* köklerinde kuraklığın başlangıcında sadece C10 uygulamaları, kuraklık şiddetinin arttığı 7.günde ise B

siklitol uygulamaları KAT aktivitesini belirgin bir şekilde arttırmıştır. Bu sonuçlara göre; kuraklık şiddetinin azaltılmasında dışarıdan uygulanan siklitol türevlerinin duyarlı *C. arietinum* köklerinde KAT aktivitesi üzerinde *C. reticulatum*'a göre daha etkili olduğu söylenebilir.

4.2.5. Askorbat Peroksidaz (AP) Aktivitesi

AP enzimi H_2O_2 'nin süpürülmesinde görev alan önemli bir enzimdir. ROT'un zararlı etkisine karşı hücreleri koruduğu bilinmektedir. AP'nin H_2O_2 'ye ilgisi KAT enziminden daha yüksektir [147].

Kuraklık stresine maruz kalan pamuk [129], fasulye [156, 157], nohut [158], buğday [159], elma [160] bitkilerinde AP aktivitesinin arttığı bildirilmiştir. Ayrıca tuz stresi [161] ve Cd stresi [162] uygulamaları ile yapılan çalışmalarda da AP aktivitesinin arttığı rapor edilmiştir. Kullandığımız kültür nohut *C.arietinum* (Şekil 4.3, Şekil 4.15) ve yabani nohut *C.reticulatum*'da (Şekil 4.7, Şekil 4.19) kuraklık stresinin artmasıyla birlikte AP aktivitesinin artması bu çalışmalarla uyum göstermektedir. Porcel vd. [163] kuraklık stresi uygulanan soya fidelerinin köklerinde AP aktivitesinin arttığını bildirmişlerdir. Benzer olarak, çalışmamızda yabani nohut *C. reticulatum*'un hem yaprak hemde kök dokularında AP aktivitesi kuraklık şiddetinin arttığı 7.günde kontrole göre belirgin bir artış göstermiştir. *C. arietinum* köklerinde ise kuraklık stresinin 7. gününde yabani türe göre AP aktivitesi daha yüksektir. Benzer şekilde, Terzi vd. [157] fasulye bitkisi ile yaptıkları çalışmada AP aktivitesinin kuraklığa duyarlı genotiplerde toleranslı genotiplere göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmamızda her iki nohut türünde; C siklitol uygulamaları AP aktivitesinde artışa neden olmuştur. *C. arietinum* yaprak ve köklerinde AP aktivitesi kuraklığın başlangıcında artış göstermiştir. Yabani nohut *C. reticulatum* köklerinde ise B30 uygulanan bitkilerde AP aktivitesi kuraklık uygulamaları ile belirgin bir artış göstermiştir.

Kuraklık stresinin AP enzim aktivitesinde artışa neden olduğunu bildiren Ma vd. [160]'nın yaptıkları çalışma ile sonuçlarımız uygunluk göstermektedir. Kuraklık stresi sırasında AP aktivitesinin artması ile özellikle B ve C siklitol uygulamalarında konsantrasyona bağlı olarak bitkinin kuraklığa uyum göstermesini ve alışmasını sağladığı söylenebilir. AP enziminden sorumlu genlerin aşırı ifade olduğu transgenik bitkiler ile yapılan çalışmalarda, AP aktivitesindeki artışın abiyotik strese toleransın artmasını sağladığı bildirilmiştir [164].

4.2. 6. Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesi

Bir flavo-protein oksidaz olan GR; askorbat-glutasyon döngüsünün potansiyel bir enzimidir. Bu döngüde Glutasyon'un indirgenmesini katalizleyerek ROT'un zararlı etkilerine karşı savunma sisteminde önemli bir rol oynar [78,79].

Düşük GR aktivitesine sahip transgenik bitkilerin oksidatif strese duyarlılığının arttığı rapor edilmiştir [165]. Sharma ve Dubey [166] pirinç fidelerinde, Sanchez-Rodriguez [167] domateste, Ma vd. [160] elma yapraklarında, Bhardwaj vd. [145] fasulye bitkisinde kuraklık stresi ile birlikte GR aktivitesinin arttığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda benzer şekilde kuraklık stresine maruz bırakılan *C.arietinum* (Şekil 4.4, Şekil 4.16) ve *C.reticulatum*'da (Şekil 4.8, Şekil 4.20) GR aktivitesinin belirgin bir şekilde arttığı belirlenmiştir. *C. reticulatum*'da GR aktivitesi *C. arietinum*'a göre daha yüksektir. Çalışmamızın aksine, Sanchez – Rodriguez [167] kuraklığa duyarlı fasulye bitkisinde GR aktivitesinin dayanıklı türe göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Kuraklık stresinin başlangıcında *C. arietinum* yapraklarında A30 uygulaması ve *C. reticulatum* yapraklarında C30 uygulaması GR aktivitesinde en yüksek artışa neden olmuştur. Kuraklık şiddetinin arttığı 7.günde ise B10 uygulanan *C. arietinum* yapraklarında GR aktivitesi en yüksek değerdedir. *C. reticulatum* yapraklarında ise siklitol uygulamaları GR aktivitesinde önemli bir değişikliğe neden olmamıştır.

Her iki türün köklerinde kuraklığın başlangıcında siklitol uygulamaları ile GR aktivitesinde artış gözlenmiştir. Kuraklık şiddetinin arttığı 7. günde ise *C. arietinum* köklerinde GR aktivitesi azalırken, *C. reticulatum*'da önemli bir değişiklik

gözlenmemiştir. Sharma ve Dubey [166] pirinç bitkisi ile yaptıkları çalışmada orta dereceli kuraklık stresinin kök dokularında GR aktivitesini arttırdığını, fakat ileri derecede kuraklık stresinde enzim aktivitesinde önemli bir düşme olduğunu rapor etmişlerdir. Kuraklık şiddetinin artmasıyla GR aktivitesinin düşmesi, ROT miktarı ve enzim etkileşimlerinin artması sonucu gerçekleştiği rapor edilmiştir [168]. Bhardwaj vd. [145] kuraklık stresine maruz bırakılan fasulye bitkisinin köklerinde duyarlı türün dayanıklı türe göre daha yüksek GR aktivitesine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bunun aksine, çalışmamızda siklitol uygulanan *C. reticulatum* köklerindeki GR aktivitesinin *C. arietinum*'a göre daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir. Siklitol türevlerinin konsantrasyonuna, bitki dokusu ve bitki türüne göre GR aktivitesini farklı etkilediği belirlenmiştir.

4.2.7. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) Konsantrasyonu ve Malondialdehit (MDA) İçeriği

H₂O₂ düşük konsantrasyonlarda stres toleransını tetikleyen bir sinyal molekülüdür. Yüksek konsantrasyonlarda ise programlanmış hücre ölümüne yol açar [169]. Kuraklık stresi oksidatif stres şartlarını ağırlaştırır ve yüksek oksidatif hasar meydana getirir [167].

Lipid peroksidasyonu hücre zarındaki doymamış yağ asitlerinin serbest radikallerle etkileşerek bozulması ve lipid hidroperoksitlerin oluşmasıdır. Lipid peroksidasyonun bir son ürünü olan malondialdehid (MDA), hücre zarlarında iyon alışverişine etki ederek zarın yapısına zarar verir ve hücre bütünlüğünün bozulmasına neden olur [170, 171].

Kuraklık stresi ile *Medicago truncatula* Gaertn. bitkilerinin kök ve yaprak dokularında MDA ve H₂O₂ miktarının arttığı gözlenmiştir [163,172]. Benzer şekilde, kuraklık stresine maruz bırakılan *C. arietinum* bitkisinin yapraklarında stresin şiddetinin arttığı 7. günde H₂O₂ miktarı belirgin bir şekilde artmıştır (Şekil 4.21). *C. arietinum*'daki H₂O₂ miktarının artışı KAT ve AP enzim aktivitelerinin düşük olması nedeniyle H₂O₂'nin tüketilmemiş olduğu fikrini vermektedir. Basu vd., [154] su stresinde H₂O₂'nin yüksek seviyelerde olmasının hücre zarı hasarına neden olan lipid peroksidasyonuna yol açtığını bildirmiştir. Su stresine maruz kalan kahve [173] ve

zeytin [174] bitkilerinde MDA miktarı yüksek bulunmuştur. Buna paralel olarak, çalışmamızda da MDA miktarında artış olduğu belirlenmiştir. *C. arietinum*'un (Şekil 4.9) aksine *C. reticulatum*'da (Şekil 4.10) kuraklık stresinin ilk günü H₂O₂ miktarı belirgin bir artış gösterirken, kuraklık şiddetinin artmasıyla H₂O₂ miktarı azalmıştır. *C. reticulatum* türünde kuraklık şiddetinin arttığı 7. günde H₂O₂ seviyesinin azalmış olması hem KAT hem de AP aktivitesinin kurak kontrole göre belirgin bir şekilde artış göstermesiyle açıklanabilir. Kuraklığa toleranslı bitkilerde yüksek antioksidan enzim aktivitesi ile ilgili olarak MDA miktarının az olmasının toleransın bir göstergesi olabileceği bildirilmiştir [175]. Kuraklığa duyarlı pirinç varyetelerinde H₂O₂ ve MDA miktarının oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir [154]. Khan ve Panda [176] tuz stresine maruz kalan pirinç genotiplerinde MDA miktarının arttığını bildirmişlerdir. Bu araştırmacılar daha yüksek ROT süpürme kapasitesi ve daha fazla koruma mekanizmasına sahip genotiplerde lipid peroksidasyon seviyesinin düşük olduğunu da rapor etmişlerdir. Simova-Stoilova vd., [177] kuraklığa maruz kalan buğday varyeteleri ile yaptıkları çalışmada, kuraklığa duyarlı varyetelerde hücre zarı hasarının daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Bu durum kuraklık stresine maruz kalan toleranslı bitkilerin ROT süpürme mekanizmasının duyarlı bitkilere göre daha gelişmiş olabileceğini göstermektedir. Ayrıca Sanchez-Rodriguez vd. [167] yaptıkları çalışmada MDA içeriğinin su stresine toleranslı bitkilerin seçiminde en belirleyici parametre olduğunu bildirmişlerdir. Siklitol uygulamaları ile *C. arietinum* yapraklarında H₂O₂ seviyesi C30 uygulanan bitkiler hariç, belirgin bir şekilde azalmıştır. Aynı şekilde MDA miktarında da benzer değişimler gözlenmiştir (Şekil 4.11). C30 uygulanan bitkilerin yapraklarında gözlenen MDA azalmasından dolayı siklitollerin hücre zarındaki fosfolipitlerin yapısına katılarak MDA oluşumunu azaltmış olabileceği söylenebilir. Bazı siklitol türevlerinin lipidlerle birlikte hücre zarlarının yapısına katılarak hücre bütünlüğünün sağlanmasında önemli rol aldıkları belirlenmiştir [178].

C. arietinum köklerinde kuraklığın ilk günü kontrole göre hem H₂O₂ (Şekil 4.21) hem de MDA miktarı (Şekil 4.23) belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Kuraklık şiddetinin artmasıyla ise bir artış belirlenmemiştir. Kuraklığın başlangıcında KAT aktivitesi AP'den daha fazla artış göstermiştir. KAT; H₂O₂'nin süpürülmesinde birincil olarak görev alan enzimdir. Ancak kuraklığın ilk günü AP

aktivitesinin düşük olması nedeniyle KAT enziminin H₂O₂ süpürmede yetersiz kalmış olabileceği fikrini vermektedir. Kuraklığın 7. gününde kurak kontrole göre KAT aktivitesi düşerken, AP aktivitesi belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Bunun sonucu olarak, H₂O₂ miktarı ve MDA miktarı azalmıştır. KAT; H₂O₂'nin süpürülmesinde birincil enzim olmasına rağmen çalışmamızda; H₂O₂'nin süpürülmesinde köklerde AP enziminin daha etkili olduğu söylenebilir. A ve B siklitol türevlerinin uygulandığı *C. arietinum*'un köklerindeki H₂O₂ miktarı kuraklık stresiyle birlikte azalmıştır. Ayrıca MDA miktarında da azalma gözlenmiştir. Kuraklık şiddetinin arttığı 7.günde siklitol uygulanan bitkilerde H₂O₂ miktarındaki azalmayla birlikte MDA miktarında da azalma gözlenmiştir. *C. reticulatum*'un köklerindeki H₂O₂ miktarı kuraklığın ilk günü 7. güne göre daha fazla bir artış göstermiştir (Şekil 4.22). Bu sırada MDA miktarı ise kuraklık şiddetinin arttığı 7. günde ilk güne göre 7 kat artmıştır. Bu durum H₂O₂ dışındaki diğer reaktif oksijen türlerinin hücre zarı hasarına yol açmış olabileceğini akla getirmektedir. *C. reticulatum*'un köklerindeki KAT aktivitesinin kuraklığın ilk gününde yüksek olması H₂O₂ süpürülmesinde KAT enziminin stresin ilk günü daha etkili olduğu, stresin artmasıyla ise AP aktivitesinin daha etkili olduğu görülmektedir. Ancak MDA'nın da kontrole göre çok yüksek olması nedeniyle, mevcut AP aktivitesinin H₂O₂'nin süpürülmesinde yetersiz kalmış olabileceğini akla getirmektedir.

Kuraklık stresi altında A ve C siklitol uygulanan *C. reticulatum* köklerinde kuraklık şiddetinin artmasıyla H₂O₂ miktarı azalmıştır. Buna paralel olarak MDA miktarında da azalma gözlenmiştir (Şekil 4.24). C siklitol uygulamalarının MDA oluşumunu diğerlerine göre daha belirgin olarak azaltmış olduğu ve oksidatif stresin etkisinin hafifletilmesinde daha fazla katkı sağlamış olduğu söylenebilir. Siklitol uygulanan bitkilerde H₂O₂ miktarının artmasına rağmen MDA'nın azalması, siklitollerin radikal süpürülmesinde görev aldığını bildiren çalışmaları desteklemektedir. In vitro çalışmalarda çeşitli siklitollerin OH[•] radikallerini süpürdüğünün ifade edilmiş olması [92] C siklitol uygulamasının MDA azalmasında etkili olabileceğini göstermektedir. Siklitoller osmotik dengenin ayarlanmasında önemli rolleri olan moleküllerdir. Bu yolla bitki dokularının su kaybını azaltarak; proteinlerin ve hücre zarı yapısının korunmasında işlev görür. Bu nedenle bitkinin stres koşullarına daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır [179,180].

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- ❖ *C. arietinum* ve *C. reticulatum*'da kuraklık şiddetine bağlı olarak gövde uzunluğunun azaldığı belirlenmiştir. Her iki türde, siklitol uygulamalarının gövde uzunluğu üzerinde önemli bir etki göstermediği belirlenmiştir.
- ❖ Kuraklık stresine maruz kalan *C. arietinum*'da kök uzunluğu *C. reticulatum*'a göre daha belirgin bir artış göstermiştir. Siklitol uygulamalarının *C. reticulatum*'da *C. arietinum*'a göre daha etkili olduğu ve kök uzunluğunu arttırdığı belirlenmiştir. Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde kök uzunluğunun artması suyun alımında avantaj sağlamaktadır.
- ❖ Kuraklık stresi her iki nohut türünde YSP'nin azalmasına neden olmuştur. Siklitol uygulamaları ile *C. arietinum*'da kuraklık stresinin birinci günü, *C. reticulatum*'da ise stresin yedinci günü YSP'nin önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir. Siklitol uygulamalarının YSP'yi azaltmış olması turgorun devamlılığının sağlanmasında etkin olduklarını düşündürmektedir.
- ❖ Kuraklık stresi altındaki bitkilerin yaprak ve köklerinde SOD, AP ve GR antioksidan enzim aktiviteleri artış göstermiştir. Katalaz (KAT) aktivitesinde ise yapraklarda azalma gözlenirken, köklerde artış belirlenmiştir. Siklitol uygulamaları ile antioksidan enzim aktiviteleri üzerinde belirgin etkiler göstermiştir. Sentetik siklitol türevlerinin antioksidan sistem üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yeterli bilgi mevcut değildir. Bu alanda yapılacak çalışmalar ile stres faktörlerine karşı bitkilerin antioksidan içeriklerini arttıran ve daha dayanıklı olmasını sağlayan yeni moleküller belirlenebilecektir.
- ❖ Kuraklık stresi uygulanan bitkilerin kök ve yapraklarında MDA içeriği ve H₂O₂ konsantrasyonu önemli oranda artış göstermiştir. Uygulanan siklitol türevine ve konsantrasyonuna bağlı olarak bitkilerin yaprak ve köklerinde MDA ve H₂O₂ miktarının azaldığı belirlenmiştir. Bu da bu siklitol

türevlerinin stresin etkisini azalttığı ve toleransın artmasına yardımcı olduğu fikrini vermektedir.

- ❖ Yapraklara uygulanan sentetik siklitol türevlerinin duyarlı kültür nohut *C. arietinum*'un antioksidan enzim aktivitelerini arttırıcı etkileri olduğu ve kuraklık toleransının geliştirmesine katkı sağladığı belirlenmiştir.
- ❖ Sonuç olarak, dışarıdan uygulanan ve yeni sentezlenmiş olan bu siklitol türevlerinin biyolojik olarak aktif oldukları ve tarımsal önemi olan bitkilerin kuraklık toleransının arttırılması amacıyla kullanılma potansiyellerinin olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Lev-Yadun, S., Gopher, A. and Abbo, S. “The cradle of agriculture”, *Science*, 288: 1602-1603, (2000).
- [2] Singh, K.B. “Chickpea (*Cicer arietinum* L.)”, *Field Crops Research* 53: 161- 170, (1997).
- [3] FAOSTAT, <http://faostat3.fao.org/home/index.html> (1.12.2012).
- [4] Ryan, J. G. “A global perspective on pigeon pea and chickpea sustainable production systems: present status and future potential”. (Eds: Asthana, A. N., Ali, M.), *Recent advances in pulses research*, Indian Society of Pulses Research and Development, IIPR, Kanpur, 1-30, (1997).
- [5] Asada, K. ve Takahashi, M. “Production and scavenging of active oxygen radicals in photosynthesis”, (Eds: Kyle, D.J. et al) *Photoinhibition*, Elsevier, Amsterdam, 227-297, (1987).
- [6] Okuda, T., Matsuda, Y., Yamanaka, A., ve Sagisaka, S. “Abrupt increase in the level of hydrogen peroxide in leaves of wheat is caused by cold treatment”, *Journal Plant Physiology*, 97: 1265-1267, (1991).
- [7] Foyer, C. H., Lendais, M., Kunert, K. J. “Photooxidative stress in plants”, *Physiology Plant*, 92: 696-717, (1994).
- [8] Makela, P., Kontturi, M., Pehu, E., ve Somersalo, S. “Photosynthetic response of drought and salt-stressed tomato and turnip rape plants to foliar-Applied glycinebetaine”, *Physiology Plant*, 105: 45-50, (1999).
- [9] Fridovich, I. “Biological effects of the superoxide radical”, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 274: 1-11, (1986).
- [10] Davies., K. J. A. “Protein damage and degradation by oxygen radicals”, 1. General Aspects, *Journal of Biological Chemistry*, 262: 9895-9901, (1987).
- [11] Çakmak, I. and Marschner, H., “Magnesium deficiency and highlight intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves”, *Plant Physiology*, 98: 1222-1226, (1992).
- [12] Gossett, D. R., Millhollon, E.P., Lucas, M.C., “Antioxidant response to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton”, *Crop Science*, 34:706-714, (1994).

- [13] Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F., Koca, H. “Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. Acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stres”, *Plant Science*, 168: 223-231, (2005).
- [14] Kalefetoğlu, T. ve Ekmekçioğlu, Y. “Bitkilerde kuraklık stresinin etkileri ve dayanıklılık mekanizması”, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18(4): 723-740, (2005).
- [15] Sankar, B., Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundrunam, R., Panneerselvan, R. “Relative efficacy of water use in five varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. under water limited conditions”, *Biointerfaces*, 62: 125-129 , (2008).
- [16] Moghaieb, R. E. A., Saneoka, H. and Fujita, K. “Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betain aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophytic plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritima*”, *Plant Science*, 166: 1345-1349, (2004).
- [17] Balcı, M., Kaya, N., Yardımcı, D. Ş. “Tetrahedron” , Vol. 62: 10633-10638, (2006).
- [18] Hudlicky, T., Luna, H., Price, J. D., Rulin, F., “Microbial oxidation of chloroaromatics in the enantiodivergent synthesis of pyrrolizidine alkaloids: trihydroxyheliotridanes”, *Journal of Organic Chemistry*, 55: 4683, (1990).
- [19] Gültekin, M. S., Çelik, M., Balcı, M., “Cyclitols and related compounds”, *Current Organic Chemistry*, 8: 1159, (2004).
- [20] Streeter, J. G., Lohnes, D. G. and Fioritto, R. J., “Patterns of pinitol accumulation in soybean plants and relationships to drought tolerance”, *Plant, Cell and Environment*, 24: 429-438, (2001).
- [21] Vernon, D.M, and Bohnert, H.J., “A novel methyl transferase induced by osmotic stress in facultative halophyte *Mesembryanthemum crystallinum*”, *EMBO Journal*, 11: 2077- 2085, (1992).
- [22] Pattanagul, W. and Madore, M.A., “Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in coleus”, *Plant Physiology*, 121: 987-993, (1999).
- [23] Yancey, P., “Organic osmolytes as compatible, metabolic, and counteracting crytoprotectants in high osmolarity and other stresses”, *Journal of Experimental Biology*, 208(15): 2819–2830, (2005).

- [24] Yoshizaki, H., Backvall, J. E., “Efficient synthesis of (\pm)-, (+)-, and (-)-conduritol via palladium(II)-catalyzed 1,4-diacetoxylation in combination with enzymatic hydrolysis”, *Journal of Organic Chemistry*, 65: 9339, (1998).
- [25] Merchant, A. and Adams, M.A., “Stable osmotica in *Eucalyptus spathulata*-responses to salt and water deficit stress”, *Functional Plant Biology*, 32: 797-805, (2005).
- [26] Orthen, B. and Popp, M., “Cyclitols as protectants for spinach and chickpea thylakoids”, *Environmental and Experimental Botany*, 44: 125-132, (2000).
- [27] Borland, A., Elliott, S., Patterson, S., Taybi, T., Cushman J., Pater B., Barner, J., “Are the metabolic components of crassulacean acid metabolism up-regulated in response to an increase in oxidative burden?”, *Journal of Experimental Botany*, 57(2): 319-328, (2006).
- [28] Bowler, C., Van Camp W., Van Montagu M., Inze, D., ”Superoxide dismutases in plants”, *Critical reviews in Plant Sciences*, 13: 199–218, (1994).
- [29] Değirmenci, V., Kırnak, H. and Anlağan, M., “Harran ovası koşullarında nohut sulama programının belirlenmesi”, VIII. Tarla Bitkileri Kongresi, 19-22 Ekim, Hatay, 375-377, (2009).
- [30] Beck, D. P., “Biological Nitrogen Fixation Studies”, *Food Legume Improvement Program, Annual Report, Icarda*, p: 177- 183, (1988).
- [31] Smithson, J. B., Thompson, J. A. and Summerfield, R. J., “Chickpea, in *Grain Legume Crops*”, (Eds: Summerfield, R. J. and Roberts, E. H.), Collins, London, 315-345, (1985).
- [32] Türkeş, M., “Artan Sera Etkisinin Türkiye Üzerindeki Etkileri”, *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi*, 321: 71, (1994).
- [33] Levitt, J., “Responses of plants to environmental stress, chilling, freezing and high temperature stresses”, *Academic Press, Inc.*, 2nd Edition, 607, (1980).
- [34] Mahajan, S., and Tuteja, N., “Cold, salinity and drought stress: an overview”, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444: 139-158 (2005).
- [35] Lawlor, D. W. and Cornic, G., “Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants”, *Plant Cell Environmental*, 25: 275-294, (2002).

- [36] Asraf, M. and Foolad, M.R., “Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance”, *Environmental and Experimental Botany*, 59: 206-216, (2007).
- [37] Türkeş, M., “Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions”, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 23: 363-380, (1999).
- [38] Jones, R. A. and Qualset, C. O., “Breeding crops for environmental stress tolerance, In: Collins”, (Ed: Petolino, G. B.), *Application of genetic engineering to crop improvement*, Dordrecht, Netherlands, Nijhoff/Junk, 305- 340, (1984).
- [39] Saxena, N. P., “Chickpea in the physiology of tropical field crops” (Eds: Goldsworthy, P.R. and Fisher, N. M.), *John Wiley and Sons Ltd, UK.*, 419-452, (1984).
- [40] Palled, Y. B., Chandreshkharaiyah, A. M. and Radder, G. D., “Response of Bengal gram to moisture stres”, *Indian Journal of Agronomy*, 30: 104-106, (1985).
- [41] Johansen, C. B., Baldev, J. B., Brouwer, W., Erskine, W. A., Jermyn, L., Li-Juan, B. A., Malik, A., Ahad, M. and Silim, S. N., “Biotic and abiotic stresses constraining productivity of cool season food legumes in Asia, Africa and Oceania in: Muehlbauer”, (Ed: Kaiser, W. J.), *Expanding the Production and Use of Cool Season Food Legumes*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 175-194, (1994).
- [42] Singh, K. B., Malhotra, R. S., Halila, M. H., Knights, E. J. and Verma, M. M., “Current Status and Future Strategy in Breeding Chickpea for Resistance to Biotic and Abiotic Stresses, in Expending the Production and Use of Cool Season Food Legumes”, (Eds: Muehlbauer, F. J. and Kaiser, W. J.), *Klwer Academic Pub.*, printed the Netherlands, 572-591, (1994).
- [43] Toker, C. ve Çağırğan, M. İ., “Assessment of response to drought stress of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed conditions”, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22: 615-621, (1998).
- [44] Leport, L., Turner, N. C., French, R. J., Barr, M. D., Duba, R., Davies, S. L., Tennant, D. and Siddique, K. H. M., “Physiological responses of chichpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment”, *European Journal of Agronomy*, 11: 279-291, (1999).
- [45] Makbul, S., Güler, N. S., Durmuş, N., Güven, S., “Changes in anatomical and physiological parameters of soybean under drought stres”, *Turkish Journal of Botany*, 369- 377, (2011).

- [46] Krouma, A., “Plant water relations and photosynthetic activity in three Tunisian chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes subjected to drought”, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 34: 257-264, (2010).
- [47] Machado, S. and Paulsen, G. M., “Combined effects of drought and high temperature on water relations of wheat and sorghum”, Biomedical and Life Sciences, 233: 179-187, (2001).
- [48] Elstner, E.F., “Oxygen activation and oxygen toxicity”, Annual Review Plant Physiology 33: 73-96, (1982).
- [49] Halliwell, B. and Gutteridge, J. M. C., “Free radicals in biology and medicine”, Oxford: Clarendon Press, (1989).
- [50] Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. and Van Breusegem, F., “Reactive oxygen gene network of plants”. Trends Plant Science, 9: 490–498, (2004).
- [51] Staroverov, V. N. and Davidson, E. R., “Distribution of effectively unpaired electrons”. Chemistry Physical Letters, 330: 161- 168, (2000).
- [52] Kopáni, M., Celec, P., Danisovic, L., Michalka P. and Biró, C. “Oxidative stress and electron spin resonance”, Clinica Chimica Acta, 364: 61-66, (2006).
- [53] Van Camp, W. and Van Montagu, M., Inze, D., “H₂O₂ and NO: redox signals in disease resistance”. Trends Plant Science, 3: 330-334, (1998).
- [54] Van Breusegem, F., Dat, J. F., “Reactive oxygen species in plant cell death”, Plant Physiology, 141: 384-390, (2006).
- [55] Lamb, C., Dixon, R.A., “The oxidative burst in plant disease resistance”, Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology, 48: 251-275, (1997).
- [56] Gechev, T., Willekens, H. and Van Montagu, M., “Different responses of tobacco antioxidant enzymes to light and chilling stress”. Journal of Plant Physiology, 160: 509-515, (2003).
- [57] Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S. and Chenglie, Z., “Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought”, Plant Science, 169 (2): 313-321, (2005).
- [58] Monti, L. M., “Breeding Plants for Drought Resistance: The Problem and its Relevance. Drought Resistance in Plants”, Meeting Held in Amalfi, 19-23 October, Belgium, 1-8, (1986).

- [59] Stuhlfauth, T., Scheuermann, R. and Fock, H.P., “Light energy dissipation under water stress conditions”, *Plant Physiology*, 92: 1053-1061, (1990).
- [60] Tambussi, E. A., Bartoli, C. G, Beltrano, J., Guamet, J. J. and Araus, J. L., “Oxidative damage to thylakoid proteins in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum*)”. *Physiology Planta*, 108: 398-404, (2000).
- [61] Farrant J. M., “A comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species”, *Plant Ecology*, 151: 29- 39, (2000).
- [62] Cadenas, S.E., “Biochemistry of oxygen toxicity”, *Annual Review of Biochemistry*, 58: 79-110, (1989).
- [63] Sairam, R. K., Saxena, D. C., “Oxidative stress and antioxidants in wheat cultivars: possible mechanism of water stress tolerance”. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184: 55-61, (2000).
- [64] Fridovich, I., “Biological effects of superoxide radical”, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 247: 1-11, (1986).
- [65] Liebler, D. C., Kling, D. S. and Reed, D. J., “Antioxidant protection of phospholipid bilayers by U-tocopherol. Control of U-tocopherol status and lipid peroxidation by ascorbic acid and glutathione”, *Journal Biology Chemistry*, 261:12114-12119, (1986).
- [66] Davies, K. J. A., “Protein damage and degradation by oxygen radicals”, I. General aspects. *Journal Biology Chemistry*, 262: 9895-9901, (1987).
- [67] Smirnoff, N., “The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation”. *New Phytologist*, 125: 27-58, (1993).
- [68] Noctor, G. and Foyer, C. H., “Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control”, *Annu. Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49: 249–279, (1998).
- [69] Baek, K. H. and Skinner, D. Z., “Alteration of antioxidant enzyme gene expression during cold acclimation of near isogenic wheat lines”. *Plant Science*, 165: 1221–1227, (2003).
- [70] Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A., “Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants, protective role of exogenous polyamines”, *Plant Science*, 151: 59–66, (2000).
- [71] Ying, G., Shen, Y., Tong, N., Gu, J., Hao, L. and Liu, Z., “Drought induced changes of physio-biochemical parameters in maize”, *Journal of Food, Agriculture and Environment*, Vol.10 (1): 853-858, (2012).

- [72] Rafiee, M., Abdipoor, F. and Lari, H., “Corn (*Zea mays* L.) antioxidants response to drought stress”, World Academy of Science, Engineering and Technology, 57: 412-414, (2011).
- [73] Masoumi, A., Kafi, M., Khazaei, H. and Davari, K., “Effect of drought stress on water status, electrolyte leakage and enzymatic antioxidants of kochia (*Kochia scoparia*) under saline condition”, Pakistan Journal of Botany, 42(5): 3517-3524, (2010).
- [74] Raheleh, R., Ramazanali, K.N., Ali, G., Abdolreza, B., Farzaneh, N. And Masoud, R., “Use of biochemical indices and antioxidant enzymes as a screening technique for drought tolerance in Chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.)”, African Journal of Agricultural Research, Vol. 7(39): 5372-5380, (2012).
- [75] Dixit, V., Pandey, V., Shyam, R., “Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L.)”, Journal of Experimental Botany., 52 (358): 1101-1109, (2001).
- [76] Mittova, V., Tal, M., Volokita, M. and Guy, M., “Salt stress induces up-regulation of an efficient chloroplast antioxidant system in the salt-tolerant wild tomato species *Lycopersicon pennellii* but not in the cultivated species”, Physiologia Plantarum, 115: 393-400, (2002).
- [77] Beyer, R. E., “The role of ascorbate in antioxidant protection of biomembranes: Interaction with vitamin E and coenzyme Q”, Journal of Bioenergetics and Biomembranes, 26: 349-358, (1994).
- [78] Shalata, A., Mittova, V., Guy, M. and Tal, M., “Response of cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt dependent oxidative stress: the root antioxidative system”, Physiologia Plantarum, 112: 487-494, (2001).
- [79] Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y. and Yoshimura, K., “Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes”, Journal of Experimental Botany., 53(372): 1305-1319, (2002).
- [80] Sairam, R. K., Deshmukh, P.S. and Saxena, D.C., “Role of antioxidant systems in wheat cultivars tolerance to water stress”, Biologia Plantarum, 41: 387-394, (1998).
- [81] Çevik, S. “Kuraklık Toleransları Farklı *Cicer* (Nohut) Genotiplerinde Askorbat ve Glutasyon Uygulamalarının Antioksidan Sistem Üzerine Etkilerinin Araştırılması ve Genomik Varyasyonlarının Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).

- [82] Parida, A. K. and Das, A. B., “Salt tolerance and salinity effects on plants: a review”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 324-349, (2005).
- [83] Sánchez, F. J., de Andrés, E. F., Tenorio, J. L. and Ayerbe, L., “Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress”, *Field Crops Res.*, 86: 81–90, (2004).
- [84] Iba, K., “Acclimative responses to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance”, *Annual Review of Plant Biology*, 53: 225-245, (2002).
- [85] Chimenti, C. A, Pearson, J. and Hall, A. J., “Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower”, *Field Crops Research*, 75: 235-246, (2002).
- [86] Smirnov, N., “Plant resistance to environmental stresses”, *Current Opinion Biotechnology*, 9: 214-219, (1998).
- [87] Merchant, A., Adams, M. A., Richter, A. and Popp, M., “A metabolite approach provides functional links among eucalypt taxonomy, physiology and evolution”, *Phytochemistry*, 67: 402-408, (2006).
- [88] Paul, M. J. and W. Cockburn., “Pinitol, a compatible solute in *Mesembryanthemum crystallinum* L.”, *Journal of Experimental Botany*, 40: 1093–1098, (1989).
- [89] Fougère, F., Le Rudulier, D. and Streeter, J.G., “Effects of salt stress on amino acid, organic acid and carbohydrate composition of roots, bacteroids, and cytosol of alfalfa (*Medicago sativa* L.)”, *Plant Physiology*, 96: 1228–1236, (1991).
- [90] Smith, A. E. and Phillips, E.V., “The maize low-phytic acid 3 encodes a myoinositol kinase that plays a role in phytic acid biosynthesis in developing seeds”, *Physiology Plant.*, 54: 31–33, (1982).
- [91] Sheveleva, E., Chmara, W., Bohnert, H. J. and Jensen, R. G., “Increased salt and drought tolerance by D-ononitol production in transgenic *Nicotiana tabacum* L”, *Plant Physiology*, 115: 1211–1219, (1997).
- [92] Orthen, B., Popp, M. and Smirnov, N., “Hydroxyl radical scavenging properties of cyclitols”, *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 102: 269–272, (1994).
- [93] Pharr, D. M., Stoop, J. M. H., Williamson, J. D., Studer Feusi, M. E., Massel, M. O. and Conkling M. A., “The dual role of mannitol as osmoprotectant and photoassimilate in celery”, *Hortscience*, 30: 1182–1188, (1995).

- [94] Bohnert, H. J., Nelson, D. E. and Jensen, R. G., “Adaptations to environmental stresses”, *Plant Cell*, 7: 1099–1111, (1995).
- [95] Taiz, L. and Zeiger, E., “Sinauer associates”, *Plant Physiology*, 3th Edition, 602-611, (2002).
- [96] Bray, E. A., “Plant Responses to Water Deficit”, *Trends Plant Science*, 2: 48-54, (1997).
- [97] Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., “Gene expression and signal transduction in water-stress response”, *Plant Physiology*, 115: 327-334, (1997).
- [98] Heilmann, I., Perera, I. Y., Gross, W. and Boss, W. F., “Plasma membrane phosphatidyl inositol 4,5-bisphosphate levels decrease with time inculture”, *Plant Physiology*, 126: 1507–1518, (2001).
- [99] Heilmann, I., Perera, I.Y., Gross, W. and Boss, W.F., “Changes in phosphoinositide metabolism with days in culture affect signal transduction pathways in *Galdieria sulphuraria*”, *Plant Physiology*, 119: 1331–39, (1999).
- [100] Drobak, B. K. and Watkins, P. A., “Inositol (1,4,5) trisphosphate production in plant cells: an early response to salinity and hyperosmotic stress”, *FEBS Letters*, 481: 240–44, (2000).
- [101] Takahashi, S., Katagiri, T., Hirayama, T., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K., “Hyperosmotic stress induced a rapid and transient increase in inositol 1,4,5-trisphosphate independent of abscisic acid in *Arabidopsis* cell culture”, *Plant Cell Physiology*, 42: 214–22, (2001).
- [102] Lee, Y., Choi, Y. B., Suh, J., Lee, J. and Assmann, S.M., “Abscisic acid–induced phosphoinositide turnover in guard cell protoplasts of *Vicia faba*”, *Plant Physiology*, 110: 987–96, (1996).
- [103] Xiong, L., Lee, B. H., Ishitani, M., Lee, H., Zhang, C. and Zhu, J. K., “FIERY1 encoding an inositol polyphosphate 1- phosphatase is a negative regulator of abscisic acid and stress signaling in *Arabidopsis*”, *Genes Dev.*, 15: 1971–84, (2001).
- [104] Sanders, D., Brownlee, C. and Harper, J.F., “Communicating with calcium”, *Plant Cell*, 11: 691–706, (1999).
- [105] Schumaker, K. S. and Sze, H., “Inositol 1,4,5-trisphosphate releases Ca²⁺ from vacuolar membrane vesicles of oat roots”, *Journal Biology Chemistry*, 262: 3944–46, (1987).

- [106] Wu, Y., Kuzma, J., Marechal E., Graeff, R. and Lee, H. C., “Abscisic acid signaling through cyclic ADP-ribose in plants”, *Science*, 278: 2126–30, (1997).
- [107] Irvine, R. F. and Schell, M. J., “Back in the water: the return of the inositol phosphates”, *Natural Review Molecular Cell Biology*, 2: 327–338, (2001).
- [108] Valluru, R. and Van den Ende, W., “Myo-inositol and beyond – Emerging networks under stress”, *Plant Science*, 181: 387–400, (2011).
- [109] Stevenson-Paulik, J., Bastidas, R. J., Chiou, S.-T., Frye, R. A. and York, J. D., “Generation of phytate-free seeds in *Arabidopsis* through disruption of inositol polyphosphate kinases”, *Proceedings of the National Academy of Science. U.S.A.*, 102: 12612-12617, (2005).
- [110] Yang, L., Tang, R., Zhu, J., Liu, H., Mueller-Roeber, B., Xia, H. and Zhang, H., “Enhancement of stress tolerance in transgenic tobacco plants constitutively expressing AtIpk2, an inositol polyphosphate 6-/3-kinase from *Arabidopsis thaliana*”, *Plant Molecular Biology*, 66: 329–343, (2008).
- [111] Noiraud, N., Maurousset, L., and Lemoine, R. “Identification of a mannitol transporter, AgMaT1, in celery phloem”. *Plant Cell*, 13: 695–705, (2001).
- [112] Dittrich, P. and Brandl, A. “Revision of the pathway of D-pinitol formation in *Leguminosae*”. *Phytochemistry* 26, 1925-1926, (1987).
- [113] Nelson, D. E., Rammesmayr, G. and Bohnert, H. J. “Regulation of cell specific inositol metabolism and transport in plant salinity tolerance”, *Plant Cell*, 10: 753–764, (1998).
- [114] Adams, P., Nelson, D.E., Yamada, S., Chmara, W., Jensen, R.G., Bohnert, H.J. and Griffiths, H., “Growth and development of *Mesembryanthemum crystallinum* (*Aizoaceae*)”, *New Phytologist*, 138: 171-190, (1998).
- [115] Quemener, B., Brillouer, J.M., “Ciceritol, a pinitol disaccharide from seeds of chickpea, lentil and white lupin”, *Phytochemistry*, 22: 1745–1751, (1983).
- [116] Piotrowicz-Cieślak, A.I., Michalczyk, D.J., Górecki, R.J., Rejowski, A. “Oligosaccharides and galactosyl cyclitols during the loss of desiccation tolerance of germination narrow-leaved lupin seeds”, *Scientific Works of the Institute of Horticulture and Vegetable Growing*, 17: 281–289, (1998).
- [117] Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A. “Sap pressure in vascular plants”, *Science*, 148: 339-346, (1965).

- [118] Hartree, E. F. “Determination of protein: A modification of Lowry Method that gives a linear photometric response”, *Analytical Biochemistry*, 48: 422-427, (1972).
- [119] Beyer, W. F., Fridowich, I., “Assaying for superokside dismutase activity: Some large consequences of minor changes in conditions”, *Analytical Biochemistry*, 161: 559-566, (1987).
- [120] Aebi, H. E., Bergmeyer, J., Grabl, M., “Catalase In: Methods of enzymatic analysis ”, Eds. Verlag Chemie, Weinheim, 3: 273-286, (1983).
- [121] Bonnet, M., Camares, O., Veisserie, P. ”Effects of zinc and influence of *Acremonium lolii* on growth parameters, chlorophyll a flurescence and antioxidant enzyme activites of ryegrass”, *Journal Experimental Botany*, 51: 945-953, (2000).
- [122] Calberg, I. and Mannervik, B., “Glutathion Reductase Methods in Enzymology”, 113: 484-490, (1985).
- [123] Ohkawa, H., Ohishi, N. and Yagi, K., “Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction”. *Analytical Biochemistry*, 95: 351-358, (1979).
- [124] Ahn, C., Park, U., Park, P. B., “Increased salt and drought tolerance by D-ononitol production in transgenic *Arabidopsis thaliana*”, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 415: 669–674, (2011).
- [125] Wanek, W. and Richter, A., “Biosynthesis and accumulation of D-ononitol in *Vigna umbellata* in response to drought stres”, *Physiol Plant*, 101: 416–424, (1997).
- [126] Munnik, T., and Vermeer, J.E.M., “Osmotic stress induced phosphoinositide and inositol phosphate signalling in plants”. *Plant Cell Environmental*, 33: 655- 669, (2010).
- [127] Arndt, S., Livesley, S., Merchant, A., Bleby, T. and Grierson, P., “Quercitol and osmotic adaptation of field grown *Eucalyptus* under seasonal drought stres”, *Plant Cell and Environment*, 31: 915-924, (2008).
- [128] Merchant, A., Wild, B., Richter, A., Bellot, S., Adams, M. A. and Dreyer, E., “Compound-specific differences in ¹³C of soluble carbohydrates in leaves and phloem of 6 month old *Eucalyptus globulus* (Labill)”, *Plant Cell and Environment*, 34: 1599-608, (2011).
- [129] Pace, P. F., Crale, H.T., El-Halawany, S.H.M., Cothren, J. T. and Senseman, S.A., “Drought induced changes in shoot and root growth of young cotton plants”. *Journal Cotton Science*, 3: 183-187, (1999).

- [130] Specht, J. E., Chase, K., Macrander, M., Graef, G. L., Chung, J. and Markwell, J. P., “Soybean response to water: A QTL analysis of drought tolerance”, *Crop Science*, 41: 493-509, (2001).
- [131] Heuer, B. and Nadler, A., “Growth and development of potatoes under salinity and water deficit”. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 46: 1477-1486, (1995).
- [132] Wu, Q. S., Xia, R. X. and Zou, Y. N., “Improved soil structure and *Citrus* growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress”, *European Journal Soil Biology*, 44: 122–128, (2008).
- [133] Patel, P. K. and Hemantaranjan, A., “Antioxidant defence system in chickpea (*Cicer arietinum* L.): influence by drought stress implemented at pre- and post-anthesis stage”, *American Journal of Plant Physiology*, 7: 164-173, (2012).
- [134] Sapeta, H., Costa, J. M., Lourenco, T., Maroco, J., Van der Linde, P. and Oliveira, M. M., “Drought stress response in *Jatropha curcas*: Growth and physiology”, *Environmental and Experimental Botany*, 85(1): 76-84, (2013).
- [135] Tahir, M. H. N., Imran, M. and Hussain, M. K., “Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in bred lines for drought tolerance”, *International Journal of Agriculture and Biology*, 3: 398–400, (2002).
- [136] Jaleel, C. A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R., “Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*; effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation”. *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, 60: 110–116, (2007).
- [137] Sacks, M. M., Silk, W. K. and Burman, P., “Effect of water stress on cortical cell division rates within the apical meristem of primary roots of maize”, *Plant Physiology*, 114: 519–527, (1997).
- [138] Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., R. Somasundaram, R. and Panneerselvam, R., “Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition”, *International Journal of Agriculture and Biology*, 11: 100–105, (2009).
- [139] Turner, N. C., Ma, Q., Leport, L., Davies, S.L., Siddique, K.H.M., “Adaptation of chickpea in water-limited environment”. In *Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference*, January 29–February 1, 2001, Hobart, Australia, (2001).

- [140] Kumar, N., Nandwal, A. S., Waldia, R. S. S., Singh, S. Devi, K., D. Sharma and Kumar, A., “Drought tolerance in chickpea as evaluated by root characteristics, plant water status, membrane integrity and chlorophyll fluorescence techniques”, *Experimental Agriculture* , 378-387, (2012).
- [141] Basu, P. S., Berger, J. D., Turner, N. C., Chaturvedi, S. K., Ali, M. and Siddique, K. H. M., “Osmotic adjustment of chickpea (*Cicer arietinum*) is not associated with changes in carbohydrate composition or leaf gas exchange under drought”, *Annual Biology*, 150 (4): 217–225, (2007).
- [142] Merchant, A., Arndt, S. K., Callister, A.N. and Adams, M.A., “Quercitol plays a key role in stress tolerance of *Eucalyptus leptophylla* (F. Muell) in naturally occurring saline conditions”, *Environmental and Experimental Botany*, 65: 296-303,(2009).
- [143] Sevengor, S., Yasar, F., Kusvuran, S. and Ellialtioglu, S., “The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidative enzymes of pumpkin seedling”, *African Journal of Agricultural Research*, 6(21): 4920-4924, (2011).
- [144] Ünyayar, S., Keleş, Y., Çekiç, F.Ö. “The antioxidative response of two tomato species with different drought tolerances as a result of drought and cadmium stress combinations”, *Plant Soil Environment*, 51:57-64, (2005).
- [145] Bhardwaj, J. and Yadav, S.K., “Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in a drought tolerant and a sensitive variety of horsegram (*Macrotyloma uniflorum*) under drought stress”. *American Journal Plant Physiology*, 7: 17-29, (2012).
- [146] Nelson, D. E., Koukoumanos, M. and Bohnert, H. J., “Myo-inositol-dependent sodium uptake in ice plant”, *Plant Physiology*, 119: 165–172, (1999).
- [147] Gill, S. S. and Tuteja, N., “Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants”, *Plant Physiology and Biochemistry*, 48 (12): 909–930, (2010).
- [148] Masoumi, H., F. Darvish, J. Daneshian, G. Normohammadi and D. Habibi, “Effects of water deficit stress on seed yield and antioxidants content in soybean (*Glycine max* L.) cultivars”, *African Journal Agriculture Research*, 6(5): 1209-1218 (2011).
- [149] Islam, M. R., Xue, X., Mao, S., Ren, C., Eneji, A. E., Hu, Y., “Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in oat (*Avena sativa* L.) under drought stress”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Volume 91: 680-686, (2011).

- [150] Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C. and Sohrabi, Y., "Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars" Australian Journal of Crop Science, Vol. 5, No. 10: 1255-1260, (2011).
- [151] Devi, R., Kaur, N. and Gupta, A. K., "Potential of antioxidant enzymes in depicting drought tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.)", Indian Journal Biochemistry and Biophysics. ,49 (4): 257-65, (2012).
- [152] Dwivedi, S., Kar, M., Misra, D., "Biochemical changes in excised leaves of *Oryza sativa* subjected to water stres", Physiology Plant, 45: 34-40, (1979).
- [153] Moran J. F., Becana, M., Iturbe-Ormaetxe, I., Frechilla, S. and Klucas, R. V., Aparicio-Tejo, P., "Drought induces oxidative stress in pea plants", Planta, 194: 346-352, (1994).
- [154] Basu, S., Roychoudhury, A., Paromita Saha, P. and Sengupta, D. N., "Differential antioxidative responses of indica rice cultivars to drought stres", Plant Growth Regulation., 60: 51-59, (2010).
- [155] Simova-Stoilova, L., Demirevska, K., Petrova, T., Tsenov, N., and Feller. U., "Antioxidative protection in wheat varieties under severe receverable drought at seedling stage", Plant Soil Environment, 54(12): 529-536, (2008).
- [156] Zlatev, Z. S., Lidon, F. C., Ramalho, J. C. and Yordanov, I. T., "Comparison of resistance to drought of three bean cultivars", Biology, Plant, 50: 389-394, (2006).
- [157] Terzi R., Sağlam A., Kutlu N., Nar H., Kadioğlu A., "Impact of soil drought stress on photochemical efficiency of photosystem II and antioxidant enzyme activities of *Phaseolus vulgaris* cultivars". Turkish Journal of Botany, 34: 1-10, (2010).
- [158] Kalefetoğlu Macar, T. and Ekmekçi, Y., "PSII photochemistry and antioxidant responses of a chickpea variety exposed to drought", Z. Naturforsch., 63c, 583-594, (2008).
- [159] Al-Ghamdi, A. A., "Evaluation of oxidative stress tolerance in two wheat (*Triticum aestivum*) cultivars in response to drought", International Journal of Agriculture and Biology, 11: 7-12, (2009).
- [160] Ma, Y., Ma, F., Wang, Y., Zhang, J. "The responses of the enzymes related with ascorbate-glutathione cycle during drought stress in apple leaves", Acta Physiologiae Plantarum, January, Volume 33, Issue 1: 173-180, (2011).

- [161] Demiral, T. ve Türkan, I., “Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance”, *Environmental and Experimental Botany*, 53: 247–257, (2005).
- [162] Çekiç, F. Ö., “Tuz (NaCl) ve Ağır Metal (Kadmiyum) Stresine Maruz Bırakılan Domates Bitkisinde Bazı Fizyolojik Parametrelerin ve Antioksidan Savunma Sisteminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2004).
- [163] Porcel, R., Barea, J. M., Ruiz-Lozano, J. M., “Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence”, *New Phytologist*, 157: 135–143, (2003).
- [164] Lee, S. H., Ahsan, N. K., Lee, W., Kim, D. H., Lee, D. G., Kwak, S. S., Kwon, S. Y., Kim, T.H. and Lee, B. H., “Simultaneous overexpression of both CuZn superoxide dismutase and ascorbate peroxidase in transgenic tall fescue plants confers increased tolerance to a wide range of abiotic stresses”, *Journal Plant Physiology*, 164: 1626-1638, (2007).
- [165] Melchiorre, M., Robert, G., Trippi, V., Racca, R. and Lascano, H. R., “Superoxide dismutase and glutathione reductase overexpression in wheat protoplast: photooxidative stress tolerance and changes in cellular redox state”, *Plant Growth Regul*, 57-68, (2009).
- [166] Sharma, P. and Dubey, R. S., “Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings”, *Plant Growth Regulation*, 46: 209-221, (2005).
- [167] Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales M. A., Romero L. and Ruiz J. M., “Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants”, *Plant Science*, 178: 30-40, (2010).
- [168] Dat, J. ., Lopez-Delgado, H., Foyer, C. H. and Scott, I. M., “Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings”, *Plant Physiology*, 116: 1351–1357, (1998).
- [169] Quan, L. J., Zhang, B., Shi, W. W. and Li, H. Y., “Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network”, *Journal Integrat, Plant Biology*, 50: 2-18, (2008).
- [170] Frankel, E. N., “Chemistry of free radical and singlet oxidation of lipids”, *Progress in Lipid Research*. 23: 197-221, (1985).

- [171] Nıkı, E., “Antioxidants in Relation to Lipid Peroxidation”, *Chemistry and Physics of Lipids*, 44: 227-253, (1987).
- [172] Filippou, P., Antoniou, C. and Fotopoulos, V., “Effect of drought and rewatering on the cellular status and antioxidant response of *Medicago truncatula* plants”, *Plant Signaling and Behavior*, 6: 270-277, (2011).
- [173] Lima, A. L. S., DaMatta, F. M., Pinheiro, H.A., Totola, M. R. and Loureiro, M. E., “Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions”, *Environmental and Experimental Botany*, 47: 239–247, (2002).
- [174] Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., and Masia, A., “Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree”, *Plant Science*, 166: 293–302, (2004).
- [175] Mohammadi, A., Habibi, D., Rihami, M. and Mafakheri, S., “Effect of drought stress on antioxidant enzymes activity of some chickpea cultivars”, *Am-Euras, Journal of Agriculture and Environmental Science*, 11(6): 782-785, (2011).
- [176] Khan, M. H. and Panda, S. K., “Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress”, *Acta Physiology, Plant*, 30: 81-89, (2008).
- [177] Simova-Stoilova, L., Vaseva, I., Grigorova, B., Demirevska, K. and Feller, U., “Proteolytic activity and cysteine protease expression in wheat leaves under severe soil drought and recovery”, *Plant Physiology Biochemistry*, 48: 200-206, (2010).
- [178] Lehle, L., “Phosphatidyl inositol metabolism and its role in signal transduction in growing plants”. *Plant Molecular Biology*, 15: 647–658, (1990).
- [179] Vernon, D. M., Tarczynski, M. C., Jensen, R. G. and Bohnert, H. J., “Cyclitol production in transgenic tobacco”, *Plant Journal*, 4: 199–205, (1993).
- [180] Jaindl, M., and Popp, M., “Cyclitols protect glutamine synthetase and malate dehydrogenase against heat induced deactivation and thermal denaturation”, *Biochemical Biophysical Research Communications*, 345: 761-765, (2006).

EKLER

Bu çalışmanın varyans analizi sonuçları, Ek 1-15' de gösterilmiştir.

Ek 1. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü gövde uzunluğuna ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	15,769	1	15,769	1,252	0,266
	Uygulama	1889,294	9	209,922	16,671	0,000***
	Kurak	1257,769	1	1257,769	99,889	0,000***
	Tür x Kurak	18,019	1	18,019	1,431	0,235
	Tür x Uygulama	329,460	9	36,607	2,907	0,005**
	Uygulama x Kurak	349,460	9	38,829	3,084	0,003**
	Tür x Uygulama x Kurak	250,044	9	27,783	2,206	0,030*
	Hata	1007,333	80	12,592		
	Genel	5117,148	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	30,502	1	30,502	1,918
Uygulama		2886,185	9	320,687	20,164	0,000***
Kurak		727,669	1	727,669	45,753	0,000***
Tür x Kurak		98,102	1	98,102	6,168	0,015*
Tür x Uygulama		276,352	9	30,706	1,931	0,059
Uygulama x Kurak		338,935	9	37,659	2,368	0,020*
Tür x Uygulama x Kurak		207,169	9	23,019	1,447	0,182
Hata		1272,333	80	15,904		
Genel		5837,248	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

Ek 2. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü kök uzunluğuna ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	12,675	1	12,675	2,006	0,161
	Uygulama	981,758	9	109,084	17,264	0,000***
	Kurak	276,033	1	276,033	43,685	0,000***
	Tür x Kurak	12,033	1	12,033	1,904	0,171
	Tür x Uygulama	118,408	9	13,156	2,082	0,041*
	Uygulama x Kurak	648,300	9	72,033	11,400	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	113,883	9	12,654	2,003	0,050
	Hata	505,500	80	6,319		
	Genel	2668,592	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	82,502	1	82,502	5,160
Uygulama		1100,102	9	122,234	7,646	0,000***
Kurak		159,852	1	159,852	9,999	0,002**
Tür x Kurak		55,352	1	55,352	3,462	0,066
Tür x Uygulama		346,185	9	38,465	2,406	0,018*
Uygulama x Kurak		1262,919	9	140,324	8,777	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		167,335	9	18,593	1,163	0,330
Hata		1279,000	80	15,987		
Genel		4453,248	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

Ek 3. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü YSP'ye ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
	Uygulamanın Birinci Günü	Tür	0,050	1	0,050	8,130
Uygulama		4,224	9	0,469	76,282	0,000***
Kurak		0,438	1	0,438	71,194	0,000***
Tür x Kurak		0,078	1	0,078	12,600	0,001**
Tür x Uygulama		0,728	9	0,081	13,146	0,000***
Uygulama x Kurak		1,886	9	0,210	34,068	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		1,079	9	0,120	19,482	0,000***
Hata		0,492	80	0,006		
Genel		8,975	119			
Uygulamanın Yedinci Günü		Tür	0,023	1	0,023	1,928
	Uygulama	14,410	9	1,601	132,786	0,000***
	Kurak	0,006	1	0,006	0,523	0,472
	Tür x Kurak	0,004	1	0,004	0,310	0,579
	Tür x Uygulama	0,501	9	0,056	4,619	0,000***
	Uygulama x Kurak	3,321	9	0,369	30,605	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	0,408	9	0,045	3,759	0,001**
	Hata	0,965	80	0,012		
	Genel	19,638	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

Ek 4. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü yapraklarda SOD enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	0,379	1	0,379	0,337	0,563
	Uygulama	555,015	9	61,668	54,908	0,000***
	Kurak	563,767	1	563,767	501,967	0,000***
	Tür x Kurak	1,253	1	1,253	1,115	0,294
	Tür x Uygulama	36,880	9	4,098	3,649	0,001**
	Uygulama x Kurak	195,133	9	21,681	19,305	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	36,503	9	4,056	3,611	0,001**
	Hata	89,849	80	1,123		
	Genel	1478,778	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	0,552	1	0,552	0,909
Uygulama		96,312	9	10,701	17,613	0,000***
Kurak		14,883	1	14,883	24,495	0,000***
Tür x Kurak		0,678	1	0,678	1,116	0,294
Tür x Uygulama		25,529	9	2,837	4,669	0,000***
Uygulama x Kurak		11,135	9	1,237	2,036	0,046*
Tür x Uygulama x Kurak		22,690	9	2,521	4,150	0,000***
Hata		48,606	80	0,608		
Genel		220,384	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

Ek 5. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü yapraklarda KAT enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	0,036	1	0,036	0,138	0,712
	Uygulama	60,295	9	6,699	25,822	0,000***
	Kurak	95,783	1	95,783	369,178	0,000***
	Tür x Kurak	0,532	1	0,532	2,050	0,156
	Tür x Uygulama	8,280	9	0,920	3,546	0,001**
	Uygulama x Kurak	221,702	9	24,634	94,945	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	7,093	9	0,788	3,038	0,004**
	Hata	20,756	80	0,259		
	Genel	414,476	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	0,702	1	0,702	4,104
Uygulama		27,630	9	3,070	17,939	0,000***
Kurak		23,959	1	23,959	140,004	0,000***
Tür x Kurak		1,434	1	1,434	8,382	0,005**
Tür x Uygulama		10,627	9	1,181	6,900	0,000***
Uygulama x Kurak		90,132	9	10,015	58,520	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		7,402	9	0,822	4,806	0,000***
Hata		13,691	80	0,171		
Genel		175,578	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

Ek 6. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü yapraklarda AP enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	6,707	1	6,707	3,256	0,075
	Uygulama	417,492	9	46,388	22,519	0,000***
	Kurak	1452,483	1	1452,483	705,107	0,000***
	Tür x Kurak	0,039	1	0,039	0,019	0,891
	Tür x Uygulama	824,466	9	91,607	44,471	0,000***
	Uygulama x Kurak	525,057	9	58,340	28,321	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	551,818	9	61,313	29,764	0,000***
	Hata	164,796	80	2,060		
	Genel	3942,858	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	1,596	1	1,596	1,059
Uygulama		218,810	9	24,312	16,135	0,000***
Kurak		854,187	1	854,187	566,906	0,000***
Tür x Kurak		2,587	1	2,587	1,717	0,194
Tür x Uygulama		172,379	9	19,153	12,712	0,000***
Uygulama x Kurak		264,288	9	29,365	19,489	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		240,243	9	26,694	17,716	0,000***
Hata		120,540	80	1,507		
Genel		1874,631	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

Ek 7. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü yapraklarda GR enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	159567,923	1	159567,923	31,936	0,000***
	Uygulama	5952314,418	9	661368,269	132,366	0,000***
	Kurak	977775,755	1	977775,755	195,692	0,000***
	Tür x Kurak	176117,200	1	176117,200	35,248	0,000***
	Tür x Uygulama	678621,557	9	75402,395	15,091	0,000***
	Uygulama x Kurak	977561,637	9	108617,960	21,739	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	736374,666	9	81819,407	16,375	0,000***
	Hata	399720,434	80	4996,505		
	Genel	10058053,590	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	482701,037	1	482701,037	49,951
Uygulama		982819,464	9	109202,163	11,300	0,000***
Kurak		369349,223	1	369349,223	38,221	0,000***
Tür x Kurak		332130,087	1	332130,087	34,370	0,000***
Tür x Uygulama		897319,928	9	99702,214	10,317	0,000***
Uygulama x Kurak		2922230,979	9	324692,331	33,600	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		1061463,929	9	117940,437	12,205	0,000***
Hata		773078,814	80	9663,485		
Genel		7821093,460	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

Ek 8. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü yapraklarda H₂O₂ konsantrasyonuna ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	14,819	1	14,819	3,759	0,056
	Uygulama	9681,630	9	1075,737	272,895	0,000***
	Kurak	192,609	1	192,609	48,861	0,000***
	Tür x Kurak	20,592	1	20,592	5,224	0,025*
	Tür x Uygulama	466,501	9	51,833	13,149	0,000***
	Uygulama x Kurak	1183,438	9	131,493	33,357	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	408,388	9	45,376	11,511	0,000***
	Hata	315,356	80	3,942		
	Genel	12283,335	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	22,724	1	22,724	1,582
Uygulama		13847,183	9	1538,576	107,137	0,000***
Kurak		13912,256	1	13912,256	968,767	0,000***
Tür x Kurak		5,300	1	5,300	0,369	0,545
Tür x Uygulama		543,093	9	60,344	4,202	0,000***
Uygulama x Kurak		13769,647	9	1529,961	106,537	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		540,650	9	60,072	4,183	0,000***
Hata		1148,862	80	14,361		
Genel		43789,715	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

Ek 9. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü yapraklarda MDA içeriğine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	0,425	1	0,425	47,463	0,000***
	Uygulama	1,356	9	0,151	16,837	0,000***
	Kurak	0,588	1	0,588	65,692	0,000***
	Tür x Kurak	0,580	1	0,580	64,757	0,000***
	Tür x Uygulama	0,822	9	0,091	10,203	0,000***
	Uygulama x Kurak	2,034	9	0,226	25,249	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	2,442	9	0,271	30,309	0,000***
	Hata	0,716	80	0,009		
	Genel	8,962	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	5,138	1	5,138	1270,670
Uygulama		4,284	9	0,476	117,731	0,000***
Kurak		7,188	1	7,188	1777,817	0,000***
Tür x Kurak		4,764	1	4,764	1178,252	0,000***
Tür x Uygulama		0,495	9	0,055	13,607	0,000***
Uygulama x Kurak		2,939	9	0,327	80,769	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		2,469	9	0,274	67,846	0,000***
Hata		0,323	80	0,004		
Genel		27,601	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

Ek 10. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü köklerde SOD enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	11,495	1	11,495	22,957	0,000***
	Uygulama	2202,498	9	244,722	488,740	0,000***
	Kurak	167,088	1	167,088	333,695	0,000***
	Tür x Kurak	0,259	1	0,259	0,518	0,474
	Tür x Uygulama	48,270	9	5,363	10,711	0,000***
	Uygulama x Kurak	41,701	9	4,633	9,254	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	74,671	9	8,297	16,570	0,000***
	Hata	40,058	80	0,501		
	Genel	2586,040	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	4,929	1	4,929	4,548
Uygulama		214,905	9	23,878	22,033	0,000***
Kurak		39,125	1	39,125	36,102	0,000***
Tür x Kurak		3,689	1	3,689	3,404	0,069
Tür x Uygulama		46,240	9	5,138	4,741	0,000***
Uygulama x Kurak		94,407	9	10,490	9,679	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		47,858	9	5,318	4,907	0,000***
Hata		86,700	80	1,084		
Genel		537,852	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

Ek 11. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü köklerde KAT enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	0,543	1	0,543	31,524	0,000***
	Uygulama	2,007	9	0,223	12,953	0,000***
	Kurak	0,034	1	0,034	1,956	0,166
	Tür x Kurak	0,305	1	0,305	17,717	0,000***
	Tür x Uygulama	1,475	9	0,164	9,522	0,000***
	Uygulama x Kurak	6,808	9	0,756	43,942	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	1,442	9	0,16	9,307	0,000***
	Hata	1,377	80	0,017		
	Genel	13,992	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	0,015	1	0,015	0,656
Uygulama		2,023	9	0,225	10,165	0,000***
Kurak		2,454	1	2,454	110,947	0,000***
Tür x Kurak		0,005	1	0,005	0,206	0,651
Tür x Uygulama		0,459	9	0,051	2,306	0,023*
Uygulama x Kurak		2,414	9	0,268	12,129	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		0,716	9	0,08	3,597	0,001**
Hata		1,769	80	0,022		
Genel		9,855	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

Ek 12. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü köklerde AP enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	0,006	1	0,006	0,005	0,941
	Uygulama	99,273	9	11,030	10,748	0,000***
	Kurak	350,140	1	350,140	341,171	0,000***
	Tür x Kurak	2,902	1	2,902	2,827	0,097
	Tür x Uygulama	86,489	9	9,610	9,364	0,000***
	Uygulama x Kurak	96,023	9	10,669	10,396	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	46,959	9	5,218	5,084	0,000***
	Hata	82,103	80	1,026		
	Genel	763,895	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	0,108	1	0,108	0,136
Uygulama		212,901	9	23,656	29,726	0,000***
Kurak		546,731	1	546,731	687,021	0,000***
Tür x Kurak		4,092	1	4,092	5,142	0,026*
Tür x Uygulama		97,428	9	10,825	13,603	0,000***
Uygulama x Kurak		118,646	9	13,183	16,566	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		117,853	9	13,095	16,455	0,000***
Hata		63,664	80	0,796		
Genel		1161,423	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli ($p < 0,05$)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli ($p < 0,01$)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli ($p < 0,001$)

Ek 13. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü köklerde GR enzim aktivitesine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
	Uygulamanın Birinci Günü	Tür	401,758	1	401,758	0,023
Uygulama		4206109,554	9	467345,506	26,794	0,000***
Kurak		10994736,001	1	10994736,001	630,350	0,000***
Tür x Kurak		21907,546	1	21907,546	1,256	0,266
Tür x Uygulama		698398,804	9	77599,867	4,449	0,000***
Uygulama x Kurak		866710,396	9	96301,155	5,521	0,000***
Tür x Uygulama xKurak		322943,418	9	35882,602	2,057	0,043*
Hata		1395382,241	80	17442,278		
Genel		18506589,717	119			
Uygulamanın Yedinci Günü		Tür	42231,011	1	42231,011	7,628
	Uygulama	6397092,540	9	710788,060	128,390	0,000***
	Kurak	11840502,104	1	11840502,104	2138,760	0,000***
	Tür x Kurak	94611,629	1	94611,629	17,090	0,000***
	Tür x Uygulama	222423,185	9	24713,687	4,464	0,000***
	Uygulama x Kurak	4235140,521	9	470571,169	85,000	0,000***
	Tür x Uygulama xKurak	222242,949	9	24693,661	4,460	0,000***
	Hata	442892,236	80	5536,153		
	Genel	23497136,175	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

Ek 14. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü köklerde H₂O₂ konsantrasyonuna ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	98,500	1	98,500	0,826	0,366
	Uygulama	14732,348	9	1636,928	13,722	0,000***
	Kurak	1296,524	1	1296,524	10,869	0,001**
	Tür x Kurak	178,657	1	178,657	1,498	0,225
	Tür x Uygulama	604,372	9	67,152	0,563	0,823
	Uygulama x Kurak	6434,870	9	714,986	5,994	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	817,777	9	90,864	0,762	0,652
	Hata	9543,153	80	119,289		
	Genel	33706,202	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	45,375	1	45,375	8,373
Uygulama		4686,456	9	520,717	96,084	0,000***
Kurak		3161,004	1	3161,004	583,276	0,000***
Tür x Kurak		18,715	1	18,715	3,453	0,067
Tür x Uygulama		538,571	9	59,841	11,042	0,000***
Uygulama x Kurak		5094,082	9	566,009	104,441	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		435,174	9	48,353	8,922	0,000***
Hata		433,552	80	5,419		
Genel		14412,929	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

Ek 15. *C. arietinum* ve *C. reticulatum* türlerinde uygulamanın birinci ve yedinci günü köklerde MDA içeriğine ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob
Uygulamanın Birinci Günü	Tür	14,387	1	14,387	1023,235	0,000***
	Uygulama	15,086	9	1,676	119,221	0,000***
	Kurak	31,611	1	31,611	2248,298	0,000***
	Tür x Kurak	13,608	1	13,608	967,857	0,000***
	Tür x Uygulama	6,015	9	0,668	47,534	0,000***
	Uygulama x Kurak	12,444	9	1,383	98,343	0,000***
	Tür x Uygulama x Kurak	6,174	9	0,686	48,792	0,000***
	Hata	1,125	80	0,014		
	Genel	100,450	119			
	Uygulamanın Yedinci Günü	Tür	5,677	1	5,677	225,746
Uygulama		2,713	9	0,301	11,987	0,000***
Kurak		2,834	1	2,834	112,683	0,000***
Tür x Kurak		2,187	1	2,187	86,970	0,000***
Tür x Uygulama		3,664	9	0,407	16,188	0,000***
Uygulama x Kurak		3,235	9	0,359	14,292	0,000***
Tür x Uygulama x Kurak		4,444	9	0,494	19,636	0,000***
Hata		2,012	80	0,025		
Genel		26,764	119			

* İstatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli (p<0,05)

** İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli (p<0,01)

*** İstatistiksel olarak % 0,1 düzeyinde önemli (p<0,001)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Gurbet YANDIM

Doğum Tarihi: 01/08/1985

Öğrenim Durumu: Lisans Mezunu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Okul	Yıl
Lise	Matematik-Fen	Mersin Gazi Lisesi	2000-2003
Lisans	Biyoloji Bölümü	Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi	2005-2009
Yüksek Lisans	Biyoloji Ana Bilim Dalı	Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2010-