

***CAPSICUM ANNUUM* L. (BİBER) BİTKİLERİNE  
DIŞSAL UYGULANAN SENTETİK *MYO-*  
İNOSİTOL'ÜN KURAKLIK TOLERANSI  
ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**AYTUNÇ YILDIZLI**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOLOJİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERSİN  
HAZİRAN – 2014**

***CAPSICUM ANNUUM* L. (BİBER) BİTKİLERİNE  
DIŞSAL UYGULANAN SENTETİK *MYO-*  
İNOSİTOL'ÜN KURAKLIK TOLERANSI  
ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**AYTUNÇ YILDIZLI**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOLOJİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman  
Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR**

**MERSİN  
HAZİRAN – 2014**

Aytunç YILDIZLI tarafından Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR danışmanlığında hazırlanan "*Capsicum annuum* L. (biber) bitkilerine dışsal uygulanan myo-inositol'ün kuraklık toleransı üzerine etkisinin 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

Doç.Dr. Rıza BİNZET



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03/09/2014 tarih ve 2014.19/530 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
Doç.Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN  
Enstitü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## **CAPSICUM ANNUUM L. (BİBER) BİTKİLERİNE DIŞSAL UYGULANAN SENTETİK MYO- İNOSİTOLÜN KURAKLIK TOLERANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Aytunç YILDIZLI**

**ÖZ**

Su sıkıntısı stresi altında *Capsicum annuum*'da *myo*-inositol'ün gövde/kök büyümesi, yaprak su potansiyeli (YSP), antioksidan enzimler, lipid peroksidasyonu (MDA), hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) seviyesi, prolin seviyesi ve kalsiyum içeriği üzerine etkileri araştırıldı. Su sıkıntısının ilk üç günü kuraklık uygulanan ve uygulanmayan bitkilerin yapraklarına *myo*-inositol 5  $\mu$ M, 15  $\mu$ M ve 25  $\mu$ M konsantrasyonlarda püskürtüldü. Kuraklık kök ve gövde uzunluğunu azaltmış, *myo*-inositol uygulamaları ise bu durumu tersine çevirmiştir. Kuraklığa maruz kalan bitkilere *myo*-inositol uygulaması konsantrasyona bağlı olarak (25  $\mu$ M *myo*-inositol hariç) kök uzunluklarında artışa neden olmuştur. Kuraklık ve *myo*-inositol uygulamaları YSP'yi azaltmıştır. Su sıkıntısına maruz kalan bitkilerin yapraklarına *myo*-inositol uygulamaları konsantrasyona bağlı olarak YSP'yi iyi sulanmış bitkilere göre belirgin bir şekilde azaltmıştır. Su sıkıntısına maruz kalan bitkilerin yapraklarında askorbat peroksidaz ve glutatyon redüktaz enzim aktiviteleri artış göstermiştir. Süperoksit dismutaz ve katalaz enzim aktivitesi ise su sıkıntısında azalmıştır. *Myo*-inositol'ün spesifik antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkisinin, konsantrasyonuna ve bitki türüne bağlı olduğu belirlenmiştir. Su sıkıntısına maruz kalan bitkilerin yapraklarında MDA ve  $H_2O_2$  miktarı artmıştır. Su sıkıntısına maruz kalan ve *myo*-inositol uygulanan bitkilerin yapraklarında MDA (5  $\mu$ M hariç) ve  $H_2O_2$  seviyesi azalmıştır. Buna karşılık kuraklık uygulanan bitkilerde prolin seviyesi artmıştır *myo*-inositol uygulamaları ise konsantrasyona bağlı olarak prolin seviyesini azaltmıştır. Su sıkıntısı ve *myo*-inositol uygulamaları kalsiyum miktarını iyi sulanmış bitkilere göre arttırmıştır. Sonuç olarak, dışsal uyguladığımız *myo*-inositol'ün kuraklık stresini azalttığı ve yaprakların daha turgorlu hale gelmesini sağladığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biber, kuraklık, *myo*-inositol, antioksidan enzimler, lipid peroksidasyonu

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

# INVESTIGATION OF SYNTHETIC *MYO*- INOSITOL'S EFFECTS ON DROUGHT TOLERANCE WHEN APPLIED EXTERNALLY ON PEPPER PLANTS

Aytunç YILDIZLI

## ABSTRACT

On *Capsicum annuum*, inositol's stem growth rate, leaf and water potential (YSP), antioxidant enzymes, lipid peroxidation (MDA), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) rate, proline rate and its effects on calcium content were studied. 5 µM, 15 µM ve 25 µM concentration level of inositol implanted on the leaves of plants exposed to drought at the first 3 days of water deficient and plants exposed to nothing. Drought reduced stem growth rate and inositol implementation reversed this trend. Inositol implement on plants exposed to water deficient strengthened stem growth (except for concentration level 25 µM). Drought and inositol implementation reduced LWP rate. Inositol implementation on plants exposed to drought reduced potential of leaf water drastically compared to plants well watered. We have seen a rise at rate of ascorbate peroxidase and glutathione reductase enzyme activities on the leaves of plants exposed to drought. Superoxide dismutase and catalase enzyme activity on the other hand, reduced on the leaves of plants exposed to drought. We have observed that inositol's effects on antioxidant enzyme activities depend on its concentration level and plant type. MDA and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> rates increased on the leaves of plants exposed to drought. On the leaves of plants both exposed to drought and implemented inositol, MDA and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> rates reduced (except for concentration level 5 µM). Proline rate increased on the leaves of plants exposed to drought but inositol implementation reduced rate of proline depending on the concentration level. Drought and inositol implementation increased the rate of calcium compared to plants well watered. As a result, we can say that external implementation of inositol reduces the rate of drought.

**Keywords:** *C. annuum*, water deficient, myo-inositol, antioxidant enzymes, lipid peroxidation,

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

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında bana destek veren engin bilgilerini esirgemeyen ve tecrübelerini 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 sürekli destek veren 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, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Uzman Biyolog Gurbet YANDIM'a, Arş. Gör. Pınar Küce ÇEVİK'e (Mersin Üniversitesi, Fen- Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü) ve Dr. Ayşin Güzel DEĞER'e (Mersin Üniversitesi) teşekkür ederim. Sonuçlarımın istatistiksel değerlendirmesinde emeği olan Arş. Gör. Didem DERİCİ'ye (Mersin Üniversitesi, Tıp Fakültesi Biyoistatistik Bölümü) teşekkürlerimi sunarım. Bunun dışında desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Arş. Gör. Doğan ÇİRMİ, Arş. Gör. Özkan GÖRMEZ, Arş. Gör. Rukan SUNA'ya ve Arş. Gör. Gizem TALAŞ'a teşekkür ederim. Yüksek lisans çalışmama destek sağlayan Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimine teşekkür ederim. Her durumda yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZ.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
EKLER DİZİNİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	x
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI .....</b>	<b>4</b>
2.1. BİBER VE KURAKLIK STRESİ.....	4
2.2. BİTKİLERDE ROT OLUŞUMU VE ANTİOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMLERİ.....	5
2.3. BİTKİLERDE POLİOLLER.....	6
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>15</b>
3.1. BİTKİ YETİŞTİRME KOŞULLARI .....	15
3.2. YAPRAK SU POTANSİYELİ (YSP, ΨYaprak)'NİN ÖLÇÜLMESİ .....	15
3.3. ÇÖZÜNÜR PROTEİN MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ .....	16
3.4. ANTİOKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNİN ÖLÇÜMÜ .....	16
3.4.1. Süperoksit Dismutaz (SOD, EC.1.15.11) Aktivite Tayini .....	16
3.4.2. Katalaz (KAT, EC.1.11.1.6.) Aktivite Tayini.....	17
3.4.3. Askorbat Peroksidaz (AP, EC.1.11.1.11) Aktivite Tayini .....	17
3.4.4. Glutasyon Redüktaz (GR, EC.1.6.4.2.) Aktivite Tayini .....	17
3.5. HİDROJEN PEROKSİT (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ.....	18
3.6. MALONDİALDEHİT (MDA) İÇERİĞİ ÖLÇÜMÜ .....	18
3.7. KALSİYUM (Ca <sup>+2</sup> ) İÇERİĞİ ÖLÇÜMÜ.....	18

3.8. PROLIN İÇERİĞİ ÖLÇÜMÜ.....	19
3.9. İSTATİSTİKSEL ANALİZ .....	19
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	
4.1. BULGULAR	
4.1.1. Gövde ve Kök Büyümesi.....	20
4.1.2 Yaprak Su Potansiyeli ( $\Psi_Y$ , MPa) .....	21
4.1.3. Enzim Aktivitesi.....	23
4.1.3.1. SOD aktivitesi.....	23
4.1.3.2. KAT aktivitesi.....	24
4.1.3.3. AP aktivitesi .....	25
4.1.3.4. GR aktivitesi.....	26
4.1.4. $H_2O_2$ miktarı.....	27
4.1.5. MDA miktarı.....	28
4.1.6. Prolin miktarı.....	29
4.1.7. $Ca^{+2}$ miktarı.....	30
4.2.2. TARTIŞMA.....	31



<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>36</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>37</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>52</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>53</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 4.1. İyi sulanan veya kuraklık stresine maruz bırakılan <i>Capsicum annuum</i> L.'un gövde ve kök büyümesi üzerine <i>myo</i> -inositolün etkisi.....	20
---	----

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. İnositollerin çeşitli formları .....	8
Şekil 2.2. İnositol, Quersitol ve Konduritol moleküllerinin yapısal formülleri.....	9
Şekil 2.3. <i>Myo</i> -inositol molekülünün yapısal formülü.....	10
Şekil 2.4. Bitkilerde İnositol biyosentezi ve kullanımı.....	11
Şekil 4.1. İyi sulanan veya kuraklığa maruz bırakılan <i>C. annum</i> yapraklarına <i>myo</i> -inositol uygulamalarının Yaprak Su Potansiyeli üzerine etkisi.....	21
Şekil 4.2. İyi sulanan veya kuraklığa maruz bırakılan <i>C. annum</i> bitkilerinin genel görünüşleri.....	22
Şekil 4.3. İyi sulanan veya kuraklığa maruz bırakılan <i>C. annum</i> yapraklarına <i>myo</i> -inositol uygulamalarının SOD aktivitesi üzerine etkisi.....	23
Şekil 4.4. İyi sulanan veya kuraklığa maruz bırakılan <i>C. annum</i> yapraklarına <i>myo</i> -inositol uygulamalarının KAT aktivitesi üzerine etkisi .....	24
Şekil 4.5. İyi sulanan veya kuraklığa maruz bırakılan <i>C. annum</i> yapraklarına <i>myo</i> -inositol uygulamalarının AP aktivitesi üzerine etkisi .....	25
Şekil 4.6. İyi sulanan veya kuraklığa maruz bırakılan <i>C. annum</i> yapraklarına <i>myo</i> -inositol uygulamalarının GR aktivitesi üzerine etkisi .....	26
Şekil 4.7. İyi sulanan veya kuraklığa maruz bırakılan <i>C. annum</i> yapraklarına <i>myo</i> -inositol uygulamalarının H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı üzerine etkisi.....	27
Şekil 4.8. İyi sulanan veya kuraklığa maruz bırakılan <i>C. annuum</i> yapraklarına <i>myo</i> -inositol uygulamalarının MDA miktarı üzerine etkisi.....	28
Şekil 4.9. İyi sulanan veya kuraklığa maruz bırakılan <i>C. annuum</i> yapraklarına <i>myo</i> -inositol uygulamalarının Prolin miktarı üzerine etkisi.....	29
Şekil 4.10. İyi sulanan veya kuraklığa maruz bırakılan <i>C.annuum</i> bitkilerine <i>myo</i> -inositol uygulamalarının Kalsiyum miktarı üzerine etkisi.....	30

## **EKLER DİZİNİ**

## **Sayfa**

Ek 1. <i>C. annuum</i> türlerinde uygulamanın çeşitli parametreler üzerinde etkisine dair varyans analiz sonuçları.....	52
---	----

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

- ROT: Reaktif oksijen türleri  
RNT: Reaktif nitrojen türleri  
SOD: Süperoksit dismutaz  
KAT: Katalaz  
AP: Askorbat peroksidaz  
GR: Glutatyon redüktaz  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : Hidrojen peroksit  
MDA: Malondialdehit  
<sup>1</sup>O<sub>2</sub>: Tekli oksijen  
Süperoksit radikali : O<sub>2</sub><sup>·</sup>  
Hidroksil radikali: OH<sup>·</sup>  
YSP (Ψ) : Yaprak su potansiyeli  
IBPGR: Uluslararası Bitki Genetik Kaynakları Enstitüsü  
FAO: Gıda ve Tarım Örgütü

## 1.GİRİŞ

*Capsicum* cinsi *Solanaceae* familyasının bir üyesidir. *Capsicum* türlerinin doğal yayılış alanları Orta ve Güney Amerika'dır. Orta Amerika'da özellikle *Capsicum* cinsinin beş kültür türü ve bu türlere ait yüzlerce çeşit bulunmaktadır. Bütün doğal biber popülasyonları diploid olup aynı kromozom sayısına ( $2n = 2x = 24$ ) sahiptirler [IBPGR, 1983].

*Capsicum annuum* L. dünyanın her tarafında yaygın olarak yetiştirilen ve tüketilen bir türdür. Tatlı dolmalık biber çeşitleri kadar çok sayıda acı ve tatlı sivri biber çeşitleri de bulunmaktadır. Beyaz renkli çiçeklere sahip, küçük, dallı, otsu ve tek yıllık bir bitkidir. Meyveleri şekil, büyüklük ve renk bakımından farklılıklar gösterir. Meyve şekilleri uzun, dar ve yuvarlak şekle kadar çeşitlilik gösterir [IBPGR, 1983]. *C. frutescens* L. tropik ve ılıman iklime sahip alanlarda esas olarak kültüre alınır ve genellikle çok acı bir tada sahiptir. *C. chinense* L. bilimsel isminin tersine, Güney Amerika orijinelidir. Bilinen en acı biberler arasında gösterilen habanero tip biber çeşitleri bu tür içerisinde yer almaktadır. *C. baccatum* L. çoğunlukla Orta ve Güney Amerika'nın yüksek kesimlerinde yetiştirilen bir türdür ve aji olarak isimlendirilmektedir. *C. pubescens* L. kültüre alınmış biberler arasında en az bilinen türdür [Greenleaf,1986]. *C. annuum* ise Türkiye'de ve Dünya'da oldukça fazla üretilen ve tüketilen önemli bir biber türüdür. Ülkemizde biber üretiminin önemli bir kısmı (% 33) Akdeniz Bölgesinin kıyı kesimlerinde yapılmaktadır. Bunu Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgelerinde biber üretimi izler. Dünya biber üretimi 2009 yılı itibarıyla 28 milyon ton olup, en büyük üretici ülke 14,5 milyon ton ile Çin'dir. Ülkemiz ise 1,8 milyon ton'luk üretimi ile üçüncü sırada yer almaktadır [FAO 2011]. Ülkemizde yaygın şekilde sofralık olarak sivri, çarliston biberleri, dolmalık ve kurutmalık olarak yerel biberler, turşuluk biberler ve süs biberleri üretilmektedir. Biberin insan beslenmesindeki değeri, özellikle C vitamini içeriğinden kaynaklanmakta olup, kalori miktarı düşüktür [Rastgeldi, 2010].

Bitkiler yaşamları sürecinde birçok stres faktörü ile karşılaşmaktadırlar. Stres faktörleri Levitt'e göre biyotik ve abiyotik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [Levitt, 1972]. Biyotik faktörler; mikroorganizmaların (fungus, bakteri ve virüs) enfeksiyonu ve zararlı hayvanların saldırıları sonucu oluşan stres faktörleridir. Abiyotik faktörler ise, sıcaklık, radyasyon, kimyasallar, manyetik ve elektriksel

alanlar gibi çevre faktörleridir [Lichtenhaler, 1996]. Bitkiler stres etmeninden uzaklaşarak kaçamadıkları için hayvanlardan farklı olarak strese doğrudan maruz kalırlar. Bu nedenle büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkilemektedir. 1982 yılında Boyer stres faktörlerinin ekin üretiminin %70 kadarını etkileyebileceğini öne sürerken; 2007 yılındaki Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) raporuna göre dünyadaki karasal alanın sadece %3,5'in herhangi bir çevresel tehditten etkilenmediği bildirilmiştir [Boyer,1982; Velthuizen vd., 2007]. Çevresel stresin neden olduğu zarar; bitkinin türüne, tolerans ve adaptasyon yeteneğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [Madhova vd., 2005; Dubey, 1994]. Yaşamları boyunca bitkilerin doğada birçok stres faktörü ile karşılaştıkları düşünüldüğünde stresle ilişkili mekanizmaların aydınlatılması ve toleranslı tür ve çeşitlerin geliştirilmesi veya toleranslarının artırılması oldukça önemlidir.

Kuraklık, dünya tarım alanlarının büyük bir bölümünde bitkisel üretimi sınırlandıran önemli bir çevresel stres faktörüdür. Dünya üzerindeki ekilebilir alanlarda görülen kuraklık stresi % 26'lık payla en büyük dilimi oluşturmaktadır [Blum, 1986]. Kuraklık stresi bitkilerde birçok fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler olaya sebep olmakta ve buna bağlı olarak bitkiler, sınırlı çevresel koşullara uyum sağlayacak tolerans mekanizmaları geliştirebilmektedirler [Arora vd., 2002; Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005]. Akdeniz bölgesi bitkileri özellikle yaz aylarında ulaşılabilir düşük su potansiyeli, yüksek ışık şiddeti ve yüksek sıcaklık gibi birçok çevresel stres koşullarının kombinasyonuna maruz kalırlar [Munne-Bosch ve Penuelas, 2004]. Kuraklık, tüm tarım alanlarını ve tarımsal ürünleri olumsuz etkileyen en önemli stres faktörlerinden biridir [Sankar vd., 2008].

Bitkilerdeki en yaygın stres toleransı stratejilerinden birisi çeşitli uygun çözünenlerin (osmolitler) üretimini arttırmaktır. Bitkilerde kuraklık gibi stres koşullarında, uygun çözünenler (osmolitler) üretilerek osmotik düzenleme yapılır ve bu yolla ROT (Reaktif Oksijen Türleri) oluşumu azaltılarak hücre zarlarının, protein ve enzimlerin doğal yapısının korunması sağlanır. En yaygın bilinen osmolitler prolin, şekerler ve şeker alkoller (polioller) olan siklitollerdir [Moghaieb vd., 2004].

Siklitoller osmotik strese yanıt olarak hücrelerde yüksek miktarda birikerek osmotik basıncın düzenlenmesinde görev alırlar [Merchant,2006]. Siklik şeker alkoller olan pinitol ve ononitolün tuzlu koşullara maruz kalan birçok bitki türünde

biriktiği belirlenmiştir [Paul ve Cockburn, 1989]. Siklitollerin, sadece osmotik ayarlama yapan uygun çözünenler değil, aynı zamanda zar sistemlerine zarar veren ROT' ların da ortadan kalkmasına etki eden bileşikler oldukları belirlenmiştir [Orthen vd.,1994]. Ayrıca hücreleri fotoinhibisyondan ve metabolik detoksifikasyondan korurlar [Pattanagul ve Madore, 1999].

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 hücre sel yapılarında bulunur [Stevenson-Paulik vd., 2005]. *Myo*-inositol; fosforilasyon üzerine etkisi olan çeşitli türevleri bulunan çok yönlü bir bileşiktir. Plazma zarının sentezinde de rol oynar [Heilmann vd., 2001]. Zar fosfolipidleri strese karşı oluşturulan yanıtlar sırasında önemli yapısal rollerinin yanı sıra inositol 1,4,5- trifosfat (IP<sub>3</sub>), diaçilgliserol gibi çok sayıda sinyal moleküllerini üreten dinamik bir sistem oluşturmaktadır. Çeşitli bitki sistemlerinde hiperosmotik strese yanıt olarak IP<sub>3</sub> seviyelerinin hızla arttığı gösterilmiştir [Heilmann vd., 1999; Drobak ve Watkins, 2000; Takahashi vd., 2001]. IP<sub>3</sub> seviyeleri bakla (*Vicia faba* L.) bitkisinde bekçi hücrelerinin protoplastlarında [Lee vd., 1996] ve *Arabidopsis* fidelerinde [Xiong , 2001] dışarıdan ABA uygulanması ile de artmaktadır. Bekçi hücrelerinde yerleşmiş olan IP<sub>3</sub>, sitoplazmada Ca<sup>+2</sup> artışını teşvik eder ve stomaların kapanmasını tetikler [Sanders vd., 1999]. Dışsal uygulanan IP<sub>3</sub>'ün izole vakuollerden ve tonoplast veziküllerinden Ca<sup>+2</sup>'yı serbest bıraktığı rapor edilmiştir [Schumaker ve Sze, 1987]. Sitoplazmik Ca<sup>+2</sup> konsantrasyonundaki artış osmotik stresle uyarılan genlerin ifadelerini tetikleyebilir [Jiang ve Huang, 2001]. Sıcaklık stresi altında sitoplazmik serbest Ca<sup>+2</sup> miktarının artışı stresin etkisini azaltabilir ve lipid peroksidasyonunu düşürerek hücrelerin hayatta kalmasını sağlayabilir [Wu vd., 1997]. Ayrıca farklı konsantrasyonlarda Ca<sup>+2</sup>'un farklı etki gösterdiği de gözlenmiştir.

Çalışmanın amacı, su sıkıntısına maruz bırakılan *C. annuum*'un yapraklarına uygulanan *myo*-inositolün antioksidan enzimler, lipid peroksidasyonu, büyüme, prolin, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve kalsiyum miktarı üzerindeki etkileri incelenerek, su sıkıntısının etkisinin azaltılmasında nasıl etki ettiğini ortaya koymaktır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. BİBER VE KURAKLIK STRESİ

Türkiye’de yaş meyve ve sebze üretimi, yıllık 42 milyon ton düzeyindedir [Göçmen ve Abak, 2006]. Türkiye yıllık 24 milyon tonu bulan sebze üretimiyle büyük bir sebze üreticisidir. Ülkemizde tarım yapılan alanların %3’ünde sebzeçilik yapılmaktadır. Türkiye’de domates, karpuz, kavun, hıyar gibi sebze türlerinden sonra üretimi yapılan sebzeler arasında biber üretimi gelmektedir [Ölmez ve Zafer, 2007]. Ülkemizde Kahramanmaraş ve Gaziantep, Urfa, Diyarbakır, Adıyaman, Hatay illerinin bazı yörelerinde tarla tarımı, Antalya, Mersin, Muğla ve İzmir illerinde ise seracılık biber üretiminde önemli bir yer tutmaktadır [İlarslan, 1997]. Biberin insan beslenmesinde yaklaşık 7 bin yıl önce yer almaya başladığı ve 5 bin yıldan beri de tarımı yapılmaktadır [Heiser ve Charles, 1973]. Biber bitkisi Türkiye’de ve dünyada tarımsal öneme sahip önemli bir bitkidir [Şensoy vd., 2007]. Biber *Solanaceae* familyasında ve *Capsicum* cinsi içinde yer almaktadır. En çok tüketimi yapılan tür *Capsicum annuum* L.’dur. Dünya biber üretimi 2009 yılı itibarıyla 28 milyon ton olup, en büyük üretici ülke 14,5 milyon ton ile Çin’dir. Ülkemiz ise 1,8 milyon ton’luk üretimi ile üçüncü sırada yer almaktadır [FAO 2011].

*Solanaceae* familyasının bir üyesi olan biberin anavatanı Amerika olup, Amerika kıtasında kültüre alınan ilk bitkiler arasındadır. Amerika’nın keşfinden sonra İspanya’ya getirilen bu bitkinin 30 kadar türü olduğuna dair bilgiler mevcuttur. Ancak bu türlerden *Capsicum annuum* L. dışında kalanların ekonomik anlamda sebze olarak tarımı yalnızca Amerika’nın orta ve güney bölümlerinde yapılmaktadır [Abak ve Pitrat, 1981]. Uzun sivri, dolma, çarliston, iri kare ve konik olmak üzere değişik tipleri vardır. Acılık meyvenin plasenta kısmında bulunan “kapsaisin” içeriğine bağlıdır. Besin değeri bakımından iyi bir sebze türüdür. Özellikle C vitamini açısından oldukça zengindir (103 mg/100 g) [IBPGR, 1983]. 2005 yılı verilerine göre, dünyada 25 milyon ton biber üretimi gerçekleştirilmiştir.

Bitkiler, biyotik ve abiyotik stres faktörleriyle karşılaştıklarında biyokimyasal ve fizyolojik bazı tepkiler vermekte ve bazı kimyasal bileşikler sentezlemektedirler. Stres koşullarında bitkilerde çeşitli ozmotik düzenleyiciler

(prolin, glisin betain, siklitol gibi) veya antimikrobiyal özellik gösteren maddeler, genotiplere göre değişen miktarlarda sentezlenmektedir. Stres faktörleri ile karşılaşan bitkilerde strese karşı yanıtlar çok kompleks olaylar dizinini içermektedir. Stresle uyarılmış bitkide, stres faktörleri ilk olarak bitki hücre duvarlarında ve zarlarda yerleşen reseptörler tarafından kabul edilir ve strese ait uyarılar meydana gelir ve ardından savunma reaksiyonları oluşur. Bu sinyallerin transdüksiyonu ile genlerin düzenlenmesi ve metabolik işleyişteki değişikliklerle birlikte bitkinin strese karşı yanıtı ortaya çıkar. Savunma sırasında meydana gelen reaksiyonlar uyardıdan birkaç saat sonra oluşabileceği gibi birkaç gün de sürebilir [Desender vd., 2007]. Bitkiler yaşamları boyunca birçok stres faktörleri ile karşılaşmaktadırlar. Bitki üzerinde ender olarak tek başlarına etki yapabilen bu stres faktörleri, genellikle etkilerini eş zamanlı olarak gerçekleştirmektedirler. Biyotik (patojen, diğer organizmalarla rekabet vb.) ve abiyotik (kuraklık, tuzluluk, radyasyon, yüksek sıcaklık veya don vb.) stresler ekonomik önemi olan tahıllar dâhil, tüm bitkilerin normal fizyolojik işlevlerinde değişikliklere yol açmaktadır. Tüm bu stresler bitkilerin biyosentetik kapasitelerini azaltır, normal işlevlerini değiştirir ve bitkinin ölümüne yol açabilecek zararlara neden olabilir [Lichtenthaler ve Hartmut, 1996].

## 2.2. BİTKİLERDE ROT OLUŞUMU VE ANTİOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMLERİ

Dünya üzerindeki kullanılabilir alanlar stres faktörlerine göre sınıflandırıldığında doğal bir stres faktörü olan kuraklık stresi % 26'lık payıyla en büyük dilimi oluşturmaktadır. Bunu % 20 ile mineral stresi ve % 15 ile soğuk ve don stresi izler. Bunların dışında kalan diğer tüm stresler % 29'luk bir pay alırken, yalnızca % 10'luk bir alan herhangi bir stres faktörüne maruz kalmamaktadır [Blum, 1986].

Stres koşulları bitkilerde moleküler ve fizyolojik yanıtların oluşmasını uyarır [Romo vd., 2001]. Bitkiler, kuraklık gibi abiyotik stres sırasında oluşan oksijen radikallerini ortadan kaldırmak amacıyla süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR) ve katalaz (KAT) gibi enzimler üretirler [Alscher vd. 2002; Keleş ve Ünyayar, 2004; Nandwal ve Kukreja, 2007].

Askorbat-glutasyon (ASC-GSH) döngüsü hücrelerde redoks durumunu dengeleyerek biyotik ve abiyotik strese karşı bitkiyi korumada merkezi bir rol oynar [Kocsy vd., 2004; Lascano vd.,2003].

Kuraklık stresine maruz kalan bitkiler, osmolitler olarak bilinen ve turgorun devamını sağlayan çeşitli çözünebilir maddeleri biriktirerek osmotik ayarlama yaparlar ve hücrelerin kurummasını bu yolla önlerler [Reda vd., 2004]. Antioksidanlar hücreleri Reaktif oksijen türleri (ROT) ve Reaktif Nitrojen Türleri (RNS) 'nin hasarına karşı korumaktadır. ROT üretilmeye başlandığında çok farklı sayıda antioksidanın sentezi artar [Halliwell ve Gutteridge, 1990]. Bunlardan bazıları askorbik asit (AsA), superoksit dismutaz (SOD), glutasyon redüktaz (GR), katalaz (KAT), askorbat peroksidaz (AP), karotenoidler, a-tokoferol ve *myo*-inositollerdir [Im vd., 2007].

### 2.3. BİTKİLERDE POLİOLLER

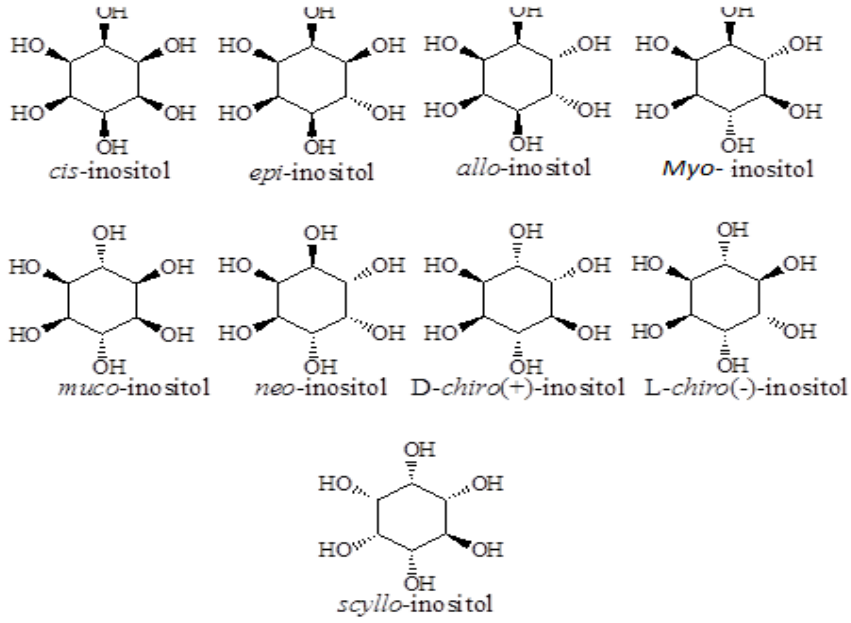
İnositoller; siklitol adı verilen (siklik polioller) biyolojik olarak aktif olan bileşiklerdir. Poliollerin sentezi ve birikimi bir bitkinin türüne ve yaşadığı çevre şartlarına göre değişiklikler gösterse de dokulara bağlı olarak benzerlik gösterir [Bialeski, 1982; Stitt vd., 2010; Richter vd., 1992]. Bitki dokularında poliollerin birçok işlevi keşfedilmiştir. Kalvin döngüsü ve biyosentetik yolları oldukça iyi bir şekilde çalışmıştır [Streeter vd., 2001]. Sakkaroz ve türevlerinin üretimi ve depolanması için polioller yüksek öneme sahiptir.

Yapraktaki toplam karbonun % 8,9 kadarını [Popp ve Smirnoff, 1995; Popp vd., 1997; Merchant vd., 2007] floem kanalındaki karbonun yaklaşık % 90 kadarını [Moing vd., 1997], ksilem kanalındaki karbonun ise % 50 kadarını polioller oluşturmaktadır [Popp vd., 1997; Merchant vd., 2007; Moing vd., 1997]. Poliollerin üretimi taksonomik [Bialeski ve Briggs, 2005] ve ekotipik [Adams vd., 1992] olarak farklılıklar göstermektedir ve bu farklılıklar bize bitkinin yaşadığı çevre ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadır [Merchant vd., 2006; Nadwodnik ve Lohaus 2008]. Poliollerin bu gibi özellikleri gelişmiş kuraklık ve tuz stresini belirlemek için onları ideal moleküller haline getirmiştir. Poliollerin  $\text{HOCH}_2[\text{CH}(\text{OH})_n\text{CH}_2\text{OH}$  genel

formülü ile açık zincirli ya da siklik bileşiklerine (sikloheksan veya pentol) genellikle siklitol ya da inositol denilmektedir ve bu bileşiklerin sentezi doğrudan glukoz-6-fosfattan olmaktadır [Paul ve Cockburn, 1989]. *Muko*-inositol dışındaki tüm inositoller *myo*-inositolden köken almaktadır [Williamson vd. 2002].

Poliollerin karbon akışındaki rollerinin yanı sıra stres metaboliti olarak gelişmiş bitkilerde birçok rolünün olduğu araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur [Williamson vd. 2002; Streeter, 1985]. Poliollerin bitki dokularındaki işlevi osmotik koruyucu (ozmoprotektant) olarak bitkinin düşük osmotik potansiyel ( $\psi$ ) ile başa çıkmasını sağlamaktır [Williamson vd. 2002]. Çeşitli araştırmacılar tarafından farklı bitkilerde bir siklitol olan D-pinitol birikiminin, kullanılabilir su miktarının düşük olmasından (kuraklık, tuzluluk, osmotik potansiyel) kaynaklandığı gösterilmiştir. Bu bitkiler arasında *Glycine max* L. [Orthen vd. 2000] *Cicer arietinum* L. [Ford, 1982] *Vigna spp.* [Wanek vd.,1997; Vera-Estrella] *Pisum sativum* L. [Orthen vd. 2000] *Mesembryanthemum crystallinum* L. [Williamson vd. 2002; Bieleski, 1994] ve transgenik tütün [Ortbauer, 2008] bulunmaktadır.

Bazı poliollerin protein yapısı, zarlar ve lipozomlar üzerinde çeşitli yollar ile korucu özelliği belirlenmiştir [Merchant vd. 2011]. Poliollerin sentezinin yüksek fotosolunumun yan ürünlerinin zararından da koruduğu bildirilmiştir [Orthen vd., 1994]. *Myo*-inositol'ün metilasyon ile D-ononitole dönüşmesi fotosolunum ile artan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> üretiminin azalmasına neden olur. Bunun yanı sıra çeşitli siklitol türevlerinin *in vitro* hidroksil radikali oluşumunu engellediği gösterilmiştir [Shen, 1997]. Transgenik tütün bitkisi kloroplastında mannitol birikimi hidroksil radikali oluşumunu engeller [Tarczynski vd., 1993]. Polioller birçok bitki türünde stres koşullarının olumsuz etkilerini iyileştirebilir [Orthen vd., 1994].



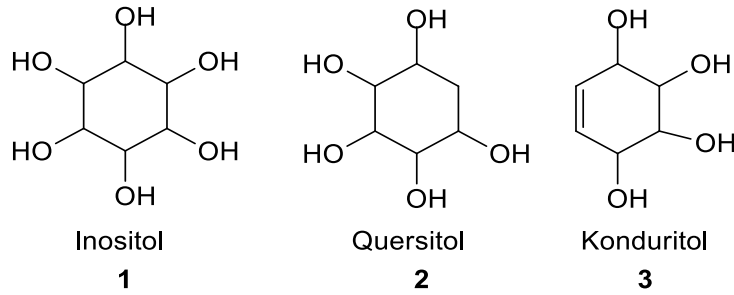
Şekil 2.1. İnositollerin çeşitli formları [Kennington vd., 1990].

*Myo*-inositolün antioksidan özelliği demir molekülüne yüksek ilgisinden kaynaklanmaktadır. Demirin katalizlediği reaksiyonlar hidroksil radikalinin oluşmasına neden olarak biyolojik materyalde oksidatif hasara yol açar [Lemma vd., 2005]. *Myo*-inositoller çeşitli biyokimyasal yollarda merkezi bir rol oynar. Özellikle yapılarındaki OH gruplarından dolayı hücrelerdeki suyu tuttuğu ve su kaybını önlediği için hücre içi uygun çözünen moleküllerdir [Plouvier, 1963].

Bu moleküllerin sadece osmotik ayarlama yapan uygun çözücüler değil, aynı zamanda hücre zar sistemlerine zarar veren ROT miktarının düzenlenmesine etki eden bileşikler oldukları da belirlenmiştir [Lewis ve Smith, 1967, Çevik vd. 2014]. Aynı zamanda inositol türevlerinin fosforillenmiş formu olan inositol fosfat molekülleri hücre içi sinyal iletiminde görev alarak stresin algılanmasında ve stres toleransının gelişmesinde rol alırlar [Hudicky, 1990; Phillipy vd., 1997; Onnebo ve Saiardi, 2009].

Kuraklık stresi bitkilerde büyümeyi ve ürün verimini baskılayan en önemli çevresel streslerden biridir. Kuraklık bitkilerde birçok fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler yanıtları uyarmakta ve buna bağlı olarak, sınırlı çevresel koşullara uyum

sağlayacak tolerans mekanizmaları geliştirebilmektedirler. Tarımsal üretimi arttırmak için bitkilerin kuraklığa dayanıklılıklarının artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden bitkilerin kurak koşullara uyum sağlamasına yardımcı çeşitli moleküller geliştirilmesinin bir sonucu olarak kuraklığa dayanıklı transgenik bitkilere ihtiyaç azalacaktır. Bu moleküllerden biri olan siklik polialkoller yani siklitollerdir. Siklitoller; inositol, quersitol ve konduritol olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar.



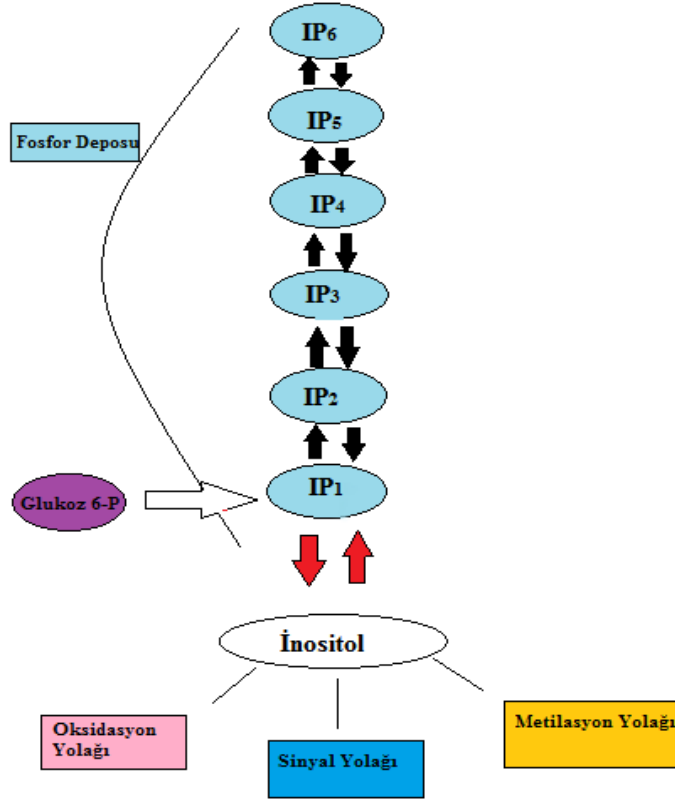
Şekil 2.2. İnositol, Quersitol ve Konduritol moleküllerinin yapısal formülleri

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. Pinitol, Quersitol, D-chiro-inositol ve D-ononitol gibi siklitol türevleri tuzluluk, kuraklık gibi streslere karşı bitkilerin toleransının artmasında rol almaktadır [Vernon ve Bohnert, 1992; Pattanagul ve Madore, 1999; Yancey, 2005]. Bunlar hücre içinde  $Ca^{+2}$  salınımını aktive ederek özellikle bitkilerin düşük sıcaklıklara karşı dayanıklılığını arttıırırlar [Yoshizaki ve Backvall, 1998].

İnositollerden biri olan *myo*-inositol bitki büyüme ve gelişmesi için önemli bir moleküldür [Styer, 2000] (Şekil 2. 3). *Myo*-inositol fosfotidilinositol (PI) sinyal yoluna, oksin depolanması ve taşınmasına, fitik asit biyosentezine, hücre duvarı biyosentezine ve stresle ilişkili moleküllerin üretilmesine katılır [Raboy, 2003].

Bitki dokuları içinde polenlerden köklere kadar her hücrede *myo*-inositolün fosforlanmış formlarına rastlamak mümkündür (Şekil 2.4). Bunlar arasında en yaygın olanı fitik asittir. Fitik asit bir besinsel antioksidan özelliği göstermekte olup, oksidatif dengenin korunmasında önemli rol oynar. Fitik asit, sikloheksanın hekzafosforik esterini olan bir *myo*-inositoldür ve InsP6 ya da IP6 şeklinde

gösterilmektedir [Febles, 2002]. Fitik asitin antioksidan etkisi şelat olusturabilmesi ve birçok divalent metal iyonunun katalitik aktivitesini azaltmasından kaynaklanmaktadır [Thompson vd., 1991]. *Myo*- inositol dışında EDTA gibi demirle kompleks oluşturan bir çok şelatör Haber-Weiss döngüsü ile hidroksil radikalinin oluşmasını engelleyebilir. *Myo*-inositolu diğer şelatörlerden ayıran özelliği molar düzeyin çok üstündeki demir konsantrasyonlarında bile şelatör aktivitesini etkin bir şekilde devam ettirebilmesidir. Bunun yanı sıra *myo*-inositol türevleri fenton reaksiyonlarını da oksidasyon reaksiyonları ile substrattan ayırarak ROT oluşumuna engel olabilir. *Myo*-inositol türevlerinin ATP yenilenmesinde, RNA taşınmasında, DNA hasarının onarılmasında ve antioksidan olarak ROT ve RNS lerin süpürülmesinde görev aldığı bilinmektedir [Orthen vd., 1994]. Demirin katalizlediği reaksiyonlar özellikle hidroksil radikali oluşmasına neden olduğundan biyolojik materyalde oksidatif hasara yol açar. İnositol trifosfat (IP<sub>3</sub>) bekçi hücrelerinde ve sitoplazmada Ca<sup>+2</sup> artışını teşvik ederek kuraklık sırasında stomaların kapanmasını tetikler ve bitkinin su kaybetmesini önler. Dışsal uygulanan IP<sub>3</sub> izole edilmiş vakuollerden ve tonoplast veziküllerinden Ca<sup>+2</sup>'yi serbest bırakır [Schumaker ve Sze, 1987].



Şekil 2.4. Bitkilerde İnositol biyosentezi ve kullanımı [Raboy, 2003].

Sitoplazmik  $Ca^{+2}$ 'nin artışı osmotik stresle uyarılan genlerin ifadelerini tetikleyebilir ve strese toleransının gelişmesine katkı sağlar [Wu, 1997]. Atomik oksijen; yer kabuğunda çok fazla bulunan bir elementtir. Su ve atmosferde bulunan oksijen ( $O_2$ ) 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 [Elstner, 1982] Bu süreçte reaktif oksijen türleri (ROT) aerobik yaşamın kaçınılmaz bir parçası olmuştur [Foyer ve Harbinson, 1994].  $O_2$  reaktif bir molekül olmamasına rağmen, normal metabolik faaliyetler sırasında veya çeşitli stres faktörleri nedeniyle uyarılmış reaktif formları meydana gelebilir [Mittler vd., 2004].Yapılarında eşleşmemiş elektron içeren atom veya bileşikler serbest radikaller olarak tanımlanmaktadır [Staroverov ve Davidson, 2000]. Biyolojik serbest radikaller oldukça dayanıksız ve aynı zamanda reaktif moleküller



olup, elektronları hücredeki diğer moleküllerle etkileşime girerek hasar meydana getirirler [Staroverov ve Davidson, 2000; Kopani vd., 2006].

Bitkilerde serbest radikaller kloroplastlardaki fotosentez reaksiyonlarında, plastid ve peroksizomlarda, mitokondrilerdeki sitrik asit döngüsünde NADPH oksidaz, hücre duvarı peroksidazları ve amino oksidazlar gibi enzimlerin etkisiyle oluşur [Van Camp, 1998]. Biyotik ve abiyotik stres faktörleri serbest radikal kaynaklarıdır [Lamb and Dixon, 1997; Van Breusegem and Dat, 2006].

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 [Sankar vd., 2008]. Bitkinin daha fazla su kaybetmemek için stomalarını kapatması fotosentez için gerekli CO<sub>2</sub> alımının kısıtlanmasına yol açar. Bu durum fotosentetik reaksiyon merkezlerindeki enerjinin aşırılığına neden olur [Monti, 1986]. Bitki dokularında moleküler oksijen ile elektron için rekabet eden NADP<sup>+</sup>ler indirgenerek NADPH birikir. Bu koşullarda bitki dokularında NADP<sup>+</sup> miktarı azalır ve O<sub>2</sub> alternatif elektron alıcısı olarak görev yapar [Stuhlfauth, 1990].

Suyun kısıtlı olduğu periyotlarda, bitkide kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleri oksidatif strese neden olur [Tambussi vd., 2000]. Oksidatif etki serbest radikallerin, özellikle reaktif oksijen türlerinin (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve OH<sup>•</sup>) Haber-Weiss ve Fenton adı verilen reaksiyonlar ile oluşumunu içerir [Cadenas, 1989; Farrant, 2000]. ROT; lipid peroksidasyonu sonucu hücre zarlarının zarar görmesi, proteinlerin ve DNA yapısının bozulması, enzimlerin etkinliğinin azalması gibi ciddi hücresel ve dokusal hasarlara yol açmaktadır [Sairam ve Saxena, 2000; Fridovich, 1986; Liebler vd., 1986]. Süperoksit ve hidrojen peroksidin OH<sup>•</sup> radikalini oluşturmak üzere tepkimesi sırasında artan Fe<sup>+3</sup> veya Cu<sup>+2</sup> gibi geçiş metalleri, bu oksidatif hasarı daha da arttırabilir [Davies, 1987].

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 E, flavonoidler, bazı alkaloidler ve β-karoten sayılabilir. Bitkilerdeki enzimatik antioksidanlar ise; süperoksit dismutaz, katalaz, askorbat peroksidaz, glutatyon

redüktaz gibi düşük molekül ağırlıklı enzimleri içermektedir [Smirnoff, 1993; Noctor ve Foyer, 1998].

Bitkilerde kuraklık stresi nedeniyle artan  $O_2^{\cdot-}$  ve  $H_2O_2$  içeriğine paralel olarak lipid peroksidasyonunun da arttığı belirlenmiştir [Baek ve Skinner, 2003]. Mısır (*Zea mays L.*) bitkisi ile yapılan çalışmalarda kuraklık stresinin SOD ve KAT enzim aktivitesinde önemli bir artışa neden olduğu rapor edilmiştir [Velikova vd., 2000; Ying vd., 2012].

Araştırmacılar kuraklık stresine maruz kalan bitkilerin KAT, AP ve GR gibi enzim aktivitelerinde artış olduğunu belirlemişlerdir [Masoumi vd.,2010]. Yapılan çalışmalar ile nohut bitkisinde kuraklık stresinin özellikle KAT enzim aktivitesinde önemli bir artışa neden olduğu rapor edilmiştir [Raheleh, 2012].

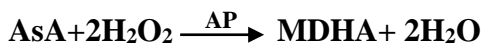
Stres sonucu bitki hücrelerinde oluşan süperoksit radikalleri SOD enziminin reaksiyonu ile  $H_2O_2$ 'ye dönüştürülür [Dixit vd.,2001; Mittiova, 2002]. SOD antioksidatif stres savunma mekanizmasının anahtar enzimidir ve  $O_2^{\cdot-}$  serbest radikalini  $O_2$  ve  $H_2O_2$ 'ye dönüştürdüğünden  $O_2^{\cdot-}$  ve  $H_2O_2$ 'nin hücrel derişimlerini doğrudan belirler. SOD enzimi; bakır/çinko (Cu/Zn-SOD), demir (Fe-SOD) ve manganez (Mn-SOD) içeren izoenzimler olarak metal kofaktörlerine göre sınıflandırılırlar [Bowler, 1994].



KAT, SOD'un katalizlediği reaksiyon sonucu oluşan ve kuvvetli bir oksidant olan  $H_2O_2$ 'nin hücrede birikimini önleyen etkili bir enzimdir [Beyer, 1994]. Katalaz enzimi  $H_2O_2$ 'yi su ve moleküler oksijene dönüştürmektedir. Bu enzimin substrata ilgisi düşük olmasına karşın yüksek katalitik aktiviteye sahiptir.



$H_2O_2$ 'nin yıkılmasında alternatif diğer bir yol ise peroksidazların aktivasyonu ile gerçekleştirilmekte ve  $H_2O_2$ 'nin suya indirgenmektedir [Shalata vd., 2001]. Askorbat peroksidaz (AP), askorbat–glutasyon döngüsünde hidrojen peroksidi suya indirger. Bu sırada askorbat, monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR) tarafından monodehidroaskorbata (MDHA) okside olur.



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'ın etkisi ile okside glutatyona (GSSG) dönüşür ve GSSG, GR tarafından GSH'ye geri indirgenir [Shigeoka vd., 2002]. Bitkilerin ROT etkilerini önleyebilmeleri oksidatif strese karşı önemli bir savunma mekanizmasıdır. Antioksidan sistemleri güçlü olan bitkilerin stres koşullarına toleransları artmaktadır [Fridovich, 1989; Sairam vd., 1998; ]. Yapılan bir çalışmada kuraklığa dayanıklı (*Cicer reticulatum* L.) nohut türünde duyarlı türe (*Cicer arietinum* L.) göre antioksidan aktivitenin daha yüksek olduğu bildirilmiştir [Çevik vd., 2014].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. BİTKİ YETİŞTİRME KOŞULLARI

Çalışmamızda, Mersin Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü'nden alınan *Capsicum annuum* L. tohumların çimlenmesiyle elde edilen fideler kullanılmıştır. Biber tohumları çimlendirildikten sonra içinde 2000 g toprak/torf/gübre (2/1/1 v/v/v) içeren saksılara aktarıldı. 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 40 gün) saksıların yarısı kuraklık stresine maruz bırakıldı. Diğer yarısı iyi sulanmış kontrol bitkileri olarak yetiştirildi. Kuraklık uygulanan bitkilerin yarısının yapraklarına stresinin ilk üç günü her gün aynı saatte distile su içerisinde hazırlanmış olan ve  $5 \mu\text{M}$ ,  $15 \mu\text{M}$  ve  $25 \mu\text{M}$  konsantrasyonlarda *myo*-inositol (Sigma) (tween 20 içeriyor) püskürtüldü. Myo-inositol uygulanmayan ve kuraklığa maruz kalan bitkilerin yapraklarına da distile su püskürtüldü. Kuraklık stresinin 7. gününde bitkiler hasat edildi ve hemen kök/gövde uzunlukları ve yaprak su potansiyeli ölçümleri yapıldı. Bitkilerin yaprakları analizlerde kullanılmak üzere sıvı azotta dondurulduktan sonra  $-70^\circ\text{C}$ 'de derin dondurucuda (Nuair) saklandı.

#### 3.2. YAPRAK SU POTANSİYELİ (YSP, $\Psi_{\text{Yaprak}}$ )'NİN ÖLÇÜLMESİ

Zamana bağlı olarak hasat edilen taze bitki örneklerinin Yaprak Su Potansiyeli (YSP,  $\Psi_{\text{Y}}$ ) 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  $\Psi_{\text{Yaprak}}$  sembolü ile ifade edildi [Scholander vd., 1965].

### 3.3. ÇÖZÜNÜR PROTEİN MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ

Çözünür protein miktarı, Bradford methoduyla ölçüldü. 1 g taze yaprak ve 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. Örneklerdeki protein miktarları Bradford reagent ile hazırlanmış standart eğriden hesaplandı [Bradford, 1976].

### 3.4. ANTIÖKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNİN ÖLÇÜMÜ

#### 3.4.1. Süperoksit Dismutaz Aktivitesi Tayini (EC 1.15.1.1)

SOD aktivitesi Beyers ve Fridovich [1987]’e göre yapıldı. Bunun için 1 g yaprak 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 dakikada 1 µmol substratı ürüne dönüştüren enzim miktarıdır.

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

Katalaz aktivitesi Aebi vd. [1983]’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 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0.5M) ve 120 µL enzim ekstraktının karıştırılması ile

başlatıldı. Katalaz aktivitesi 240 nm’de 30 sn içindeki absorbanın azalması ile tespit edildi ve sonuçlar  $\text{H}_2\text{O}_2$   $\text{dk}^{-1}\text{mg}^{-1}$  protein olarak hesaplandı.

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

AP aktivitesi Bonnet vd. [2000]’ne göre yapıldı. 150 mg yaprak dokusunun 200 mM (pH:7,8) HEPES, 2 mM EDTA, 5mM  $\text{MgCl}_2$ , 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  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  (pH:7), 500  $\mu\text{M}$  askorbat, 1 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$  ve ekstrakt içermektedir. 290 nm’de absorbanstaki azalmaya bağlı olarak okside olan askorbat ölçüldü. AP spesifik aktivitesi ( $\text{nmol}\cdot\text{dk}^{-1} \text{mg}^{-1}$  protein) 290 nm’de askorbat için 2,8  $\mu\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$  tükenme katsayısı kullanılarak hesaplandı.

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

GR aktivitesi Calberg ve Mannervik [1985]’e göre yapıldı. 1g yaprak 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  $\mu\text{M}$   $\text{NADPH}_2$ , 150  $\mu\text{L}$  okside glutasyon (GSSG), 1 mL  $\text{H}_2\text{O}$  ve 200  $\mu\text{L}$  ekstraktın eklenmesiyle reaksiyona başlatıldı. 1 dk süreyle 340 nm’de absorbanstaki azalma ölçüldü. Sonuçlar 1 dakikada oksitlenen  $\text{NADPH}_2$ ’nin  $\mu\text{mol} \text{dk}^{-1}\text{mg}^{-1}$  protein değeri olarak hesaplandı.

### 3.5. HİDROJEN PEROKSİT ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

Hidrojen peroksit seviyesi Velikova vd. [2000]’nin kullandığı metot modifiye edilerek ekstraksiyon yapıldı. Yaprak (500 mg) dokuları, 5 ml, % 2 (v:v) TCA ile buz banyosunda homojenize edildi. Homojenat 12 000 g’de 15 dakika santrifüj edildi ve süpernatant  $\text{H}_2\text{O}_2$  analizi için kullanıldı.  $\text{H}_2\text{O}_2$  , asidik şartlarda hidrojen peroksit tarafından demir iyonlarının ( $\text{Fe}^{+2}$ ) ferrik iyonlarına ( $\text{Fe}^{+3}$ )

oksidasyonuna dayanan Bioxytech H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-560 test kiti (OXIS International, Inc., USA) ile ölçüldü. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriği standart eğriden hesaplandı.

### 3.6. LİPİD PEROKSİDASYONU ÖLÇÜMÜ

Lipid peroksidasyonu Ohkawa vd [1979]'ye 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<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup> tükenme katsayısı kullanılarak hesaplandı.

### 3.7. KALSİYUM (CA<sup>+2</sup>) İÇERİĞİNİN ÖLÇÜMÜ

Zarcinas vd. [1987]'ye göre kalsiyum analizi için kullanılacak yaprak örnekleri Mikrodalga cihazında (Cem MARS 240/50) 110 °C sıcaklıkta kurutuldu. Kurutulmuş örnekler 3:1 oranında nitrik asit/perklorik asit çözeltisinde ısıtıcı (Hot plate) üzerinde 200° C sıcaklıkta ekstrakte edildi. Daha sonra bu örnekler 50 mL ultra saf su ile seyreltildi. Elde edilen son solüsyon İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS, Agilent 7500) ile analiz edildi. Cihazın analiz koşulları: RF gücü: 1500 W, örnek derinliği: 8,8 mm, plazma gaz akışı: 15 L/dk, taşıyıcı gaz akışı: 0,9 L/dk, aux gaz akışı: 1L/dk, sıcaklık 2 °C' dir. Ayrıca analiz sırasında saflaştırma işlemleri için argon gazı (%99,998) kullanılmıştır.

### 3.8. PROLİN İÇERİĞİNİN ÖLÇÜMÜ

Yaprak örnekleri (0,5 gr) 10 mL %3'lük sülfosalisilik asitte homojenize edildi. Ekstraktlar filtre kağıdı ile filtre edildikten sonra 2 mL filtrat, 2 mL ninhidrin ve 2 mL glasiyal asetik asit ile karıştırılarak 100 °C'de 1 saat bekletildi. Daha sonra buz içine alınarak reaksiyon sonlandırıldı ve karışım 4 mL soğuk toluen ile ekstrakte edildi. Toluen fazı 520 nm'de spektrofotometrede analiz edildi ve sonuçlar 1 g yapraktaki µmol prolin cinsinden hesaplandı [Bates, 1973].

### 3.9. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Sürekli değişkenler medyan ve n cinsinden özetlenmiştir. Gruplar arasındaki farklılık karşılaştırılırken Kruskal Wallis ve Anova testi kullanıldı. Uygulamaların karşılaştırılmasında farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını tespit etmek için çoklu karşılaştırma testlerinden Dunn testi uygulanmıştır. Grup ve yer etkileşimi için univariate analiz yapılmıştır.



## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. BULGULAR

#### 4.1.1. Gövde ve Kök Büyümesi

Su sıkıntısına maruz kalan *C. annuum*'da gövde ve kök uzunluk değerleri bakımından gruplar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Kontrol bitkilerinde ise gövde ve kök uzunluk değerleri bakımından gruplar arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $P<0,001$ ). *Myo*-inositol uygulamaları bakımından gövde uzunlukları arasında istatistiksel olarak bir fark bulunurken ( $P<0,001$ ), kök uzunlukları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark belirlenmemiştir. Su sıkıntısı gövde uzunluğunda belirgin bir değişikliğe neden olmazken, kök uzunlukları yaklaşık %50 oranında azalmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L.'un gövde ve kök büyümesi üzerine *myo*-inositolün etkisi (n:5)

Uygulama Grupları	Gövde uzunlukları (cm) $\pm$ st.sapma	Kök uzunlukları(cm) $\pm$ st.sapma
<b>Kontrol</b>	16,8 $\pm$ 2,23	20,9 $\pm$ 3,46
<b>5 <math>\mu</math>M</b>	15,3 $\pm$ 2,02**	16,9 $\pm$ 7,01*
<b>15 <math>\mu</math>M</b>	17,5 $\pm$ 4,00*	24,0 $\pm$ 5,88*
<b>25 <math>\mu</math>M</b>	17,3 $\pm$ 0,57*	24,1 $\pm$ 7,91*
<b>Su sıkıntısı</b>	15,6 $\pm$ 0,28*	10,7 $\pm$ 2,80*
<b>Su sıkıntısı + 5 <math>\mu</math>M</b>	15,8 $\pm$ 2,27**	11,6 $\pm$ 3,01*
<b>Su sıkıntısı+ 15+ <math>\mu</math>M</b>	18,0 $\pm$ 0,91*	16,8 $\pm$ 4,07*
<b>Su sıkıntısı+ 25+ <math>\mu</math>M</b>	17,3 $\pm$ 0,57*	6,9 $\pm$ 1,05*

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

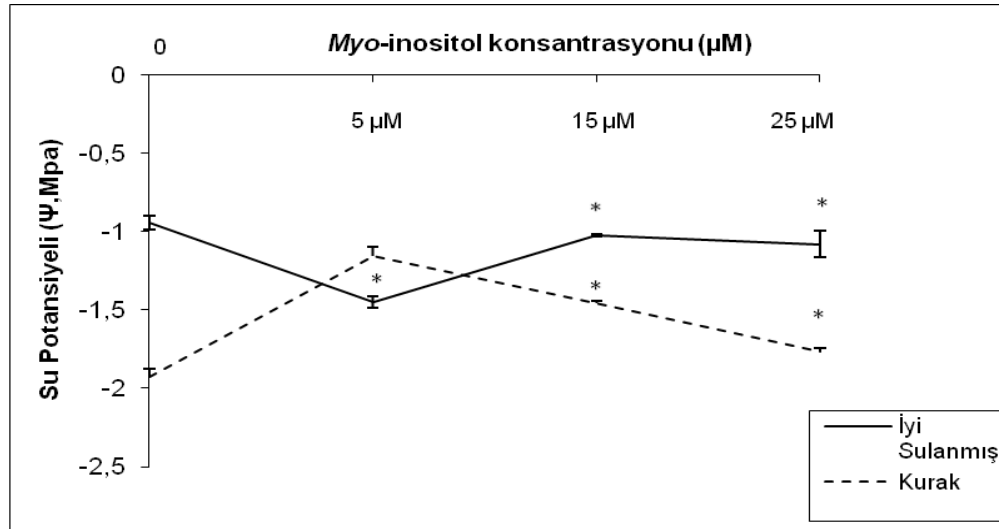
\*\* İstatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli ( $P<0,01$ )

Su sıkıntısına maruz kalan bitkilere *myo*-inositol uygulaması konsantrasyona bağlı olarak (25  $\mu$ M *myo*-inositol hariç) kök uzunluklarında artışa

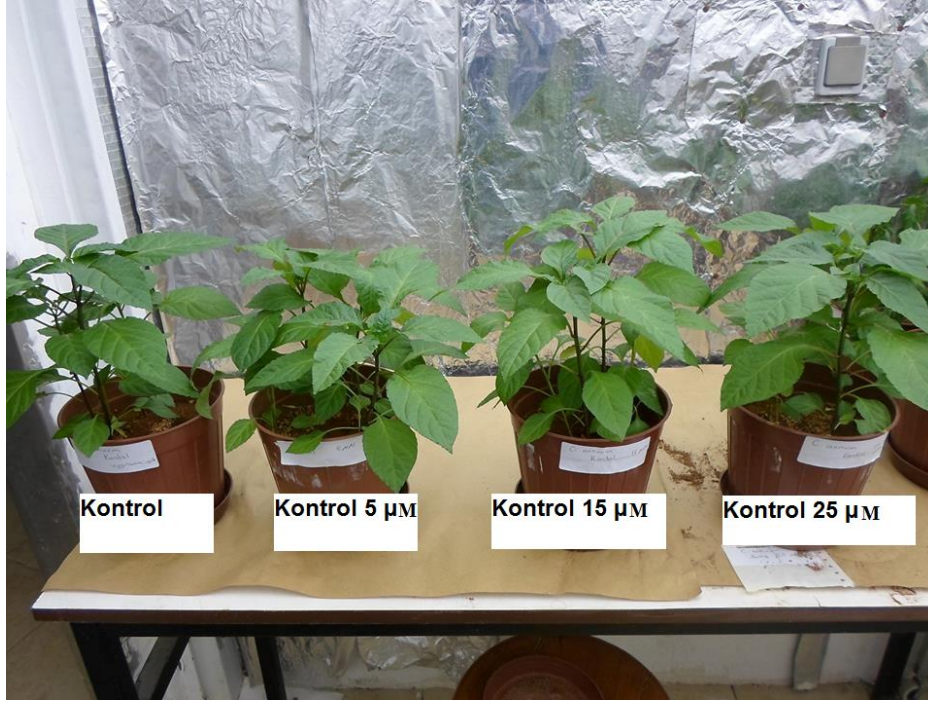
neden olmuştur. Buna karşılık 25  $\mu\text{M}$  *myo*-inositol uygulanan bitkilerde kök uzunluğunun belirgin bir şekilde azaldığı gözlenmiştir.

#### 4.1.2 Yaprak Su Potansiyeli ( $\Psi_Y$ , MPa)

İyi sulanmış ve su sıkıntısına maruz kalan bitkilerin yaprak su potansiyeli değerleri arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $P < 0,001$ ). Su sıkıntısına maruz kalan veya kontrol grubu bitkilerde *myo*-inositol uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ( $P < 0,001$ ). Su sıkıntısı su potansiyelini kontrol bitkilerine göre yaklaşık iki kat azaltmıştır (Şekil 4.1). Su sıkıntısına maruz kalan bitkilerin yapraklarına *myo*-inositol uygulamaları konsantrasyona bağlı olarak yaprak su potansiyelini iyi sulanmış kontrol ve uygulama yapılmayan bitkilere göre belirgin bir şekilde azaltmıştır. Buna bağlı olarak su sıkıntısına maruz kalan bitkilerin yapraklarının *myo*-inositol konsantrasyonuna bağlı olarak uygulama yapılmayanlara göre daha turgorlu oldukları gözlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *C. annuum*. yapraklarına *myo*-inositol uygulamalarının yaprak su potansiyeli üzerine etkisi



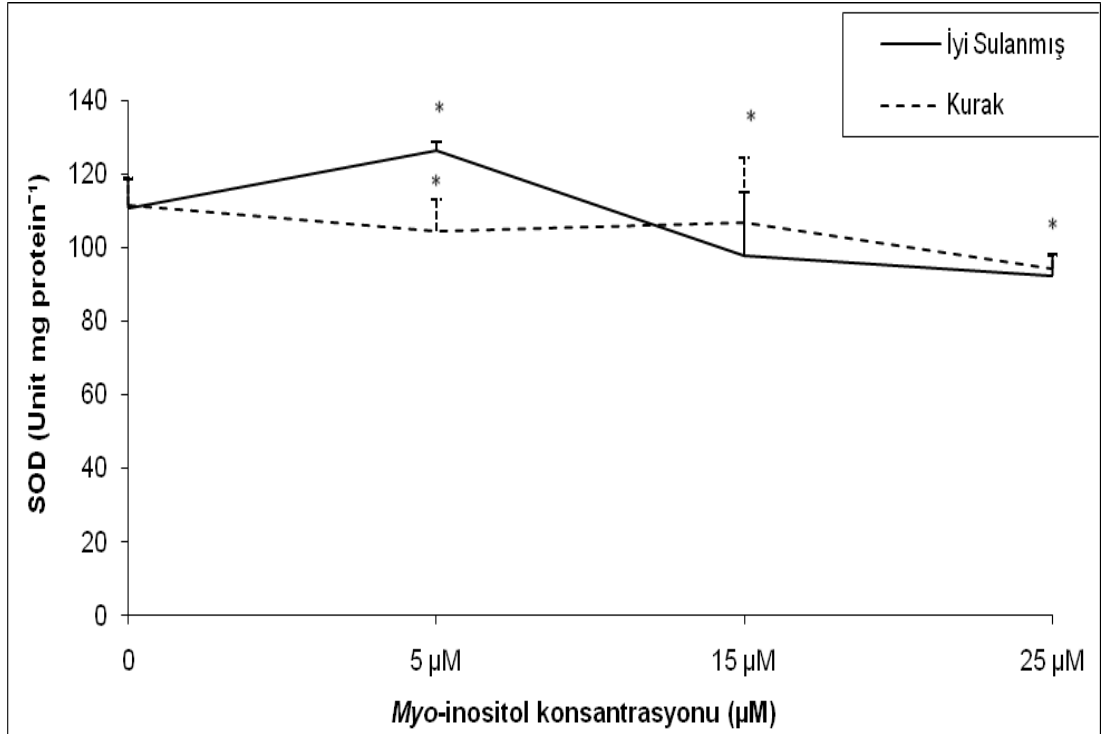
Şekil 4.2. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *C. annuum* yapraklarının genel görünüşleri.

Bununla birlikte, 25 µM *myo*-inositol uygulanan bitkilerin yapraklarının su potansiyeli, uygulama yapılmayan ama su sıkıntısı uygulanan bitkilerdekine yakın değerlerde olmasına rağmen, neredeyse iyi sulanmış kontrol bitkilerin yaprakları kadar turgorlu bir görünüme sahip olduğu gözlenmiştir.

#### 4.1.3. Enzim Aktivitesi

##### 4.1.3.1. SOD aktivitesi

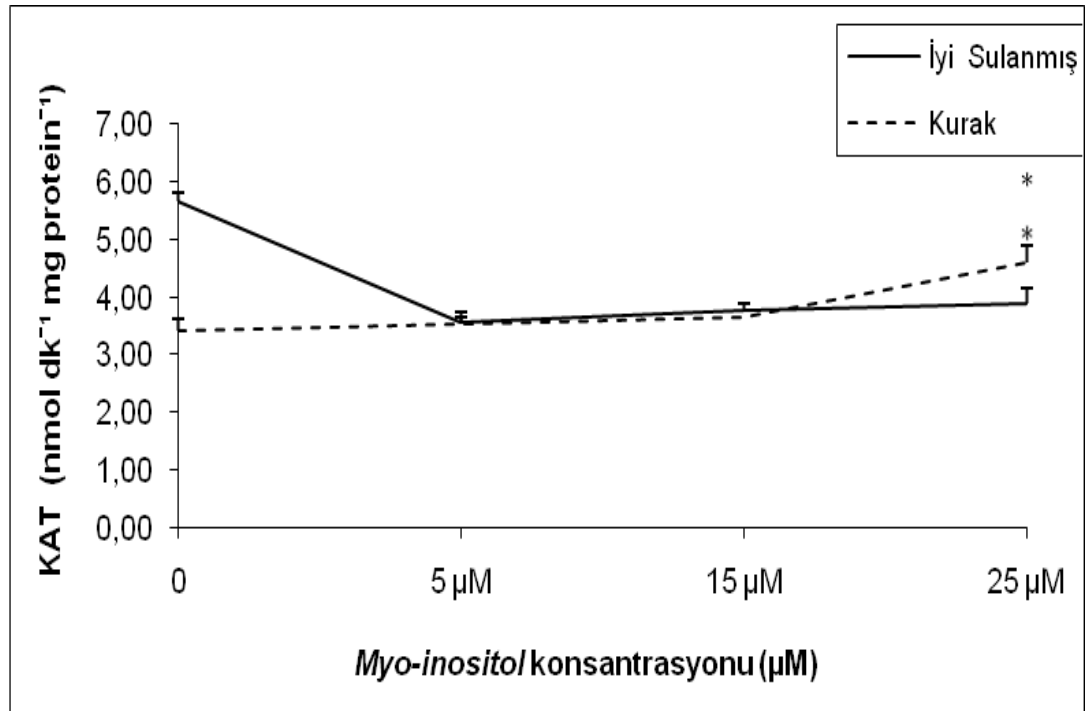
Su sıkıntısının biber bitkilerinin yapraklarındaki SOD aktivitesini değiştirmediği gözlenmiştir (şekil 4.3). *Myo*-inositol uygulanan bitkilerde enzim aktivitesinin özellikle 25  $\mu$ M uygulamasında azaldığı belirlenmiştir.



şekil 4.3. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *C. annuum* 'un SOD aktivitesi üzerine *myo*-inositol uygulamalarının etkisi.

#### 4.1.3.2. KAT aktivitesi

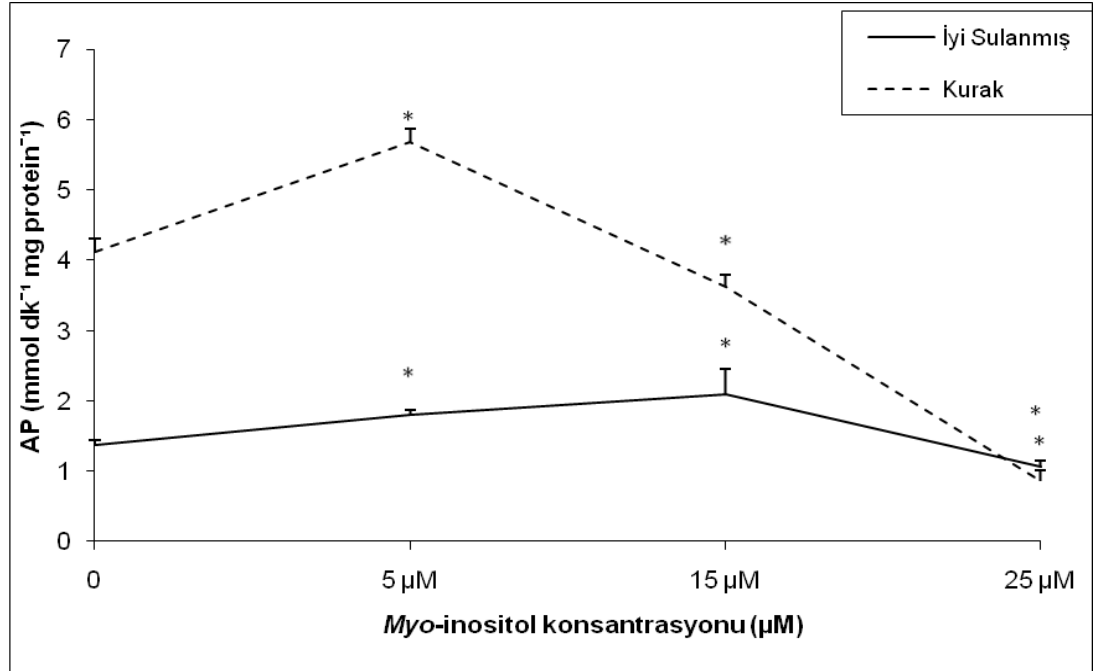
İyi sulanmış kontrol ve su sıkıntısına maruz bırakılan bitkilerin yapraklarında KAT aktivitesi bakımından *myo*-inositol uygulama grupları arasındaki farklar önemli bulunmuştur ( $P<0,01$ ). Su sıkıntısına maruz bırakılan bitkilerde de enzim aktivitesi iyi sulanmış kontrol bitkilere göre azalma göstermiştir (Şekil 4.4) Buna karşılık, su sıkıntısına maruz bırakılan bitkilerin yapraklarına 25  $\mu\text{M}$  *myo*-inositol uygulaması uygulama yapılmayanlara göre KAT aktivitesinde belirgin bir artışa neden olmuştur ( $P<0,01$ ).



Şekil 4.4. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *C. annuum* 'un KAT aktivitesi üzerine *myo*-inositol uygulamalarının etkisi

#### 4.1.3.3. AP aktivitesi

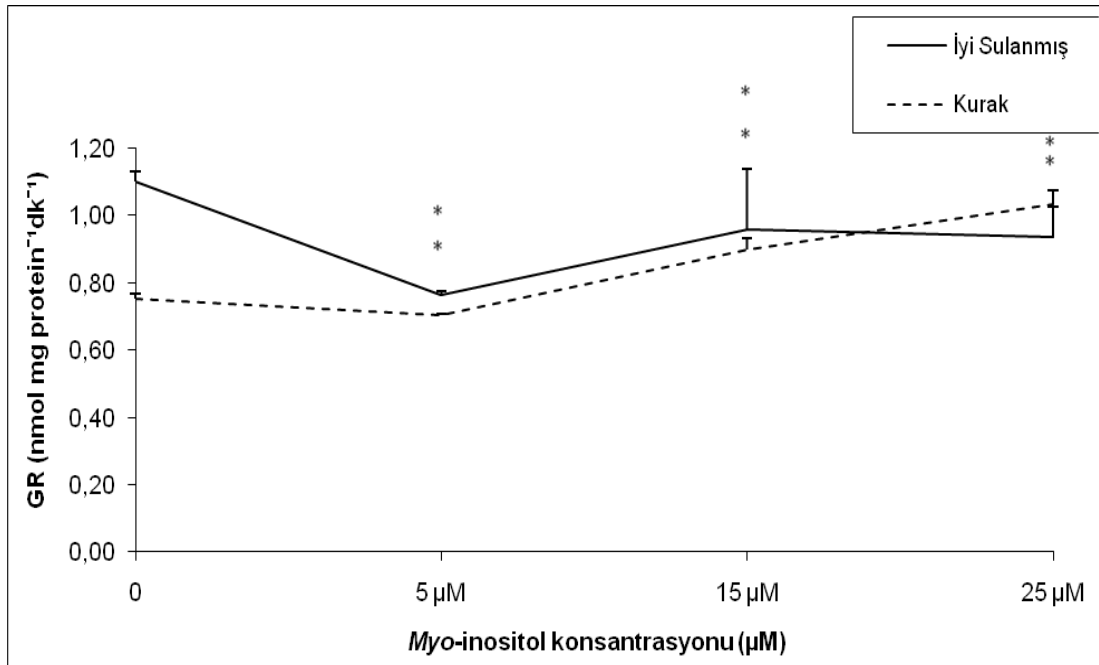
İyi sulanmış kontrol ve su sıkıntısına maruz bırakılan bitkilerin yapraklarında AP aktivitesi bakımından *myo*-inositol uygulama grupları arasındaki farklar önemli bulunmuştur ( $P < 0,001$ ). Su sıkıntısı AP aktivitesini kontrol bitkilere göre yaklaşık 4 kat arttırmıştır (Şekil 4.5) Su sıkıntısına maruz bırakılan bitkilerin yapraklarına 5  $\mu\text{M}$  *myo*-inositol uygulanması enzim aktivitesini uygulama yapılmamış kontrol ve su sıkıntısına maruz kalan bitkilere göre belirgin bir şekilde arttırmıştır. Buna karşılık, *myo*-inositol konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak uygulama yapılmayan bitkilere göre enzim aktivitesi azalma göstermiştir.



Şekil 4.5. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *C. annuum* 'un AP aktivitesi üzerine *myo*-inositol uygulamalarının etkisi

#### 4.1.3.4. GR aktivitesi

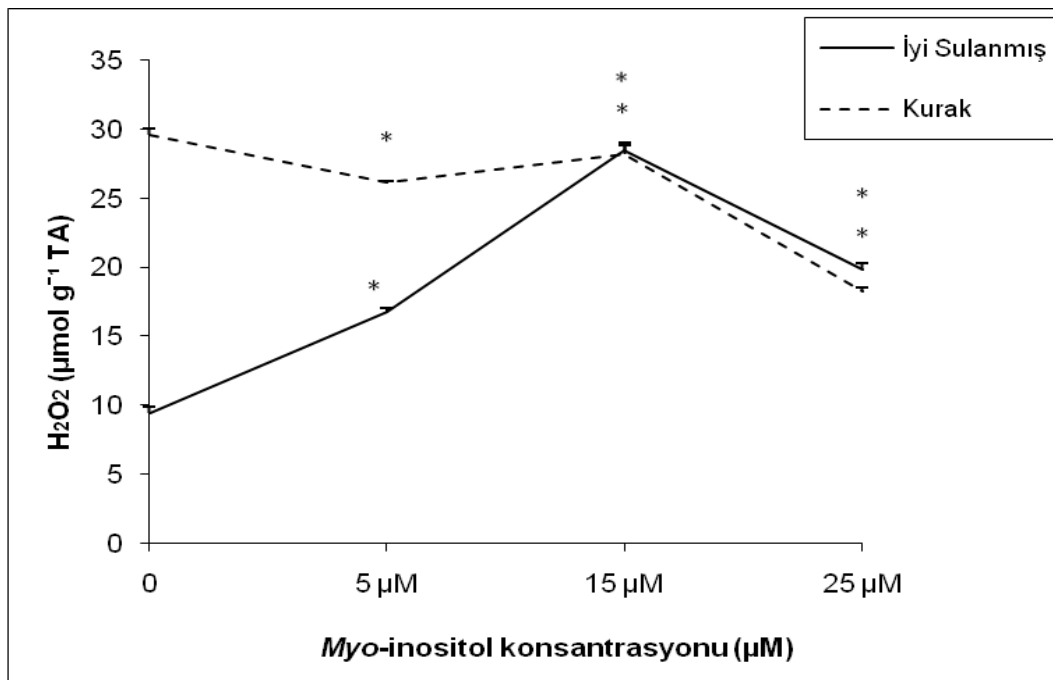
İyi sulanmış bitkilerin yapraklarındaki GR aktivitesi bakımından *myo*-inositol uygulama grupları arasındaki farklar önemli bulunmuştur ( $P<0,001$ ). İyi sulanmış ve/veya *myo*-inositol uygulanan bitkilerin yapraklarındaki GR aktivitesi iyi sulanmış kontrol bitkilerdekine göre azalma göstermiştir (Şekil 4.6). Su sıkıntısı uygulanan bitkilerde GR aktivitesi belirgin bir şekilde azalmıştır ( $P<0,05$ ). Su sıkıntısına maruz bırakılmış bitkilere uygulanan *myo*-inositol konsantrasyona bağlı olarak uygulama yapılmamış bitkilere göre GR aktivitesini arttırmıştır.



Şekil 4.6. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *C. annuum* 'un GR aktivitesi üzerine *myo*-inositol uygulamalarının etkisi

#### 4.1.4. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Miktarı

Su sıkıntısına maruz kalan ve *myo*-inositol uygulanan bitkiler arasındaki H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı bakımından farklar anlamlı bulunmuştur (P<0,001). Su sıkıntısı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarını kontrol bitkilere göre yaklaşık 3 kat arttırmıştır (Şekil 4.7). Bununla birlikte, su sıkıntısına maruz bırakılan ve *myo*-inositol uygulanan bitkilerde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı uygulama yapılmayanlara göre önemli oranda azalmıştır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarında en belirgin azalma 25 µM *myo*-inositol uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.

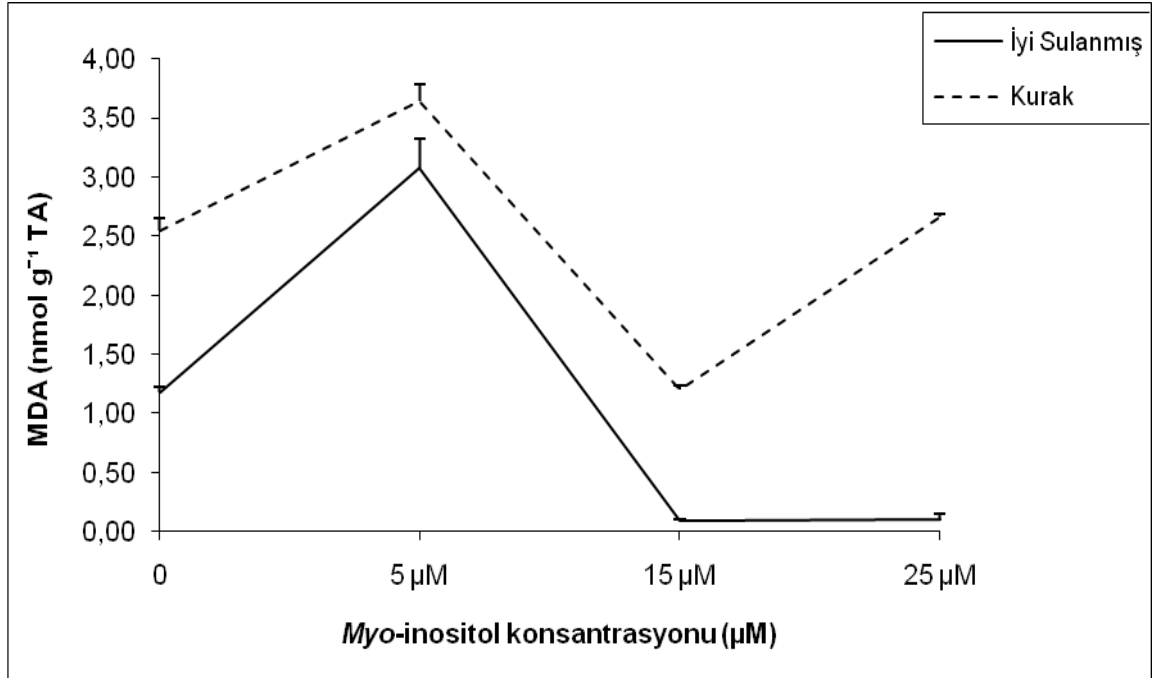


Şekil 4.7. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *C. annuum* yapraklarına *myo*-inositol uygulamalarının H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı üzerine etkisi



#### 4.1.5. MDA Miktarı

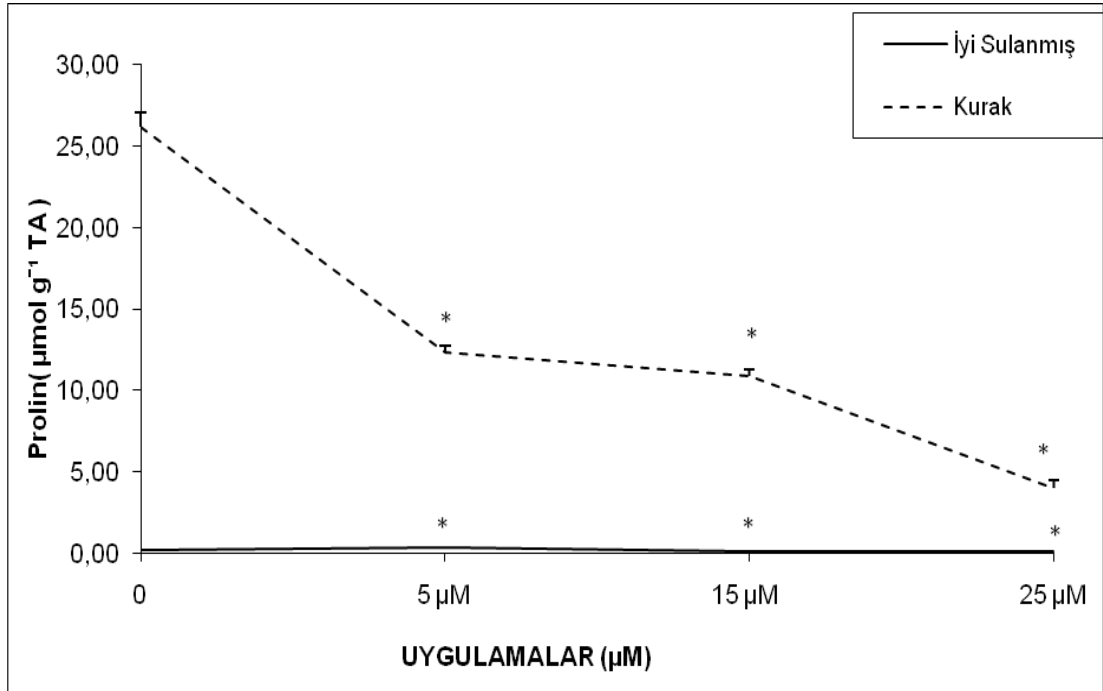
İyi sulanmış kontrol veya su sıkıntısına maruz bırakılan bitkilerde MDA miktarı bakımından *myo*-inositol uygulama grupları arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur ( $P < 0,001$ ). Su sıkıntısı MDA miktarını kontrole göre yaklaşık 2 kat arttırmıştır (Şekil 4.8). 5  $\mu\text{M}$  *myo*-inositol uygulaması MDA miktarında belirgin bir artışa neden olmuştur. *Myo*-inositol konsantrasyonundaki artış uygulama yapılmayanlara göre MDA miktarını önemli oranda azaltmıştır. 15  $\mu\text{M}$  *myo*-inositol uygulaması MDA miktarını iyi sulanmış kontrol bitkileri seviyesine indirmiştir.



Şekil 4.8. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *C. annuum* yapraklarına *myo*-inositol uygulamalarının MDA miktarı üzerine etkisi

#### 4.1.6. Prolin Miktarı

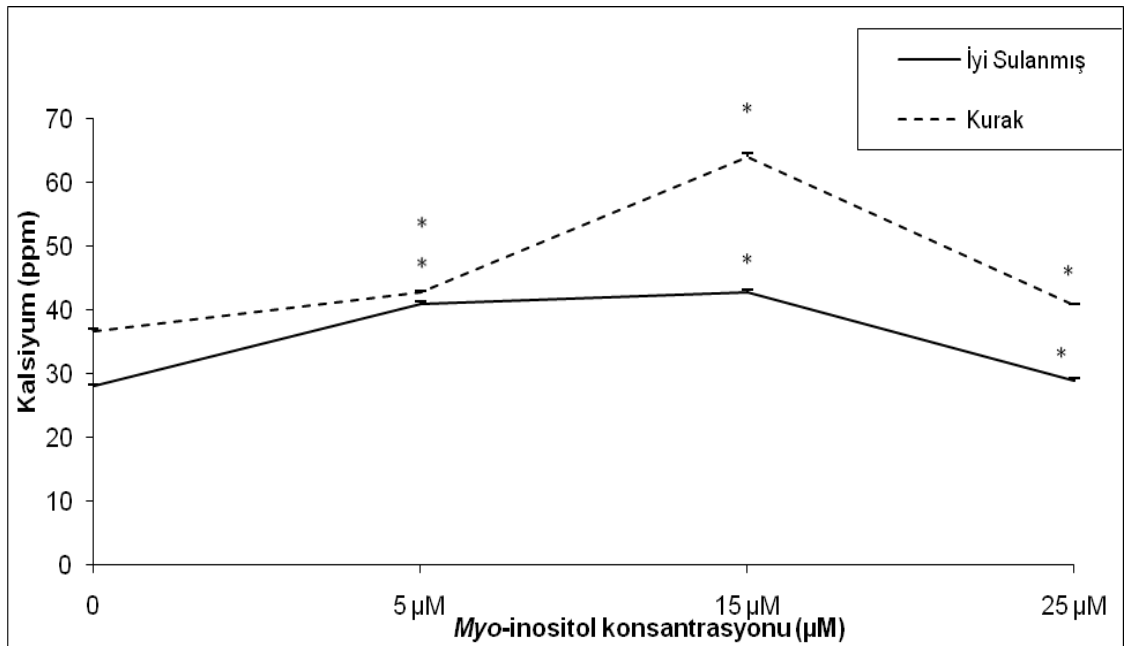
İyi sulanmış kontrol veya su sıkıntısına maruz bırakılan bitkilerde prolin miktarı bakımından *myo*-inositol uygulama grupları arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur ( $P < 0,001$ ). İyi sulanmış ve/veya *myo*-inositol uygulanan bitkilerde prolin düzeyi oldukça düşük değerlerdedir (Şekil 4.9). Su sıkıntısına maruz kalan bitkilerde belirgin bir şekilde prolin birikiminin olduğu belirlenmiştir. Su sıkıntısına maruz bırakılan ve *myo*-inositol uygulanan bitkilerde konsantrasyona bağlı olarak prolin miktarında uygulama yapılmayan bitkilere göre önemli bir azalma olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.9. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L. yapraklarına *myo*-inositol uygulamalarının prolin miktarı üzerine etkisi

#### 4.1.7. Ca<sup>2+</sup> Miktarı

Kontrol veya su sıkıntısına maruz bırakılan bitkilerde Ca<sup>2+</sup> miktarı bakımından *myo*-inositol uygulama grupları arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur (P<0,001). Su sıkıntısı kalsiyum miktarını iyi sulanmış kontrol bitkilere göre arttırmıştır (Şekil 4.10). Su sıkıntısına maruz bırakılan ve *myo*-inositol uygulanan bitkilerde de Ca<sup>2+</sup> miktarı kontrol bitkilerine göre artmıştır. En belirgin artış 15 µM *myo*-inositol uygulanan bitkilerde belirlenmiştir.



Şekil 4.10. İyi sulanan veya su sıkıntısına maruz bırakılan *C. annuum* yapraklarına *myo*-inositol uygulamalarının Kalsiyum miktarı üzerine etkisi

## 4.2. TARTIŞMA

Kuraklık stresi dünya çapında tarımsal üretimi azaltan en önemli çevresel faktörlerden bir tanesidir [Ludlow ve Muchow, 1990]. Bitkilerde kuraklık stresinin en bilindik etkisi ise serbest radikal oluşumunun artmasıdır. Bu radikallerin bitkiler üzerinde pleiotropik (iki yönlü) etkisi vardır. Bu serbest radikaller oksidasyon yolu ile fotosentetik pigmentlere, hücre zarı lipitlerine, proteinlere ve nükleik asitlere zarar verir, aynı zamanda sinyal molekülü olarak işlev görerek apoptozisin düzenlenmesinde ve daha tehlikeli radikallerin oluşmasına engel olmada görev alabilirler [Gadjev, 2008]. Kuraklık stresine maruz kalan bitkiler, osmoprotektanlar olarak bilinen ve turgorun devamını sağlayan çeşitli çözünebilir maddeleri biriktirerek osmotik ayarlama yaparlar ve hücrelerin kurummasını bu yolla önlerler [Moghaieb, 2006]. Birçok bitki stres koşullarında bu osmoprotektanlardan olan inositol türevlerini sitozolik çözünenler olarak biriktirirler ve osmotik ayarlamayı yaparlar [Wanek ve Richter, 1997; Munnik ve Vermeer, 2010]. İnositol türevleri strese yanıtta sinyal ve gelişim yolları için gerekli bileşikler olup, su absorpsiyonunun sağlanması ve hücre turgorunun devamlılığında rol alırlar [Valluru ve Van den Ende, 2011].

Kuraklık stresi bitki büyümesini azaltır. Su sıkıntısı koşullarında gövde uzunluğunun soya [Specht vd., 2001], patates [Heuer ve Nadler, 1995] ve Citrus [Wu vd., 2008] 'da azaldığı bildirilmiştir. Benzer şekilde, çalışmamızda su sıkıntısının biber bitkisinin büyümesini azalttığı belirlenmiştir. Dışsal uygulanan *myo*-inositolün su sıkıntısının büyüme inhibisyonu etkisini, özellikle kök dokularında, azalttığı gözlenmiştir (25 µM hariç). Bu da *myo*-inositolün köklenmeyi arttıran diğer stimülatörlerin etkilerini arttırdığını düşündürmektedir.

Bitkilerin oransal su içeriğindeki azalmanın stomaların kapanmasını ve böylece fotosentez hızında paralel bir azalmayı uyardığı bilinmektedir [Cornic, 2000]. Kuraklık etkisi ile bitkilerde yaprakların oransal su içeriğinin ve yaprak su potansiyelinin düşmesi fotosentez oranını azaltmaktadır [Lawlor ve Cornic, 2002]. Bu sonuçlar, yüksek oransal su içeriğinin ve düşük yaprak su potansiyelinin kuraklığa dayanıklılıkla yakından ilişkili olduğu, ayrıca bu parametrelerin kuraklık stresi altındaki bitki su durumunun en iyi göstergesi olduğunu belirten raporlar ile

uygunluk göstermektedir [Araghi ve Assad 1998; Dhanda ve Sethi 1998; Keles vd., 2004]. Kuraklık uygulanan toleranslı patates bitkilerinde duyarlı olan türe göre yaprakların daha turgorlu olduğu ve verimin daha yüksek olduğu belirlenmiştir [Boguszewska vd., 2010]. Biberdeki su potansiyeli su sıkıntısıyla oldukça azalmış ve yapraklar solgunlaşmıştır. *Myo*-inositol uygulamaları ile su sıkıntısının şiddetinin azaldığı ve yaprakların daha turgorlu olduğu gözlenmiştir. Bu, dışsal uygulanan osmolitlerin su sıkıntısıyla bitkilerin su potansiyelini azaltarak, çevrelerinden su almayı kolaylaştırdıkları fikrini vermektedir.

SOD, superoksit radikalini hidrojen peroksite dönüştüren dismutasyon reaksiyonunda etkili metalloprotein yapısında enzimlerdir [Kavas, 1989]. 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 [Ischiropoulos vd., 1992]. Çalışmamızda, su sıkıntısı biberde SOD aktivitesinde değişikliğe neden olmamıştır. Benzer şekilde, Basu ve ark.'ının [2010] farklı kültür pirinç türleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda ile kuraklık stresinin SOD aktivitesini değiştirmedığını rapor etmişlerdir. Bazı araştırmacılar ise, yabani pirinç bitkisinde stres koşullarının SOD aktivitesini azalttığını rapor etmişlerdir [Guo vd., 2006]. Çalışmamızın aksine, Masoumi vd. (2011) soyada, Islam vd. [1997]. yulafta, Mafakheri vd. [2011] nohutta kuraklık stresinin bitkilerde KAT aktivitesini arttığını bildirmişlerdir. Katalaz aktivitesindeki artış kuraklığa toleransın artmasını sağladığı rapor edilmiştir. Çalışmamızda dışsal uygulanan 25  $\mu$ M *myo*-inositol biberde KAT aktivitesini belirgin bir şekilde arttırmıştır. Su sıkıntısı ve yüksek *myo*-inositol konsantrasyonunda SOD aktivitesinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Bu durumda, AP aktivitesinin belirgin bir şekilde azalmasına karşın,  $H_2O_2$ 'in de azalma göstermesi, artan KAT aktivitesinin mevcut  $H_2O_2$ ' i tüketmiş olabileceğini göstermektedir.

Bibere aynı konsantrasyonda *myo*-inositol uygulandığında MDA miktarı, uygulama görmemiş su sıkıntılı bitkilerdeki kadar yüksektir. MDA, stres koşullarında veya doğal koşullarda hücrelerin doymamış yağ asitlerinin enzimatik parçalanması ve oksidasyonu sonucu oluşmaktadır [Takahashi ve ark. 2001]. Membran lipidlerinin peroksidasyonunun son ürünü olarak bilinmektedir. Bu da

SOD aktivitesinin düşük olmasının bir sonucu olarak  $O_2^{\cdot-}$  radikalının  $H_2O_2$ ' e dönüştürülememesinin bir sonucu olarak membranların zarar görmüş olabileceği fikrini vermektedir. Ancak 15  $\mu$ M *myo*-inositol uygulamasında SOD ve KAT aktivitesinin stabil kalması ve daha zararlı olan radikal türevlerinin  $H_2O_2$ ' e dönüşmesi sonucunda MDA miktarını kontrol değerleri seviyesine indirmiş olabilirler. Ayrıca *myo*-inositoller membran lipidlerinin sentezine katıldığından [Nelson vd., 1998], dışsal uyguladığımız *myo*-inositolün  $H_2O_2$ ' nin veya diğer radikallerin hücrelerde tüketilememesinin membranlar üzerindeki zararlı etkisini onarmış olabileceğini akla getirmektedir.

AP'ın kloroplastta, sitoplazmada, mitokondri ve peroksizom membranlarında  $H_2O_2$ 'in ortadan kaldırılmasında rol oynadığı bilinmektedir [Del Rio, 2002]. AP enzimi Katalaz ile birlikte  $H_2O_2$ 'nin süpürülmesinde görev alan önemli bir enzimdir. Düşük konsantrasyondaki  $H_2O_2$  hücre içinde bir çok fizyolojik işlemi kontrol eden bir sinyal molekülü olarak işlev görürken yüksek konsantrasyonlarda ise hücre için toksik etki yapar [Rhee vd., 2000].  $H_2O_2$  Calvin döngüsünün birçok enziminin inaktivasyonuna yol açmaktadır [Charles, 1980]. Hidrojen peroksit serbest radikaller içinde en stabil olanıdır [Noctor vd., 2014]. ROT'un zararlı etkisine karşı hücreleri koruduğu bilinmektedir. AP'nin  $H_2O_2$ 'ye ilgisi KAT enziminden daha yüksektir [Gill ve Tuteja, 2010]. Su sıkıntısında AP aktivitesi artmıştır ancak  $H_2O_2$  miktarının da artış göstermiş olması toplam SOD'tan ziyade SOD izoenzimlerinden birinin (CuZn SOD) aktivitesinin yüksek olması ve KAT aktivitesinin de değişmeden kalmasının bir sonucu olarak mevcut  $H_2O_2$  tüketilememiş olabilir. Benzer şekilde, su sıkıntısına maruz kalan pamuk [Pace vd., 2009], fasulye [Zlatev vd., 2006; Terzi vd., 2009], nohut [Macar, 2008], buğday [Al-Ghamdi, 2009], elma [Ma vd., 2011] bitkilerinde AP aktivitesinin arttığı bildirilmiştir. Ayrıca tuz stresi [Demiral ve Türkan, 2005] ve Cd ve tuz stresi [Çekiç ve Unyayar, 2006] uygulamaları ile yapılan çalışmalarda da AP aktivitesinin arttığı rapor edilmiştir. GR; askorbat-glutasyon döngüsünün en önemli enzimlerinden bir tanesidir. Bu döngüde GR okside glutasyon (GSSG)'u GSH'a dönüştürerek oksidatif strese karşı korunmada anahtar bir rol oynamaktadır. Türkan vd. (2005) kuraklık stresinin GR aktivitesini arttırdığını bulmuşlardır. Su sıkıntısında KAT gibi GR aktivitesi de *myo*-inositol uygulamasıyla artış göstermiştir. Dolayısıyla bu enzimler

ROT' un tüketilmesinde anahtar rol oynamış olabilirler. Benzer şekilde su sıkıntısında pirinç fidelerinde [Sharma ve Dubey, 2005], domateste [Sanchez-Rodriguez, 2010], elma yapraklarında [Ma vd., 2011], kuraklık stresi ile birlikte GR aktivitesinde artış olduğu rapor edilmiştir.

Osmotik koruyucu olan serbest prolin, protein stabilatörü, metal şelatörü, lipid peroksidasyonu inhibitörü ve OH ve <sup>1</sup>O<sub>2</sub> süpürücüsüdür [Boguszewska, 2012]. Kuraklık stresine maruz kalmış bitkilerdeki prolin birikimi diğer amino asitlere oranla daha fazladır [Ashraf, 2004]. Prolin, sitoplazmik asitliğin hafifletilmesinde [Srinivas ve Balasubramanian, 1995] ve metabolizmayla uyumlu NADP+/NADPH oranlarının devam ettirilmesinde de görev yapabilir [Hare ve Cress 1997]. Su sıkıntısı başta olmak üzere abiyotik stresler prolin birikimini artırır [Trovato, 2008]. Çalışmamızda da su sıkıntısıyla birlikte prolin sentezi belirgin bir şekilde artmıştır. Bitkilerde su sıkıntısı ve tuz stresine tepki olarak prolin birikimi sitozolde gerçekleşmektedir [Ketchum vd., 1991]. Aynı şekilde, Demirevska vd. [2008] şiddetli kuraklık altında buğday çeşitlerinin yüksek oranda prolin biriktirdiklerini belirlemişlerdir. Nohut ve mercimek çeşitlerinde de kuraklık stresi altında prolin birikimi olduğu rapor edilmiştir [Steward ve Hanson, 1980; Tan ve Halloran, 1982]. Kuraklığa dayanıklılık mekanizmalarının en önemli bileşenlerinden biri olan ve stres durumlarında daha yüksek oranda birikimi gözlenen prolin gibi birçok bileşik, ozmotik dengenin sürdürülmesinde anahtar rol oynamaktadır [Öztürk ve Demir, 2002; Hsu vd., 2003; Kishore vd., 2005; Wu ve Xia, 2006]. Yüksek bitkilerde yaygın olarak bulunan bu bileşikler hem ozmotik konsantrasyonu düşürerek turgor basıncını artırmak suretiyle stomaların açılmasını, dolayısıyla da fotosentez ve büyüme gibi fizyolojik işlevler üzerinde stresin etkilerinin sınırlanmasını sağlamakta [Chimenti vd., 2002], hem de hücre bileşenlerinin (hücre zarları ve proteinler gibi) yapısal bütünlüklerinin korunmasına ve serbest radikallerin uzaklaştırılmasına [Mani vd., 2002] yardım etmektedir. Çalışmamızda, su sıkıntısında *myo*-inositol uygulanmasıyla birlikte prolin seviyesinin azalmasına karşılık, bitkilerin daha turgorlu bir görünüme sahip olması, bu stresin etkilerinin azaltılmasında ve suyun korunmasında *myo*-inositollerin prolinden daha etkili olduğu fikrini vermektedir.

Biberde Ca<sup>+2</sup> miktarı da *myo*-inositol uygulandığında artış göstermiştir. Ca<sup>+2</sup> turgor basıncının düzenlenmesine [Takagi ve Nagai, 1992] absisik asit (ABA)

hormonunun etkisiyle katılır. Çünkü ABA stomaların kapanmasına,  $Ca^{+2}$ 'un artışıyla birlikte iyon dengesini değiştirerek yol açar [McAinsh vd., 1990]. Çalışmamızda da  $Ca^{+2}$  miktarının en yüksek olduğu 15  $\mu$ M myo-inositol uygulanan gruplarda MDA miktarı da belirgin bir şekilde azalmıştır ve hücreler uygulama görmeyenlere göre daha turgorludur. Dolayısıyla  $Ca^{+2}$  dışsal myo-inositol uygulamasıyla hücrelerin su kullanma etkinliğine katkıda bulunabilir. Sıcaklık stresi altında sitoplazmik serbest  $Ca^{+2}$  miktarının artışı stresin etkisini azaltabilir ve lipid peroksidasyonunu düşürerek hücrelerin hayatta kalmasını sağlayabilir [Wu vd., 1997]. Benzer şekilde, su sıkıntısı ve tuzluluk stresinin bitkilerde sitosolik kalsiyum miktarında artışa neden olduğu araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir [Kegel vd., 2000; Knight vd. 1997; Sanders vd., 1999].



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- *C. annuum*'da su sıkıntısına maruz kalan bitkilere *myo*-inositol uygulaması kök ve gövde uzunluğunu arttırdığı belirlenmiştir. Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde kök uzunluğunun artması suyun alımında bir avantaj sağlayabilir.
- Kuraklık stresi biberde YSP'nin azalmasına neden olmuştur. *Myo*-inositol uygulamalarının YSP'yi azaltmış olması, turgorun devamlılığında etkili olduklarını düşündürmektedir.
- Kuraklık stresi antioksidan enzim aktivitelerinden AP aktivitesini arttırmıştır. Yüksek konsantrasyonda *myo*-inositol uygulaması GR ve KAT aktivitesini artırırken, diğer enzim aktivitelerinin azalmasına neden olmuştur. Bu da *myo*-inositollerin stresin algılanmasında ve antioksidan savunmada antioksidan enzimler üzerinde farklı etki göstermişlerdir.
- *Myo*-inositollerin su sıkıntısında daha çok su potansiyelini düşürerek mevcut suyun korunmasında etkili olduklarını ve burada su potansiyelinin korunmasında prolinden daha etkili olduklarını göstermektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abak, K. ve Pitrat, M. "Biberlerde kök boğazı yanıklığı (*Phytophthora capsici* Leon.) hastalığına dayanıklılık üzerinde bir araştırma." A.Ü.Z.F. Yıllığı, 29 (2-3-4): 943-947, (1981).
- Adams, P., Thomas, J. C., Vernon, D. M., Bohnert, H. J., and Jensen, R. G. "Distinct cellular and organismic responses to salt stress", *Plant and Cell Physiology*, 33(8), 1215-1223, (1992).
- Aebi, H. E., Bergmeyer, J. and Grabl, M., "Catalase In: Methods of enzymatic analysis", Eds. Verlag Chemie, Weinheim, 3: 273-286, (1983).
- Al-Ghamdi, "Evaluation of Oxidative Stress Tolerance in Two Wheat (*Triticum aestivum*) Cultivars in Response to Drought", 7-12, (2009).
- Alscher, Ruth Grene, Neval Erturk, and Lenwood S. Heath. "Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants." *Journal of experimental botany* 53(372): 1331-1341, (2002).
- Araghi, S. Golestani, and M. T. Assad. "Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat", *Euphytica*, 103(3): 293-299, (1998).
- Arora A, Sairam RK and Srivastava GC. "Oxidative Stress and Antioxidative Systems in Plants", *Curr. Sci.*, 82: 1227-1238 (2002).
- Ashraf, M. "Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants", *Flora Review* 376, 361-376, (2004).
- Ashraf, M. P. J. C., and P. J. C. Harris. "Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants." *Plant Science* 166(1): 3-16, (2004).
- 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).
- Basu, S., Roychoudhury, A., Saha, P. P., & Sengupta, D. N. "Differential antioxidative responses of indica rice cultivars to drought stress", *Plant growth regulation*, 60(1): 51-59, (2010).
- Bates, L. S., R. P. Waldren, and I. D. Teare. "Rapid determination of free proline for water-stress studies." *Plant and soil* 39, (1): 205-207, (1973).
- 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).
- Beyer, W. F. and Fridowich, I. "Assaying for superoxide dismutase activity: Some large consequences of minor changes in conditions", *Analytical Biochemistry*, 161: 559-566, (1987).
- Bielecki, R. L. "Pinitol is a major carbohydrate in leaves of some coastal plants indigenous to New Zealand." *New Zealand Journal of Botany*, 32(1): 73-78, (1994).

- Bieleski, R. L., and B. G. Briggs. "Taxonomic patterns in the distribution of polyols within the Proteaceae." *Australian journal of botany*, 53(3): 205-217, (2005).
- Bieleski, R. L. "Sugar alcohols." *Plant Carbohydrates I*, 158-192, (1982).
- Blum, Abraham, and Wayne R. Jordan. "Breeding crop varieties for stress environments." *Critical Reviews in Plant Sciences* 2(3): 199-238, (1985).
- Blum, A. "The effect of heat stress on wheat leaf and ear photosynthesis." *J. Exp. Bot.*, 37: 111–118, (1986).
- Boguszewska, D., M. Grudkowska, and B. Zagdańska. "Drought-responsive antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.)", *Potato research* 53(4): 373-382, (2010).
- Boguszewska, D., and Barbara Z. "ROS as signaling molecules and enzymes of plant response to unfavorable environmental conditions", *Oxidative stress—molecular mechanisms and biological effects*. Rijeka, Croatia: InTech: 341-362, (2012).
- Bonnet, M., Camares, O., Veisserie, P. "Effects of zinc and influence of *Acremonium lolii* on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass", *Journal Experimental Botany*, 51: 945-953, (2000).
- Bowler, C., Van Camp W., Van Montagu M., Inze, D. "Superoxide dismutases in plants", *Critical reviews in Plant Sciences*, 13: 199–218, (1994).
- Boyer JS. "Plant productivity and environment" *Science*, 218: 443-8, (1982).
- Bradford, Marion M. "A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding." *Analytical biochemistry* 72(1): 248-254, (1976).
- Cadenas, S.E. "Biochemistry of oxygen toxicity", *Annual Review of Biochemistry*, 58: 79-110, (1989).
- Calberg, I. and Mannervik, B., "Glutathion Reductase Methods in Enzymology", 113: 484-490, (1985).
- Chimenti, C. A., J. Pearson, and A. J. Hall. "Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower", *Field Crops Research* 75(2): 235-246, (2002).
- Cornic, G., Bukhov, N. G., Wiese, C., Bligny, R., and Heber, U. "Flexible coupling between light-dependent electron and vectorial proton transport in illuminated leaves of C3 plants. Role of photosystem I-dependent proton pumping", *Planta*, 210(3), 468-477, (2000).
- Çevik, S. "Kuraklık Toleransları Farklı *Cicer* (Nohut ) Genotiplerinde Askorbat ve Glutatyon Uygulamalarının Antioksidan Sistem Üzerine Etkilerinin Araştırılması ve Genomik Varyasyonlarının Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
- Çevik, S., Yıldızlı, A., G. Göksu H., Gultekin M.S., Güzel Değer, A., Çelik, A., Şimşek Kuş, N., Ünyayar, S., "Some synthetic cyclitol derivatives alleviate the effect of water deficit in cultivated and wild-type chickpea species" *Journal of Plant Physiology*, 171(10): 807-816 (2014).
- Davies, K. J. A. "Protein damage and degradation by oxygen radicals", I. General aspects. *Journal Biology Chemistry*, 262: 9895-9901, (1987).

- De Silva, D. L. R., A. M. Hetherington, and T. A. Mansfield. "Synergism between calcium ions and abscisic acid in preventing stomatal opening", *New Phytologist*: 473-482, (1985).
- Del Rio, Marlene Jimenez, and Carlos Velez-Pardo. "Monoamine neurotoxins-induced apoptosis in lymphocytes by a common oxidative stress mechanism: involvement of hydrogen peroxide, caspase-3, and nuclear factor transcription factors", *Biochemical pharmacology*, 63(4): 677-688, (2002).
- Demirevska, K., Simova-Stoilova, L., Vassileva, V. and Feller, U. "Rubisco and some chaperone protein responses to water stress and rewatering at early seedling growth of drought sensitive and tolerant wheat varieties", *Plant growth regulation*, 56(2), 97-106, (2008).
- Desender, Sabine, Didier Andrivon, and Florence Val. "Activation of defence reactions in Solanaceae: where is the specificity?.", *Cellular Microbiology*, 9(1): 21-30, (2007).
- 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).
- Dhanda, S. S., G. S. Sethi, and R. K. Behl. "Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth", *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190(1): 6-12, (2004).
- 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).
- 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).
- Dubey R.S. "Handbook of Plant and Crop Stress", New York: Marcel Dekker, 227, (1994).
- Elstner, E.F. "Oxygen activation and oxygen toxicity", *Annual Review Plant Physiology*, 33: 73-96, (1982).
- Eyidogan, F., and Öz, M.T. "Effect of salinity on antioxidant responses of chickpea seedlings", *Acta Physiologiae Plantarum*, 29(5): 485-493, (2007).
- Farrant J. M. "A comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species", *Plant Ecology*, 151: 29- 39, (2000).  
FAOSTAT, <http://faostat3.fao.org/home/index.html> (1.12.2012)
- Febles, C. I., Arias, A., Hardisson, A., Rodriguez-Alvarez, C., and Sierra, A. "Phytic acid level in wheat flours", *Journal of Cereal Science*, 36(1), 19-23, (2002).
- Fenn, L. B., and S. Feagley. "Review of beneficial uses of calcium and ammonium salts for stimulating plant growth and metabolite translocation", *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 30(19-20): 2627-2641, (1999).

- Filippou, Panagiota, Chrystalla Antoniou, and Vasileios Fotopoulos. "Effect of drought and rewatering on the cellular status and antioxidant response of *Medicago truncatula* plants", *Plant Signal. Behav.*, 6: 270-277, (2011).
- Ford CW. "Accumulation of O-methyl-inositols in water stressed *Vigna* species ", *Phytochemistry*, 21, 1149–1151, (1982).
- Foyer, C. H., Harbinson, J., and Mullineaux, P. M. (1994). "Oxygen metabolism and the regulation of photosynthetic electron transport", Boca Raton: CRC Press, 1-42, (1994).
- Fridovich, I. "Biological effects of superoxide radical", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 247: 1-11, (1986).
- Gadjev, Ilya, Julie M. Stone, and Tsanko S. Gechev. "Programmed cell death in plants: new insights into redox regulation and the role of hydrogen peroxide." *International review of cell and molecular biology*, 270: 87-144, (2008).
- 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).
- 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).
- Gill, Sarvajeet Singh, and Narendra Tuteja. "Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants", *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12): 909-930, (2010).
- 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).
- Göçmen, M., ve Abak, K. "Determine the genotypes resistant to *Fusarium solani* in pepper (*Capsicum annuum* L.)", *Bahçe* 35(1-2) :1-8, (2006).
- Graf, E., Mahoney, J. R., Bryant, R. G., & Eaton, J. W. "Iron-catalyzed hydroxyl radical formation. Stringent requirement for free iron coordination site ", *Journal of Biological Chemistry*, 259(6), 3620-3624, (1984).
- Greenleaf, W.H. "Pepper breeding. In: M.J. Bassett (Ed.)", *Breeding Vegetable Crops*, 67–133, (2001).
- Guo, Z., Ou, W., Lu, S., & Zhong, Q. "Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity", *Plant Physiology and Biochemistry*, 44(11): 828-836, (2006).
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. "Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease: an overview", *Methods in enzymology*, 186: 1-85, (1989).
- Hare, P. D., W. A. Cress, and J. Van Staden. "Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress", *Plant Cell & Environment* 21(6): 535-553, (1998).

- 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).
- 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).
- Heiser, Charles B. "Introgression re-examined", *The Botanical Review*, 39(4): 347-366 ,(1973).
- Hsu, S. Y., Y. T. Hsu, and C. H. Kao. "The effect of polyethylene glycol on proline accumulation in rice leaves", *Biologia plantarum*, 46(1): 73-78, (2003).
- Hudlicky, T., Luna, H., Price, J. D., & Rulin, F. "Microbial oxidation of chloroaromatics in the enantiodivergent synthesis of pyrrolizidine alkaloids: trihydroxyheliotridanes", *The Journal of Organic Chemistry*, 55(15): 4683-4687. (1990).
- Im, Y. J., Perera, I. Y., Brglez, I., Davis, A. J., Stevenson-Paulik, J., Phillippy, B. Q., Boss, W. F. "Increasing plasma membrane phosphatidylinositol (4,5) bisphosphate biosynthesis increases phosphoinositide metabolism in *Nicotiana tabacum*" ,*The Plant Cell*, 19(5): 1603–1616 ,(2007).
- Ischiropoulos, H., Zhu, L., Chen, J., Tsai, M., Martin, J. C., Smith, C. D., & Beckman, J. S. "Peroxyxynitrite-mediated tyrosine nitration catalyzed by superoxide dismutase", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 298(2): 431-437, (1992).
- İlarıslan, H., Üstün, A.S. ve Yılmazzer, R. "*Phytophthora capsici* Leon'ye dayanıklı ve duyarlı Biberlerin (*Capsicum annuum*) kök boğazlarında histolojik değişimler",*Turkish Journal of Agriculture And Forestry*, 21, 113-120. (1997).
- Islam, K. N., Kayanoki, Y., Kaneto, H., Suzuki, K., Asahi, M., Fujii, J., & Taniguchi, N. (1997). "TGF-[beta] 1 Triggers Oxidative Modifications and Enhances Apoptosis in Hit Cells Through Accumulation of Reactive Oxygen Species by Suppression of Catalase and Glutathione Peroxidase." ,*Free Radical Biology and Medicine*, 22(6): 1007-1017.
- Jiang Y., Huang B. "Effects of calcium on antioxidant activities and waterrelations associated with heath tolerance in two cool-season grasses", *Journal of Experimental Botany*, 52: 341-349, (2001).
- Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y. "Bitkilerde Kuraklık Stresinin Etkileri ve Dayanıklılık Mekanizmaları", *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Derg.*, 18(4): 723-740, (2005).
- Kavas, G. Ö. "Serbest radikaller ve organizma üzerine etkileri", *Turkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 9(1): 1-8, (1989).
- Keles, Y., Öncel I., and Yenice, N. "Relationship between boron content and antioxidant compounds in *Citrus* leaves taken from fields with different water source", *Plant and soil* 265(1-2): 345-353, (2004).

- Keleş, Y., Ünyayar, S., "Responses of antioxidant defence system of *Helianthus annuus* to abscisic acid treatment under drought and waterlogging", *Acta Physiologiae Plantarum*, 26 (2): 149-156, 2004.
- Kennington, A. S., Hill, C. R.; Craig, J.; Bogardus, C; Raz. I., Ortmeier, H. K., Hansen, B. C., Romero, G., Lerner, J. *New England J. Med.* 323, 373, (1990).
- Ketchum, R. E., Warren, R. S., Klima, L. J., Lopez-Gutierrez, F., & Nabors, M. W." The mechanism and regulation of proline accumulation in suspension cell cultures of the halophytic grass *Distichlis spicata* L.", *Journal of plant physiology*, 137(3): 368-374, (1991).
- Kishor, P. B. K., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. R. S. S., Sreenivasulu, N. "Regulation of proline biosynthesis , degradation , uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance", 88(3), (2005).
- Knight, H., Trewavas, A. J., & Knight, M. R. "Calcium signalling in *Arabidopsis thaliana* responding to drought and salinity", *The Plant Journal*, 12(5), 1067-1078, (1997).
- Kocsy G, Szalai G, Galiba G. "Effect of osmotic stress on glutathione and hydroxymethylglutathione accumulation in wheat", *J. Plant Physiol*, 161: 785–794, (2004).
- Kopani, M., Celec, P., Danisovic, L., Michalka P. and Biro, C. "Oxidative stress and electron spin resonance", *Clinica Chimica Acta*, 364: 61-66, (2006).
- Lamb, C., Dixon, R.A., "The oxidative burst in plant disease resistance", *Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology*, 48: 251-275, (1997).
- Lascano H. R., Casano L. M., Martín M., Sabater B., "The activity of the chloroplastic Ndh complex is regulated by phosphorylation of the NDH-F subunit". *Plant Physiol.* 132: 256–262, (2003).
- Law, M. Y., St A. Charles, and B. Halliwell. "Glutathione and ascorbic acid in spinach (*Spinacia oleracea*) chloroplasts. The effect of hydrogen peroxide and of Paraquat." *Biochem. J* 210: 899-903, (1983).
- Lawlor, D. W., and G. Cornic. "Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants." *Plant, Cell & Environment* 25(2): 275-294, (2002).
- 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).
- Lemma, F., Trombino, S., Puoci, F., Cirillo, G., Spizzirri, G.U., Muzzalupo, R., Picci, N., "Synthesis and Antioxidant Efficiency of a New Copolymer Containing Phosphorylated Myo-Inositol", *Macromol. Biosci.* 5: 1049–1056, (2005).
- Levitt J. *Responses of plants to environmental Stresses.* New York, London: Academic Press, 697, (1972) .
- Lewis, D. H., and D. C. Smith. "Sugar alcohols (polyols) in fungi and green plants." *New Phytologist* 66 (2): 185-204, (1967).

- Lichtenthaler, Hartmut K. "Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants." *Journal of plant physiology* 148(1): 4-14, (1996).
- 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).
- Ludlow, M. M., ve R. C. Muchow. "A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments." *Advances in agronomy* 43: 107-153, (1990).
- Ma, Y.-H., Ma, F.-W., Wang, Y.-H., & Zhang, J.-K. The responses of the enzymes related with ascorbate–glutathione cycle during drought stress in apple leaves. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(1), 173–180, (2010).
- Macar, T. Kalefetoglu, and Yasemin Ekmekçi. "PSII photochemistry and antioxidant responses of a chickpea variety exposed to drought." *Zeitschrift für Naturforschung. C, A journal of biosciences* 63(7): 583, (2008).
- Madhova Rao KV, Raghavendra AS, Janardhan Reddy K. "Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants." Netherlands: Springer, 345. (2005)
- 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*, 5(10) (2011).
- Mani, S., Van de Cotte, B., Van Montagu, M., and Verbruggen, N. "Altered levels of proline dehydrogenase cause hypersensitivity to proline and its analogs in *Arabidopsis*", *Plant Physiology*, 128(1): 73-83, (2002).
- 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).
- 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).
- McAinsh, Martin R. "Abscisic acid-induced elevation of guard cell cytosolic Ca<sup>2+</sup> precedes stomatal closure.": 186-188, (1990).
- 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 Regulation*, 57(1), 57–68, (2008).
- 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).



- Merchant, Andrew, and Andreas A. Richter. "Polyols as biomarkers and bioindicators for 21st century plant breeding." *Functional Plant Biology*, 38(12): 934-940, (2011).
- Merchant, A., Richter, A., Popp, M., and Adams, M. "Targeted metabolite profiling provides a functional link among eucalypt taxonomy, physiology and evolution." *Phytochemistry*, 67(4): 402-408, (2006).
- Merchant, S. S., Prochnik, S. E., Vallon, O., Harris, E. H., Karpowicz, S. J., Witman, G. B., and Mittag, M. "The *Chlamydomonas* genome reveals the evolution of key animal and plant functions." *Science*, 318, 245–251, (2007).
- Mittiova, 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).
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. and Van Breusegem, F., "Reactive oxygen gene network of plants". *Trends Plant Science*, 9: 490–498, (2004).
- Moghaieb, R. E. A., Saneoka, H. and Fujita, K. "Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betaine aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophytic plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritima*", *Plant Science*, 166: 1345-1349, (2004).
- Moing A, Rothan C, Svanella L, Just D, Diakou P, Rolin D, Gaudille`re JP, R Monet "Organic acid metabolism during the fruit development of two peach cultivars." *Acta Hort.*, 465: 425-432, (1997).
- Molassiotis, A., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G. and Therios, I. "Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM 9 (*Malus domestica* Borkh)." *Environmental and experimental botany* 56(1): 54-62, (2006).
- Monson, R.K., Lipson, D.L., Burns, S.P., Turnipseed, A.A., Delany, A.C., Williams, M.W., Schmidt, S.K., "Winter forest soil respiration controlled by climate and microbial community composition." *Nature*, 439, 711–714, (2006).
- 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).
- Munné-Bosch, S., Peñuelas, J. "Drought-induced oxidative stress in strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) growing in Mediterranean field conditions", 166:1105-1110, (2004).
- Munnik, T., & Vermeer, J. E. M., "Osmotic stress-induced phosphoinositide and inositol", 655–669, (2010).
- Nadler, A., and Bruria Heuer. "Effect of saline irrigation and water deficit on tuber quality." *Potato research*, 38(1): 119-123, (1995).
- Nadwodnik J., and Lohaus G., "Subcellular concentrations of sugar alcohols and sugars in relation to phloem translocation in *Plantago major*, *Plantago*

- maritima*, *Prunus persica*, and *Apium graveolens*." *Planta*, 227(5): 1079-1089, (2008).
- Nandwal, A. S., Kukreja, S., Kumar, N., Sharma, P. K., Jain, M., Mann, A. and Singh, S. "Plant water status, ethylene evolution, N(2)-fixing efficiency, antioxidant activity and lipid peroxidation in *Cicer arietinum* L. nodules as affected by short-term salinization and desalinization." *J. Plant Physiol.*, 164 (9): 1161-9. (2007).
- 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).
- Noctor, Graham, Amna Mhamdi, and Christine H. Foyer. "The roles of reactive oxygen metabolism in drought: not so cut and dried." *Plant physiology*, 164(4): 1636-1648, (2014).
- Nelson, Donald E., Gerald Rammesmyer, and Hans J. Bohnert. "Regulation of cell-specific inositol metabolism and transport in plant salinity tolerance." *The Plant Cell Online*, 10(5): 753-764, (1998).
- Ohkawa, H., Ohishi, N. and Yagi, K., "Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction". *Analytical Biochemistry*, 95: 351- 358, (1979).
- Olmez, Z., Teme, F., Gokturk, A., & Yahyaoglu, Z. "Effect of cold stratification treatments on germination of drought tolerant shrubs seeds." *Journal of Environmental Biology*, 28(2): (2007).
- Onnebo, S., and Adolfo Saiardi. "Inositol pyrophosphates modulate hydrogen peroxide signalling." *Biochem. J*, 423: 109-118, (2009).
- Ortbauer, Martina, and Marianne Popp. "Functional role of polyhydroxy compounds on protein structure and thermal stability studied by circular dichroism spectroscopy." *Plant Physiology and Biochemistry*, 46(4): 428-434, (2008).
- Orthen, B., Popp, M. and Smirnoff, N., "Hydroxyl radical scavenging properties of cyclitols", *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 102: 269–272, (1994).
- Orthen, Birgit, Marianne Popp, and Wolfgang Barz. "Cyclitol Accumulation in Suspended Cells and Intact Plants of *Cicer arietinum* L." *Journal of plant physiology* 156(1): 40-45, (2000).
- Öztürk, Lokman, and Yavuz Demir. "In vivo and in vitro protective role of proline." *Plant growth regulation* 38(3): 259-264, (2002).
- 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).
- Pattanagul, W. and Madore, M.A., "Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in coleus", *Plant Physiology*, 121: 987-993, (1999).
- Paul, M. J. and W. Cockburn., "Pinitol, a compatible solute in *Mesembryanthemum crystallinum* L.", *Journal of Experimental Botany*, 40: 1093–1098, (1989).

- Pereira, M. D., Herdeiro, R. S., Fernandes, P. N., Eleutherio, E. C. A. and Panek, A. D. "Targets of oxidative stress in yeast sod mutants" *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1620(1): 245-251, (2003).
- Pfundner, K. "Phosphornekrose-Die Berufskrankheit der Beschäftigten in der Zündholzindustrie" *Blätter für Technikgeschichte*, 55: 65-88, (1993).
- Phillippy, Brian Q., and Ernst Graf. "Antioxidant functions of inositol 1, 2, 3-trisphosphate and inositol 1, 2, 3, 6-tetrakisphosphate" *Free radical biology and medicine*, 22(6): 939-946, (1997).
- Planes, S. and G.S Eusebio and F. Marti. "In Proceedings of the third Conference of the International Organization of Citrus Virologists", University of Florida Press., 16-25: 226 (1965).
- Plouvier, V. Sur la recherche des itols a chaine droite et des cyclitols chez les vegetaux. Relations entre leur repartition et la classification systematique. *Bulletin de la Societe de Chimie Biologique* 45:1079-1117 , (1963).
- Popp, M., and N. Smirnoff. "Polyol accumulation and metabolism during water deficit." *Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation*, 199-215, (1995).
- Popp, M., W Lied, U. Bierbaum, M. Gross, T. Grosse-Schulte, S. Hams, J. Oldenettel, S. Schuler, and J. Wiese: "Cyclitols - Stable Osmotica in Trees", *Contributions To Modern Tree Physiology*, 257-270, (1997).
- Raboy, Victor. "myo-Inositol-1,2,3,4,5,6-hexaphosphate", *Phytochemistry*, 64(6): 1033-1043, (2003).
- 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).
- 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*, 7(39): 5372- 5380, (2012).
- Reda, E., A. Moghaieb, H. Saneoka and K. Fujita. "Shoot regeneration from GUS-transformed tomato (*Lycopersicon esculentum*) hairy root." *Cell and Mol. Biol. Lett.*, 9: 439-449 (2004).
- Rhee, S. G., Bae, Y. S., Lee, S. R., ve Kwon, J. "Hydrogen peroxide: a key messenger that modulates protein phosphorylation through cysteine oxidation." *Science Signaling* 2000(53), (2000).
- Richter, Andreas, and Marianne Popp. "The physiological importance of accumulation of cyclitols in *Viscum album* L." *New phytologist* 121(3): 431-438, (1992).
- Romo, S., Labrador, E., ve Dopico, B. "Water stress-regulated gene expression in *Cicer arietinum* seedlings and plants" *Plant Physiology and Biochemistry*, 39(11): 1017–1026, (2001).

- 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).
- 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).
- Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. Ruiz, J. M., "Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants." *Plant Science*, 178(1), 30–40, (2010).
- Sanders, D., Brownlee, C. and Harper, J.F., "Communicating with calcium", *Plant Cell*, 11: 691–706, (1999).
- 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).
- Sardans, Jordi, Josep Penuelas, and Roman Ogaya. "Drought's impact on Ca, Fe, Mg, Mo and S concentration and accumulation patterns in the plants and soil of a Mediterranean evergreen *Quercus ilex* forest." *Biogeochemistry* 87(1): 49-69, (2008).
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A. "Sap pressure in vascular plants", *Science* , 148: 339-346, (1965).
- Schumaker, K. S., & Sze, H. "Inositol 1, 4, 5-trisphosphate releases Ca<sup>2+</sup> from vacuolar membrane vesicles of oat roots", *Journal of Biological Chemistry*, 262(9): 3944-3946, (1987).
- Serraj, R., and T. R. Sinclair. "Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?.", *Plant, cell & environment*, 25(2): 333-341, (2002).
- Shalata, A., Mittova, V., Guy, M. and Tal, M. "Response of cultivated tomato and its wild salt- tolerant relative *Lycopersicon pennelli* to salt dependent oxidative stress: the root antioxidative system", *Physiologia Plantarum*, 112: 487-494, (2001).
- Sharma, P., & Dubey, R. S. "Drought Induces Oxidative Stress and Enhances the Activities of Antioxidant Enzymes in Growing Rice Seedlings", *Plant Growth Regulation*, 46(3), 209–221, (2005).
- Shen, Bo, Richard G. Jensen, and Hans J. Bohnert. "Mannitol protects against oxidation by hydroxyl radicals." *Plant Physiology* 115(2), 527-532, (1997).
- Sheveleva, E., Chmara, W., Bohnert, H. J., & Jensen, R. G. "Increased salt and drought tolerance by D-ononitol production in transgenic *Nicotiana tabacum* L." *Plant Physiology*, 115(3): 1211-1219, (1997).
- 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).

- Smirnov, B. Y. N. Tansley Review No . 52 "The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation," 52: 27–58, (1993).
- Smirnov, N., "The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation". *New Phytologist*, 125: 27-58, (1993).
- Smirnov, Nicholas, And Stephen V. Colombe. "Drought influences the activity of enzymes of the chloroplast hydrogen peroxide scavenging system." *Journal of Experimental Botany* 39(8): 1097-1108, (1988).
- Specht, J. E., Chase, K., Macrander, M., Graef, G. L., Chung, J., Markwell, J. P., ... & Lark, K. G. "Soybean response to water.", *Crop Science*, 41(2): 493-509, (2001).
- Srinivas, V., and D. Balasubramanian. "Proline is a protein-compatible hydrotrope." *Langmuir* 11(7): 2830-2833, (1995).
- Staroverov, V. N. and Davidson, E. R., "Distribution of effectively unpaired electrons". *Chemistry Physical Letters*, 330: 161- 168, (2000).
- 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).
- Stewart, C. R., Hanson, A. D., Turner, N. C., & Kramer, P. J. "Proline accumulation as a metabolic response to water stress.", *Adaptation of plants to water and high temperature stress*, 173-189, (1980).
- Stitt, M., Sulpice, R. and Keurentjes, J. "Metabolic networks: how to identify key components in the regulation of metabolism and growth." *Plant physiology* 152.2: 428-444, (2010).
- Streeter J.G. "Identification and distribution of ononitol in nodules of *Pisum sativum* and *Glycine max*" *Phytochemistry*, 24, 174–176, (1985).
- Streeter, J. G., D. G. Lohnes, and R. J. Fioritto. "Patterns of pinitol accumulation in soybean plants and relationships to drought tolerance." *Plant, Cell & Environment*, 24(4): 429-438, (2001).
- Stuhlfauth, T., Scheuermann, R. and Fock, H.P., "Light energy dissipation under water stress conditions", *Plant Physiology*, 92: 1053-1061, (1990).
- Styer, J. C., "Regulating inositol biosynthesis in plants: myo-inositol phosphate synthase and myo-inositol monophosphatase", Virginia Polytechnic Institute and State University, PhD Thesis, (2000).
- Şensoy, S., Demir, S., Turkmen, O., Erdinc, C. ve Savur, O. B. "Responses of some different pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi" *Scientia Horticulturae*, 113(1): 92-95, (2007).
- Takagi, Shingo, and Reiko Nagai. "Several aspects of current research into the role of calcium in plant physiology." *The botanical magazine= Shokubutsugaku-zasshi* 105(4): 687-697, (1992).

- Takahashi, Mareyuki, Miyako Shibata, and Etsuo Niki. "Estimation of lipid peroxidation of live cells using a fluorescent probe, diphenyl-1-pyrenylphosphine." *Free Radical Biology and Medicine*, 31(2): 164-174, (2001).
- 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).
- 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).
- Tan, B. H., and G. M. Halloran. "Variation and correlations of proline accumulation in spring wheat cultivars." *Crop science*, 22(3): 459-463, (1982).
- Tarczynski, Mitchell C., Richard G. Jensen, and Hans J. Bohnert. "Stress protection of transgenic tobacco by production of the osmolyte mannitol." *Science* 259(5094): 508-510, (1993).
- 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).
- Thompson, Lilian U., and Lin Zhang. "Phytic acid and minerals: effect on early markers of risk for mammary and colon carcinogenesis." *Carcinogenesis*, 12(11): 2041-2045, (1991).
- Trovato, M., Mattioli R., and Costantino P.. "Multiple roles of proline in plant stress tolerance and development.", 19(4): 325-346, (2008).
- Türkan, Ismail, and Tijen Demiral. "Recent developments in understanding salinity tolerance." *Environmental and Experimental Botany*, 67(1): 2-9, (2009).
- Valluru, R., & Van den Ende, W. "Myo-inositol and beyond-emerging networks under stress" *Plant Science : An International Journal of Experimental Plant Biology*, 181(4): 387–400 ,(2011).
- Van Breusegem, F., Dat, J. F., "Reactive oxygen species in plant cell death", *Plant Physiology*, 141: 384-390, (2006).
- Van Camp, W. and Van Montagu, M., Inze, D., "H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and NO: redox signals in disease resistance", *Trends Plant Science*, 3: 330-334, (1998).
- 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).
- Velthuizen H, "Mapping biophysical factors that influence agricultural production and rural vulnerability." *Environment and Natural Resources Series No. 11*, (2007).
- Vera-Estrella R., Barkla BJ., Bohnert HJ., Pantoja O. "Salt stress in *Mesembryanthemum crystallinum* L. cell suspensions activates adaptive

- mechanisms similar to those observed in the whole plant”, *Planta*, 208:426–435, (1999).
- 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).
- Wanek, W., & Richter, A. “Biosynthesis and accumulation of D-ononitol in *Vigna umbellata* in response to drought stress” *Physiologia Plantarum*, 101(2): 416-424, (1997).
- Williamson, J. D., Jennings, D. B., Guo, W. W., Pharr, D. M., & Ehrenshaft, M.. "Sugar Alcohols, Salt Stress, and Fungal Resistance: Polyols—Multifunctional Plant Protection?." *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(4): 467-473, (2002).
- Wu Y., Kuzma J., Marechal E., Graeff R. and Lee H.C., “Abscisic acid signaling through cyclic ADP-ribose in plants”, *Science*, 278:2126–2130, (1997).
- Wu, Q.-S., & Xia, R.-X., “Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions” *Journal of Plant Physiology*, 163(4) , 417–425, (2006).
- 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).
- 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: 1971–1984., (2001).
- Yancey, P., “Organic osmolytes as compatible, metabolic, and counteracting cryoprotectants in high osmolarity and other stresses”, *Journal of Experimental Biology*, 208(15): 2819–2830, (2005).
- 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*, 10(1): 853-858, (2012).
- Yoshizaki, H., Backvall, J. E., “Efficient synthesis of (±)-, (+)-, and (–)- conduritol via palladium (II)-catalyzed 1,4-diacetoxylation in combination with enzymatic hydrolysis”, *Journal of Organic Chemistry*, 9339-9341, (1998).
- Yu, B. P. “Aging and oxidative stress: modulation by dietary restriction.” *Free Radical Biology & Medicine*, 21(5), 651–668, (1996).
- Zarcinas, B. A., B. Cartwright, and L. R. Spouncer. "Nitric acid digestion and multi-element analysis of plant material by inductively coupled plasma spectrometry", *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 18(1): 131-146, (1987).
- Zhu, D. and J. G. Scandalios. "Differential accumulation of manganese-superoxide dismutase transcripts in maize in response to abscisic acid and high osmoticum", *Plant Physiology*, 106(1): 173-178 ,(1994).

Zlatev, Z. S., Lidon, F. C., Ramalho, J. C., & Yordanov, I. T. "Comparison of resistance to drought of three bean cultivars", *Biologia plantarum*, 50(3): 389-394, (2006).



## EKLER

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

Ek 1. *C. annuum* türlerinde uygulamanın çeşitli parametreler üzerinde etkisine dair varyans analiz sonuçları

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Boyöme	Between Groups	4713,924	7	673,418	4935,422	0
	Within Groups	2,183	16	0,136		
	Total	4716,107	23			
YSP	Between Groups	3,797	7	0,542	252,296	0
	Within Groups	0,034	16	0,002		
	Total	3,831	23			
SOD	Between Groups	2606,638	7	372,376	3,546	0,017
	Within Groups	1680,038	16	105,002		
	Total	4286,67	23			
KAT	Between Groups	12,268	7	1,753	45,383	0
	Within Groups	0,618	16	0,039		
	Total	12,886	23			
AP	Between Groups	62,108	7	8,873	289,371	0
	Within Groups	0,491	16	0,031		
	Total	62,598	23			
GR	Between Groups	0,421	7	0,06	11	0
	Within Groups	0,088	16	0,005		
	Total	0,509	23			
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Between Groups	1078,48	7	154,069	805,465	0
	Within Groups	3,06	16	0,191		
	Total	1081,541	23			
MDA	Between Groups	38,867	7	5,51	447,331	0
	Within Groups	0,197	16	0,012		
	Total	38,764	23			
Prolin	Between Groups	1814,731	7	259,247	1394,208	0
	Within Groups	2,978	16	0,186		
	Total	1817,708	23			
Kalsiyum	Between Groups	2596,17	7	370,881	1987,086	0
	Within Groups	2,986	16	0,187		
	Total	2599,156	23			

## ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

**Adı Soyadı:** Aytunç YILDIZLI

**Doğum Tarihi:** 26/06/1989

**Öğrenim Durumu:** Lisans Mezunu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite /Okul	Yıl
Lise	Sayısal	Sakarya Şehit Üstteğmen Selçuk Esadoğlu Lisesi	2003-2006
Lisans	Biyoloji Bölümü	Mersin Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi	2006-2011
Yüksek Lisans	Biyoloji Ana Bilim Dalı	Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2011-

### Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Mersin Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi Biyoloji Ana Bilim Dalı	2011-

### ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Çevik, S., **Yıldızlı, A.**, G. Göksu H., Gültekin M.S., Güzel Değer,A., Çelik,A., Şimşek Kuş, N. ,Ünyayar, S., "Some synthetic cyclitol derivatives alleviate the effect of water deficit in cultivated and wild-type chickpea species." Journal of Plant Physiology 171.10: 807-816 **(2014)**.

2.Serpil Ünyayar, Gurbet Yandım, Sertan Çevik, **Aytunç Yıldızlı**, M.Serdar Gültekin, Gizem Kızıgut, Ayla Çelik, Nermin Ş. Kuş, Ayşin G.Değer,"Kuraklık Stresi Altındaki Nohut(Cicer arietinum ve C.reticulatum, Fabaceae) bitkilerinin Malondialdehit (MDA) içeriği üzerine etkisi", 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül 2012, İzmir,Türkiye, **(2012)**.

3.Unyayar S, Cevik, S., Yandım G, Gültekin, M.S, Celik A., Kuş, N.Ş., **Yıldızlı A.**, Değer, A.G., "can synthetic cyclitols be induced on the growth and biologically active?", Plant Biology Congress Freiburg, **(2012)**.

