

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KURAKLIK STRESİ KOŞULLARINDA NİTRİK OKSİT  
UYGULAMALARININ YEREL VE YABANI KARPUZ GENOTİPLERİNİN  
GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**Zuhal Zeynep AVŞAROĞLU**

**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2015**



**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KURAKLIK STRESİ KOŞULLARINDA NİTRİK OKSİT  
UYGULAMALARININ YEREL VE YABANI KARPUZ GENOTİPLERİNİN  
GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**Zuhal Zeynep AVŞAROĞLU**

**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2015**

Doç.Dr. Tijen DEMİRAL danışmanlığında, Zuhale Zeynep AVŞAROĞLU' nun hazırladığı “**Kuraklık Stresi Koşullarında Nitrik Oksit Uygulamalarının Yerel Ve Yabani Karpuz Genotiplerinin Gelişimi Üzerine Etkisi**” konulu bu çalışma 27/10/2015 tarihinde aşğıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Doç.Dr. Tijen DEMİRAL

Üye : .....

Üye : .....

**Bu Tezin Biyoloji Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım**

**Prof. Dr. Sinan UYANIK**  
Enstitü Müdürü

**Bu Çalışma TÜBİTAK Tarafından Desteklenmiştir**  
Proje No: 113Z486

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	v
SİMGELER DİZİNİ .....	vi
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	3
2.1. Bitkilerde Kuraklık Stresi .....	3
2.2. Abiyotik Stres Koşullarında Bitkilere Nitrik Oksit Uygulaması .....	9
2.3. Nitrik Oksitin Kimyasal Özellikleri ve Metabolizması .....	10
2.4. Nitrik Oksitin Fizyolojik Etkileri .....	11
2.5. Nitrik Oksitin Bitki Büyüme ve Gelişmesine Etkileri .....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	15
3.1. Materyal .....	15
3.1.1. Bitki materyallerinin temini .....	15
3.2. Yöntem .....	15
3.2.1. İklim odasının hazırlanması .....	16
3.2.2. Ön denemeler .....	17
3.2.3. Deneme serilerinin hazırlanması .....	17
3.2.4. Tohum ekimi .....	18
3.2.5. Analiz yöntemleri .....	20
3.2.5.1. Büyüme parametreleri .....	20
3.2.5.2. Biyokimyasal parametrelerin ölçümü .....	20
3.2.5.3. Enzim ekstraktlarının hazırlanması .....	21
3.2.5.4. Antioksidan enzim aktivite analizleri .....	21
3.2.5.4.1. Süperoksit dismutaz (SOD ) enziminin aktivitesinin belirlenmesi .....	21
3.2.5.4.2. Peroksidaz (POX; EC 1.11.1.7) enzim aktivitesinin belirlenmesi .....	21
3.2.5.4.3. Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) enzim aktivitesinin belirlenmesi .....	22
3.2.5.5. Lipit peroksidasyonunun belirlenmesi .....	22
3.2.5.6. Hücre zarı geçirgenliği (Elektrolit sızıntısı) .....	22
3.2.5.7. Verilerin İstatistiksel Analizi .....	23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	24
4.1. Büyüme Parametreleri Bulguları .....	24
4.1.1. Gövde ve kök yaş ağırlığı .....	24
4.1.2. Gövde ve kök kuru ağırlığı .....	27
4.1.3. Gövde ve kök boyu .....	29
4.2. Antioksidan Enzim Aktivite Sonuçları .....	33
4.2.1. Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktiviteleri .....	35
4.2.2. Peroksidaz (POX) enzim aktiviteleri .....	37
4.2.3. Katalaz (CAT) enzim aktiviteleri .....	39
4.3. Lipid Peroksidasyonu Bulguları .....	41
4.4. Elektrolit Sızıntısı .....	43
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	46
5.1. Sonuçlar .....	46
5.2. Öneriler .....	47
KAYNAKLAR .....	48
ÖZGEÇMİŞ .....	59

# ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

## **KURAKLIK STRESİ KOŞULLARINDA NİTRİK OKSİT UYGULAMALARININ YEREL VE YABANI KARPUZ GENOTİPLERİNİN GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**Zuhal Zeynep AVŞAROĞLU**

**Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyoloji Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç.Dr Tijen DEMİRAL**

**Yıl:2015, Sayfa: 61**

Bu çalışmamızda karpuz *Citrullus colocynthis* yabani genotipinin kuraklık koşullarına toleranslı olan KAR 98 ve kuraklık koşullarına duyarlı olan KAR 147 genotipleri kullanılmıştır. Farklı kuraklık tepkilerine sahip bu iki karpuz genotipinin kuraklık stresi toleransları üzerine, nitrik oksit (NO) uygulamasının etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, ozmotik stres oluşturmak amacıyla bitkilere Hoagland besin solüsyonu içinde 10 gün boyunca %15 PEG 6000 uygulanmıştır ve NO donörü olarak 100 µM sodyum nitropürid (SNP) kullanılmıştır. NO uygulamasına paralel olarak aynı dozda NO-temizleyici ajan olarak bilinen (cPTIO) tatbik edilmiştir. Karpuz genotiplerinin kuraklık stresi tepkileri üzerine NO'nin etkilerini ortaya koymak amacıyla kök ve gövdelerin boyu, yaş ve kuru ağırlıkları gibi temel büyüme parametreleri, iyon sızıntısı, malondialdehit (MDA) miktarı ve süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POX) antioksidan enzim aktiviteleri gibi biyokimyasal parametreler incelenmiştir.

**ANAHTAR KELİMLER:** Karpuz, azot oksit, kuraklık, antioksidan enzimler, lipid peroksidasyonu

## ABSTRACT

### MSc Thesis

#### THE EFFECTS OF NITRIC OXIDE APPLICATIONS ON THE GROWTH OF LOCAL AND WILD TYPES OF WATERMELON GENOTYPES UNDER DROUGHT CONDITIONS

Zuhal Zeynep AVŞAROĞLU

Harran University  
Institute of Natural And Applied Sciences  
Department of Biology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tijen DEMİRAL

Year: 2015, Page: 61

In this study, two different genotypes of wild watermelon *Citrullus colocynthis*, drought-tolerant KAR 98 and drought-sensitive KAR 147 were used. The effect of nitric oxide (NO) treatment on drought tolerance of two watermelon genotypes was investigated by treating plants at with 15% PEG 6000 in Hoagland solution for ten days. 100 µM sodium nitroprusside (SNP) was used as NO donor and 100 µM (cPTIO) was used to scavenge NO. Physiological parameters including growth parameters (lengths, fresh and dry weights of shoots and roots), electrolyte leakage, malondialdehyde (MDA) content and activities of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POX), were analyzed.

**KEY WORDS:** Watermelon, nitric oxide, drought, antioxidant enzymes, lipid peroxidation

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda yardımını ve desteğini gördüğüm, birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum, katkılarını ve yardımlarını bilimsel hayatım süresince almaya devam edeceğim ve her zaman yanımda görmekten onur duyacağım sevgili hocalarım ve tez danışmanlarım Sayın Doç. Dr. Tijen DEMİRAL ve Doç. Dr. Mehmet HAMURCU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamızda kullandığımız tohumların temin edilmesini sağlayan Sayın Prof. Dr. Nebahat SARI ve Doç. Dr. İlknur SOLMAZ' a, analizlerim sırasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma ve yüksek lisans eğitimim süresince 113Z486 no'lu proje kapsamında burs desteği sağlayan TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) 'a teşekkürlerimi sunarım.

En önemlisi sadece yüksek lisans değil bütün eğitim hayatım boyunca maddi, manevi her zaman yanımda olan hiçbir zaman sevgi ve desteklerini esirgemeyen başta canım babam Hasan AVŞAROĞLU ve annem Zeliha AVŞAROĞLU olmak üzere kardeşlerime ve bütün aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.





## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 2.1. NO in muhtemel biyosentez yolları .....	10
Şekil 2.2. NOS aktivitesiyle NO üretimi .....	11
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan karpuz genotiplerine ait resimler .....	15
Şekil 3.2. İklim odası kontrollü koşullarında yetiştirilen karpuz genotiplerine ait resimler.....	16
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan karpuz genotiplerine ait ön deneme resimleri.....	17
Şekil 3.4. Deneme planı .....	18
Şekil 3.5. Kontrollü şartlarda yetiştirilen karpuz genotiplerine ait resimler.....	19
Şekil 4.1. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin gövde yaş ağırlık değerleri (g bitki <sup>-1</sup> ) .....	26
Şekil 4.2. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin kök yaş ağırlık değerleri (g bitki <sup>-1</sup> ) .....	27
Şekil 4.3. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin gövde kuru ağırlık değerleri (g bitki <sup>-1</sup> ) .....	29
Şekil 4.4. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin kök kuru ağırlık değerleri (g bitki <sup>-1</sup> ) .....	29
Şekil 4.5. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin gövde boyu değerleri (cm bitki <sup>-1</sup> ) .....	31
Şekil 4.6. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin kök boyu değerleri (cm bitki <sup>-1</sup> ).....	32
Şekil 4.7. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin kontrol ve kurak koşullarda bitkilere nitrik oksit uygulamasının tepkilerini gösterir resimler .....	34
Şekil 4.8. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin SOD aktiviteleri (ünite mg <sup>-1</sup> protein).....	36
Şekil 4.9. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin POX aktiviteleri (ünite mg <sup>-1</sup> protein).....	38
Şekil 4.10. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin CAT aktiviteleri (ünite mg <sup>-1</sup> protein).....	40
Şekil 4.11. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin MDA içerikleri (nmol g <sup>-1</sup> ya).....	42
Şekil 4.12. Kar 98 ve kar 147 karpuz genotiplerinin elektrolit sızıntısı değerleri (%) .....	44

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Çizelge 2.1. Bitkilerde nitrik oksitin fizyolojik etkileri.....	12
Çizelge 4.1. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin gövde yaş ağırlık değerleri (g bitki <sup>-1</sup> ).....	25
Çizelge 4.2. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin kök yaş ağırlık değerleri (g bitki <sup>-1</sup> ).....	26
Çizelge 4.3. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin gövde kuru ağırlık değerleri (g bitki <sup>-1</sup> ).....	28
Çizelge 4.4. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin kök kuru ağırlık değerleri (g bitki <sup>-1</sup> ).....	28
Çizelge 4.5. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin gövde boyu değerleri (cm bitki <sup>-1</sup> ).....	30
Çizelge 4.6. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin kök boyu değerleri (cm bitki <sup>-1</sup> ).....	31
Çizelge 4.8. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin SOD aktiviteleri (Ünite mg <sup>-1</sup> protein).....	35
Çizelge 4.9. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin POX aktiviteleri (Ünite mg <sup>-1</sup> protein).....	38
Çizelge 4.10. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin CAT aktiviteleri (Ünite mg <sup>-1</sup> protein).....	40
Çizelge 4.11. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin lipid peroksidasyon düzeyleri (nmol g <sup>-1</sup> YA).....	42
Çizelge 4.12. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin elektrolit sızıntısı değerleri.....	44

## SİMGELER DİZİNİ

g	Gram
mg	Miligram
ml	Mililitre
$\mu$ g	Mikrogram
$\mu$ mol	Mikromol
mM	Milimolar
%	Yüzde
Dak	Dakika
SH	Standart hata
YA	Yaş ağırlık
CAT	Katalaz
MDA	Malondialdehit
SOD	Süperoksit dismutaz
POX	Peroksidaz
TBA	Tiobarbütirik asit
TCA	Trikloroasetik asit
ROT	Reaktif Oksijen Türleri
SNP	Sodyum nitroprüsid
NO	Nitrik Oksit
c-PTIO	2-(4-karboksi-fenil)-4,5-dihidro-4,4,5,5-tetrametil-1H-imidazol-1-oksi-3oksit potasyum tuzu

## 1. GİRİŞ

Kuraklık, tarımsal üretimi etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Boyer, 1982; Kuşvuran ve ark., 2008a). Dünya üzerindeki kullanılabilir alanlar stres faktörlerine göre sınıflandırıldığında doğal bir stres faktörü olan kuraklık stresi %26'lık payıyla en büyük dilimi içermektedir. Bu durumda, kuraklık stresi büyümeyi ve verimi etkileyen en yaygın çevresel streslerden biri durumundadır. Yapılan son araştırmalara göre, küresel ısınmanın potansiyel etkileri açısından risk grubu ülkeler arasında bulunan Türkiye dahil Güney Avrupa'yı içine alan bölgenin 2030 yılında oldukça kuru ve sıcak bir iklimin etkisine gireceği bildirilmektedir. Dünyadaki doğal kaynakların nüfusu besleme kapasitelerinin azalmasına ve bunun sonucunda milyonlarca insanın açlıktan ölmesine neden olabileceği göz önüne alındığında, kuraklık, dünya üzerindeki tüm canlı yaşamı için tehlike oluşturmaktadır. Bu nedenle kuraklık stresine dayanıklı bitki türlerinin belirlenmesi, tolerans mekanizmalarının açıklanması, bitkilerin kuraklığa dayanıklılığını arttıran veya etkileyen unsurların belirlenmesi özellikle insanların neden olduğu küresel ısınma sonucunda etkisini giderek arttıran kuraklığın ileride tüm canlılar için büyük bir sorun haline gelmesini önlemede önemli rol oynayacaktır.

Kültür bitkilerinin kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres koşullarına karşı farklı seviyelerde dayanıklılık gösteren genotiplere sahip oldukları bilinmektedir. Bitkisel üretim aşamasında tercih edilen genotiplerin de abiyotik stres koşullarına karşı tolerans seviyelerinin yetersiz olması bitkilerde birçok metabolik olayı olumsuz yönde etkilemekte ve ürün kalitesi ile verim kayıplarına sebep olmaktadır. Abiyotik stres şartlarında yürütülen çalışmalarda nitrik oksidin bitkinin stres koşullarına tolerans düzeyini farklı bitki gruplarında (bezelye, fasulye, mısır) arttırdığı belirlenmiştir. Bitkilerde stres koşulları altında sinyal iletim yolunda görev alan ve aktif oksijen türleri ile karşılıklı etkileşim içerisine girerek lipid peroksidasyonunun inhibisyonunu sağlayan ve potansiyel antioksidan rolünü işaret eden nitrik oksidin, bitki metabolizmasında özellikle kuraklık stresi koşullarında süperoksit radikalleri ile

reaksiyona girerek okside edici özellik kazandırdığı ortaya konulmuştur (Beligni ve Lamattina, 1999; Boveris ve ark., 2000; Vranova ve ark., 2002).

Karpuz; yaklaşık olarak 1.8 m'ye kadar giden kök yapısından dolayı kuraklığa toleranslıdır. Afrika, Asya ve Akdeniz'in sıcak bölgelerinde yetişen ve *Cucurbitaceae* familyasına giren *Citrullus* cinsi 4 tür olup, bu türler diploid ( $2n = 22$ ) kromozom sayısına sahiptirler (Whitaker ve Davis, 1962; Jeffrey, 1975; Robinson ve Decker-Walters, 1997). Adı geçen türlerden *C. lanatus* (Thunb.) Matsum ve Nakai günümüzde ticari olarak yetiştiriciliği yapılan ve karpuz olarak tüketilen türüdür. Diğer türler ise *C. colocynthis* (L.) Schrad., *C. eccirrhosus* ve *C. rehmii* De Winter'dir (Robinson ve Deckers-Walters, 1997). *C. lanatus* ve *C. rehmii* tek yıllık türler iken, *C. colocynthis* ve *C. eccirrhosus* çok yıllık türlerdir (Jarret ve Newman, 2000). Tüm *Citrullus* türlerinin gen merkezi Afrika'dır (Robinson ve Deckers-Walters, 1997). Whitaker ve Davis (1962), Hindistan'ın ikincil bir gen merkezi olduğunu savunmuşlardır. Türkiye ise karpuzun ikincil gen merkezleri arasındadır.

Dünya karpuz üretiminde yaklaşık olarak % 4 paya sahip olan ülkemizin diğer sebze alan ve üretimlerine göre karpuzaya ayırdığı alan ve elde edilen karpuz üretim oranı ile ilk sıralarda yer alması ile birlikte oldukça yüksek bir ekonomik değere sahip olan karpuz genotiplerinin kuraklık koşullarına maruz kaldıklarında önemli verim kaybına uğradıkları bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, kuraklık stresi koşullarına maruz bırakılan karpuz genotiplerine nitrik oksit uygulamasının kuraklık stresi toleransı üzerine potansiyel iyileştirici etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, kuraklığa karşı farklı tepkilere sahip olduğu bilinen karpuz genotiplerinin kuraklık koşullarına maruz bırakıldıkları ortamda nitrik oksit uygulamasının bitkinin geliştirdiği savunma mekanizması üzerine muhtemel iyileştirici etkileri farklı büyüme evrelerinde yapılan örneklemelerle ele alınmıştır. Büyüme parametrelerinin yanı sıra, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POX) enzim aktiviteleri belirlenmiş ve lipid peroksidasyon düzeyi ve elektrolit sızıntısı analiz edilerek bitki gruplarının tepkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Bitkilerde Kuraklık Stresi

Bitkiler yaşam süreçleri içerisinde değişik stres koşulları ile karşılaşır. Stres altında bitkilerin gelişmeleri, metabolizmaları ve verimleri önemli ölçüde olumsuz etkilenir. Kuraklık, yetersiz beslenme, tuzluluk, düşük ve yüksek sıcaklık, toprak ve atmosfer kirliliği, radyasyon bitkisel üretimde verimi sınırlandıran abiyotik streslerdir (Lawlor ve Cornic, 2002). Sayılan abiyotik stresler içinde kuraklık bitkisel üretimi sınırlandıran en önemli stres koşuludur. Bitkiler kuraklık stresi ile, kökleri yeterince su alamadığında veya transpirasyon oranının çok yüksek olduğu durumlarda tanışır. Bu iki koşul kurak ve yarı kurak bölgelerde sıklıkla oluşur. Kurak, bitkilerde; mineral elementler, serbest radikaller, iyonlar, hormonlar, lipidler, karbonhidratlar, nükleik asitler gibi birçok fizyolojik ve biyokimyasal olayı etkileyen ve hemen hemen tüm bitki fonksiyonlarını etkileyen kompleks bir yapıdır (Hongbo ve ark., 2005). Çevresel bir stres olarak nitelendirilen kuraklık sonucunda bitkiler, bu stres tipine karşı bazı tepkiler göstermektedirler. Toprak üstü organlarında ve özellikle yapraklarda su depolaması, su kullanılmasını en aza indirgenerek ekonomik su kullanım yoluyla metabolizmaların sürdürülmesi ya da kuraklık dönemi başlamadan önce yaşam döngülerinin tamamlanması, bu tepkilerden bazılarıdır. Bitkiler bu tür stres durumlarında, tolerans ve sakınma olarak iki tür kaçış mekanizmalarına sahiptirler. Bu noktada stresin olumsuz etkilerinden korunması morfolojik, anatomik ya da fizyolojik yollardan sakınma mekanizmasını, şiddetli bir stres meydana gelmeden önce bitkinin yaşam döngüsünü tamamlaması ise kaçınma mekanizmasını oluşturmaktadır.

Bitkilerde kuraklık stresini meydana gelmesini sağlayan fizyolojik olaylardan en belirginini, turgorun azalması ve stoma açıklığının daralmasıdır. Hücrel metabolitlerin birikmesinden dolayı, enzimatik olayların karışıklığı ve metabolik oranlar arasındaki uyum bozulur. Bitkilerin daha uzun süre stres koşullarında kalmasıyla oluşan diğer kriterler; kutikula kalınlığı, kök yoğunluğu ve köklerden

uçlara doğru uzanan dokunun değişmesi olaylarıdır. Stres sırasında bitkilerin uğrayabildiği fizyolojik değişikliklerden birisi de, ozmotik düzenlemedir. Stres ile hücrelerin osmotik potansiyelinde artışlar meydana gelir. Bu ise turgorun korunmasına yardım eder. Stres sırasında çözücü suyun azalmasından dolayı, çözeltinin konsantrasyonu artarken, osmotik potansiyel yavaş yavaş azalır. Fakat normal olay haricinde bazı bitkilerde hücrelerin net çözücü içeriğinin arttığı görülür (Hale ve Orcutt, 1987).

İster biyotik, isterse abiyotik kökenli olsun, bitkiler herhangi bir stres faktörü ile karşı karşıya kaldıklarında fotosentetik karbon metabolizması ve elektron taşınım aktivitesi azalmaktadır. Suyun kısıtlı olduğu periyotlarda, vejetatif bitki dokularında oksidatif stresin en yaygın nedeninin kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleri olduğu düşünülmektedir (Farrant, 2000). Su kısıtlı hale gelirken, bitki daha fazla su kaybetmemek ve canlılığını sürdürebilmek için de stomalarını kapatmaktadır. Böylece fotosentezin temel maddelerinden biri olan karbondioksitin girişi de engellenmiş olmakta, CO<sub>2</sub> fiksasyonu azalmaktadır. Stres koşullarında, bitkilerde biyosentetik reaksiyonların gerilemesi ve ATP'ye olan gereksinimin azalması sonucunda mitokondri ve kloroplastlardaki elektron taşıma sisteminde elektron fazlalığı oluşabilmektedir (Eker, 2002). Fotosentez için absorbe edilen ışık enerjisi ve açığa çıkan elektronlar, yeterli CO<sub>2</sub> olmadığından ve bu nedenle CO<sub>2</sub> indirgenmesinde kullanılmadığından, kloroplastlarda biriktirilmekte ve moleküler O<sub>2</sub>'nin aktivasyonunda kullanılmaktadır. Bu tür olumsuz koşullarda, fotosentetik kaynaklı elektronlar ve pigmentler tarafından absorbe edilmiş olan enerji, CO<sub>2</sub> yerine moleküler O<sub>2</sub>'ye aktarılmakta ve toksik etkileri çok yüksek olan oksijen radikalleri ve türevleri oluşmaktadır (Okuda ve ark., 1991; Asada, 1994; Foyer ve ark., 1994; Cakmak, 1994). Bunlar süperoksit radikali (O<sub>2</sub><sup>-</sup>); hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>); hidroksil radikali (·OH) ve tekli (singlet) oksijen (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>) olarak adlandırılmaktadır (Cakmak, 1994; Makela ve ark., 1999). Kuraklık stresi altında açığa çıkan serbest oksijen radikallerinin bitkilerde hücresel düzeyde hasara yol açtığı bilinmektedir. Serbest oksijen radikalleri hücre zarlarında lipid peroksidasyonuna neden olmakta ve bu da hücre zarının tahrip olmasına yol açmaktadır. Toksik oksijen radikallerini stres koşullarında artan oranlarda sentezlenmesi, özellikle ortamdaki ışık yoğunluğunun

fazla olmasıyla daha da etkin olabilmekte; bitkilerdeki klorofil ve hücre zarı hasarı şeklinde ortaya çıkan fotooksidatif zararlara neden olmaktadır. Serbest oksijen radikalleri, öncelikle hücre zarlarının fosfolipidlerini (özellikle doymamış yağ asitlerini) (Fridovich, 1986; Shalata ve Tal, 1998; Sreenivasulu ve ark., 1999), proteinleri (Davies, 1987), nükleik asitleri (Fridovich, 1986; Imlay ve Linn, 1988) ve klorofili parçalamakta ve bu etkiler yüksek ışık yoğunluğunda daha da artmaktadır (Foyer ve ark., 1994; Cakmak ve ark., 1995; Eker, 2002). Çeşitli araştırmalar, tuz stresi altında yetişen bitkilerde görülen nekrozların, oksijen radikallerince gerçekleştirilen hücre zarlarındaki lipit tahribatından; klorozun ise oksijen radikallerinin klorofili parçalamasından kaynaklandığını göstermektedir (Heath ve Packer, 1968; Salin, 1987; Gepstein, 1988; Gossett ve ark., 1994; Streb ve Feierabend, 1996). Bitkiler, stres koşullarında ortaya çıkan serbest oksijen radikallerine karşı, bazı savunma mekanizmaları geliştirmiştir. Bunların bir kısmı enzimatik yollarla yapılan savunmalar ve toksik etkilerin ortadan kaldırılmasına yönelik tepkimeleri içermektedir, diğer bir kısmı ise enzimatik olmayan madde ve yollarla ilişkilidir. Diğer bir deyişle bitkiler kendilerini toksik O<sub>2</sub> türevlerine karşı koruyan, değişik miktarlarda antioksidanlara ve antioksidan enzimlere sahiptirler (Asada ve Takahashi, 1987).

Enzimatik yollarla toksik oksijen radikallerinin zararsız formlara dönüştürülmesi, yalnızca bitkilerde değil, son yıllarda tüm canlılarda hücre tahribatının önüne geçmede etkin olarak literatüre geçmiştir. Süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1), süperoksit radikalının detoksifikasyonundan sorumlu enzimdir. (Gossett ve ark., 1994)'in deyimiyle SOD, süperoksitin (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) en önemli öğütücüsüdür ve bu enzimatik aktivite, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oluşumuyla sonuçlanır. Askorbat peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11) ve glutatyon redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) enzimleri ise, beraberce hidrojen peroksitin detoksifikasyonunda belirleyici rol oynamaktadır (Cakmak ve ark., 1993). Hidrojen peroksit, Kalvin döngüsünün tiyol içeren enzimlerinin oksidasyonunda ve böylece fotosentezin engellenmesinde doğrudan rol oynamaktadır (Tanaka ve ark., 1982). Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6), askorbat peroksidaz (Chen ve Asada, 1989) ve birkaç genel peroksidaz, hidrojen peroksitin parçalanmasını katalize etmektedir. Ancak (Asada ve Takahashi, 1987), katalazın



etkisinin zayıf olması nedeniyle asıl detoksifikasyonun, “askorbat-glutasyon döngüsü” olarak tanımlanan bir mekanizma sayesinde gerçekleştiğini bildirmektedir. Askorbat peroksidaz (APX), hidrojen peroksitin detoksifikasyonunda belirleyici ana rolü üstlenmiştir. Bu işlevi gerçekleştirmek için askorbat peroksidaz enzimi, askorbik asiti kullanmakta ve reaksiyon sonucunda monodehidro askorbat ile su, ürün olarak çıkmaktadır. Askorbata bağlı  $H_2O_2$  dönüştürme sistemi; APX'in yanında monodehidroaskorbat redüktaz (EC 1.6.5.4), dehidroaskorbat redüktaz (EC 1.8.5.1) ve glutasyon redüktaz (GR) enzimlerine de ihtiyaç duyar (Hossain ve ark., 1984; Bowler ve ark., 1992). Bu enzimlerin işbirliği, zararlı aktif oksijenlerin olumsuz etkilerini gidermede büyük önem taşımaktadır. Hidrojen peroksitin zararsız hale getirilmesindeki reaksiyon sıralamasında önce askorbat peroksidazın enzimatik işlevi sonucunda monodehidroaskorbat radikalleri üretilmekte; bunlar NADPH-bağlı monodehidroaskorbat radikal redüktaz tarafından dehidroaskorbat'a indirgenmektedir. Dehidroaskorbat, enzimatik olmayan bir yolla glutasyon'un indirgenmesiyle ve dehidroaskorbat redüktaz enzimi aktivitesiyle enzimatik yolla askorbat'a indirgenir. Okside glutasyon, NADPH-bağlı glutasyon redüktaz enzimi sayesinde indirgenmiş bir yapıya dönüşür (Gossett ve ark., 1994). Askorbik asit (askorbat), vitamin-E (-tokoferol), glutasyon, karoten ve zeaksantin karotenoidi gibi bazı bilinen maddeler, bitkilerin stres koşullarında ortaya çıkarak toksik etki yapan serbest oksijen radikallerine karşı kullandığı başta gelen antioksidanlardır (Cakmak ve Marschner, 1992).

Stres faktörlerinin neden olduğu oksidatif zararlanmanın en etkili olduğu hücre kısımlarından birisi hücre zarlarıdır. Oksidatif zararlanma sonucunda hücre zarlarında lipid peroksidasyonu meydana gelmekte ve zarın geçirgenliği bozularak hücre sıvısının hücre içinde tutulamaması sonucunda bitki ölüme doğru yönelmektedir. Oksidatif zararlanmaya neden olan kuraklık stresi üzerinde çalışan (Dhindsa ve Mathowe, 1981); SOD ve katalaz enzimlerinin aktiviteleri ile lipid peroksidasyonu düzeyinin sınırlanması arasında çok iyi bir pozitif etkileşim olduğunu belirlemişlerdir.

Bitkiler; tuzluluk, kuraklık, herbisit uygulamaları, beslenme bozukluğu gibi

çevresel stresler karşısında üretilen reaktif oksijen çeşitleri (ROT) membranlara ve yağlar, DNA, proteinler, fotosentetik pigmentler gibi gerekli makro moleküllere zarar vermektedir. Bitkilerin strese toleransları, bünyelerinde sahip oldukları ve ROT'ni etkisiz hale getiren antioksidan enzimler ve antioksidanlar ile doğrudan bağlantılıdır (Ashraf ve Ali, 2007). Domates, buğday, bezelye ve darıda yapılan çalışmalarda toleranslı çeşitlerin hassas olanlara göre daha yüksek enzim aktivitesine sahip olduğu ortaya konmuştur (Hernandez ve ark., 2000; Sreenivasulu ve ark., 2000; Sairam ve ark., 2002; Mittova ve ark., 2004; Sairam ve ark., 2005). Yaşar ve ark. (2008b), yaptıkları bir çalışmada GS57 ve 4F-89 fasulye genotiplerinde farklı tuz konsantrasyonları (0, 50 ve 100 mM) altında antioksidan enzim aktiviteleri ile toplam klorofil ve MDA miktarında meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Su kültürü ortamında gerçekleşen çalışmada bitkiler 7 gün süre ile strese maruz bırakılmıştır. Çalışma sonunda GR enzim aktivitesi her iki genotipte de azalma göstermiştir. CAT ve APX enzim aktiviteleri, toleranslı olan GS57 genotipinde daha yüksek bulunmuştur. Tuz konsantrasyonundaki artış ile birlikte MDA miktarı her iki genotipte de artış göstermesine rağmen tuza hassas olan 4F-89 genotipinde daha yüksek bulunmuştur. Artan tuz stresi klorofil miktarının özellikle 4F-89 genotipinde azalmasına neden olurken, GS57 genotipinde klorofil miktarında önemli bir değişim kaydedilmemiştir. Serbest radikallerin, özellikle aktif oksijen türlerinin (süperoksit molekülü ( $O_2^-$ ), singlet oksijen, hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) ve hidroksil radikallerini ( $\cdot OH$ ) oluşumunu içerir. Serbest radikaller, eşleşmemiş elektron içeren moleküller olup oldukça reaktiftirler. Bu radikaller; plazma membranı, mitokondri, ER membranlarında da oluşabilir (Mckersie ve Lehsem, 1994). Bununla beraber, suyun kısıtlı olduğu periyotlarda, vegetatif bitki dokularında oksidatif stresin en yaygın nedeni kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleridir (Farrant, 2000). Su kısıtlı hale gelirken, bitki daha fazla su kaybetmemek için, genelde, stomalarını kapatır. Bu da fotosentezle fiksasyon için gerekli  $CO_2$ 'in alımının kısıtlanmasına neden olur. Bu durum fotosentetik reaksiyon merkezlerindeki enerjinin aşırılığına neden olur (Stuhfauth ve ark., 1990). Sonuçta,  $NADP^+$  (fotosentezdeki e-akseptörü) kısıtlı hale gelir ve ferrodoksin  $NADP^+$  yerine oksijeni redükler; böylece, fotosistem I (PSI)'in elektronları  $O_2$ 'ye transferi sonucunda reaktif  $O_2^-$  radikali üretilir (Mehler reaksiyonu) (Tambussi ve ark., 2000). Birçok türde su stresi altında artan  $O_2^-$  oluşum

hızı lipid peroksidasyonuna, yağ asidi doymunluğuna ve sonuçta membranların bütünüyle zarar görmesine neden olur (Sgherry ve ark, 1996). Süperoksitin kendisi fazla reaktif değildir ve daha çok  $H_2O_2$  ve daha sonra OH oluşturmak suretiyle etkili olur (Halliwell ve Gutteridge, 1989). Hidrojen peroksit Calvin döngüsünün birçok enziminin inaktivasyonuna yol açmaktadır (Charles ve Halliwell, 1980; Kaiser, 1979). Süperoksit ve hidrojen peroksidin  $\cdot OH$  radikalini oluşturmak üzere tepkimesi sırasında (Haber-Weiss reaksiyonu), artan demir ya da bakır gibi diğer geçiş metalleri, bu reaksiyonları hızlandırmak suretiyle oksidatif hasarı daha da artırabilir (Fenton reaksiyonu) (Smirnoff, 1993). Bunların yanı sıra, fotosistem II (PS II)'deki suyu parçalayan bölgede de serbest radikal oluşabilir. Bitkilerde, oksidatif zararın yol açtığı yıkıcı etkilerle mücadele etmek için, yağda çözünen ve membrana bağlı antioksidanlar, suda çözünen antioksidanlar ( $O_2^-$  ve  $H_2O_2$ 'nin detoksifikasyonunda rol oynayan glutatyon ve askorbat) ve enzimatik antioksidanlar (süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR)'dan oluşan karmaşık bir antioksidan koruyucu sistemine sahiplerdir. Su stresine maruz kalan bitkiler antioksidan savunma sistemlerinin bazılarının ya da tamamının aktivasyonu ile oksidatif stresin üstesinden gelebilirler (Srivalli ve ark., 2003; Jung, 2004; Ramachandra ve ark., 2004; Pinheiro ve ark., 2004). Bununla beraber, uzun süreli ve akut; hatta bazen kısa süreli stres durumunda bile, savunma mekanizmalarının kapasiteleri asılır ve bu durum, gözle görülür zararlara ve hatta bitkinin ölümüne neden olabilir (Alexieva ve ark., 2003) Fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ve tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türlerinin kuraklık stresi karşısında biyokimyasal değişimlerinin incelendiği bir çalışmada, toleranslı olan tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türünde SOD, CAT, APX ve POX enzim aktivitelerinin daha yüksek olduğu, lipid peroksidasyon seviyesinin ise fasulye (*Phaseolus vulgaris*) türünden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda kuraklık stresine toleranslı olan tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türünün antioksidan enzim aktivitelerini çalıştırarak oksidatif zarar karşısında korunabildiğini ifade etmişlerdir (Türkan ve ark., 2005).

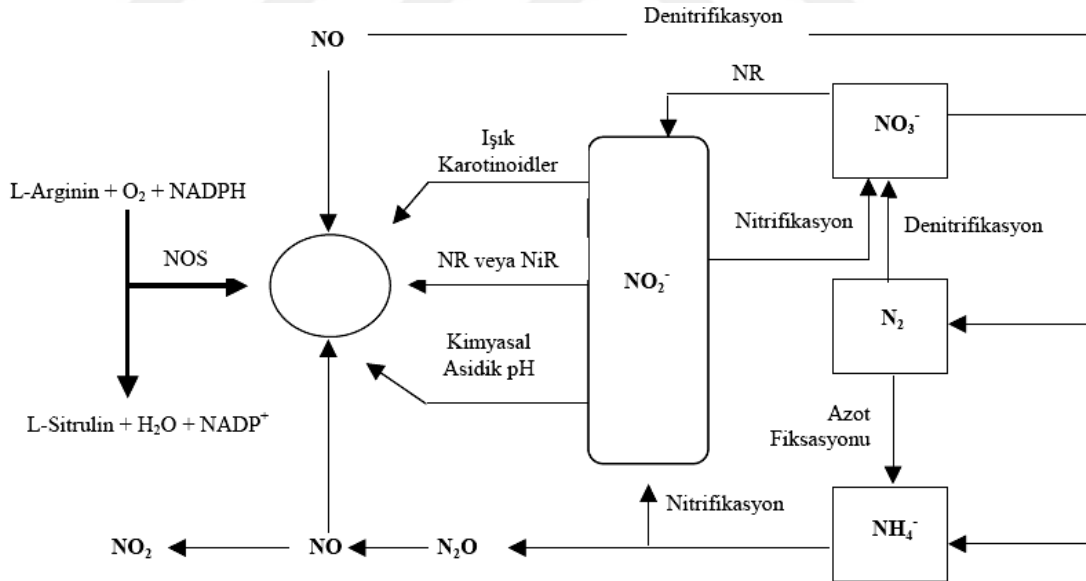
## 2.2. Abiyotik Stres Koşullarında Bitkilere Nitrik Oksit Uygulaması

Nitrik oksit (NO: azot monoksit) uzun yıllardan beri bilim dünyasında varlığı bilinen gaz yapıda bir moleküldür. Yakın zamana kadar bitkilerde NO'nin etkileri ile ilgili çalışmalar azot oksitler tarafından oluşturulan atmosferik kirlenme üzerine yoğunlaşmıştır. Bitkilerde NO salınımı ve bitki büyümesi üzerine olan etkileri ilk kez 1970'li yıllarda tanımlanmıştır (Anderson ve Mansfield, 1979; Klepper, 1979). Daha sonraki yıllarda bitkilerin sadece atmosferik NO'e cevap vermediği aynı zamanda önemli miktarlarda endojen olarak NO'ü ürettikleri de kesinlik kazanmıştır (Wildt ve ark., 1997). İlk defa memeli hücrelerinde, daha sonra da bitkilerde NO'nin büyüme ve gelişme süreçlerinde, biyotik ve abiyotik stres cevaplarının oluşmasında haberci molekül olduğu ispat edilmiştir (Anbar, 1995; Leshem ve Haramaty, 1996; Durner ve ark., 1998; Beligni ve Lamattina, 2001a, b; Del Rio ve ark., 2004; Graziano ve Lamattia, 2005). Bununla birlikte, NO'nin 1998 yılında bitki savunma sinyali olarak tanımlanmasına kadar bitki büyüme ve gelişmesi üzerine olan etkileri Leshem (Leshem ve Haramaty, 1996) ve Lamattina (Laxalt ve ark., 1997) gibi birkaç öncü araştırmacı ile sınırlı kalmıştır. Bu yıllardan sonra NO ve bitki biyolojisi ile ilgili çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır (Leshem ve ark., 1998; Durner ve Klessig, 1999; Beligni ve Lamattia, 2001a, b; Wendehenne ve ark., 2001; Neil ve ark., 2002, 2003; Del Rio ve ark., 2004; Graziano ve Lamattina, 2005). Günümüzde NO'nin biyolojik fonksiyonları üzerine yapılan araştırmalar oldukça dikkat çekicidir ve biyosentez yolunun hala tartışma konusu olması bitki fizyologlarını NO'nin özellikle sentezi, biyokimyası ve moleküler mekanizması ile ilgili çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Bitkilerde hücre, doku ve organ ya da tüm bitkinin ölümüyle sonuçlanan son derece önemli bir süreç olan senesens (yaşlanma) ve NO arasındaki ilişki Leshem ve Haramaty (1996) ile Hung ve Kao (2003) gibi araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. NO'nin senesens sürecindeki muhtemel rollerinin netlik kazanmamış olması bu konuya olan ilgiyi arttırmaktadır. NO ile ilgili tüm bu gelişmelere rağmen bitki metabolizması, büyüme ve gelişmesi üzerine olan esas rollerinin, özellikle bitki hormonları ile etkileşimlerinin, çeşitli stres koşullarına karşı oluşturulan savunma cevaplarındaki ve senesens sürecindeki görevlerinin ortaya çıkarılmasında çok daha fazla araştırmaya gereksinim duyulmaktadır.

### 2.3. Nitrik Oksitin Kimyasal Özellikleri ve Metabolizması

NO bir azot atomu ve bir oksijen atomunun birleşmesiyle oluşan hem suda hem de yağlarda erime özelliğine sahip, renksiz, gaz yapıda küçük bir moleküldür. Dış yörüngesinde paylaşılmamış elektron içermesi ona hem radikal özelliği kazandırmakta hem de membranlarda kolaylıkla difüzyon edebilmesine izin vermektedir (Lancaster, 1997; Stöhr ve Ullrich, 2002). Paylaşılmamış elektron aslında azot atomuna ait ise de, bu elektronun hem azot hem de oksijen atomu üzerinde bulunması nedeniyle tam radikal özelliği taşımaz.

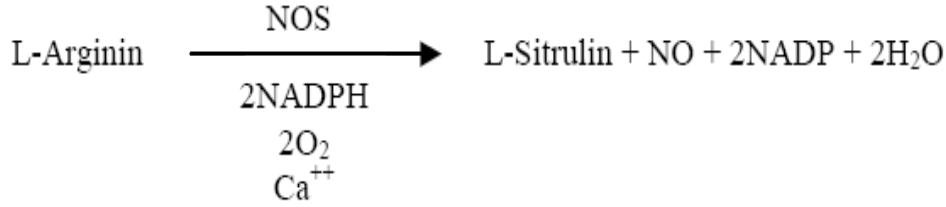
Son yıllarda bitkilerin sadece atmosferik NO'ye karşı cevaplar oluşturmadığı, aynı zamanda endojen olarak ürettikleri de bulunmuştur (Wildt ve ark., 1997; Barroso ve ark., 1999). NO sentezinde enzimatik ve enzimatik olmayan başlıca iki metabolik yol mevcuttur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. NO in muhtemel biosentez yolları (Wojtaszek, 2000)

Enzimatik yollardan birinde, L-argininin NO ve L-sitruiline dönüşümü nitrik oksit sentaz (NOS) enzimi tarafından katalizlendiği, NOS'in bezelye yapraklarında kloroplast ve peroksizomların matriksinde bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 2.2) (Barroso ve ark., 1999). Tütün, soya fasulyesi, mısır, bezelye gibi bazı bitki

türlerinde biyokimyasal, immunolojik ve moleküler teknikler kullanılarak NOS aktivitesinin olduğu rapor edilmiştir (Delledonne ve ark., 1998; Durner ve ark., 1998; Yamasaki ve Sakihama, 2000; Beligni ve Lamattina, 2001b; Del Rio ve ark., 2004). Ayrıca Cueto ve ark. (1996) *Lupinus albus* kök ve nodüllerinde NOS'a benzer bir enzim aktivitesinin varlığını da bildirmişlerdir. Bitkilerde, memelilerdeki NOS'a benzer ne bir gen ya da cDNA ne de herhangi bir protein henüz tam anlamı ile tanımlanmamasına karşın mısır fidelerinin kök ucu ve genç yapraklarında 116 kDa luk NOS'a benzer bir protein saptanmıştır (Ribeiro ve ark., 1999).



Şekil 2.2. NOS aktivitesiyle NO üretimi

Bitkilerde NO üretiminin diğer enzimatik kaynakları ksantin oksidoredüktaz (XOR), peroksidaz, sitokrom P450 ve bazı Fe içeren proteinlerle olabileceği, XOR'in bezelye yaprak peroksizomlarında bulunduğu ve bitkilerde haberci molekül olarak NO üretiminde anahtar rol oynadığı gösterilmiştir (Corpas ve ark., 2002). Bitki hücrelerinde önemli fizyolojik süreçlerde yaygın bir şekilde görev alan peroksidaz enziminin hem N-hidroksiarginin ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  den hem de hidroksiüre ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  den NO ürettiği rapor edilmiştir (Boucher ve ark., 1992; Veicht, 2004).

#### 2.4. Nitrik Oksitin Fizyolojik Etkileri

NO bitki büyüme, gelişme ve savunma cevaplarında yaygın bir hücre içi ve hücreler arası haberci moleküldür (Leshem ve Haramaty, 1996). Tüm bitkiye ya da hücre kültürüne eksojen NO uygulamaları bu molekülün bazı fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri nasıl etkilediği hakkında kayda değer bilgiler elde edilmesine olanak sağlamıştır. Bitkilerde nitrik oksitin fizyolojik etkileri (Beligni ve Lamattina, 2001b) Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Bitkilerde nitrik oksitin fizyolojik etkileri (Beligni ve Lamattina, 2001b)

Organ	Fizyolojik Etki	Türler	Optimum Konsantrasyon
Tohum	• Çimlenme teşviki	<i>Paulownia tomentosa</i> , <i>Emmenanthe penduliflora</i> , Marul	$10^{-6}$
	• İmbibisyondan sonra solunumun inhibisyonu	Soya Fasulyesi	$10^{-6}$
	• Alevron hücrelerinin ölümünün inhibisyonu	Arpa	$10^{-6}$
Kök	• Uzama	Mısır	$10^{-10}$
	• Lateral ve adventif kök oluşumunu teşvik	Salatalık, <i>Lavandula spp.</i>	$10^{-9}$ , $10^{-5}$ , $10^{-6}$
Tuber	• Tuberizasyon	Patates	$10^{-6}$
Hipokotil	• Düşük ışık koşullarında uzamanın inhibisyonu	Marul, <i>Arabidopsis thaliana</i>	$10^{-6}$
Gövde	• Düşük ışık koşullarında internod uzamasının inhibisyonu	Patates	$10^{-6}$
Yaprak	• Deetiyolasyon teşviki	Arpa, Buğday	$10^{-6}$
	• Senesens ertelenmesi	Bezelye	$5 \times 10^{-6}$
	• Stoma kapanması	Buğday, <i>Vicia faba</i>	$10^{-6}$
	• Yaprak genişlemesi	Bezelye	$5 \times 10^{-6}$
	• Savunma cevabı oluşumunu teşvik	<i>Arabidopsis</i> , Tütün	$2 \times 10^{-6}$
	• Hücre ölümü inhibisyonu	Patates	$10^{-6}$

Eksojen olarak uygulanan NO bitki büyüme ve gelişiminin çeşitli yönlerini (Ribeiro ve ark., 1999), patojenlere (Durner ve ark., 1998), ışığa (Beligni ve Lamattina, 2000), yerçekimi (Pedroso ve ark., 2000) ile oksidatif strese (Beligni ve Lamattina, 1999) karşı oluşturulan cevapları etkilemektedir. Ayrıca bitkilerde katalaz, askorbat peroksidaz ve akonitaz enzimlerinin inhibisyonunda (Clarke ve ark., 2000), hücre çeperi lignifikasyonunda (Ferrer ve Ros Barcelo, 1999), bekçi hücrelerinde iyon

kanallarının düzenlenmesinde (Garcia Mata ve ark., 2003), kloroplast ve mitokondri fonksiyonlarında (Yamasaki ve ark., 2001), hücre ölümü (Pedroso ve ark., 2000), senesens (Leshem ve Haramaty, 1996; Hung ve Kao, 2003) ve yaralanma sinyalinde NO in muhtemel rolleri tespit edilmiştir.

### 2.5. Nitrik Oksitin Bitki Büyüme ve Gelişmesine Etkileri

Endojen NO'in bitki büyüme ve gelişmesi ya da strese karşı oluşturulan bitki cevaplarının bir düzenleyicisi olarak etki ettiğini gösteren çok az kanıt olmasına rağmen (Beligni ve ark., 2002) bitki yaşam döngüsünün en azından bazı olaylarında rol oynadığı kesinlik kazanmıştır. NO'in tohum çimlenmesi ile yaprak genişlemesini teşvik ettiği, hipokotil ve internod uzamasını inhibe ettiği, savunma genleri ve fitoaleksin üretimini arttırdığı bilinmektedir (Leshem, 2000; Beligni ve Lamattina, 2001b). Beligni ve Lamattina (2001a, b) NO'in bitkilerin özellikle gövdelerinde çeşitli metabolik ve gelişimsel süreçlerde rol oynadığını kanıtlamışlardır. Karanlıkta ya da düşük ışık şiddetinde büyüyen farklı bitki türlerinde (*Arabidopsis thaliana*, *Lactuca sativa*, *Solanum tuberosum*) nanomolar düzeydeki NO hipokotil ve internod uzamasını belirgin bir şekilde azalttığı belirlenmiştir (Beligni ve Lamattina, 2000). Bazı bitkilerde NO yapraklarda olduğu gibi (Leshem ve Haramaty, 1996), köklerde de düşük konsantrasyonlarda doku genişlemesini teşvik ederken yüksek konsantrasyonlarda inhibe ettiği tespit edilmiştir (Gouvea ve ark., 1997). Ayrıca Ferrer ve Ros Barcelo (1999) tarafından NO'in bitki peroksidazları ve ksilem elemanlarının lignifikasyonu üzerine etkileri rapor edilmiştir. NO bitkilerde yaralanma, enfeksiyon, kuraklık, düşük ve yüksek sıcaklık, ultraviyole (UV), ozon gibi çeşitli biyotik ve abiyotik streslere karşı bitki cevaplarında hem antioksidan hem de antistres ajanı olarak görev yaptığı belirlenmiştir (Neill ve ark., 2003). NO etkinliğinin kontrol edilmesi için literatürde büyükbaş hayvanlardan elde edilen hemoglobin [ $4 \text{ g L}^{-1}$ ], güçlü bir NO scavenger olarak kullanılmıştır (Takahashi ve Yamasaki, 2002). Benzer bir şekilde NO koruyucu etkinliğini ortadan kaldıran NO-süpürücü potasyum tuzu formunda 2-(4-carboxyphenyl)-4,4,5,5-tetramethylimidazole-1-oxyl-3-oxide (cPTIO) te aynı amaçla uygulanan NO



miktarı kadar yapraktan cPTIO şeklinde başarılı bir şekilde kontrol amaçlı olarak uygulanmıştır (Shi ve ark., 2005).



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Bitki materyallerinin temini

Çalışmamızda kuraklık koşullarına tepkileri daha önce belirlenmiş olan *Citrullus colocynthis* yabani genotipinin kuraklık koşullarına toleranslı KAR 98 (*Citrillus lanatus* thumb.) ve kuraklık koşullarına duyarlı olan KAR 147 (*Citrillus lanatus* thumb.) genotipleri kullanılmıştır (Şekil 3.1). Çalışmamızda kullanılan bitkisel materyaller Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Nebahat Sarı ve Dr. İlknur Solmaz tarafından uzun yıllar sonucu oluşturulan koleksiyonun kültür formları ve yabani türlerinden temin edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan karpuz genotiplerine ait resimler

#### 3.2. Yöntem

Çalışma materyali olan karpuz genotipleri Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nde bulunan iklim odasında kontrollü koşullarda su kültürü ortamında yetiştirilmişlerdir. Gerekli ısı, nem, ışık ve ayrıca sterilizasyon kontrolleri yapılmıştır.

### 3.2.1. İklim odasının hazırlanması

Çalışmada kullanılan bitkiler iklim odasında kontrollü koşullarda yetiştirilmişlerdir (Şekil 3.2). İklim odası; bitkilerin tohum çimlenmesi ve çimlenme sonrası genç fidecikleri, büyüme ve gelişme süresince % 45-55 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık fotoperiyod,  $21\pm 1$  °C sıcaklık ile 10000 Lüks/Gün ışık intensitesi olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.2. İklim odası kontrollü koşullarında yetiştirilen karpuz genotiplerine ait resimler

### 3.2.2. Ön denemeler

PEG 6000 uygulamasıyla oluşturulacak olan kuraklık stres gruplarını ve nitrik oksit dozunu belirlemek amacıyla ön denemeler yapılmış, %15 PEG 6000 ve 100  $\mu$ M nitrik oksit dozları en uygun uygulama dozları olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan karpuz genotiplerine ait ön deneme resimleri

### 3.2.3. Deneme serilerinin hazırlanması

Ön denemelerin sonuçlarına bağlı olarak, kontrol grubunun yanı sıra, olumlu tepkinin en iyi gözleendiği dozda nitrik oksit içeren (örn. 100 $\mu$ M nitrik oksit) Hoagland solüsyon grubu ile birlikte, kuraklık stresi grupları (%15 PEG 6000)

oluşturulmuştur. Karpuz genotiplerinin ozmotik stres toleransı üzerine, seçilecek olan nitrik oksit dozu uygulamalarının etkilerinin araştırıldığı bu çalışma, 5 tekerrürlü olarak kurulmuş ve toplam 75 saksı olacak şekilde hazırlanmıştır. Ayrıca, kuraklık uygulaması esnasında, nitrik oksit uygulamasına paralel olarak aynı dozda (100  $\mu$ M nitrik oksit = 100  $\mu$ M cPTIO) NO-temizleyicisi (scavenger) olarak, potasyum tuzu formunda 2-(4-carboxyphenyl)-4,4,5,5-tetramethylimidazoline-1-oxyl-3-oxide (cPTIO) uygulanmıştır. Deneme planı Şekil 3.4 deki gibi oluşturulmuştur.

<b>Kontrol (Hoagland)</b>
<b>Nitrik oksit Kontrol (Hoagland + 100<math>\mu</math>M Nitrik oksit)</b>
<b>Kuraklık (%15 PEG 6000)</b>
<b>Kuraklık (%15 PEG 6000) + 100<math>\mu</math>M Nitrik oksit</b>
<b>Kuraklık (%15 PEG 6000) + 100<math>\mu</math>M Nitrik oksit + 100<math>\mu</math>M cPTIO</b>

Şekil 3.4. Deneme planı

### 3.2.4. Tohum ekimi

Denemede kullanılan tohumlar önce %5'lik sodyum hipoklorid ile 10'ar dakika muamele edildikten sonra de-iyonize su (dI -H<sub>2</sub>O) ile 3 kez yıkanarak sterilize edilmiştir. Daha sonra her iki genotip için (KAR 98 ve KAR 147) su kültürü düzeneği kurulmuştur (Şekil 3.5). Karpuz genotiplerine ait tohumlar 2 saat deiyonize suda şişirildikten sonra nemli filtre kâğıdı içeren petrilere yerleştirilerek 4 °C'de gece boyunca bekletilmiş, çimlenen tohumlar, naylon telin üzerine alınarak 0.5 mM'lık CaCl<sub>2</sub> solüsyonunda 25 °C'de karanlıkta inkübe edilmiştir. Daha sonra fideler sürekli havalandırılan 1/5'lik Hoagland solüsyonuna aktarılarak (pH 6.0) bitki büyüme odasında yetiştirilmiştir (Şekil 3.5 ).



Bitkiler ilk üç yapraklı evreye geldiklerinde uygulamaların ilk başlangıç günü, yani 0. gün örnekleme yapıldıktan sonra karpuz genotiplerine %15 PEG 6000 ve 100  $\mu$ M nitrik oksit içeren 1/5'lik Hoagland solüsyonu tatbik edilmiştir. Besin solüsyonları her üç günde bir yenisiyle değiştirilerek tazelenmiştir. Bitkiler kuraklık koşullarında nitrik oksit uygulamalarına bağlı morfolojik değişimler göstermeye başladığında zaman 2. örnekleme yapılmıştır.

Örnekleme sırasında saksılardaki bitkilerden eşit sayıda kökleriyle birlikte bütün bitki alınarak, kökler ayrıldıktan sonra yeşil aksam enzim analizlerinde kullanılmak üzere -80 °C'de derin dondurucuda saklanmıştır.



Şekil 3.5. Kontrollü şartlarda yetiştirilen karpuz genotiplerine ait resimler

### 3.2.5. Analiz yöntemleri

Kuraklık koşullarında nitrik oksit uygulamalarının etkilerini belirlemek için hasat edilen karpuz genotiplerine ait örneklerde aşağıda belirtilen analizler yapılmıştır.

#### 3.2.5.1. Büyüme parametreleri

Deneme kapsamında oluşturulan gruplardan; uygulamaların ilk başlangıç günü, yani 0. günde ve ilk tepkinin görüldüğü günde (10. gün) bitki örnekleri alınarak kökleri ve gövdeleri birbirinden ayrılmıştır. Kök ve gövdenin uzunlukları ölçülmüş, yaş ağırlıkları tartılmıştır. Örnekler 70 °C de 72 saat etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

#### 3.2.5.2. Biyokimyasal parametrelerin ölçümü

Denemede gruplarından 2 farklı örnekleme döneminde hasat edilen bitkilerin yapraklarında aşağıdaki analizler yapılmıştır.

- Enzim ekstraktlarının hazırlanması,
- Antioksidan enzim aktivite analizleri,
- Süperoksit Dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi
- Peroksidaz (POX; EC 1.11.1.7) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi
- Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi
- Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi
- Hücre Zarı geçirgenliği (Elektrolit Sızıntısı) Tayini

### 3.2.5.3. Enzim ekstraktlarının hazırlanması

Antioksidan enzimlerin ekstraksiyonu için derin dondurucuda saklanmış olan yaprak örnekleri kullanılmıştır. Soğutulmuş havanda 1 gr yaprak örneği sıvı azotta öğütüldükten sonra %2 (w/v) polyvinylpolyprrolidone (PVPP) ve 1 mM EDTA içeren pH 7,8'de 50 mM Na-fosfat tamponuyla homojenize edilmiştir. Filtrasyon sonrası +4 °C'de, 14.000 rpm'de 30 dakika santrifüj edilmiştir. Elde edilen süpernatant, enzim aktivitesi analizlerinde kullanılmıştır. Süpernatantlardaki protein miktarı Bradford (1976)'a göre, sığır serum albumini (BSA) standart olarak kullanılmak suretiyle belirlenmiştir. Ekstraksiyon prosedürünün tümü ±4 °C'de gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.5.4. Antioksidan enzim aktivite analizleri

#### 3.2.5.4.1. Süperoksit dismutaz (SOD ) enziminin aktivitesinin belirlenmesi

SOD aktivitesi, (Beauchamp ve Fridowich, 1971), 'in metoduna göre, SOD'un fotokimyasal olarak nitro blue tetrazolium (NBT)'un indirgenmesini inhibe etme yeteneğinin ölçülmesiyle tayin edildi. 3 ml reaksiyon karışımı; 50 mM fosfat tamponu (pH 7,8), 33 µM NBT, 10 mM L-metionin, 0,66 mM EDTA Na<sub>2</sub>, 0,0033 mM Riboflavin içermektedir. Süpernatant seyreltikten sonra karışım 10 dk 300 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ışık şiddeti altında bekletildi. Daha sonra reaksiyon karışımınının 560 nm'de verdiği absorbans değerleri okundu. SOD için 1 enzim birimi; fotoredüksiyonun % 50 inhibisyonuna neden olan protein miktarı (mg) olarak tanımlandığından yaprak örneklerindeki SOD aktiviteleri buna göre belirlendi.

#### 3.2.5.4.2. Peroksidaz (POX; EC 1.11.1.7) enzim aktivitesinin belirlenmesi

Peroksidaz (POX) enzim aktivitesi, (Herzog ve Fahimi, 1973) 'nin tanımladığı metoda göre yapılmıştır. Köre karşı 465 nm'de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> varlığında okside olan DAB (3'-3'-diaminobenzidin tetrahidroklorit) oluşum miktarına bağlı olarak 3 dakika boyunca



absorbans değişimleri okunmuştur. Spesifik enzim aktivitesi dakikada tüketilen  $\mu\text{mol/ml H}_2\text{O}_2$  olarak ifade edilmiştir.

#### 3.2.5.4.3. Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) enzim aktivitesinin belirlenmesi

Katalaz (CAT) enzim aktivitesi, (Bergmayer, 1970) 'in tanımladığı metoda göre yapılmıştır. Analiz UV ışığı bölgesinde köre karşı 240 nm'de  $\text{H}_2\text{O}_2$ 'nin azalma oranının belirlenmesi ile yapılmıştır. Bu enzim aktivitesi dakikada tüketilen  $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$  olarak ifade edilmiştir. Reaksiyon boyunca absorbansta oluşan düşüş 180 sn boyunca takip edilmiştir. CAT aktivitesi dakikada harcanan  $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$  olarak ifade edilmiştir.

#### 3.2.5.5. Lipit peroksidasyonunun belirlenmesi

Lipit peroksidasyonunun belirlenmesi lipid membranların peroksidasyonu sonucu oluşan malondialdehit (MDA) miktarının belirlendiği (Madhava Rao ve Sresty, 2000) 'nin tanımladığı yöntemle göre yapılmıştır. Aktivite için 532-600 nm aralığında absorbans değişimlerine bakılmıştır.

#### 3.2.5.6. Hücre zarı geçirgenliği (Elektrolit sızıntısı)

Hücre zarı geçirgenliği elektrolit sızıntısının ölçümüyle Dionisio-Sese ve Tobita, 1998'ya göre belirlenmiştir. Bunun için 100 mg yaprak örnekleri 5 mm uzunluğundaki diskler şeklinde kesilerek 10 mL deiyonize su içeren deney tüplerine transfer edilmiştir. Tüpler plastik tıpalarla kapatıldıktan sonra 32 °C'lik bir su banyosunda 2 saat sürekli olarak tutulmuştur. Ortamın elektrik iletkenliği EC metre ile ölçülerek (EC1) örnekler 121 °C'de 20 dk boyunca tüm dokuların ölmesi ve elektrolitlerin dışa çıkması için otoklavlanmıştır. Sonra örnekler 25 °C'ye kadar soğutulmuş bu ortamdaki elektrik iletkenliği ölçülmüştür (EC2).

Elektrolit sızıntısı (ES) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$ES = EC1/EC2 \times 100.$$

**3.2.5.7. Verilerin İstatistiksel Analizi**

Elde edilen tüm veriler tek yönlü varyans analizi (One-way analysis of variance; ANOVA ) ile test edilmiştir ve ortalama değerler arasındaki farklılıklar LSD (Lowest Standard Deviations) testi ile karşılaştırılmıştır. Büyüme parametrelerinde örnek sayısı ( $n = 10$ ), diğer parametrelerde ise ( $n = 6$ ) olarak alınmıştır.  $P < 0,05$  noktasındaki değerler önemli derecede farklı bulunmuştur. İstatistiksel analizler SPSS for Windows: Release 11.0-standard versiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışmamızda karpuz KAR 98 ve KAR 147 genotiplerine kuraklık stresi koşullarında nitrik oksit uygulamasının kuraklık stres toleransı üzerinde meydana getirdiği değişimlerle ilgili incelenen özellikler aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

### 4.1. Büyüme Parametreleri Bulguları

Karpuz genotiplerinin kuraklık stresi koşullarında nitrik oksit uygulamasının bitkilerin yaş ve kuru ağırlık değerleri ile kök ve gövde uzunluğu değerlerine ait ortalamalar çizelge 4.1.,4.2.,4.3 ve 4.4'te bu değerlere ait grafikler Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4' te verilmiştir

#### 4.1.1. Gövde ve kök yaş ağırlığı

Nitrik oksit uygulamasının 0. ve 10. günlerinde, karpuz genotiplerinin gövde ve kök yaş ağırlıklarına ait ölçülen ortalama değerler Çizelge 4.1 ve 4.2' de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, gövde ve kök yaş ağırlığı değerleri, kullanılan genotipler ve kuraklık stresi koşullarında nitrik oksit uygulamaları interaksyonu, 0. ve 10. günlerde alınan örneklerde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.1, 4.2).

Çizelgede görüldüğü gibi, çalışmamızda kullanılan karpuz genotiplerinin gövde yaş ağırlık değerlerinde farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık uygulamasına bağlı olarak her iki karpuz genotipinin gövde yaş ağırlık değerlerinin azalma gösterdiği ve KAR 147 genotipinde bu azalmanın daha fazla oranda olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.1). Uygulamalar mukayese edildiğinde kontrol gruplarına nitrik oksit ilave edilen uygulamalarda 10. günde gövde yaş ağırlık değerleri KAR 98 genotipinde %12, KAR 147 genotipinde %18 oranında artış göstermiştir. Kuraklık oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulanan koşullarda kontrole

göre kuraklığa dayanıklı KAR 98 genotipinde %46, kuraklık koşullarına hassas olan KAR 147 genotipinde %64 oranında azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık stresi koşullarında nitrik oksit uygulamasıyla KAR 98 genotipinin gövde yaş ağırlığında %54 oranında azalma olurken KAR 147 genotipinde bu azalmanın %68 oranında olduğu belirlenmiştir. Kurak şartlarda nitrik oksit uygulamasının yapıldığı grup ile sadece PEG 6000 uygulamasının olduğu grup kıyaslandığında gövde yaş ağırlık değerlerinin her iki genotipte istatistiksel bakımdan farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Nitrik oksit uygulamasının etkisini tespit etmek amacıyla yapılan PEG 6000 + NO + cPTIO uygulamalarında her iki genotipte de kontrol grubuna göre 10. günde sırasıyla gövde yaş ağırlığında %64 ve %79 oranlarında azalmalar olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.1).

Çizelge 4.1. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin gövde yaş ağırlık değerleri (g bitki<sup>-1</sup>) Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 10; SH: standart hata)

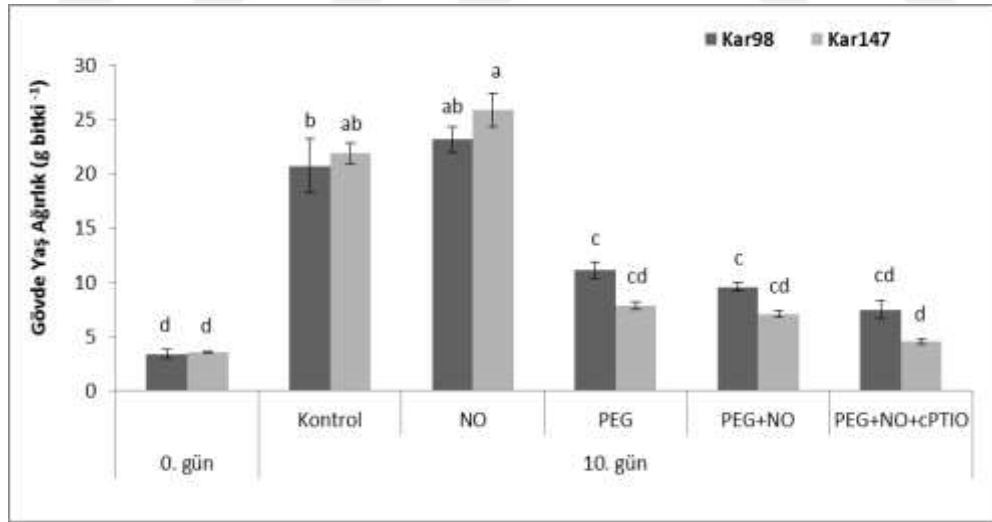
Uygulamalar	Gövde Yaş Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )				
	Kar98		Kar 147		
	g bitki <sup>-1</sup>	SH	g bitki <sup>-1</sup>	SH	
0. gün	3,42	±0,77 d	3,61	±0,12 d	
10. gün	Kontrol	20,75	±4,92 b	21,90	±1,88 ab
	Kontrol + NO	23,15	±2,43 ab	25,86	±3,09 a
	Peg 6000	11,19	±1,50 c	7,82	±0,68 cd
	Peg 6000 +NO	9,59	±0,75 c	7,08	±0,59 cd
	Peg 6000 + NO + cPTIO	7,49	±1,62 cd	4,54	±0,49 d

Karpuz genotiplerinin kök yaş ağırlık değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerin gövde yaş ağırlık değerleri ile benzerlik gösterdiği, KAR 98 genotipinin kök yaş ağırlığında nitrik oksit uygulamasıyla kontrole göre %40 oranında artış olurken, KAR 147 genotipinin kök yaş ağırlığının %10 oranında arttığı görülmüştür (Çizelge 4.2, Şekil 4.2). Kuraklık stresi oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulamasının yapıldığı koşullarda kontrole göre KAR 98 genotipinin kök yaş ağırlığında %22, KAR 147 genotipinde ise %33 oranında azalmanın olduğu, PEG 6000 ile birlikte nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda her iki genotipin kök yaş ağırlığının

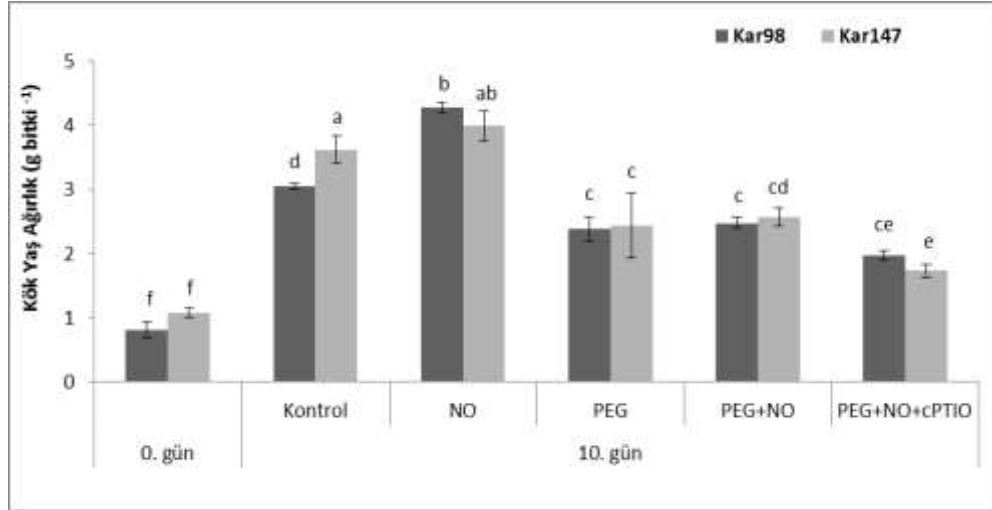
sadece PEG 6000 uygulamasının yapıldığı kuraklık stresi grubundan önemli bir farklılık göstermediği tespit edilmiştir. PEG 6000 + NO + cPTIO uygulamalarının PEG+NO grubuna göre kök yaş ağırlık değerlerini her iki genotipte biraz daha düşürdüğü belirlenmiştir (Çizelge 4.2, Şekil 4.2).

Çizelge 4.2. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin kök yaş ağırlık değerleri (g bitki<sup>-1</sup>) Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 10; SH: standart hata)

Uygulamalar	Kök Yaş Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )			
	Kar 98		Kar 147	
	g bitki <sup>-1</sup>	SH	g bitki <sup>-1</sup>	SH
<b>0. gün</b>	0,82	±0,25 f	1,08	±0,14 f
<b>10. gün</b>				
<b>Kontrol</b>	3,05	±0,08 d	3,62	±0,43 a
<b>Kontrol + NO</b>	4,27	±0,16 b	3,99	±0,45 ab
<b>Peg 6000</b>	2,38	±0,37 c	2,44	±1,02 c
<b>Peg 6000 +NO</b>	2,48	±0,16 c	2,57	±0,29 cd
<b>Peg 6000 + NO + cPTIO</b>	1,98	±0,15 ce	1,74	±0,20 e



Şekil 4.1. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin gövde yaş ağırlık değerleri (g bitki<sup>-1</sup>) Veriler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 10)



Şekil 4.2. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin kök yaş ağırlık değerleri (g bitki<sup>-1</sup>) Veriler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ;  $n = 10$ )

#### 4.1.2. Gövde ve kök kuru ağırlığı

Nitrik oksit uygulamasının 0. ve 10. günlerinde karpuz genotiplerinin gövde ve kök kuru ağırlıklarına ait ortalama değerler Çizelge 4.3 ve 4.4' te verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi, çalışmamızda kullanılan karpuz genotiplerinin gövde kuru ağırlık değerlerinde özellikle PEG 6000 uygulanan gruplarda istatistiksel bakımdan önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Nitrik oksit uygulamasıyla gövde kuru ağırlık değerlerinin KAR 98 ve KAR 147 genotiplerinde istatistiksel bakımdan önemli olmayan artışlar (%11 ve %17) gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık stresi oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulanan koşullarda kontrole göre kuraklığa dayanıklı KAR 98 genotipinin gövde kuru ağırlığında %32, kuraklık koşullarına hassas olan KAR 147 genotipinde ise %44 oranında azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık stresi koşullarında nitrik oksit uygulamasıyla (PEG + NO) 10. günde kontrole göre KAR 98 genotipinin gövde kuru ağırlığında %46 oranında azalma olurken KAR 147 genotipinde %58 oranında azalmanın olduğu belirlenmiştir. PEG 6000 uygulamasının yapıldığı grupla kıyaslandığında PEG + NO ve PEG 6000 + NO + cPTIO uygulamalarında her iki genotipin gövde kuru ağırlık değerlerinde istatistiksel bakımdan önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Karpuz genotiplerinin kök kuru ağırlık değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerin gövde kuru

ağırlık değerleri ile benzerlik gösterdiği, KAR 98 genotipinin kök kuru ağırlığında nitrik oksit ilavesi ile %34 oranında artış olurken, KAR 147 genotipinde %23 oranında artış olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.4, Şekil 4.4).

Çizelge 4.3. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin gövde kuru ağırlık değerleri (g bitki<sup>-1</sup>)  
Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 10; SH: standart hata)

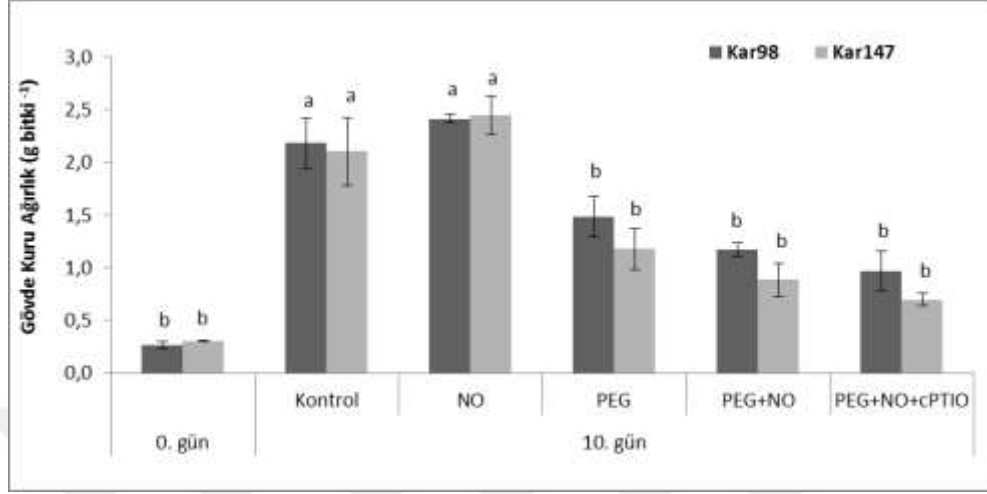
Uygulamalar	Gövde Kuru Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )			
	Kar 98		Kar 147	
	g bitki <sup>-1</sup>	SH	g bitki <sup>-1</sup>	SH
<b>0. gün</b>	0,26	±0,07 b	0,31	±0,01 b
<b>10. gün</b>				
<b>Kontrol</b>	2,18	±0,47 a	2,11	±0,65 a
<b>Kontrol + NO</b>	2,42	±0,08 a	2,45	±0,36 a
<b>Peg 6000</b>	1,49	±0,38 b	1,18	±0,39 b
<b>Peg 6000 +NO</b>	1,17	±0,13 b	0,89	±0,31 b
<b>Peg 6000 + NO + cPTIO</b>	0,97	±0,38 b	0,7	±0,12 b

Çizelge 4.4. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin kök kuru ağırlık değerleri (g bitki<sup>-1</sup>)  
Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 10; SH: standart hata)

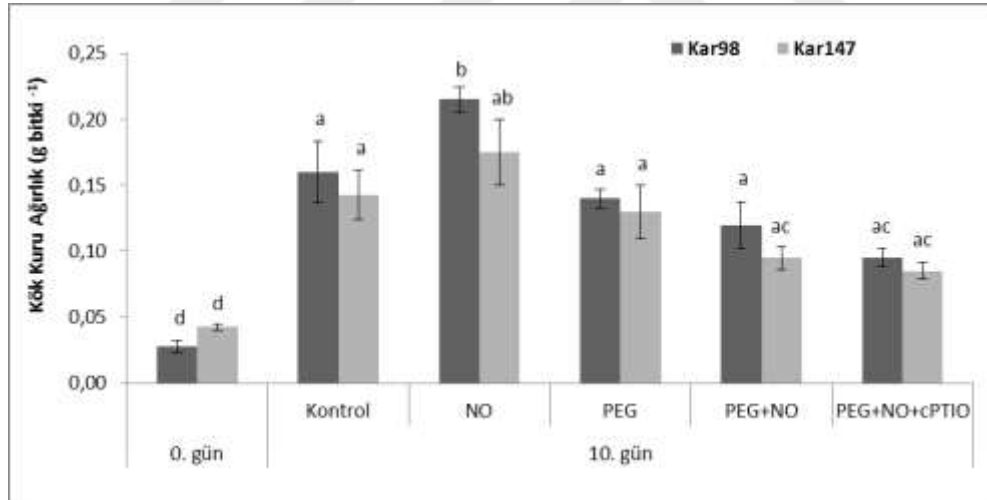
Uygulamalar	Kök Kuru Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )			
	Kar 98		Kar 147	
	g bitki <sup>-1</sup>	SH	g bitki <sup>-1</sup>	SH
<b>0. gün</b>	0,03	±0,01 d	0,04	±0,01 d
<b>10. gün</b>				
<b>Kontrol</b>	0,16	±0,05 a	0,14	±0,04 a
<b>Kontrol + NO</b>	0,22	±0,02 b	0,18	±0,05 ab
<b>Peg 6000</b>	0,14	±0,01 a	0,13	±0,04 a
<b>Peg 6000 +NO</b>	0,12	±0,04 a	0,10	±0,02 ac
<b>Peg 6000 + NO + cPTIO</b>	0,10	±0,01 ac	0,09	±0,01 ac

Kuraklık stresi oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulamasının yapıldığı koşullarda kontrole göre KAR 98 ve KAR 147 genotiplerinin kök kuru ağırlığında istatistiksel olarak önemsiz (%13 ve %9) azalmalar görülmüştür. PEG 6000 ile birlikte nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda (PEG + NO) kontrole göre sadece KAR 147 genotipinde %33 oranlarında azalma belirlenmiştir. PEG 6000 +

NO + cPTIO uygulama grubunda kök kuru ağırlık değerlerinin PEG + NO grubundan önemli bir farklılık göstermediği tespit edilmiştir (Çizelge 4.4, Şekil 4.4).



Şekil 4.3. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin gövde kuru ağırlık değerleri (g bitki<sup>-1</sup>) Veriler ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ;  $n = 10$ )



Şekil 4.4. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin kök kuru ağırlık değerleri (g bitki<sup>-1</sup>) Veriler ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ;  $n = 10$ )

#### 4.1.3. Gövde ve kök boyu

Kuraklık stresi koşullarında nitrik oksit uygulamalarına bağlı olarak karpuz genotiplerinin gövde ve kök uzunluklarında meydana gelen değişimler Çizelge 4.5 ve 4.6' da verilmiştir. Nitrik oksit ilavesiyle gövde boyu KAR 98'de %5 oranında artış



göstermiştir. Kuraklık stresi oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulanan koşullarda 10. günde kontrole göre kuraklığa dayanıklı KAR 98 genotipinin gövde boyunda %25, kuraklık koşullarına hassas olan KAR 147 genotipinde %30 oranında azalmanın olduğu, kurak şartlarda nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda (PEG + NO) kontrole göre KAR 98 genotipinde %24 oranında azalma olurken KAR 147 genotipinde %29 oranında azalmanın olduğu belirlenmiştir. PEG + NO grubunda her iki karpuz genotipinin gövde boyunun PEG grubundan önemli farklılık göstermediği ancak nitrik oksit uygulamasının etkisini tespit etmek amacıyla yapılan PEG 6000 + NO + cPTIO uygulamalarında KAR 98 ve KAR 147'nin gövde boyunda sırasıyla %36 ve %40 oranlarında azalmalar olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5, Şekil 4.5, Şekil 4.7).

Çizelge 4.5. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin gövde boyu değerleri (cm bitki<sup>-1</sup>) Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 10; SH: standart hata)

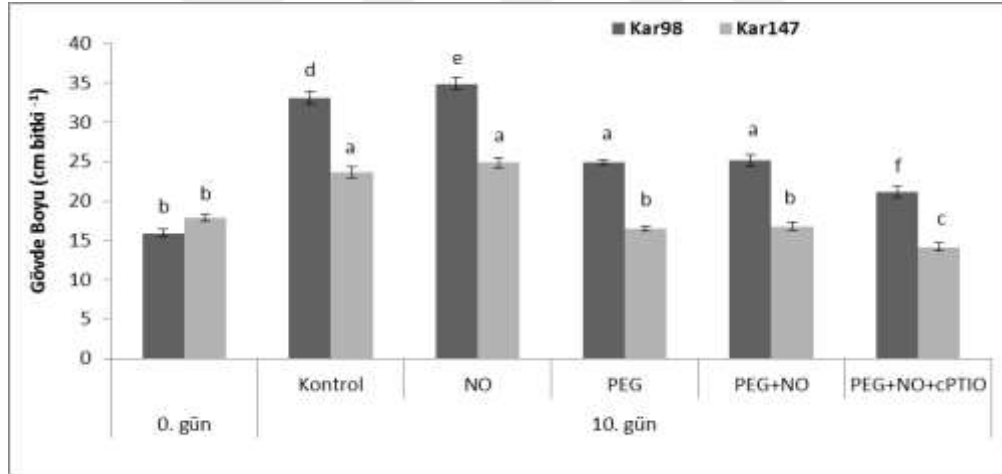
Uygulamalar		Gövde Boyu (cm bitki <sup>-1</sup> )			
		Kar 98		Kar 147	
		cm bitki <sup>-1</sup>	SH	cm bitki <sup>-1</sup>	SH
0. gün		15,88	±1,03 b	17,88	±0,85 b
10. gün	Kontrol	33,13	±1,55 d	23,63	±1,38 a
	Kontrol + NO	34,88	±1,65 e	24,88	±1,31 a
	Peg 6000	24,88	±0,63 a	16,5	±0,71 b
	Peg 6000 +NO	25,17	±1,43 a	16,75	±1,04 b
	Peg 6000 + NO + cPTIO	21,13	±1,44 f	14,13	±1,03 c

Karpuz genotiplerinin kök uzunluklarının gövde uzunluklarındaki değişimlerden uygulamalara bağlı olarak farklılık gösterdiği, KAR 98 genotipinde kontrol guruplarına nitrik oksit ilave edilen guruplarda kontrol grubuna göre kök uzunluğunda %31 oranında artış olurken, KAR 147 genotipinde %9 oranında artış olmuştur (Çizelge 4.6, Şekil 4.6). Kuraklık oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulamasının yapıldığı koşullarda kontrole göre KAR 98 genotipinin kök uzunluğunda %23 oranında azalma olurken, KAR 147 genotipinde %25 oranında artış belirlenmiştir, PEG 6000 ile birlikte nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda kontrole göre KAR 147 genotipinin %18 oranında artış olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.6, Şekil 4.6). Nitrik oksit uygulamasının etkisini tespit etmek amacıyla yapılan PEG 6000 + NO + cPTIO uygulamalarında her iki genotipin kök

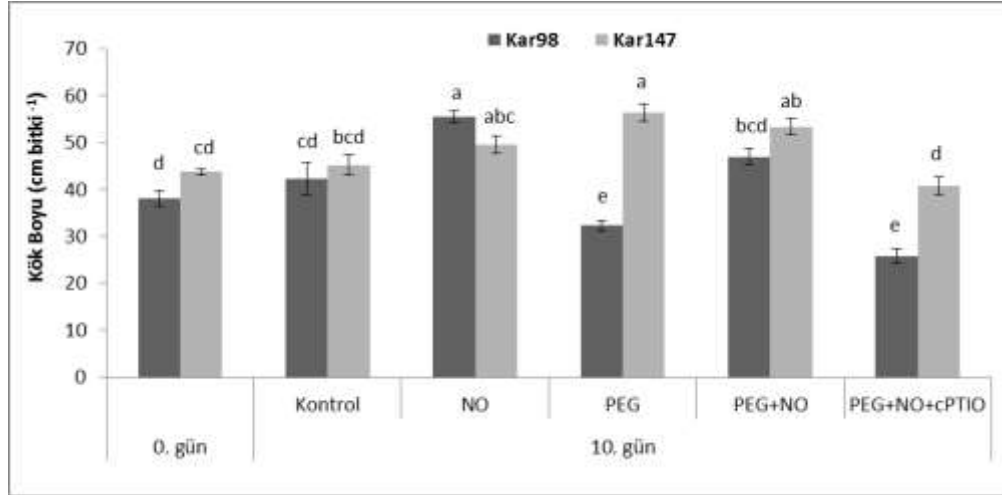
uzunluğunda kontrole göre 10. günde sırasıyla %39 ve %10 oranlarında azalmaların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6, Şekil 4.6).

Çizelge 4.6. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin kök boyu değerleri (cm bitki<sup>-1</sup>) Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 10; SH: standart hata)

Uygulamalar	Kök Boyu (cm bitki <sup>-1</sup> )			
	Kar 98		Kar 147	
	cm bitki <sup>-1</sup>	SH	cm bitki <sup>-1</sup>	SH
<b>0. gün</b>	38,13	±3,2 d	43,75	±1,44 cd
<b>Kontrol</b>	42,25	±6,91 cd	45,25	±4,35 bcd
<b>Kontrol + NO</b>	55,50	±2,38 a	49,50	±3,70 abc
<b>Peg 6000</b>	32,38	±2,21 e	56,38	±3,90 a
<b>Peg 6000 +NO</b>	47,00	±3,67 bcd	53,38	±3,50 ab
<b>Peg 6000 + NO + cPTIO</b>	25,88	±3,22 e	40,75	±3,88 d



Şekil 4.5. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin gövde boyu değerleri (cm bitki<sup>-1</sup>) Veriler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 10)



Şekil 4.6. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin kök boyu değerleri (cm bitki<sup>-1</sup>) Veriler ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ;  $n = 10$ )

Kuraklık, tarımsal ve ekolojik sistemler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bitkiler, stresin yoğunluğu ve süresi kadar bitki çeşidine ve gelişim aşamasına bağlı olarak farklı şekillerde tepkiler gösterirler. Kuraklık stresinin ilk olumsuz etkileri büyüme ve gelişmede meydana gelen olumsuzluklardır. Su noksanlığı karşısında hücre bölünmesi ve büyümesinde meydana gelen azalma, karbon ve azot metabolizmalarında oluşan değişimler, bitkilerde yaş ve kuru ağırlık değerlerinin de azalmasına neden olmaktadır (Kluge, 1976; Bertamini ve ark., 2006).

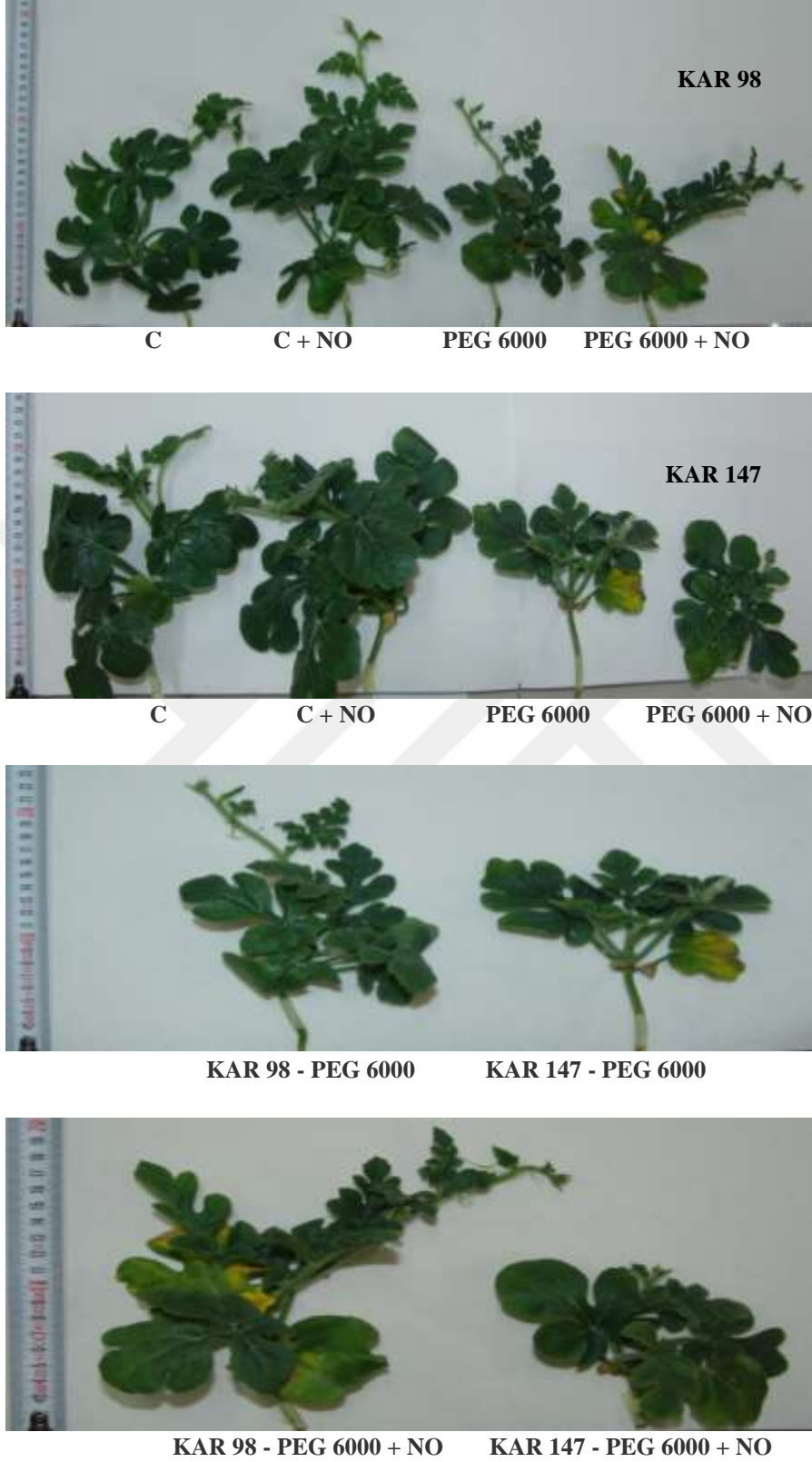
Karpuz genotipleriyle yapılan bir çalışmada, Karipçin (2009) kurak koşullarda yetiştirilen karpuz genotiplerinin boylarında azalmalar görüldüğünü vurgulamıştır. Yapılan önceki çalışmalarda, PEG uygulaması yapılan bitkilerde genel olarak karşılaşılan farklılıklar arasında kök, gövde ve sürgün uzunluğunda azalma; bitki yaş ve kuru ağırlıklarında azalma; yaprak alanı ve sayılarında azalma; klorofil miktarı ve % NSI oranında azalma ve kurağa toleranslı olan genotiplerin antioksidan enzim aktivitelerinde artışlar olduğu belirtilmiştir (Türkan ve ark., 2005).

Çalışmamızda kuraklık stresine maruz bırakılan karpuz genotiplerinin büyüme parametreleri üzerine nitrik oksit'in etkisi incelenmiştir (Şekil 4.7). Kurak koşullara dayanıklı KAR 98 ve kurak koşullara duyarlı KAR 147 karpuz genotiplerine Hoagland solüsyonu içerisinde verilen NO ile birlikte bitkilerin gövde yaş ağırlık,

kök yaş ve kuru ağırlık, gövde boyu ve kök boyunda artışlar olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar oluşturmak amacıyla %15'lik PEG 6000 uygulaması yapılan bitkilerde kök, gövde yaş ve gövde kuru ağırlık ve gövde boyu değerlerinde azalmaların meydana geldiği ve bu azalmaların KAR 147 genotipinde KAR 98 genotipindekinden daha yüksek oranlarda olduğu saptanmıştır. Buğday ile yapılan bir kuraklık stresi çalışmasında yaş ağırlık değerlerinin hassas olan genotipte azaldığı bildirilmiştir (Abdalla ve El-Khoshiban, 2007). Farklı bitki türleri ile yapılan kuraklık stresi çalışmalarında bitki yaş ve kuru ağırlıklarında azalmaların meydana geldiği ifade edilmiştir (Martinez ve ark., 2007; Sankar ve ark., 2008; Ayaş ve Demirtaş, 2009). Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlar da bu araştırmacıların sonuçları ile paralellik göstermiştir. Zhang ve ark. (2006), tuz stresi koşullarında NO uygulamasının mısır fidelerinin büyümesini ve kuru ağırlık artışını teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Ancak çalışmamızda kurak şartlarda nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda KAR 98'in kök boyu değerlerinde meydana gelen azalmaların nitrik oksit uygulaması yapılmayan koşullardan daha düşük oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Farklı araştırmacılar farklı stres koşullarında nitrik oksitin bitki büyümesi gelişmesi üzerine önemli etkileri olduğunu tespit etmişlerdir (Leshem ve Haramaty, 1996; Gouvea ve ark., 1997; Beligni ve Lamattina, 2000; Kopyra ve Gwozdz, 2004).

#### 4.2. Antioksidan Enzim Aktivite Sonuçları

Karpuz genotiplerinde kontrol ve kurak şartlarda nitrik oksit uygulamasının antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için; süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX) ve katalaz (CAT) enzimlerinin yapraklardaki aktivite ölçümleri yapılmış ve bu analizlere ait ortalama antioksidan enzim aktivite sonuçları çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10'da ve ilişkili grafikler Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10 'da verilmiştir.



Şekil 4.7. Kontrol ve kuraklık stresi koşullarında KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerine nitrik oksit uygulamasının tepkilerini gösterir resimler

#### 4.2.1. Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktiviteleri

SOD aktivite düzeylerinin gerek karpuz genotipleri arasında, gerekse uygulama gruplarına bağlı olarak istatistiksel bakımdan farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.8). KAR 98 karpuz genotipinde kontrol şartlarında nitrik oksit uygulamasına bağlı olarak SOD aktivitesi %14 oranında artış gösterirken, KAR 147 karpuz genotipinde %26 oranında azalmanın olduğu görülmüştür. Kuraklık oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulamasının yapıldığı koşullarda kontrole göre SOD aktivite değerleri KAR 98 genotipinde %103 oranında artış gösterirken, kurak şartlarda KAR 147 genotipinde bu artış oranı %79 oranında olmuştur (Çizelge 4.8, Şekil 4.8).

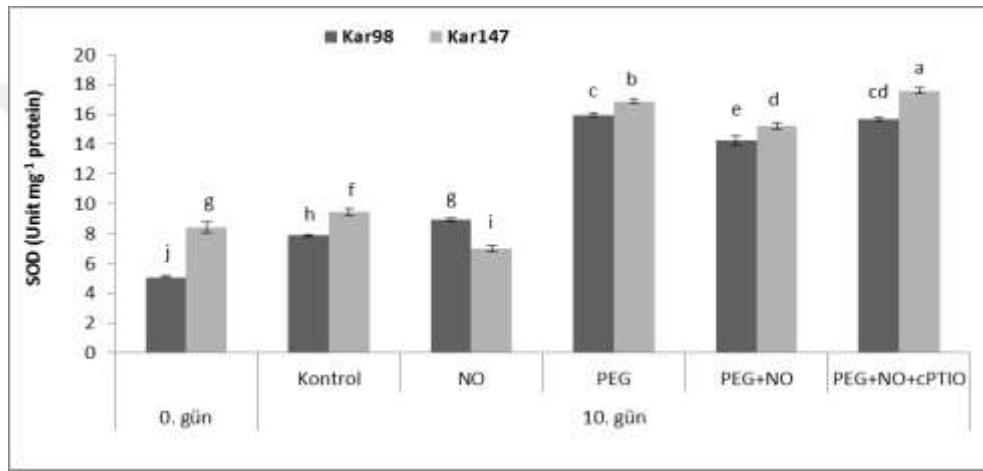
Çizelge 4.8. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin yapraklarındaki SOD aktivite değerleri (Ünite  $\text{mg}^{-1}$  protein) Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ;  $n = 6$ ; SH: standart hata)

Uygulamalar		SOD (Ünite $\text{mg}^{-1}$ protein)			
		Kar 98		Kar 147	
		Ünite $\text{mg}^{-1}$ protein	SH	Ünite $\text{mg}^{-1}$ protein	SH
0. gün		5,08	$\pm 0,07$ j	8,44	$\pm 0,35$ g
10. gün	Kontrol	7,87	$\pm 0,07$ h	9,45	$\pm 0,49$ f
	Kontrol + NO	8,94	$\pm 0,21$ g	7,02	$\pm 0,37$ ı
	Peg 6000	15,95	$\pm 0,25$ c	16,86	$\pm 0,24$ b
	Peg 6000 +NO	14,27	$\pm 0,60$ e	15,23	$\pm 0,48$ d
	Peg 6000 + NO + cPTIO	15,69	$\pm 0,20$ cd	17,59	$\pm 0,41$ a

Kurak şartlarda nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda da kontrole göre SOD aktivite değerleri artış göstermiş ve bu artışların sırasıyla %81 ve %61 oranlarında olduğu belirlenmiştir. PEG 6000 uygulaması ile kıyaslandığında NO ilavesinin (PEG +NO) SOD aktiviteleri KAR 98 genotipinde %11 ve KAR 147 genotipinde ise %10 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Nitrik oksit uygulamasının etkisini tespit etmek amacıyla yapılan PEG 6000 + NO + cPTIO uygulama grubunda 10 günde yapraklardaki SOD aktivite değerlerinin kontrol grubuna göre KAR 98 ve

KAR 147 genotiplerinde sırasıyla %99 ve %86 oranlarında artışa neden olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.8).

Bitkiler çevresel stres koşulları altında oluşan oksidatif stresle başa çıkabilmek için aktif oksijen türlerini uzaklaştıran enzimlerin aktivitelerini artırırlar. Bitkiler sahip oldukları yüksek düzeydeki antioksidan enzim aktiviteleri sayesinde farklı çevresel streslere karşı cevap verebilmekte ve bu stres faktörlerine tolerans sağlayabilmektedirler (Bor ve ark., 2003; Demiral ve Türkan, 2004).



Şekil 4.8. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin yapraklarındaki SOD aktiviteleri (Ünite mg<sup>-1</sup> protein) Veriler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ;  $n = 6$ )

SOD, süperoksit radikallerinin süpürülmesinden sorumlu olan ve oksijenli solunum yapan hücreler için anahtar bir rol oynayan antioksidan enzimdir (Asada, 1999). Çalışmamızda kuraklık stresi şartlarında ve nitrik oksit uygulaması sonucunda karpuz genotiplerinin yapraklarındaki SOD enzim aktivitesinde artış meydana gelmiş, bu artışın toleranslı olan KAR 98 genotipinde daha belirgin şekilde ortaya çıktığı görülmüştür. Bu bulgular, SOD enzimi aktivitesinin kuraklığa tolerans özelliği açısından karpuzda önem taşıdığını göstermektedir. Önceki çalışmalarda, fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ve tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türlerinde kuraklık stresi sonucu SOD enzim aktivitesinde artış meydana geldiği, bu artışın toleranslı olan tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türünde ise daha fazla olduğu bildirilmiştir (Türkan ve ark., 2005). Kuraklık stresi sonucu SOD enzim aktivitesinde

artış meydana geldiği ancak ilerleyen stres sonucu enzim aktivitesinde azalma meydana gelebileceği ifade edilmiştir (Yong ve ark., 2006). Çalışmamızla benzerlik gösteren diğer araştırmalarda da sonuçlarımızı destekler nitelikte bulgular elde edilmiştir (Reddy ve ark., 2004 ; Liu ve ark., 2009; Basu ve ark., 2010; Ahmedi ve ark., 2010).

NO ile ilgili yapılan araştırmalarda stres koşullarında NO uygulamalarının bitkilerde antioksidan enzimlerin aktivitesi üzerinde olumlu etkilerde bulunduğu ve özellikle bitkilerde SOD aktivitesi üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu, bu sonuçların çalışmalarımızla benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Lamattina ve ark., 2001; Leshem, 2001; Laspina ve ark., 2005).

#### 4.2.2. Peroksidaz (POX) enzim aktiviteleeri

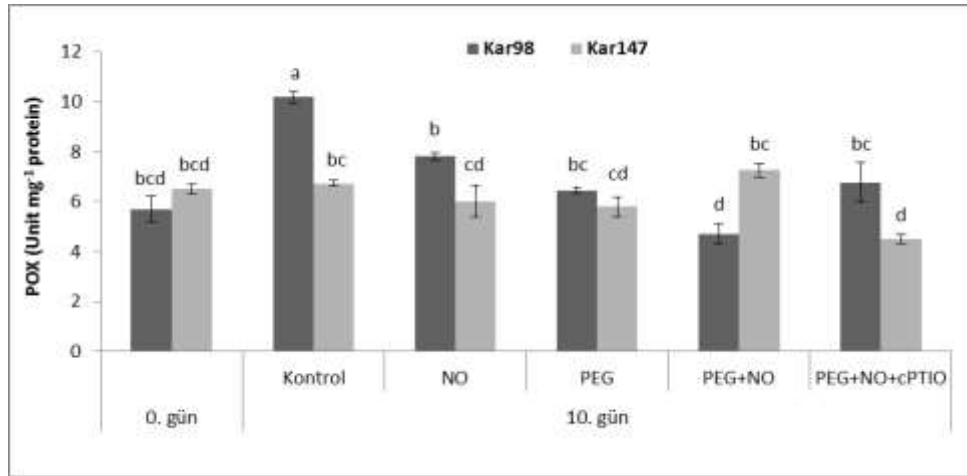
Çalışmada kullanılan karpuz genotiplerinin yapraklarındaki POX aktiviteleeri uygulamalara bağlı olarak genel bir azalma göstermiştir (Çizelge 4.9, Şekil 4.9). Kontrol şartlarında nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda POX aktivite değerlerinin KAR 98 genotipinde %23 oranında azalırken, KAR 147 genotipinde %11 oranında azaldığı belirlenmiştir. Kurak koşullar oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulamasının yapıldığı şartlarda POX aktivite değerleri kuraklığa dayanıklı KAR 98 genotipinde kontrole göre %37 oranında azalırken, kuraklığa hassas KAR 147 genotipinde %14 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Kurak şartlarda nitrik oksit uygulanan koşullarda (PEG + NO) POX aktivite değerleri kontrole kıyaslandığında KAR 98 genotipinde %54 ( $P < 0,05$ ) azalma, KAR 147 genotipinde %8 ( $P > 0,05$ ) artış gösterirken, PEG 6000 uygulamasıyla kıyaslandığında POX aktivite değerlerinin KAR 98 genotipinde %27 oranında azalırken, KAR 147 genotipinde ise %25 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir. Nitrik oksit uygulamasının etkisini tespit etmek amacıyla yapılan PEG 6000 + NO + cPTIO uygulamalarında POX aktivite değerlerinin 10. günde kontrol grubuna göre KAR 98'de %34, KAR 147'de %33 azalma gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.9, Şekil 4.9).



Peroksidazlar sadece üretilen  $H_2O_2$ ' in uzaklaştırılmasında değil, aynı zamanda büyüme ve gelişme ile ilgili bazı süreçlerde de görev almaktadırlar (Dionisio-Sese ve Tobita, 1998). Peroksidazlar, hidrojen akseptörü olarak oksijeni kullanan ve substrattan hidrojen ayrılması reaksiyonlarını katalizleyen enzimlerdir. Ürün genellikle ya  $H_2O$  ya da  $H_2O_2$ ' dir (Demiral ve Türkan, 2005).

Çizelge 4.9. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin yapraklarındaki POX aktivite değerleri (Ünite  $mg^{-1}$  protein) Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 6; SH: standart hata)

Uygulamalar	POX (Ünite $mg^{-1}$ protein)			
	Kar 98		Kar 147	
	Ünite $mg^{-1}$ protein	SH	Ünite $mg^{-1}$ protein	SH
<b>0. gün</b>	5,69	$\pm 0,95$ bcd	6,48	$\pm 0,33$ bcd
<b>10. gün</b>				
<b>Kontrol</b>	10,17	$\pm 0,47$ a	6,72	$\pm 0,24$ bc
<b>Kontrol + NO</b>	7,80	$\pm 0,31$ b	6,01	$\pm 1,27$ cd
<b>Peg 6000</b>	6,45	$\pm 0,23$ bc	5,79	$\pm 0,78$ cd
<b>Peg 6000 +NO</b>	4,71	$\pm 0,75$ d	7,25	$\pm 0,55$ bc
<b>Peg 6000 + NO + cPTIO</b>	6,76	$\pm 1,58$ bc	4,50	$\pm 0,35$ d



Şekil 4.9. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin yapraklarındaki POX aktiviteleri (Ünite  $mg^{-1}$  protein) Veriler ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 6)

Çalışmamızda karpuz genotiplerinin kontrol şartlarda nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda POX aktivite değerlerinin azalma gösterdiği ve

bu azalmaların KAR 98 genotipinde daha yüksek oranlarda olduğu belirlenmiştir. Kurak koşullarda nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda POX aktivite değerlerinin kuraklığa dayanıklı KAR 98 genotipinde azalırken, kurak koşullara hassas KAR 147 genotipinde artış gösterdiği belirlenmiştir. Mısır bitkisi kullanılarak yapılan bir araştırmada, kuraklık stresi koşullarında bitkide POX aktivitesinin artış gösterdiği ve bu artışın toleranslı olan çeşitlerde daha yüksek oranlarda olduğunu ortaya koymuşlardır (Moussa ve Abdel-Aziz., 2008). Geven (*Radix astragali*) türünde yapılan bir araştırmada, kuraklık stresine maruz kalan bitkide POX aktivitesi artış göstermiştir (Jung, 2004, Türkan ve ark., 2005; Yong ve ark., 2006; Zhu ve ark., 2008).

#### 4.2.3. Katalaz (CAT) enzim aktiviteleri

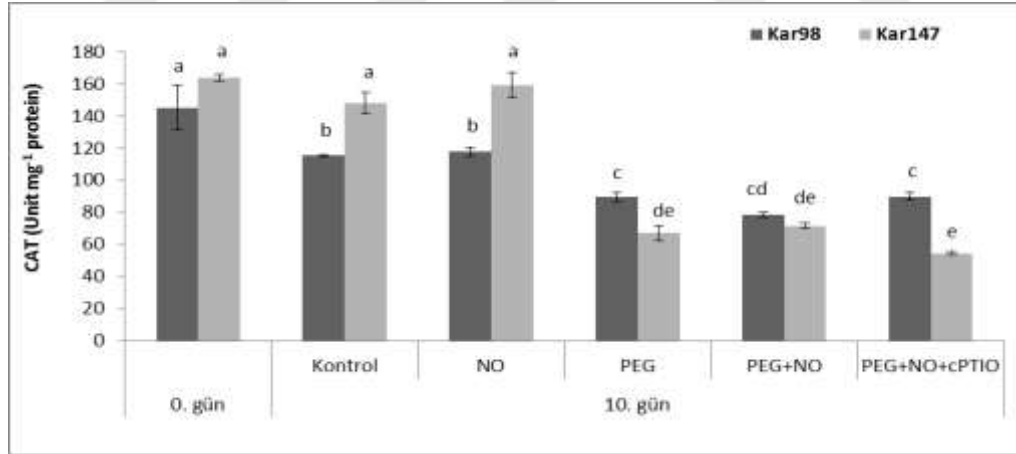
Karpuz genotiplerinin yapraklarındaki CAT aktiviteleri uygulamalara bağlı olarak istatistiksel bakımdan önemli farklılıklar göstermiştir (Çizelge 4.10, Şekil 4.10). Kontrol şartlarında nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda CAT aktivite değerleri KAR 98 ve KAR 147 genotiplerinde önemli bir değişim göstermez iken, kurak koşullar oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulamasının yapıldığı şartlarda CAT aktivite değerlerinin kuraklığa dayanıklı KAR 98 genotipinde kontrole göre %22 oranında azalırken, kuraklığa hassas KAR 147 genotipinde %55 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Kurak şartlarda nitrik oksit uygulanan koşullarda CAT aktivite değerleri KAR 98 genotipinde kontrole göre %32 oranında, KAR 147 genotipinde ise %52 oranında azalma gösterdiği; PEG 6000 uygulama grubuyla kıyaslandığında ise CAT aktivite değerlerinin KAR 98 genotipinde %12 oranında azaldığı, KAR 147 genotipinde ise önemli değişim göstermediği tespit edilmiştir. Nitrik oksit uygulamasının etkisini tespit etmek amacıyla yapılan PEG 6000 + NO + cPTIO uygulamalarında CAT aktivite değerlerinin kontrol grubuna kıyasla KAR 98 ve KAR 147 genotiplerinde sırasıyla %22 ve %63 oranlarında azalma gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.10, Şekil 4.10).

Süperoksit dismutaz enzimi, süperoksit radikalini ortadan kaldırmakta fakat bunun sonucunda toksik özelliği yine çok yüksek olan bir başka madde olan hidrojen

peroksit oluşmaktadır. Hidrojen peroksitin detoksifikasyonunu sağlayan katalaz hücresel zararı önlemede rol alan en etkili antioksidan enzimlerden birisidir (Scandalios, 1993). Katalaz, peroksizomlarda güçlü oksidan  $H_2O_2$ ' yi,  $H_2O$  ve moleküler oksijene çeviren bir enzimdir.

Çizelge 4.10. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin yapraklarındaki CAT aktivite değerleri (Ünite  $mg^{-1}$  protein) Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 6; SH: standart hata)

Uygulamalar	CAT (Ünite $mg^{-1}$ protein)			
	Kar 98		Kar 147	
	Ünite $mg^{-1}$ protein	SH	Ünite $mg^{-1}$ protein	SH
<b>0. gün</b>	145,25	±28,08 a	163,62	±4,22 a
<b>10. gün</b>				
<b>Kontrol</b>	115,31	±1,54 b	148,06	±13,64 a
<b>Kontrol + NO</b>	117,76	±5,96 b	159,12	±16,24 a
<b>Peg 6000</b>	89,43	±5,78 c	67,04	±9,39 de
<b>Peg 6000 +NO</b>	78,45	±2,53 cd	71,40	±3,48 de
<b>Peg 6000 + NO + cPTIO</b>	89,85	±5,05 c	54,51	±2,53 e



Şekil 4.10. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin yapraklarındaki CAT aktiviteleri (Ünite  $mg^{-1}$  protein) Veriler ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ; n = 6)

Çalışmamızda kuraklık stresine bağlı olarak karpuz genotiplerinin yapraklarındaki CAT aktivitelerinde oluşan azalma oranının kuraklığa hassas KAR 147 genotipinde daha yüksek olması CAT enzim aktivitesini artırma konusunda KAR 98 genotipinin kurağa toleransının daha yüksek olduğunu düşündürmektedir. Karpuz bitkisi ile yapılan bir tuz stresi çalışmasında CAT enzim aktivitesinin artış

gösterdiğini bu artışın toleranslı olan bitkilerde ön plana çıktığını ifade etmişlerdir (Reddy ve ark., 2004; Yong ve ark., 2006; Yaşar ve ark., 2008a). Bununla beraber NO ile yapılan bir başka çalışmada katalaz aktivitesinin NO tarafından inhibe edildiği bulunmuştur (Clarke ve ark., 2000). Fakat çalışmamızda NO tek başına karpuz genotiplerinin yapraklarındaki CAT aktiviteleri önemli oranda etkilememesine rağmen kuraklık stresi koşullarında NO uygulanan gruplarda CAT aktivitesinde azalmalar meydana gelmiştir.

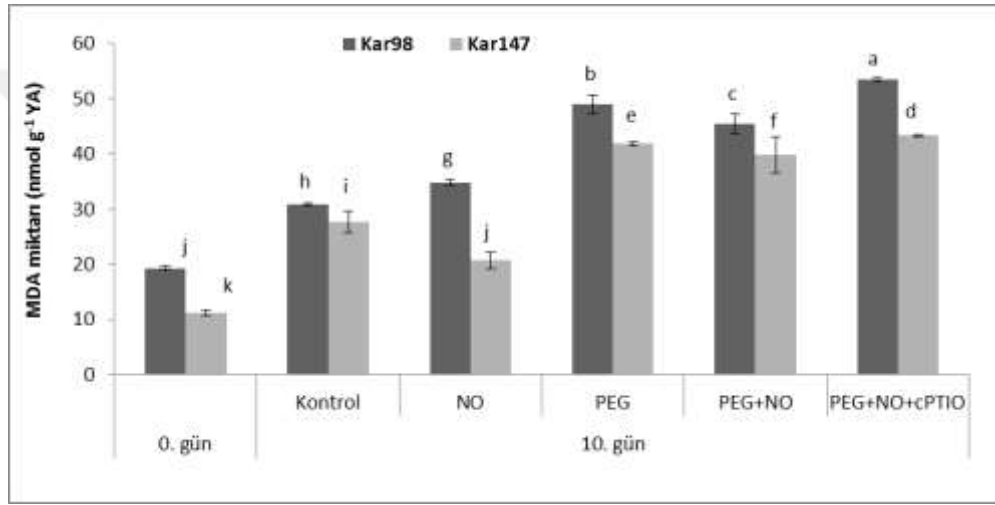
### 4.3. Lipid Peroksidasyonu Bulguları

Çalışmada kullanılan karpuz genotiplerinin lipid peroksidasyon düzeyleri malondialdehit (MDA) miktarında meydana gelen değişimlere göre belirlenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 4.11' de ve bu değerlere ait grafikler Şekil 4.11' de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan karpuz genotiplerindeki yaprak MDA miktarlarının genotipler arasında ve uygulamalara bağlı olarak farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Kontrol gruplarına nitrik oksit ilavesiyle, MDA miktarı KAR 98 genotipinde %13 oranında artarken, KAR 147 genotipinde %25 oranında azalmıştır. Kuraklık oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulanan koşullarda MDA miktarı kontrole göre kuraklığa dayanıklı KAR 98 genotipinde %59 oranında artarken, kuraklık koşullarına hassas olan KAR 147 genotipinde %51 oranında artmıştır. Kurak şartlarda nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda kontrole göre KAR 98 genotipinin MDA miktarında %47 oranında artma olurken KAR 147 genotipinde %44 oranında artış olduğu belirlenmiştir. PEG 6000 uygulaması ile kıyaslandığında NO uygulaması ile MDA miktarlarının KAR 98 genotipinde %7 ve KAR 147 genotipinde ise %5 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Nitrik oksit uygulamasının etkisini tespit etmek amacıyla yapılan PEG 6000 + NO + cPTIO uygulama grubunda KAR 98 ve KAR 147 genotiplerinde sırasıyla %73 ve %57 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.11, Şekil 4.11).

Çizelge 4.11. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin yapraklarındaki MDA miktarları ( $\text{nmol g}^{-1}$  YA) Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ;  $n = 6$ ; SH: standart hata)

Uygulamalar	MDA ( $\text{nmol g}^{-1}$ YA)				
	Kar 98		Kar 147		
	$\text{nmol g}^{-1}$ YA	SH	$\text{nmol g}^{-1}$ YA	SH	
0. gün	19,35	$\pm 0,58$	11,16	$\pm 1,06$	
10. gün	Kontrol	30,79	$\pm 0,54$ h	27,64	$\pm 3,81$ ı
	Kontrol + NO	34,81	$\pm 1,19$ g	20,63	$\pm 3,06$ j
	Peg 6000	48,93	$\pm 3,4$ b	41,79	$\pm 0,85$ e
	Peg 6000 + NO	45,40	$\pm 3,62$ c	39,88	$\pm 6,58$ f
	Peg 6000 + NO + cPTIO	53,38	$\pm 0,58$ a	43,27	$\pm 0,25$ d



Şekil 4.11. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin yapraklarındaki MDA içerikleri ( $\text{nmol g}^{-1}$  YA) Veriler ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ;  $n = 6$ )

Bitkilerde algılanan stres sonucunda meydana gelen oksidatif hasarın önemli bir göstergesi membran lipidlerinin peroksidasyonudur ve ortamdaki malondialdehit (MDA) miktarına göre tayin edilmektedir (Elstner ve Osswald, 1994). Aktif oksijen türevleri membran lipidlerinin peroksidasyonuna neden olmakta ve hücre zarında hasara yol açmaktadır (Sreenivasulu ve ark., 1999). Lipid peroksidasyonu ürünlerinden olan malondialdehit'in miktarının belirlenmesi, oksidatif zararın en basit göstergesi olarak kullanılmıştır (Spsychalla ve Desborough, 1990; Jagtap ve Bharguva, 1995; Zhang ve Kirkham, 1996).

Çalışmamızda iki farklı karpuz genotipine kuraklık stresi altında nitrik oksit uygulaması sonucunda bitkilerin yapraklarında MDA miktarları ölçülmüştür. Karpuz genotiplerinin MDA miktarları farklılıklar göstermiştir ve kontrol gruplarına nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda KAR 98’de artış gösterirken KAR 147’de azalma gösterdiği belirlenmiştir. Kurak koşullarda MDA miktarlarının artış göstermiştir ve artış oranlarında birbirine yakın değerler bulunmuştur. Kurak koşullarda nitrik oksit uygulamasında ise MDA miktarının her iki genotipte de birbirine yakın değerlerde azaldığı belirlenmiştir. Çalışmamızda NO uygulamasının karpuz genotiplerinin kuraklık stresine bağlı olarak yapraklarındaki MDA miktarında meydana gelen artışları kısmen de olsa azalttığı görülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalarda lipid peroksidasyonunun çevresel stres koşulları sonucunda oluşan oksidatif stres hasarına bağlı olarak özellikle kurağa duyarlılık gösteren genotiplerde daha fazla artış gösterdiği belirtilmiştir (Karanlık, 2001; Aktaş, 2002; Türkan ve ark., 2005; Yaşar ve ark., 2006; Kuşvuran ve ark., 2008; Yaşar ve ark., 2008a, b).

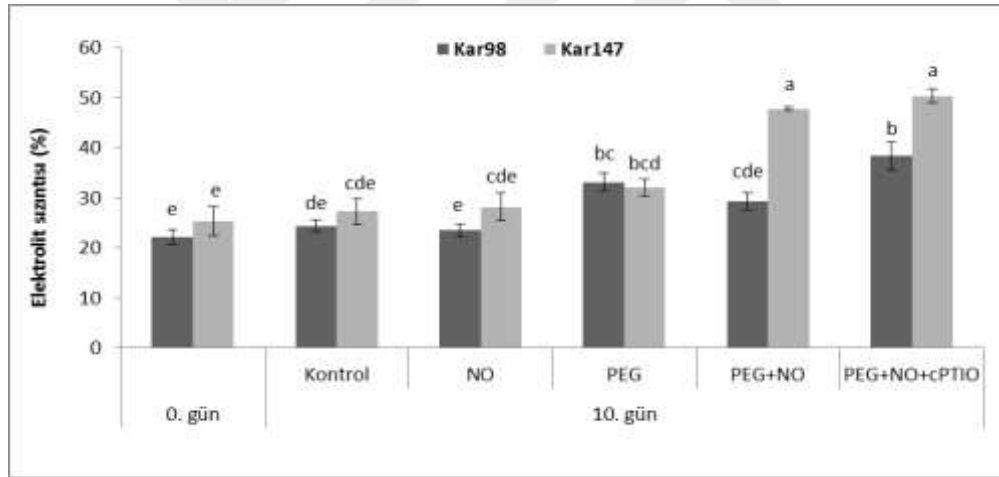
#### 4.4. Elektrolit Sızıntısı

Çalışmada kullanılan karpuz genotiplerinin hücre zarı geçirgenliği elektrolit sızıntısının ölçümüyle belirlenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 4.12’ de ve bu değerlere ait grafikler Şekil 4.12’ de verilmiştir. KAR 98 karpuz genotipinde kontrol şartlarında nitrik oksit uygulamasına bağlı olarak elektrolit sızıntısının istatistiksel bakımdan önemli olmayan değişimler gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık stresi oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulamasının yapıldığı koşullarda kontrole göre elektrolit sızıntısı KAR 98 genotipinde %36 oranında artarken, kurak şartlarda KAR 147 genotipinde bu artış oranı %18 oranında olmuştur (Çizelge 4.12, Şekil 4.12). Kurak şartlarda nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda da kontrole göre elektrolit sızıntısı artış göstermiş ve bu artış oranlarının KAR 98 ve KAR 147 genotiplerinde sırasıyla %20 ve %75 oranlarında olduğu belirlenmiştir. PEG 6000 uygulaması ile kıyaslandığında elektrolit sızıntısının KAR 98 genotipinde %12 oranında azalırken, KAR 147 genotipinde %49 oranında arttığı tespit edilmiştir. Nitrik oksit uygulamasının etkisini tespit etmek amacıyla yapılan PEG 6000 + NO + cPTIO uygulamalarında 10. günde elektrolit sızıntısının kontrol grubuna göre KAR

98 ve KAR 147 genotiplerinde sırasıyla % 57 ve % 85 oranlarında artış gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.12, Şekil 4.12)

Çizelge 4.12. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin elektrolit sızıntısı değerleri (%) Ortalama değerlerin yanlarında bulunan farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ;  $n = 6$ ; SH: standart hata)

Uygulamalar	Elektrolit sızıntısı (%)			
	Kar 98		Kar 147	
	%	SH	%	SH
<b>0. gün</b>	22,21	±3,03 e	25,33	±5,65 e
<b>10. gün</b>				
<b>Kontrol</b>	24,42	±2,45 de	27,23	±5,13 cde
<b>Kontrol + NO</b>	23,53	±2,39 e	28,15	±5,63 cde
<b>Peg 6000</b>	33,13	±3,52 bc	32,06	±3,19 bcd
<b>Peg 6000 +NO</b>	29,29	±3,54 cde	47,72	±0,79 a
<b>Peg 6000 + NO + cPTIO</b>	38,39	±5,56 b	50,38	±2,89 a



Şekil 4.12. KAR 98 ve KAR 147 karpuz genotiplerinin yapraklarındaki elektrolit sızıntısı değerleri (%) Veriler ortalama  $\pm$  standart hata olarak verilmiştir ve sütunların üzerindeki farklı harfler istatistiksel bakımdan farklıdır ( $P < 0,05$ ;  $n = 6$ )

MDA içeriğinin yanı sıra elektrolit sızıntısındaki artış da oksidatif strese maruz kalan biyolojik membranların zarar gördüğünün bir diğer göstergesidir (Munne-Bosch ve Penuelas, 2003). Bu tür değişimler, çoğunlukla ROT'lerinin üretimindeki artıştan, özellikle de diğer ROT'lerine göre daha uzun ömürlü olan  $H_2O_2$  birikiminden kaynaklanır (Apel ve Hirt, 2004). Elektrolit sızıntısı NO uygulamasına bağlı olarak her iki karpuz genotipinde önemli bir değişim göstermemesine rağmen,

PEG 6000-teşvikli kuraklık stresi ile her iki karpuz genotipinde elektrolit sızıntısı düzeyi artış göstermiştir. Kuraklık stresi altında NO uygulamasıyla sadece KAR 98 genotipinin elektrolit sızıntısında kuraklık stresi grubuna göre azalma görülürken, kuraklığa duyarlı KAR 147’de daha fazla artış olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara benzer olarak Lei ve ark. (2003), NO’in lipid alkoksil ve peroksil radikalleriyle reaksiyona girerek ROT-teşvikli lipid oksidasyonunu durdurabildiğini ve NO donoru olan SNP’nin koruyucu özelliğinin bu nedenden kaynaklandığını bildirmiştir.





## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Karpuz genotiplerine uygulanan kuraklık stresine karşı gösterdikleri tepkilerin farklı olduğu belirlenmiştir. Genotipler arasındaki farklılık MDA, elektrolit sızıntısı, SOD, CAT ve POX enzimleri, oksidatif strese karşı bitkinin savunma sistemlerinin ürünü olan antioksidan enzimlerin aktivitelerinin bu kapsamda etkin rollerinin bulunduğu belirlenmiştir. Karpuz bitkisinin dayanıklı ve hassas genotiplerine kuraklık stresine bağlı nitrik oksit uygulaması karşısında tepkileri incelenerek ortaya çıkarılmıştır ve kuraklığa toleransta antioksidatif savunma mekanizmalarının etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Su kültürü ortamında hoagland besin çözeltilisi içinde yetiştirilen kuraklığa dayanıklı ve kuraklığa hassas karpuz genotiplerine % 15 PEG 6000 kullanılarak kuraklık stresi yaşatılmıştır. Kuraklık stresi koşullarında karpuz genotiplerinde kök, gövde yaş ve gövde kuru ağırlık ve gövde boyu değerlerinde azalmalar meydana gelirken, nitrik oksit uygulaması ile bitkilerde gövde yaş ağırlık, kök kuru ağırlık, gövde boyu ve kök boyu üzerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir.
- Antioksidan enzim aktiviteleri, karpuz türünde etkili bir mekanizma olarak değerlendirilmiştir. SOD enzim aktivitesinin kuraklık stresi koşullarında toleranslı olan KAR 98 genotipinde hassas olan KAR 147'ye göre daha fazla artış gösterirken, bu artışın nitrik oksit uygulaması ile daha da fazla arttığı gözlenmiştir. POX ve CAT enzim aktiviteleri gerek kuraklığa toleranslı gerekse hassas karpuz genotiplerinde uygulamalara bağlı olarak düşüş göstermiştir.
- Lipid peroksidasyonu bitki hücrelerinde kuraklık stresi tolerans düzeylerinin belirlenmesinde etkili bir parametre olarak görünmektedir. Kurak koşullarda nitrik oksit uygulamasında ise MDA miktarının her iki genotipte de birbirine

yakın değerlerde arttığı belirlenmiştir. Nitrik oksit uygulamasının bu artışları az da olsa engellediği tespit edilmiştir.

- Elektrolit sızıntısı nitrik oksit uygulamasına bağlı olarak her iki karpuz genotipinde önemli bir değişim göstermemesine rağmen kuraklık stresi ile her iki karpuz genotipinde elektrolit sızıntısı düzeyi artış göstermiştir. Kuraklık stresi altında nitrik oksit uygulamasıyla kuraklığa toleranslı genotipte elektrolit sızıntısı kuraklık stresi grubuna göre azalma gösterirken, kuraklığa hassas olanda daha fazla artış olduğu belirlenmiştir. Karpuz genotiplerinin elektrolit sızıntısında kuraklık stresine bağlı oluşan artışlar membranların stabilitesinin bozulduğunu göstermektedir. Nitrik oksit uygulamasının KAR 147’de elektrolit sızıntısındaki kuraklık stresinden kaynaklanan artışlar üzerinde iyileştirici etkisinin bulunmadığı görülmüştür.

## 5.2. Öneriler

Bu tez çalışmasında elde edilen bulgular sonucunda, karpuz bitkisinin kuraklık koşullarında nitrik oksit uygulaması ile kuraklığa toleransın bir dereceye kadar arttırılabileceği söylenebilir. Nitrik oksit uygulamaları çalışmasında kullanılan karpuz genotiplerinden kuraklığa toleranslı olan genotipte kuraklık tolerans mekanizması üzerinde teşvik edici etkilerde bulunduğu görülmüştür. Bu çalışma hidroponik ortamda yapıldığı için elde edilen sonuçlar ışığında toprak ortamında da çalışmalar yapıp incelenebilir.

Kuraklığa toleransın genetik boyutu araştırılarak, ilgili genlerin tanımlanması ve haritalanması, bu stres faktörlerine dayanım mekanizmasının anlaşılabilmesi için gerekli görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- ABDALLA, M.M. and EL-KHOSHIBAN, N.H., 2007. The Influence of Water Stress on Growth, Relative Water Content, Photosynthetic Pigments, Some Metabolic and Hormonal Contents of Two *Triticium aestivum* Cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*, 3: 2062-2074.
- AHMADI, A., EMAM, Y. and PESSARAKLI, M., 2010. Biochemical Changes in Maize Seedlings Exposed to Drought Stress Conditions at Different Nitrogen Levels. *Journal of Plant Nutrition*, 33: 541-556.
- AKTAŞ, H., 2002. Biberde Tuza Dayanıklılığın Fizyolojik Karakterizasyonu ve Kalıtımı. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, Adana, 105s.
- ALEXIEVA, V., IVANOV, S., SERGIEV, I. and KARANOV, E., 2003. Interaction between Stresses. *Bulg. J. Plant Physiol., Special Issue*, 1-17.
- ANBAR, M., 1995. Nitric Oxide: a Synchronizing Chemical Messenger. *Experientia*, 51: 481-490.
- ANDERSON, L. and MANSFIELD, T.A., 1979. The Effects of Nitric Oxide Pollution on The Growth of Tomato. *Environmental Pollution*, 20: 113-121.
- APEL, K. and HIRT, H., 2004. Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress and Signal Transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55: 373-399.
- ASADA, K., 1994. Mechanisms for Scavenging Reactive Molecules Generated in Chloroplasts under Light Stress. In: Baker, N.R., Bowyer, J.R. (Eds.) *Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field*. Bios Scientific Publishers, Oxford, 129-142.
- ASADA, K., 1999. The Water – Water Cycle in Chloroplasts: Scavenging of Active Oxygens and Dissipation of Excess Photons. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 601-639.
- ASADA, K. and TAKAHASHI, M., 1987. Production and Scavenging of Active Oxygen Radicals in Photosynthesis. In: D.J.Kyle et al. (Eds.) *Photoinhibition*. Elsevier, Amsterdam, 227-297.
- ASHRAF, M. and ALI, Q., 2007. Relative Membrane Permeability and Activities of Some Antioxidant Enzymes as the Key Determinants of Salt Tolerance in Canola (*Brassica napus* L.). *Env. Exp. Bot.*, 63: 266-273.
- AYAŞ, S. ve DEMİRTAŞ, Ç., 2009. Deficit Irrigation Effects on Cucumber (*Cucumis sativus* L. Maraton) Yield in Unheated Greenhouse Condition. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7: 645 - 649.
- BARROSO, J.B., CORPAS, F.J., CARRERAS, A., SANDALIO, L.M., VALDERRAMA, R., PALMA, J.M., LUPIANEZ, J.A. and DEL RIO, L.A., 1999. Localization of Nitric Oxide Synthase in Plant Peroxisomes. *Journal of Biological Chemistry*, 274: 36729-36733.

- BASU, S., ROYCHOUDHURY, A., PAROMITA SAHA, P. and SENGUPTA, D.N., 2010. Differential Antioxidative Responses of Indica Rice Cultivars to Drought Stress. *Plant Growth Regulation*, 60 (1): 51-59.
- BEAUCHAMP, C. and FRIDOVICH, I., 1971. Superoxide Dismutase: Improved Assays and Applicable to Acrylamide Gels. *Analytical Biochemistry*, 44: 276-287.
- BELIGNI, M.V. and LAMATTINA, L., 2001a. Nitric Oxide in Plants: the History is just Beginning. *Plant Cell Environ.*, 24: 267-278.
- BELIGNI, M.V. and LAMATTINA, L., 2001b. Nitric Oxide: a Non-Traditional Regulator of Plant Growth. *Trends Plant Sci.*, 6(11): 508-509.
- BELIGNI, M.V. and LAMATTINA, L., 1999. Nitric Oxide Counteracts Cytotoxic Processes Mediated by Reactive Oxygen Species in Plant Tissues. *Planta*, 208: 337-344.
- BELIGNI, M.V. and LAMATTINA, L., 2000. Nitric Oxide Stimulates Seed Germination and De-etiolation and Inhibits Hypocotyl Elongation, Three Light-Inducible Responses in Plants. *Planta*, 210: 215-221.
- BELIGNI, M.V., FATH, A., BETHKE, P.C., LAMATTINA, L. and JONES, R.L., 2002. Nitric Oxide Acts as an Antioxidant and Delays Programmed Cell Death in Barley Aleurone Layers. *Plant Physiol.*, 129 (4): 1642-1650.
- BERGMAYER, H.U., GAWEHN K., GRASSL M., E.D. and BERGMAYER H.U., 1970. Vol. 1, Methoden der Enzymatischen Analyse Verlag Chemie, Weinheim, Pp: 440.
- BOR, M., ÖZDEMİR, F. and TÜRKAN, I., 2003. The Effect of Salt Stress on Lipid Peroxidation and Antioxidants in Leaves of Sugar Beet *Beta vulgaris* L. and wild Beet *Beta maritima* L. *Plant Sci.*, 164: 77-84.
- BOUCHER, J.L., GENET, A., VADON, S., DELAFORGE, M. and MANSUY, D., 1992. Formation of Nitrogen Oxides and Citrulline Upon Oxidation of Nw-Hydroxy-Larginine by Hemoproteins. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 184: 1158-1164.
- BOWLER, C., MONTAGU, M.V. and INZE, D., 1992. Superoxide Dismutase and Stress Tolerance. *Annu. Rev. Plant Mol. Biol.* 43: 83-116.
- BOYER, J., 1982. *Plant Productivity an Environment Science* (Washington, D.C.) 218: 443-448.
- BERTAMINI, M., ZULINI, L., MUTHUCHELIAN, K. and NEDUNCHEZHIAN, N., 2006. Effect of Water Deficit on Photosynthetic and other Physiological Responses in Grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) Plants. *Photosynthetica*, 44 (1): 151-154.
- BOR, M., ÖZDEMİR, F. and TÜRKAN, I., 2003. The Effect of Salt Stress on Lipid Peroxidation and Antioxidants in Leaves of Sugar Beet *Beta vulgaris* L. and wild Beet *Beta maritima* L. *Plant Sci.*, 164: 77-84.
- BOUCHER, J.L., GENET, A., VADON, S., DELAFORGE, M. and MANSUY, D., 1992. Formation of Nitrogen Oxides and Citrulline Upon Oxidation of Nw-

- Hydroxy-Larginine by Hemeproteins. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 184: 1158–1164.
- BOVERIS, A.D., GALATRO, A. and PUNTARULO, S., 2000. Effect of Nitric Oxide and Plant Antioxidants on Microsomal Content of Lipid Radical. *Biological Research*, 33, 159-165.
- BOWLER, C., MONTAGU, M.V. and INZE, D., 1992. Superoxide Dismutase and Stress Tolerance. *Annu. Rev. Plant Mol. Biol.* 43: 83-116.
- BOYER, J., 1982. *Plant Productivity an Environment Science* (Washington, D.C.) 218: 443-448.
- BRADFORD, M.M., 1976. A Rapid and Sensitive Method for The Quantification of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Protein-Dye Binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248-254.
- CAKMAK, I., ATLI, M., KAYA, R., EVLIYA, H. and MARSCHNER., H., 1995. Association of High Light and Zinc Deficiency in Cold-Induced Leaf Chlorosis in Grapefruit and Mandarin Trees. *J. Plant Physiol.*, 146: 355-360.
- CAKMAK, I., STRBAC, D. and MARSCHNER, H., 1993. Activities of Hydrogen Peroxide-Scavenging Enzymes in Germinating Wheat Seeds. *J. Exp. Bot.*, 44: 127-132.
- CAKMAK, I. and MARSCHNER, H., 1992. Magnesium Deficiency and High Light Intensity Enhance Activities of Superoxide Dismutase, Ascorbate Peroxidase, and Glutathione Reductase in Bean Leaves. *Plant Physiol.* 98: 1222-1227.
- CAKMAK, I., 1994. Activity of Ascorbate-Dependent H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Scavenging Enzymes and Leaf Chlorosis are Enhanced in Magnesium and Potassium Deficient Leaves, But Not in Phosphorus Deficient Leaves. *J. Exp. Bot.* 45: 1259-1266.
- CHARLES, S.A. and HALLIWELL, B., 1980. Effect of Hydrogen Peroxide on Spinach (*Spinacia oleraceae*) Chloroplast Fructose Biphosphatase. *Biochem. J.*, 189: 373-376.
- CHEN, G. and ASADA, K., 1989. Ascorbat Peroxidase in Tea Leaves: Occurrence of to Isozymes and the Differences in their Enzymatic and Molecular Properties. *Plant Cell Physiol.* 30: 987-998.
- CLARKE, A., DESIKAN, R., HURST, R.D., HANCOCK, J.T. and NEILL, S.J., 2000. NO Way Back: Nitric Oxide and Programmed Cell Death in *Arabidopsis thaliana* Suspension Cultures. *Plant J.*, 24: 667-677.
- CORPAS, F.J., BARROSO, J.B., ESTEBAN, F.J., ROMERO-PUERTAS, M.C., VALDERRAMA, R., CARRERAS, A., QUIRÓS, M., LEÓN, A.M., PALMA, J.M., SANDALÍO, L.M. and DEL RÍO, L.A., 2002. Peroxisomes as A Source of Nitric Oxide in Plant Cells. *Free Radical Biol. Med.*, 33 (S1): 187.
- CUETO, M., HERNANDEZ-PERERA, O., MARTIN, R., BENTURA, M.L., RODRIGO, J., LAMAS, S. and GOLVANO, M.P., 1996. Presence of Nitric Oxide Synthase Activity in Roots and Nodules of *Lupinus albus*. *FEBS Letters*, 398: 159–164.

- DAVIES, K. J. A., 1987. Protein Damage and Degradation by Oxygen Radicals. 1. General Aspects. *J. Biol. Chem.*, 262: 9895-9901.
- DEL RIO, L.A., CORPAS, F.J. and BARROSO, J.B., 2004. Nitric Oxide and Nitric Oxide Synthase Activity in Plants. *Phytochemistry*, 65: 783-792.
- DELLEDONNE, M., XIA, Y., DIXON, R.A. and LAMB, C., 1998. Nitric Oxide Functions as a Signal in Plant Disease Resistance. *Nature*, 394: 585-588.
- DEMİRAL, T. ve TÜRKAN, İ., 2004. Does Exogenous Glycinebetaine Affect Antioxidative System of Rice Seedlings Under Nacı Treatment? *J. Plant Physiol.*, 161: 1089-1100.
- DEMİRAL, T. and TÜRKAN, İ., 2005. Comparative Lipid Peroxidation, Antioxidant Defense Systems and Proline Content in Roots of Two Rice Cultivars Differing in Salt Tolerance. *Env. Exp. Bot.*, 53: 247-257.
- DHINDSA, R. S. and MATHOWE, W., 1981. Drought Tolerance in Two Mosses : Correlated with Enzymatic Defence Against Lipid Peroxidation. *J. Exp. Bot.*, 32: 79-91.
- DIONISIO-SESE, M.L. and TOBITA S., 1998. Antioxidant Responses of Rice Seedlings to Salinity Stress. *Plant Sci.*, 135: 1-9.
- DURNER, J. and KLESSIG, D.F., 1999. Nitric Oxide as a Signal in Plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 2: 369-374.
- DURNER, J., WENDEHEMME, D. and KLESSIG, D.F., 1998. Defense Gene Induction in Tobacco by Nitric Oxide, Cyclic GMP and Cyclic ADP-Ribose. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 95: 10328-10333.
- EKER, S., 2002. Yapraktan Azot Uygulamasının Limon ve Mandarinde Düşük Sıcaklık Stresine Etkisinin Antioksidatif Savunma Mekanizmaları Açısından Araştırılması. (doktora tezi, basılmamış). Ç. Ü. Fen Bil. Enst., Adana, 148s.
- ELSTNER, E.F. and OSSWALD, W., 1994. Mechanisms of Oxygen Activation During Plant Stres *Proc. R. Soc. Edinburg*, 102B: 131-154.
- FARRANT, J. M., 2000. A Comparison of Mechanisms of Desiccation Tolerance among Three Angiosperm Resurrection Plant Species. *Plant Ecol.*, 151: 29-39.
- FERRER, M.A. and ROS BARCELO, A., 1999. Differential Effects of Nitric Oxide on Peroxidase and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Production by the Xylem of *Zinnia elegans*. *Plant, Cell and Environment*, 22: 891-897.
- FOYER, C.H., LENDAIS, M. and KUNERT, K.J., 1994. Photooxidative Stress in Plants. *Phsiol. Plant.* 92: 696-717.
- FRIDOVICH, I., 1986. Biological Effects of The Superoxide Radical. *Arch. Biochem. Biop.*, 274: 1-11.
- GARCIA MATA, C., GAY, R., SOKOLOVSKI, S., HILLS, A., LAMATTINA, L. and BLATT, M.R., 2003. Nitric Oxide Regulates K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> Channels in Guard Cells Through a Subset of Abscisic Acid-Evoked Signaling Pathways. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 100: 11116-11121.
- GEPSTEIN, S., 1988. Photosynthesis. In: Nooden, L.D., Leopold A.C. (Eds.), *Senescence and Aging in Plants*. Academic Press, S. 85-109.

- GOSSETT, D.R., MILLHOLLON, E.P. and LUCAS, M.C., 1994. Antioxidant Response to NaCl Stress in Salt-Tolerant and Salt-Sensitive Cultivars of Cotton. *Crop Sci.*, 34: 706-714.
- GOUVÊA, C.M.C.P., SOUZA, J.F., MAGALHAES, A.C.N. and MARTINS, I.S., 1997. NO-Releasing Substances that Induce Growth Elongation in Maize Root Segments. *Plant Growth Reg.*, 21: 183–187.
- GRAZIANO, M. and LAMATTINA, L., 2005. Nitric Oxide and Iron in Plants: an Emerging and Converging Story. *Trends Plant Sci.*, 10: 4-8.
- HALE, M.G. and ORCUTT, D.M., 1987. *The Physiology of Plants Under Stress*. John Wiley & Sons, New York.
- HALLIWELL B. and GUTTERIDGE J.M.C., 1989. *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford, Clarendon Press.
- HEATH, R.L. and PACKER, L., 1968. Photoperoxidation in Isolated Chloroplasts, I. Kinetics and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation. *Arch. Biochem and Biophys*, 125: 189-198.
- HERNANDEZ, J.A., JIMENEZ, A., MULLINEAUX, P. and SEVILLA, F., 2000. Tolerance of Pea (*Pisum sativum* L.) to Long-Term Salt Stress is Associated with Induction of Antioxidant Defences. *Plant Cell Environ.*, 23: 853–862.
- HERZOG, V. and FAHIMI, H., 1973. Determination of the Activity of Peroxidase, *Analytical Biochemistry*, 55: 554-562.
- HONGBO, S., ZONGSUO, L. and MINGAN, S., 2005. Changes of Anti-Oxidative Enzymes and MDA Content Under Soil Water Deficits among 10 Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes at Maturation Stage. *Colloid. Surface. B.*, 45: 7-13.
- HOSSAIN, M. A., NAKANO, Y. and ASADA, K., 1984. Monodehydroascorbate Reductase in Spinach Chloroplast and Its Participation in Regeneration of Ascorbate for Scavenging Hydrogen Peroxide. *Plant Cell Physiol.*, 25: 385-395.
- HUNG, K.T. and C.H. KAO., 2003. Nitric Oxide Counteracts the Senescence of Rice Leaves Induced by Abscisic Acid. *J. Plant Physiol.*, 160: 871-879.
- IMLAY, J.A. and S. LINN., 1988. DNA Damage and Oxygen Radical Toxicity. *Science*, 240: 1302-1309.
- JAGTAP, V. and BHARGUVA, S., 1995. Variation in the Antioxidant Metabolism of Drought Tolerant and Drought Susceptible Varieties of *Sorghum bicolor* L. Moench, Exposed High Light, Low Water and High Temperature Stress. *J. Plant Physiol.*, 145: 195-197.
- JARRET, R. L. and NEWMAN, M., 2000. Phylogenetic Relationships Among Species of *Citrullus* and The Placement of *C. rehmii* De Winter as Determined by International Transcribed Spacer (ITS) Sequence Heterogeneity. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 47, 215–222.
- JEFFREY, C., 1975. Further notes on Cucurbitaceae: III. Some African taxa. *Kew Bu*, 30-, 475-493.

- JUNG, S., 2004. Variation in Antioxidant Metabolism of Young and Mature Leaves of *Arabidopsis thaliana* Subjected to Drought. *Plant Sci.*, 166: 459-466.
- KAISER, W.M., 1979. Reversible Inhibition of The Calvin Cycle and Activation of The Oxidative Pentose Phosphate Cycle in Isolated Intact Chloroplasts by Hydrogen Peroxide. *Planta*, 145: 377-382.
- KARANLIK, S., 2001. Değişik Buğday Genotiplerinde Tuz Stresine Dayanıklılık ve Dayanıklılığın Fizyolojik Nedenlerinin Araştırılması. Çukurova Üniv. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi 123s.
- KARİPÇİN, M.Z., 2009. Yerli ve Yabancı Karpuz Genotiplerinde Kuraklığa Toleransın Belirlenmesi. Çukurova Üniv. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi. 46s.
- KLEPPER, L.A., 1979. Nitric Oxide (NO) and Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) Emissions from Herbicide-Treated Soybean Plants. *Atmosphere and Environment*, 13: 537.
- KLUGE, M., 1976. Carbon and Nitrogen Metabolism Under Water Stress. In: Lange, O.L., Kappen, L., Schulze, E.-D. (Eds.): *Water and Plant Life*, 243-252.
- KOPYRA, M. and GWOZDZ, EA., 2004. The Role of Nitric Oxide in Plant Growth Regulation and Responses to Abiotic Stress. *Acta Physiol. Plant.*, 26: 459-472.
- KUŞVURAN, Ş., YAŞAR, F., ABAK, K. ve ELLİALTIOĞLU, Ş., 2008. Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Tuza Tolerant ve Duyarlı *Cucumis* sp.'nin Bazı Genotiplerinde Lipid Peroksidasyonu, Klorofil ve İyon Miktarlarında Meydana Gelen Değişimler. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 18 (1): 11-18.
- LAMATTINA, L., BELIGNI, M.V., GARCIA-MATA, C. and LAXALT, A.M., 2001. Method of Enhancing the Metabolic Function and the Growing Conditions of Plants and Seeds. US Patent. US 6242384 B1.
- LANCASTER, J.R., 1997. A Tutorial on the Diffusibility and Reactivity of Free Nitric Oxide. *Nitric Oxide*, 1: 18-30.
- LASPINA, N.V., GROPPA, M.D., TOMARO, M.L. and BENAVIDES, M.P., 2005. Nitric Oxide Protects Sunflower Leaves Against Cd-Induced Oxidative Stress. *Plant Science*, 169: 323-330.
- LAWLOR, D.W. and CORNIC, G., 2002. Photosynthetic Carbon Assimilation and Associated Metabolism in Relation to Water Deficits in Higher Plants. *Plant Cell Environ.*, 25: 275-294.
- LAXALT, A.M., BELIGNI, M.V. and LAMATTINA., L., 1997. Nitric Oxide Preserves the Level of Chlorophyll in Potato Leaves Infected by *Phytophthora infestans*. *European Journal of Plant Pathology*, 103: 643-651.
- LEI, Y., YIN, C., REN, J. and LI, C., 2003. Effect of Osmotic Stress and Sodium Nitroprusside Pretreatment on Proline Metabolism of Wheat Seedlings. *Biologia Plantarum*, 51: 386-390.
- LESHEM, Y.Y. and E. HARAMATY., 1996. Plant Aging: the Emission of NO and Ethylene and Effect of NO-Releasing Compounds on Growth of Pea (*Pisum sativum*) foliage. *J. Plant Physiol.*, 148: 258-263.



- LESHEM, Y.Y., 2000. Nitric Oxide in Plants, Occurrence, Function and Use, Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- LESHEM, Y.Y., 2001. Nitric Oxide in Plants, London, UK: Kluwer Academic Publishers.
- LESHEM, Y.Y., WILLS, R.B.H. and VENG-VA KU, V., 1998. Evidence for the Function of the Free Radical Gas, Nitric Oxide (NO\*), as a Endogenous Maturation and Senescence Regulating Factor in Higher Plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 36: 825-833.
- LIU, Z.J., ZHANG, X.L., BAI, J.G., SUO, B.X., XU, P.L. and WANG, L., 2009. Exogenous Paraquat Changes Antioxidant Enzyme Activities and Lipid Peroxidation in Drought-Stressed Cucumber Leaves. *Science Hort.*, 121: 138-143.
- MADHAVA RAO. and K.V., SRESTY T.V.S., 2000. Antioxidative Parameters in the Seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) in Response to Zn and Ni Stresses. *Plant Sci.*, 157: 113-128.
- MAKELA, P., KONTTURI, M., PEHU, E. and SOMERSALO, S., 1999. Photosynthetic Response of Drought and Salt-Stressed Tomato and Turnip Rape Plants to Foliar- Applied glycinebetaine. *Physiol. Plant.*, 105: 45-50.
- MARSCHNER, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. London: Academic Press, 657-680.
- MARTINEZ, J.P., SILVA, H., LEDENT, J.F. and PINTO, M., 2007. Effects of Drought Stress on the Osmotic Adjustment, Cell Wall Elasticity and Cell Volume of Six Cultivars of Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Eur J. Agron.*, 26: 30-38.
- MCKERSIE, B.D. and LESHEM, Y., 1994. Stress and Stress Coping in Cultivated Plants, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- MITTOVA, V., GUY, M., TAL, M. and VOLOKITA, M., 2004. Salinity Up-Regulates the Antioxidative System in Root Mitochondria and Peroxisomes of the Wild Salt-tolerant Tomato Species *Lycopersicon pennellii*. *J. Exp. Bot.*, 55: 1105-1113.
- MOUSSA, H.R. and ABDEL-AZIZ, S.M., 2008. Comparative Response of Drought Tolerant and Drought Sensitive Maize Genotypes to Water Stress. *Australian Journal of Crop Science*, 1: 31-36.
- MUNNÉ-BOSCH, S. and PEÑUELAS, J., 2003. Photo- and Antioxidative Protection and a Role for Salicylic Acid during Drought and Recovery in Field-Grown *Phillyrea angustifolia* plants. *Planta*, 217: 758-66.
- NEILL, S.J., DESIKAN, R. and HANCOCK, J.T., 2003. Nitric Oxide Signalling in Plants. *New Phytol.*, 159: 11-35.
- NEILL, S.J., DESIKAN, R., CLARKE, A., HURST, R.D. and HANCOCK, J.T., 2002. Hydrogen Peroxide and Nitric Oxide as Signalling Molecules in Plants. *Journal of Experimental Botany*, 53: 1237-1242.
- OKUDA, T., MATSUDA, Y., YAMANAKA, A. and SAGISAKA, S., 1991. Abrupt Increase in the Level of Hydrogen Peroxide in Leaves of Winter Wheat Is Caused by Cold Treatment. *Plant Physiol.*, 97, 1265-1267.

- PEDROSO, M.C., MAGALHAES, J.R. and DURZAN, D.A., 2000. Nitric Oxide Burst Precedes Apoptosis in Angiosperm and Gymnosperm Callus Cells and Foliar Tissues. *Journal of Experimental Botany*, 51: 1027-1036.
- PINHEIRO, H.A., DAMATTA, F.M., CHAVES, A.R.M., FONTES, E.P.B. and LOUREIRO, M.E., 2004. Drought Tolerance in Relation to Protection Against Oxidative Stress in Clones of *Coffea canephora* Subjected To Long-Term Drought. *Plant Sci.*, 167: 1307-1314.
- RAMACHANDRA REDDY, A., CHAITANYA, K.V., JUTUR, P.P. and SUMITHRA, K., 2004. Differential Antioxidative Responses to Water Stress Among Five Mulberry (*Morus alba* L.) Cultivars. *Environ. Exp. Bot.*, 52: 33-42.
- REDDY, A.R., CHAITANYA, K.V., JUTUR, P.P. and SUMITHRA, K., 2004. Differential Antioxidative Responses to Water Stress Among Five Mulberry (*Morus alba* L.) Cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 52: 33-42.
- RIBEIRO, E.A., CUNHA, F.Q., TAMASHIRO, W.M.S.C. and MARTINS, I.S., 1999. Growth Phase-Dependent Subcellular Localization of Nitric Oxide Synthase in Maize Cells. *FEBS Letters*, 445: 283-286.
- ROBINSON, R.W. and DECKER-WALTERS, D.S., 1997. *Cucurbits*. CAB International.
- SAIRAM, R.K., RAO, K.V. and SRIVASTAVA, G.C., 2002. Differential Response of Wheat Genotypes to Long-Term Salinity Stress in Relation to Oxidative Stress, Antioxidant Activity and Osmolyte Concentration. *Plant Sci.*, 163: 1037-1046.
- SAIRAM, R.K., SRIVASTAVA, G.C., AGARWAL, S. and MEENA, R.C., 2005. Differences in Antioxidant Activity in Response to Salinity Stress in Tolerant and Susceptible Wheat Genotypes. *Biol. Plant.*, 49: 85-91.
- SALIN, M. L., 1987. Toxic Oxygen Species and Protective System of The Chloroplast. *Physiol Plant.*, 72: 681-689.
- SANKAR, B., ABDUL JALEEL, C., MANIVANNAN, P., KISHOREKUMAR, A., SOMASUNDARAM, R. and PANNEERSELVAN, R., 2008. Relative Efficacy of Water Use in Five Varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. under Water Limited Conditions. *Biointerfaces*, 62: 125-129.
- SCANDALIOS, J.G., 1993. Oxygen Stress and Superoxide Dismutase. *Plant Physiol.*, 101: 7-12.
- SGHERRY, C.L.M., PINZINO, C. and NAVARI-IZZO, F., 1996. Sunflower Seedlings Subjected to Increasing Water Stress by Water Deficit: Changes in O<sub>2</sub><sup>-</sup> Production Related to The Composition of Thylakoid Membranes. *Physiol. Plant.*, 96: 446-452.
- SHALATA, A. and TAL, M., 1998. The Effect of Salt Stress on Lipid Peroxidation and Antioxidants in The Leaf of the Cultivated Tomato and Its Wild Salt-Tolerant Relative *Lycopersicon pennellii*. *Physiol. Plant.*, 104: 169-174.

- SHI, S., WANG, G., WANG, Y., ZHANG, L. and ZHANG, L., 2005. Protective Effect of Nitric Oxide against Oxidative Stress under Ultraviolet-B Radiation. *Nitric Oxide*, 13: 1-9.
- SMIRNOFF, N., 1993. The Role of Active Oxygen in The Response of Plants to Water Deficit and Desiccation. *New Phytol.*, 125: 27-58.
- SPYCHALLA, J. P. and DESBOROUGH, S. L., 1990. Superoxide Dismutase, Catalase, and alpha-tocopherol Content of Stored Potato Tubers. *Plant Physiol.*, 94: 1214-1218.
- SREENIVASULU, N., GRIMM, B., WOBUS, U. and WESCHKE, W., 2000. Differential Response of Antioxidant Compounds to Salinity Stress in Salt-Tolerant and Salt-Sensitive Seedlings of Foxtail Millet (*Setaria italica*). *Physiol. Plant.*, 109: 435-442.
- SREENIVASULU, N., RAMANJULU, S., RAMACHANDRA-KIÑI, K., PRAKASH, H. S., SHEKAR-SHETTY, H., SAVITHRI, H. S. and SUDHAKAR, C., 1999. Total Peroxidase Activity and Peroxidase Isoforms as Modified by Salt Stress in Two Cultivars of Fox-Tail Millet with Differential Salt Tolerance. *Plant Sci.*, 141: 1-9.
- SRIVALLI, B., SHARMA, G. and KHANNA-CHOPRA, R., 2003. Antioxidative Defence System in Upland Rice Cultivar Subjected to Increasing Intensity of Water Stress Followed by Recovery. *Physiol Plant.*, 119: 503-512.
- STÖHR, C. and ULLRICH, W.R., 2002. Generation and Possible Roles of NO in Plant Roots and Their Apoplastic Space, *J. Exp. Bot.*, 53: 2293-2303.
- STREB, P. and FEIRABEND, J., 1996. Oxidative Stress Responses Accompanying Photoinactivation of Catalase in NaCl-Treated Rye Leaves. *Bot. Acta.*, 109: 125-132.
- STUHLFAUTH, T., SCHEUERMANN, R. and FOCK, H.P., 1990. Light Energy Dissipation under Water Stress Conditions. *Plant Physiol.*, 92: 1053-1061.
- TAKAHASHI, S. and YAMASAKI, H., 2002. Reversible Inhibition of Photophosphorylation in Chloroplasts by Nitric Oxide. *FEBS Letters*, 512: 145-148.
- TAMBUSSI, E.A., BARTOLI, C.G., BELTRANO, J., GUIAMET, J.J., and ARAUS, J.L., 2000. Oxidative Damage to Thylakoid Proteins in Water-Stressed Leaves of Wheat (*Triticum aestivum*). *Physiol Plant.*, 108: 398-404.
- TANAKA, K., OTSUBO, T. and KONDO, N., 1982. Participation of Hydrogen Peroxide in The Inactivation of Calvin Cycle SH-Enzymes in SO<sub>2</sub>-Fumigated Spinach Leaves. *Plant Cell Physiol.*, 23: 1009-1018.
- TÜRKAN, İ., BOR, M., ÖZDEMİR, F. and KOCA, H., 2005. Differential Responses of Lipid Peroxidation and Antioxidants in the Leaves of Drought-Tolerant *P. acutifolius* Gray and Drought-Sensitive *P. vulgaris* L. Subjected to Polyethylene Glycol Mediated Water Stress. *Plant Sci.*, 168: 223-231.
- VEICHT, N.C., 2004. Horseradish Peroxidase: a Modern Review of a Classic Enzyme. *Phytochemistry*, 65: 249-259.

- VRANOVA, E., INZE, D. and VAN BREUSEGEM F., 2002. Signal Transduction during Oxidative Stress. *Journal of Experimental Botany*, 53, 1227-1236
- WENDEHENNE, D., PUGIN, A., KLESSIG, D.F. and DURNER, J., 2001. Nitric Oxide: Comparative Synthesis and Signalling in Animal and Plant Cells. *Trends Plant Sci.*, 6: 177-183.
- WHITAKER, T.W. and DAVIS, G.N., 1962. Cucurbits: Botany, Cultivation and Utilization. Leonard Hill / Interscience Publishers; 1st British Edition. 250 pp.
- WILDT, J., KLEY, D., ROCKEL, A., ROCKEL, P. and SEGSCHEIDER, H.J., 1997. Emission of NO from Several Higher Plant Species. *Journal of Geophysical Research*, 102: 5919-5927.
- WOJTASZEK, P., 2000. Nitric oxide in plants. To NO or not to NO. *Phytochemistry*, 54: 1-4.
- YAMASAKI, H. and SAKIHAMA, Y., 2000. Simultaneous Production of Nitric Oxide and Peroxynitrite by Plant Nitrate Reductase: in vitro Evidence for the NRDependent Formation. *FEBS Letters*, 468: 89-92.
- YAMASAKI, H., SHIMOJI, H., OHSHIRO, Y. and SAKIHAMA, Y., 2001. Inhibitory Effects of Nitric Oxide on Oxidative Phosphorylation in Plant Mitochondria. *Nitric Oxide Biol. Chem.*, 5: 261-270.
- YAŞAR, F., ELLİALTIOĞLU, Ş., ÖZPAY, T. ve UZAL, Ö., 2008a. Tuz Stresinin Karpuzda (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) Antioksidatif Enzim (SOD, CAT, APX ve GR) Aktivitesi Üzerine Etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.), 18(1): 61-65.
- YAŞAR, F., ELLİALTIOĞLU, S. and YILDIZ, K., 2008b. Effect of Salt Stress on Antioxidant Defense Systems, Lipid Peroxidation and Chlorophyll Content in Green Bean (*Phaseolous vulgaris* L.). *Russian J. Plant Physiol.*, 55 (6): 1-5.
- YAŞAR, F., KUŞVURAN, Ş. and ELLİALTIOĞLU, Ş., 2006. Determination of Anti-Oxidant Activities in Soma Melon (*Cucumis melo* L.) Varieties and Cultivars under Salt Stress. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 81: 627-630.
- YONG, T., ZONGSUO, L., HONGBO, S. and FENG, D., 2006. Effects of Water Deficits on the Activity of Anti- Oxidative Enzymes and Osmoregulation Among Three Different Genotypes of *Radix astagalii* at Seeding Stage. *Biointerfaces*, 49: 60-65.
- ZHANG,YY., WANG, LL., LIU, YL., ZHANG, Q., WEI, QP. and ZHANG, WH., 2006. Nitric Oxide Enhances Salt Tolerance in Maize Seedlings Through Increasing Activities of Proton-Pump and Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> Antiport in the Tonoplast. *Planta*, 224: 545–555.
- ZHANG, J. and KIRKHAM, M. B., 1996. Lipid Peroxidation in Sorghum and Sunflower Seedlings as Affected by Ascorbic Acid, Benzoic Acid, and Propyl Gallate. *J. Plant Physiol.*, 149: 489-493.

ZHU, J., BIE, Z. and LI, Y., 2008. Physiological and Growth Responses of Two Different Salt-Sensitive Cucumber Cultivars to NaCl Stress. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54: 400–407.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Zuhale Zeynep Avşaroğlu  
**Uyruđu** : T.C.  
**Dođum Yeri ve Tarihi** : Nizip/04.10.1986  
**Telefon** :  
**Faks** :  
**e-mail** : avszuhale@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Hasan Çapan Anadolu Lisesi, Nizip, Gaziantep	2005
Üniversite	: Harran Üniversitesi, Biyoloji Anabilimdalı, Şanlıurfa	2011
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilimdalı, Şanlıurfa	2015

**UZMANLIK ALANI:** Bitki Fizyolojisi

**YABANCI DİLLER:** İngilizce

### YAYINLAR:

#### **Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler**

- M. Hamurcu, T. Demiral, E.E. Hakkı, **Z.Z. Avşaroğlu**, Ö. Türkmen, S. Gezgin, R.W. Bell, XVII. International Plant Nutrition Colloquium, Boron Satellite Meeting konferansı dahilinde "XVII. International Plant Nutrition Colloquium, Boron Satellite Meeting" bildiri kitapçığındaki "Boron application alleviates water stress effects induced by PEG in watermelon (Citrullus lanatus (Thunb.) Matsum. and Nakai.", 5-6 pp., İstanbul, Türkiye, 17-18 Ağustos 2013
- T. Demiral, M. Hamurcu, E.E. Hakkı, **Z.Z. Avşaroğlu**, S. Gezgin, H. Can, R.W. Bell, XVII. International Plant Nutrition Colloquium konferansı dahilinde

"XVII. International Plant Nutrition Colloquium" bildiri kitapçığındaki "Implications of nitric oxide on drought-induced oxidative stress in *Phaseolus vulgaris*", 5-6 pp., İstanbul, Türkiye, 19-22 Ağustos 2013

- E.E. Hakkı, M. Hamurcu, T. Demiral, **Z.Z. Avşaroğlu**, S. Gezgin, R.W. Bell, Boron 2013 Satellite Meeting konferansı dahilinde "Boron 2013 Satellite Meeting" bildiri kitapçığındaki "Effect of nitric oxide treatment on the growth and development of bean under boron toxic conditions.", 54-55 pp., İstanbul, Türkiye, 17-18 Ağustos 2013
- M. Hamurcu, T. Demiral, E.E. Hakkı, **Z.Z. Avşaroğlu**, H. Can, S. Gezgin., Vth FESTEEM Congress konferansı dahilinde "Vth FESTEEM Congress, Avignon" bildiri kitapçığındaki "Growth Responses of a Maize Genotype, Tolerance to Boron Deficiency but Sensitive to Boron Toxicity, Against Various B Dosages", 200 pp., Avignon, Fransa, Mayıs 2013
- T. Demiral, M. Hamurcu, E.E. Hakkı, **Z.Z. Avşaroğlu**, N. Dilsiz, S. Gezgin, Vth FESTEEM Congress konferansı dahilinde "Vth FESTEEM Congress, Avignon" bildiri kitapçığındaki "Boron Tolerance of Maize is Closely Related to Enhanced Antioxidant System", 199 pp., Avignon, Fransa, Mayıs 2013
- E.E. Hakkı, M. Hamurcu, T. Demiral, **Z.Z. Avşaroğlu**, A. Pandey, M.K. Khan, S. Gezgin, Vth. Festem Congress- Avignon May 2013 konferansı dahilinde "Vth. Festem Congress- Avignon May 2013" bildiri kitapçığındaki "Puccinellia distans: Is a Role Model For Boron Adaptation", 198 pp., Avignon, Fransa, Mayıs 2013
- M. Hamurcu, T. Demiral, E.E. Hakkı, C. Özdemir, A. Tamkoç, **Z.Z. Avşaroğlu**, S. Gezgin, International Workshop and Meeting of the German Society of Plant Nutrition 2012 University of Bonn konferansı dahilinde "International Workshop and Meeting of the German Society of Plant Nutrition 2012 University of Bonn" bildiri kitapçığındaki "Boric Acid Treatment Alters the Hormonal Status of Pea Lines", 194 pp., Bonn, Almanya, Eylül, 2012
- T. Demiral, M. Hamurcu, E.E. Hakkı, C. Özdemir, A. Tamkoç, N. Ersoy, **Z.Z. Avşaroğlu**, S. Gezgin, International Workshop and Meeting of the German Society of Plant Nutrition 2012 University of Bonn konferansı dahilinde "International Workshop and Meeting of the German Society of Plant Nutrition

2012 University of Bonn" bildiri kitapçığındaki "Determination of Oxidative Stress in Pea Lines as influenced by Various Concentrations of Boron", 173 pp., Bonn, Almanya, Eylül, 2012

**Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:**

- M. Hamurcu, E.E. Hakkı, **Z.Z. Avşaroğlu**, T. Demiral, N. Sarı, A. Özer, Ö. Türkmen, S. Gezgin, 6. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi konferansı dahilinde "6. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi" bildiri kitapçığındaki "Kuraklık Stresi Toleransına Farklı Tepkiler Veren Karpuz Genotiplerinin Oluşturduğu Fizyolojik Cevaplar", 369-372 pp., Nevşehir, Türkiye, 03-07 Haziran 2013
- T. Demiral, M. Hamurcu, E.E. Hakkı, **Z.Z. Avşaroğlu**, N. Sarı, A. Özer, Ö. Türkmen, S. Gezgin,, 6. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi konferansı dahilinde "6. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi" bildiri kitapçığındaki "Farklı Kuraklık Toleransına Sahip Karpuz Genotiplerinin Bor Stresi Şartlarında Fizyolojik Tepkileri", 466-469 pp., Nevşehir, Türkiye, 03-07 Haziran 2013
- E.E. Hakkı, M. Hamurcu, T. Demiral, **Z.Z. Avşaroğlu**, H. Can, S. Gezgin, 6. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi konferansı dahilinde "6. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi" bildiri kitapçığındaki "Fasulye Bitkisinin Gelişimi Üzerine Nitrik Oksit Uygulamalarının Etkisi", 470-472 pp., Nevşehir, Türkiye, 03-07 Haziran 2013