

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

**TUZA DAYANIKLI VE DUYARLI *Helianthus annuus* L. (AYÇİÇEĞİ)
BİTKİLERİNDE DIŞSAL NİTRİK OKSİT (NO) UYGULAMASININ
ANTIOKSİDAN SİSTEM ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

İLKNUR ÇELİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİMDALI**

**MALATYA
AĞUSTOS 2014**

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUZA DAYANIKLI VE DUYARLI *Helianthus annuus* L. (AYÇİÇEĞİ)
BİTKİLERİNDE DIŞSAL NİTRİK OKSİT (NO) UYGULAMASININ
ANTIOKSİDAN SİSTEM ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

İLKNUR ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİMDALI

MALATYA
AĞUSTOS 2014

Tezin Başlığı: Tuza Dayanıklı ve Duyarlı *Helianthus annuus* L. (Ayçiçeği) Bitkilerinde Dışsal Nitrik Oksit (NO) Uygulamasının Antioksidan Sistem Üzerine Etkilerinin Araştırılması

Tezi Hazırlayan: İlknur ÇELİK

Sınav Tarihi: 12.08.2014

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Biyoloji Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Füsun YÜREKLİ

İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Emel YİĞİT

İnönü Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Fatma MUTLU

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet ALPASLAN
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tuza Dayanıklı ve Duyarlı *Helianthus annuus* L. (Ayçiçeği) Bitkilerinde Dışsal Nitrik Oksit (NO) Uygulamasının Antioksidan Sistem Üzerine Etkilerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

İlknur ÇELİK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TUZA DAYANIKLI VE DUYARLI *Helianthus annuus* L. (AYÇİÇEĞİ)
BİTKİLERİNDE DIŞSAL NİTRİK OKSİT (NO) UYGULAMASININ
ANTIOKSİDAN SİSTEM ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

İLKNUR ÇELİK

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

96 + xiv Sayfa

2014

Danışman: Prof. Dr. Füsun YÜREKLİ

Bu çalışmada tuz stresine dayanıklı (*Helianthus annuus* L. A-6535) ve hassas (*Helianthus annuus* L. A-2517) ayçiçeği bitkilerinde dışsal uygulanan sodyum nitroprussidin (SNP), süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GPx), askorbat peroksidaz (APX) ve katalaz (CAT) antioksidan enzim aktiviteleri, nitrik oksit (NO) düzeyleri, oransal su içerikleri ve total protein miktarları üzerine etkileri araştırılmıştır.

Çalışmada ayçiçeği bitkilerine sodyum klorür (NaCl) uygulaması yapılarak tuz stresi oluşturulmuştur. Hoagland kültür çözeltilinde 25 gün yetiştirilen ayçiçeği bitkilerine NaCl uygulamaları (100, 200 ve 400 mM), SNP (100 µM) uygulaması, tuz uygulamasıyla eş zamanlı olarak SNP (NaCl+SNP) uygulamaları yapılmıştır. Kontrol grubu ise Hoagland kültür çözeltilinde büyütülmüştür. 2. ve 4. gün uygulamalardan yaprak örnekleri alınmıştır.

Çalışma sonunda, 100 µM SNP, değişik konsantrasyonlarda NaCl ve NaCl+SNP uygulanmış yaprak dokularında SOD, GPx, APX ve CAT antioksidan enzim aktivitelerinin, NO düzeylerinin, oransal su içeriklerinin ve toplam çözünebilir protein miktarlarının günlere ve uygulama gruplarına bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır.

Çalışmamızda SOD, GPx ve APX enzim aktivitelerinin A-2517 çeşidinde genel olarak arttığı, A-6535 çeşidinde ise azaldığı görülmektedir. Ancak CAT enzim

aktivitesinde A-6535 çeşidinde genel olarak artış belirlenirken, A-2517 çeşidinde azalma olduğu saptanmıştır. Her iki çeşitte de NO düzeylerinde artış belirlenmiştir. Oransal su içeriklerinin günlere ve uygulama gruplarına bağlı olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. A-2517 çeşidinde çözünebilir protein miktarlarında azalma olduğu görülürken, A-6535 çeşidinde uygulama gruplarına bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre her iki çeşidin de NO vericisi SNP uygulamasıyla tuz stresi altında reaktif oksijen türleri (ROT) oluşumu ile başa çıkabildikleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tuz stresi, *Helianthus annuus* L., antioksidan enzim, nitrik oksit, SNP

ABSTRACT

Master Thesis

THE INVESTIGATION OF EFFECTS OF NITRIC OXIDE APPLICATION ON THE ANTIOXIDANT SYSTEM OF SALT STRESS-RESISTANT AND SENSITIVE (*Helianthus annuus* L.) SUNFLOWER PLANTS

İLKNUR ÇELİK

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

96 + xiv Pages

2014

Advisor: Prof. Dr. Füsün YÜREKLİ

In this study, the effects of externally applied sodium nitroprusside (SNP) on superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx), ascorbate peroxidase (APX), and catalase (CAT) antioxidant enzyme activities, nitric oxide (NO) levels, relative water contents, and total protein quantities have investigated in salt stress-resistant (*Helianthus annuus* L. A-6535) and sensitive (*Helianthus annuus* L. A-2517) sunflower plants.

Salt stress was generated by treating sodium chloride (NaCl) application to sunflower plants in the study. NaCl applications (100, 200 and 400 mM), SNP (100 µM) application, SNP applications simultaneous with salt application (NaCl+SNP) were performed. Control group also was grown in Hoagland culture solution. Leaf samples were collected from 2. and 4. day applications.

At the end of the study, it was determined that SOD, GPx, APX and CAT antioxidant enzyme activities, NO levels, relative water contents, and amounts of total soluble protein showed differences according as days and application groups in leaf tissues treated 100 µM SNP, NaCl in different concentrations, and NaCl+SNP.

In our study, it was seen that SOD, GPx and APX enzyme activities was generally increased in A-2517 type, but decreased in A-6535 type. However, while generally increase in CAT enzyme activity was determined in A-6535 type, a reduction was established in A-2517 type. An increase was determined in both types

in NO levels. It was determined that relative water contents showed difference according as days and application groups. While a decrease was occurred in amount of soluble protein in A-2517 type, it was determined that it showed difference according as application groups in A-6535 type. It was established that both of types were also coped with formation of reactive oxygen species (ROS) by the NO transmitter SNP application with reference to this consequences.

Key Words: Salt stress, *Helianthus annuus* L., antioxidant enzyme, nitric oxide, SNP

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmanın hazırlanmasında her türlü destek ve yardımlarından dolayı değerli hocam Prof. Dr. Füsun YÜREKLİ' ye,

Çalışmalarım sırasında ihtiyaç duyduğum her konuda yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Muhittin YÜREKLİ' ye,

Tez çalışmamda laboratuvarlarını ve cihazlarını kullandığım sayın Yrd. Doç. Dr. M. Mert SÖZEN' e,

Tez çalışmamın yürütülmesinde gerek fikirleriyle gerekse laboratuvar çalışmalarına katkısıyla büyük desteğini gördüğüm arkadaşım Ayşe Asiye CULUM' e,

Bu süreçte bana her türlü imkanı sunan ve daima destek olan aileme gönülden TEŞEKKÜRLERİMİ SUNARIM...

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | iii |
| TEŞEKKÜR..... | v |
| İÇİNDEKİLER..... | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | x |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR..... | xiv |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Tuzluluk..... | 1 |
| 1.2. Tuz Stresinin Oluşturduğu Osmotik Stres ve İyon Toksisitesi..... | 3 |
| 1.3. Tuz Stresinin Antioksidan Sistem Üzerine Etkileri..... | 4 |
| 1.3.1. Reaktif Oksijen Türlerinin Oluşumu..... | 4 |
| 1.3.2. Tuz Stresiyle oluşan ROT' ların Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri..... | 5 |
| 1.3.3. Bitkilerin ROT' lara Karşı Ürettiği Antioksidanlar..... | 6 |
| 1.3.3.1. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzimi..... | 7 |
| 1.3.3.2. Glutatyon Peroksidaz (GPx) Enzimi..... | 8 |
| 1.3.3.3. Askorbat Peroksidaz (APX) Enzimi..... | 8 |
| 1.3.3.4. Katalaz (CAT) Enzimi..... | 9 |
| 1.4. Bitkilerde Nitrik Oksit (NO) Kavramı..... | 9 |
| 1.4.1. Nitrik Oksit ve Tuz Stresi Arasındaki İlişki..... | 12 |
| 1.4.2. Nitrik Oksitin Biyotik ve Abiyotik Stres Koşullarında Rolü..... | 12 |
| 1.4.3. Nitrik Oksit Metabolizması..... | 13 |
| 1.5. Ayçiçeği..... | 15 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ..... | 18 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 27 |
| 3.1. <i>Helianthus annus</i> L. Bitkilerinin Seçimi..... | 27 |
| 3.2. <i>Helianthus annus</i> L. Fidelerinin Yetiştirilmesi..... | 27 |
| 3.3. Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesinin Ölçülmesi..... | 28 |
| 3.4. Glutatyon Peroksidaz (GPx) Aktivitesinin Ölçülmesi..... | 29 |
| 3.5. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesinin Ölçülmesi..... | 29 |
| 3.6. Katalaz (CAT) Aktivitesinin Ölçülmesi..... | 29 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.7. | Nitrik Oksit (NO) Düzeyinin Belirlenmesi | 30 |
| 3.8. | Oransal Su İçeriğinin Belirlenmesi | 30 |
| 3.9. | Toplam Protein Miktarının Belirlenmesi | 30 |
| 3.10. | İstatistiksel Analizler..... | 31 |
| 4. | ARAŞTIRMA BULGULARI..... | 32 |
| 4.1. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 32 |
| 4.1.1. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 32 |
| 4.1.2. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 34 |
| 4.2. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Glutasyon Peroksidaz (GPx) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 36 |
| 4.2.1. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GPx) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 36 |
| 4.2.2. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GPx) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 39 |
| 4.3. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 41 |
| 4.3.1. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 41 |
| 4.3.2. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 43 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.4. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Katalaz (CAT) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 46 |
| 4.4.1. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 46 |
| 4.4.2. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Aktivitesi Üzerine Etkileri..... | 48 |
| 4.5. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri..... | 51 |
| 4.5.1. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri..... | 51 |
| 4.5.2. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri..... | 53 |
| 4.6. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri..... | 55 |
| 4.6.1. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri..... | 55 |
| 4.6.2. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri..... | 57 |
| 4.7. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 Bitkisi ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri..... | 59 |
| 4.7.1. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri..... | 59 |
| 4.7.2. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri..... | 61 |
| 5. | TARTIŞMA ve SONUÇ..... | 64 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.1. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD), Glutasyon Peroksidaz (GPx), Askorbat Peroksidaz (APX) ve Katalaz (CAT) Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri..... | 64 |
| 5.2. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri..... | 73 |
| 5.3. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri..... | 75 |
| 5.4. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 ve <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri..... | 77 |
| 6. | KAYNAKLAR..... | 81 |
| 7. | ÖZGEÇMİŞ..... | 96 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|-------------|--|
| Şekil 1.1. | Tuzluluk için iki aşamalı büyüme tepkisi..... 4 |
| Şekil 1.2. | SOD izoenzimlerinin hücrede lokalize olduğu bölgeler..... 7 |
| Şekil 1.3. | Nitrik oksit metabolizması..... 15 |
| Şekil 3.1. | Ayçiçeği çeşidi tohumlarının çimlendirme sonunda görünüşleri... 27 |
| Şekil 3.2. | A-2517 ve A-6535 fidelerinin 15. ve 25. gün görünüşleri..... 28 |
| Şekil 4.1. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde SOD aktivitesinde (U/ml) gözlenen değişimler..... 34 |
| Şekil 4.2. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde SOD aktivitesinde (U/ml) gözlenen değişimler..... 36 |
| Şekil 4.3. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde GPx aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler.... 38 |
| Şekil 4.4. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde GPx aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler... 40 |
| Şekil 4.5. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde APX aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler... 43 |
| Şekil 4.6. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde APX aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler... 45 |
| Şekil 4.7. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde CAT aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler.... 48 |
| Şekil 4.8. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde CAT aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler... 50 |
| Şekil 4.9. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde NO düzeyinde (μ M) gözlenen değişimler..... 52 |
| Şekil 4.10. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde NO düzeyinde (μ M) gözlenen değişimler..... 54 |
| Şekil 4.11. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde oransal su içeriğinde (OSİ) gözlenen değişimler..... 56 |
| Şekil 4.12. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde oransal su içeriğinde (OSİ) gözlenen değişimler..... 58 |
| Şekil 4.13. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2.ve 4. günlerde toplam çözünebilir protein miktarında gözlenen değişimler..... 61 |

Şekil 4.14. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde toplam çözünebilir protein miktarında gözlenen değişimler..... 63

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Çizelge 1.1. Bitkilerde NO' nun etkilediği fizyolojik ve biyokimyasal olaylar..... | 11 |
| Çizelge 1.2. Türkiye'nin yıllara göre ayçiçeği üretimi..... | 17 |
| Çizelge 4.1 <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2.ve 4. günlerde SOD aktivitesinde (U/ml) gözlenen değişimler..... | 33 |
| Çizelge 4.2. <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde SOD aktivitesinde (U/ml) gözlenen değişimler..... | 35 |
| Çizelge 4.3. <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde GPx aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler..... | 38 |
| Çizelge 4.4. <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde GPx aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler..... | 40 |
| Çizelge 4.5. <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde APX aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler..... | 42 |
| Çizelge 4.6. <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde APX aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler..... | 45 |
| Çizelge 4.7. <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde CAT aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler..... | 47 |
| Çizelge 4.8. <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde CAT aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler..... | 50 |
| Çizelge 4.9. <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde NO düzeyinde (μ M) gözlenen değişimler..... | 52 |
| Çizelge 4.10. <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde NO düzeyinde (μ M) gözlenen değişimler..... | 54 |
| Çizelge 4.11. <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde oransal su içeriğinde (OSİ) gözlenen değişimler..... | 56 |

| | | |
|----------------------|---|----|
| Çizelge 4.12. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde oransal su içeriğinde (OSİ) gözlenen değişimler..... | 58 |
| Çizelge 4.13 | <i>Helianthus annuus</i> L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde toplam çözünebilir protein miktarında gözlenen değişimler | 60 |
| Çizelge 4.14. | <i>Helianthus annuus</i> L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde toplam çözünebilir protein miktarında gözlenen değişimler..... | 62 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|-----------------------------------|--|
| APX | Askorbat peroksidaz |
| ASH | Askorbat |
| CAT | Katalaz |
| FAO | Birleşmiş Milletler Besin ve Tarım Organizasyonu |
| GPx | Glutasyon peroksidaz |
| GR | Glutasyon redüktaz |
| GSH | Glutasyon |
| GSSG | Glutasyon disülfid |
| H₂O | Su |
| H₂O₂ | Hidrojen peroksit |
| NaCl | Sodyum klorür |
| NO | Nitrik oksit |
| NOS | Nitrik oksit sentaz |
| NR | Nitrat redüktaz |
| OSİ | Oransal su içeriği |
| O₂ | Oksijen |
| O₂⁻ | Süperoksit radikali |
| ¹O₂ | Singlet oksijen |
| OH⁻ | Hidroksil iyonu |
| RNS | Reaktif nitrojen türleri |
| ROT | Reaktif oksijen türleri |
| S.H. | Standart hata |
| SNP | Sodyum nitroprussid |
| SOD | Süperoksit dismutaz |
| TUİK | Türkiye İstatistik Kurumu |
| XOR | Ksantin oksidoredüktaz |
| µM | Mikromolar |
| mM | Milimolar |

1. GİRİŞ

1.1. Tuzluluk

Tuzluluk; bitkilerde ozmotik stres, iyon toksisitesi mineral alımında dengesizlik gibi çeşitli sorunlara neden olarak büyüme olayının indirgenmesinden bitkinin ölümüne kadar varan sonuçlara yol açan çevresel bir stres etmenidir. Dünyada ekilen arazinin %20'si ile sulanan toprakların yarısının tuzluluktan etkilendiği saptanmıştır. Birleşmiş milletler besin ve tarım organizasyonunun tahminlerine göre dünyada 60-80 milyon hektarlık alan sel ve tuzluluktan çeşitli derecelerde etkilenmektedir (Eryılmaz, 2003). Aslında tuz toprağın gerekli bir bileşenidir ve tüm topraklar tuz içerir. Tuzlu topraklarla ilgili bilinen en eski yazılı kaynaklar M.Ö. 2400 yılına dayanmaktadır. Bu tuzlu toprakların Irak Dicle-Fırat alüvyal ovalarında olduğu bildirilmiştir (Russel vd., 1965). Tuzlu toprak oluşumunun en çok bilinen örneği çöl koşullarıdır. Ancak tuzlu topraklar nemli tropik bölgelerden kutup bölgelerine kadar hemen hemen tüm iklim bölgelerinde meydana gelmektedir. Aynı zamanda deniz seviyesinin altından yüksekliği Tibet Platosu ve Rocky Dağları gibi 5000 metre üzerindeki dağlara kadar farklı yükseltilerde de bulunabilmektedir (Singh ve Chatrath, 2001).

Topraktaki tuzların kaynağı mineral ayrışma, inorganik gübreleme, organik gübreleme gibi toprak yapısındaki değişiklikler ve sulama sularıdır. Nedeni rüzgar ve yağmurla taşınan okyanus tuzlarının birikimidir. Tabiattaki birçok toprakta tuzun önemli kaynağı, yol ve kaldırımlar üzerinde kullanılan buz eriticilerden kaynaklanmaktadır. Sulama suyu kalsiyum (Ca^{+2}), magnezyum (Mg^{+2}), ve sodyum (Na^{+}) içerir. Su buharlaştığında, Ca^{+2} ve Mg^{+2} ve genellikle de topraktaki baskın Na^{+} 'yı bırakarak karbonatları çöktürür (Serrano vd., 1999). Toprak çözeltisindeki Na^{+} 'nın yüksek konsantrasyonu besin-iyon faaliyetlerini bastırabilir ve Na^{+} / Ca^{+2} veya Na^{+} / K^{+} oranlarının aşırı birikimine neden olabilir (Grattana ve Grieveb, 1999). Toprakta katyonlar ve bunların tuzlarındaki artışlar, özellikle de NaCl, köklerdeki suyun akışını önleyebilen veya azaltabilen dış ozmotik potansiyeli üretir. Ortaya çıkan su noksanlığı kuraklıkla benzerdir ve buna ek olarak, Na^{+} iyonu varlığıyla karıştırılırlar (Bohnert, 2007). Tuzluluk sorunu olan topraklarda sodyumun Cl^{-1} ve SO_4^{-2} tuzları dominant olarak bulunmakta ve doğadaki tuzluluk stresi, genelde Na tuzları tarafından meydana gelmektedir (Shannon, 1984).

Topraklarda aşırı tuzluluk birçok bitki türünün büyümesinin engellenmesine neden olur ve böylece bitkisel üretimi sınırlar. Ancak, bazı orta veya yüksek

seviyedeki tuz konsantrasyonlarına dayanıklı bitkiler tuzlu ortamlarda yaşayabilir. Bu tür halofitler yüksek tuz konsantrasyonları varlığında iyon toksisitesini önleyebilir ve su alımını muhafaza edebilirler. Tuzluluğa karşı hücrel adaptasyonun iki mekanizması vardır. Bunlardan birincisi, glisin-betain veya prolin olarak ozmo-koruyuculardır (özellikle glikofitlerde olan), ikincisi ise, birikimi ve yüksek inorganik iyon yoğunluğuna izin veren iyon hareketlerinin kontrolüdür (özellikle halofitlerde olan). Genellikle her iki mekanizmanın da kurak veya yarı kurak topraklarda büyüyen bitkiler için çok önemli olduğu kabul edilir. Tuz stres yanıtları iyon taşınımındaki dengeyle ilişkilidir ve Na^+ / K^+ iyon oransızlığı birden fazla metabolik soruna neden olmaktadır. Bu nedenle, Na^+ ve K^+ iyonları arasındaki fark için, ayrıca bu iyonların absorbanası ve taşınımı için taşıyıcıların kapasitesi birçok bitkinin tuz toleransını etkileyen önemli bir faktördür. Genellikle taşıyıcıların dengesi halofitlerde Na^+ iyonunun sürgünlere taşınmasını sağlar. Bunun aksine, her zaman glikofitlerde böyle değildir (Benlloch-Gonza'lez vd., 2005). Dünyada tarım arazilerinin sınırlı olduğu ve besin ihtiyacının katlanarak arttığı dikkate alınırsa en azından mevcut arazilerin daha verimli kullanılması gerektiği ve bu yüzden tuzlu toprakların ıslahı ve ekonomik bir şekilde değerlendirilmesi son derece önemlidir (Woods, 1996).

Yüksek NaCl oranları toksik işlevlerinin yanı sıra toprağın su tutma kapasitesini de etkileyerek fizyolojik kuraklık denen olaya sebep olmaktadır (Munns, 1993; Volkmar vd., 1998; Çırak ve Esendal, 2006; Tuteja, 2007). Böyle durumlarda bitki toprakta yeterli oranda su bulunmasına rağmen köklerdeki ozmotik potansiyelin azalmasına bağlı olarak topraktan gerekli suyu alamamaktadır (Glenn ve Brown, 1998; Munns, 2002). Köklerdeki ozmotik düşüşle beraber stomalar kapanarak transpirasyon olayı yavaşlamaktadır. Bunların sonucunda bitkide turgor kaybı, klorozis ve solma gibi belirtiler ortaya çıkmaktadır (Downton vd., 1990; Divate ve Pandey, 1979; Gupta ve Huang, 2014).

Bitkilerdeki fizyolojik ve biyokimyasal olaylar tuz stresinden etkilenmektedir. Tuz stresi, hücre bölünmesini ve uzamasını etkileyerek, bitkilerde kök ve gövdede hücre sayısının, mitotik aktivitenin ve hücre bölünme oranının azalmasına neden olur (Bursens vd., 2000). Kök sistemi tuzluluğa doğrudan maruz kalmasına karşın, yaprak büyümesi tuz stresine karşı kök büyümesinden daha duyarlıdır ve bu yüzden tuz stresinde bitkilerde kök/sürgün oranı artar (Munns ve Tester, 2008). Ayrıca, tuzluluk üretken çiçek sayısında azalmalara ve çiçeklenme

zamanında değişimlere de neden olur (Munns, 2002). Fotosentetik dokularda tuzluluğun artışı, bitişik grana membranlarında yığılmaya, tilakoidlerin büzülmesine ve klorofillerin parçalanmasına sebep olmaktadır. Düşük tuzluluk klorofil içeriğini arttırırken yüksek tuzluluk klorofillerin moleküler yapısını bozmaktadır (Ashraf vd., 2004). Tuzun yol açtığı biyokimyasal değişimler genellikle aktif oksijen türlerinin oluşumu şeklinde kendini göstermektedir. Aerobik solunum sırasında elektron transport zincirinden kopan elektronlar O₂ ile tepkimeye girerek süperoksit (O₂⁻) ve hidroksil iyonu (OH⁻) gibi serbest radikaller ile hidrojen peroksit (H₂O₂) biçiminde ara ürünlerin oluşumuna neden olmaktadır (Ashraf, 2009).

Tuz stresi bitki dokularında reaktif oksijen türleriyle (ROT) ortaya çıkan oksidatif stresi oluşturur. Reaktif oksijen türleri hücre içerisinde kloroplastlarda, mitokondride, sitozolde, peroksizomlarda meydana gelir. Reaktif oksijen türleri bir ya da daha fazla sayıda eşlenmemiş elektrona sahiptirler ve bu elektronlarını eşlemek için kararlı halde bulunan bileşiklere saldırırlar (Poleskaya vd., 2006; Oueslati vd., 2010). Böylece, reaktif oksijen türleri, hücrede bulunan DNA, protein, lipit gibi makromoleküller ile etkileşerek hücrede hasara neden olurlar (Lamb ve Dixon, 1997; Mittler, 2002).

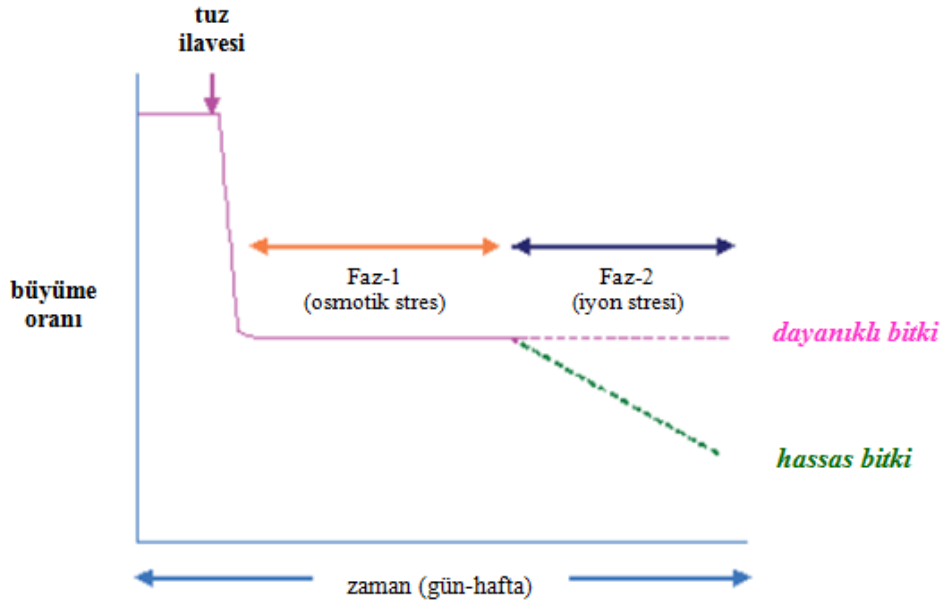
Bitkiler oksidatif stres altında yaşamlarını devam ettirebilmek ve stresle başa çıkabilmek için ROT'un detoksifikasyonunu sağlayan çeşitli antioksidanlara sahiptirler (Shalata ve Tal, 1998; Garratt vd., 2002). Antioksidanlar düşük konsantrasyonlar da oksidasyon yapabilen ve diğer bir substratın oksidasyonunu azaltan veya engelleyen yani oksidasyona karşı mücadele eden maddelerdir. Antioksidanlar, enzimatik olmayan ve enzimatik antioksidanlar olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Enzimatik olmayan antioksidanlar; askorbik asit, α-tokoferoller, karotenoidler, flavonoidler ve glutatyondur. Enzimatik antioksidanlar ise süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutasyon peroksidaz (GPX) ve katalaz (CAT) olarak bilinmektedir (Gomez vd., 2004; Mateo vd., 2004; Gupta vd., 2005).

1.2. Tuz Stresinin Oluşturduğu Ozmotik Stres ve İyon Toksisitesi

Tuz stresi bitkilerde genellikle iki şekilde ortaya çıkar;

1-Toprakta yüksek tuz konsantrasyonu, su elde etmek için köklerin kapasitesini bozar (ozmotik stres). 2-Bitkinin kendi içindeki yüksek tuz konsantrasyonu toksik olabilir (iyon toksisitesi).

Köklerin çevresinde artan tuz konsantrasyonu eşik seviyeye ulaştıktan hemen sonra ozmotik evre başlar. Böylece köklerden suyun taşınımı çok daha zorlaşır ve sürgünlerin büyüme hızı önemli ölçüde azalır. Ayrıca sürgünlere iyon akışını azaltan bu etkiye ilk yanıt, stoma kapanması olayıdır. Sürgün gelişimi muhtemelen tuza bağlı ozmotik strese, kök büyümesinden daha duyarlıdır. Çünkü kök büyümesi ile bağlantılı olarak yaprak alan gelişimindeki bir azalma bitkilerin su kullanımını azaltır. Böylece toprak nemi korunur ve topraktaki tuz konsantrasyon artışı engellenir (Hasegawa vd., 2000; Munns ve Tester, 2008).



Şekil 1.1. Tuzluluk için iki aşamalı büyüme tepkisi (Shanker ve Venkateswarlu, 2011).

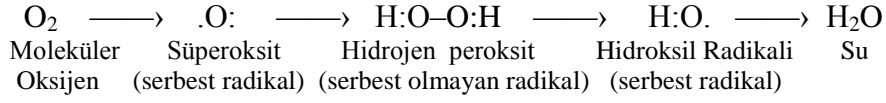
İyon evresi ise yaprak ayasında, özellikle Na^+ iyonunun birikimiyle başlar. Na^+ birikimi özellikle yaşlı yapraklarda toksik konsantrasyonlarda biriktiğinde bu yapraklar ölür. Ölen yaprakların oranı yeni üretilmiş yaprak oranından büyükse bitkilerin fotosentez kapasitesi genç yaprakların karbonhidrat ihtiyacını karşılayamaz ve bitki büyüme hızını düşürür (Munns ve Tester, 2008).

1.3. Tuz Stresinin Antioksidan Sistem Üzerine Etkileri

1.3.1. Reaktif Oksijen Türlerinin Oluşumu

ROT üretimi bütün aerobik organizmalar için vazgeçilmez bir süreçtir. Her aerobik hücrenin canlılığı optimum büyüme koşullarında ROT kullanımına ve ROT üretimi arasındaki dinamik dengeye dayanmaktadır. ROT seviyelerinde hızlı bir artış oksidatif yıkım olarak tanımlanır. Enzimatik ya da enzimatik olmayan yolla iki

süperoksit anyonunun parçalanması, bir reaktif oksijen türü olan H₂O₂ oluşumuna neden olur.



Hidrojen peroksit yağ asitlerinin β -oksidasyonundan ya da peroksizomal fotorespirasyon reaksiyonlarından da üretilir. Süperoksit radikalının hidrojen peroksit'e transformasyonu bitkiler için problem yaratır. Çünkü H₂O₂ Calvin döngüsü için güçlü bir inhibitördür. Ayrıca H₂O₂ ve O₂⁻, çok reaktif olan OH[·] radikalini oluşturmak için belirli metal iyonları ya da metal şelatlarının varlığında etkileşebilir (Ashraf ve Ali, 2008).

ROT yüksek konsantrasyonda DNA, proteinler, membran lipitleri gibi makromoleküller üzerinde hasara neden olurken, düşük konsantrasyonda da adaptif yanıtlar sinyal yolunu tetikleyebilmektedir (Wang vd., 2004; Dinakar vd., 2012).

ROT'un iki farklı işlevi olduğu öne sürülmüştür. Bir yandan, ROT bitki savunma mekanizmaları ve kök hücre gelişiminde hücrel bir sinyal faktörü iken öte yandan, ROT'un tuz stresi nedeniyle yaralanma mekanizmasında da yer aldığı gözlenmiştir (Katsuhara vd., 2005). ROT üretimi ve temizlenmesi arasındaki denge, yüksek ışık, kuraklık, düşük sıcaklık, yüksek ısı ve mekanik stres gibi olumsuz abiyotik stres faktörleri tarafından sağlanmaktadır. Bitki hücrelerinde ROT genellikle mitokondri kloroplast ve peroksizomlarda üretilmektedir (Dinakar vd., 2012).

1.3.2. Tuz Stresiyle Oluşan ROT' ların Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri

Aerobik oksidatif metabolizma, kimyasal bağlarda depolanmış enerjinin etkili kullanımına olanak sağlar. Ancak, elektron taşıma zincirinde son elektron yakalayıcısı olarak moleküler oksijenin kullanımı reaktif oksijen türlerinin oluşumundan dolayı oksidatif stres için bir tehdittir (Ali ve Alqarainy, 2006). ROT' lar çeşitli hücrel bileşiklerle gelişigüzel etkileşebilirler. Bu etkileşimle, örneğin peroksidatif reaksiyonlara neden olabilir, hatta protein, lipid ve nükleik asit gibi yaşamsal moleküllere zarar verebilirler. Bu nedenle hücre içindeki seviyeleri optimumu aşmamalıdır (Scandalios, 1993; Halliwell ve Gutteridge, 1999; Mittler, 2002).

Süperoksit doğrudan proteinlerle ve lipitlerle reaksiyona giremezken protonlanmış formu (perhidroksil radikali) lipid peroksidasyonuna neden olur (Asada ve Takahashi, 1987; Agami, 2014). Süperoksitin, peroksidazları (Asada ve

Takahashi, 1987) ve ribonükleotit redüktazı (Foyer ve Harbison, 1994) engellediği bildirilmektedir. Süperoksit radikalleri polifenollerin, tokoferollerin, askorbatın ve tiollerin oksidasyonuna neden olur. Bunlara ek olarak katalaz, peroksidaz ve dihidroksiasit dehidrataz gibi enzimlerin aktifleşmesini de engeller. Buna karşın süperoksit radikali, hidrojen peroksit ve hidroksil radikallerinin üretimiyle dolaylı yoldan da toksisiteye neden olur (Dinakar vd., 2012).

Reaktif oksijen türleri arasında en yıkıcı olan H_2O_2 'in kloroplastlardaki konsantrasyonu $10 \mu M$ 'a çıktığında fotosentezde yaklaşık %50 azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (Vaidyanathan vd., 2003). Kloroplastlardaki H_2O_2 , fruktoz 1,6 bifosfat ve özellikle tioldisülfid değişim reaksiyonlarına katılan enzimler gibi Calvin döngüsünün diğer önemli enzimlerini oksitleyerek fotosentezde karbon asimilasyonunu engeller. Katalitik Fe iyonlarının varlığında hidroksil iyonlarının kaynağı olarak H_2O_2 ' in çok zararlı hale geldiği bildirilmiştir (Ashraf, 2009). Bu durum aynı zamanda işlevsel bakır bölgesinin etkisizleşmesiyle Cu/Zn-SOD'da etkisizleştirilebildiği, ancak Mn-SOD' u etkilemediği bildirilmektedir (Wang vd., 2004).

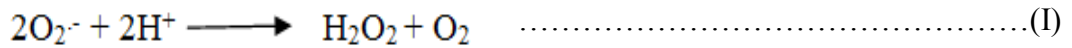
Hidroksil radikalleri doğrudan kloroplastlarda üretilmez. Ancak süperoksit ve hidrojen peroksit, hidroksil radikali ve lipid peroksitler gibi diğer yıkıcı türlerin oluşumuna neden olan bir seri reaksiyona katılabilir (Noctor ve Foyer, 1998). Kloroplastlarda ve diğer biyolojik sistemlerde hidroksil radikalının özel bir süpürücü enzimi bulunmadığından oldukça reaktiftir. Reaktif olması nedeniyle hidroksil radikalleri, lipid peroksidasyonuna, DNA mutasyonuna ve aminoasitlerin okside edilmesiyle proteinlerin denatürasyonuna neden olmaktadır (Vaidyanathan vd., 2003).

1.3.3. Bitkilerin ROT'lara Karşı Ürettiği Antioksidanlar

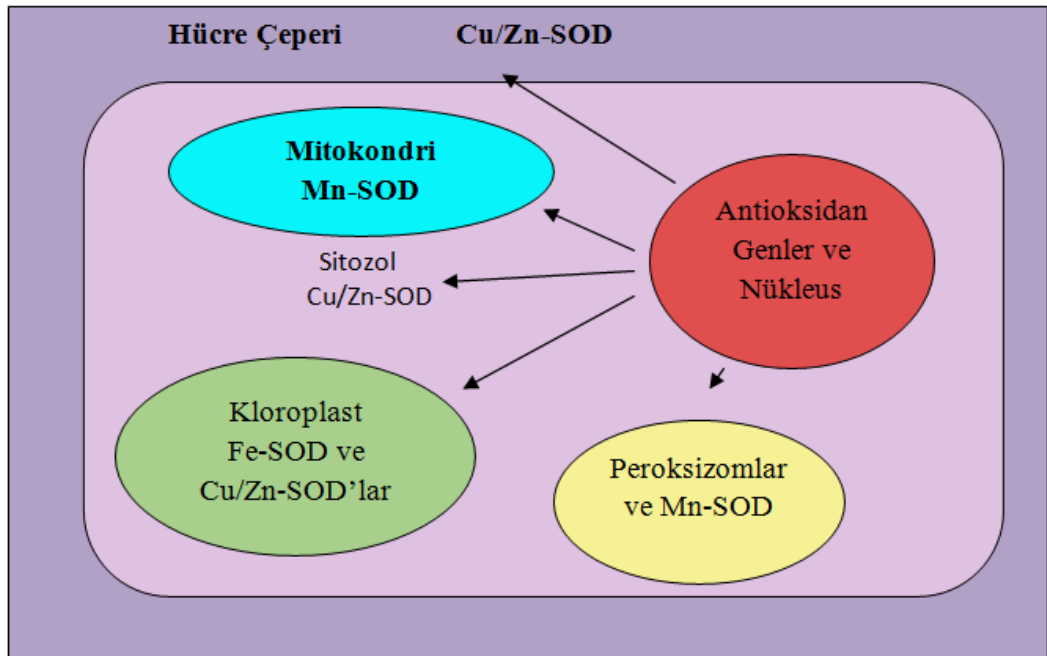
Reaktif oksijen türleri (ROT) seviyesini kontrol etmek için, bitkiler, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPx), askorbat peroksidaz (APX), dihidroaskorbat redüktaz (DHAR), glutatyon redüktaz (GR) enzimleri ve askorbat ve glutatyon gibi enzimatik olmayan bileşenlerle birlikte antioksidan savunma sistemi geliştirmişlerdir. Buna göre, dışsal madde uygulaması ile bu antioksidan bileşenlerin düzenlenmesi tuz stresinde bitkide toleransın oluşmasına aracılık edebilir (Jung vd., 2000; Dinakar vd., 2012; Boogar vd., 2014).

1.3.3.1. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzimi

Süperoksit dismutazlar (SOD) bitkilerin antioksidan savunma sisteminde anahtar enzimlerdir. Bitkiler genellikle süperoksit dismutaz (SOD) yardımıyla süperoksidi ortadan kaldırırlar. Tüm aerobik organizmalarda ve oksidatif strese duyarlı tüm hücre içi bölümlerde mevcuttur. O₂'in temizlenmesi süperoksidin H₂O₂'ye dismutasyonunu katalizleyen SOD'lar yoluyla meydana getirilir (Blokina vd., 2010).



SOD'lar olağanüstü katalitik etkinlikte çalışan metalloproteinlerdir (Büyük vd., 2012). SOD'ların aktif merkezlerinde yer alan metal iyonlarına göre üç izoenzimi vardır: Mitokondride Mn - SOD, kloroplast ve sitoplazmada Cu/Zn - SOD ve plastidlerde Fe - SOD. SOD'ların, tuz stresine karşı bitkileri korudukları üç sebebe bağlanmıştır; 1. SOD aktivitesi ve tuz toleransı genellikle ilişkilidir, 2. SOD aktivitesi genellikle tuz stresli bitkilerde artar. 3. Tuz stresine artan tolerans, genetiği değiştirilmiş bitkilerin aşırı miktarda çeşitli SOD genlerinin aşırı ekspresyonu (Wang vd., 2004; Kukreja vd., 2005).

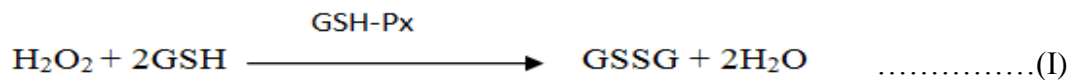


Şekil 1.2. SOD izoenzimlerinin hücrede lokalize olduğu bölgeler (Alscher, 2002)

1.3.3.2. Glutatyon Peroksidaz (GPx) Enzimi

GPx'ler H_2O_2 , organik ve lipid hidroperoksitleri azaltmak için glutatyon (GSH) kullanan çeşitli izozimlerinin büyük bir ailesidir. Bu nedenle oksidatif stresten bitki hücrelerini korurlar. GPx ağırlıklı olarak kloroplastlarda bulunur, ancak bu enzimin küçük bir miktarı da mitokondri ve sitozolde bulunmuştur (Ashraf ve Ali, 2008; Ashraf, 2009; Gill ve Tuteja, 2010; Dinakar vd., 2012).

Bitkilerde oksidatif stresin etkisinin kaldırılmasında askorbat-glutatyon (ASH-GSH) döngüsünün enzimleri de çok önemlidir. Glutatyon redüktaz, askorbat glutatyon sisteminin diğer önemli bir enzimidir. GR hem prokaryot hem de ökaryotlarda bulunan bir flavo-protein oksidoredüktazdır (Romero-Puertas vd., 2007). ASH-GSH döngüsünün potansiyel bir enzimidir ve glutatyonu düzenleyerek ROT'a karşı savunma sisteminde önemli bir rol oynar. Ağırlıklı olarak kloroplastlarda yer alır. Fakat bu enzimin bir miktarı da mitokondri ve sitoplazmada bulunur (Mittova vd., 2000; Rio vd., 2002). GR, metabolik düzenleyici bir molekül olan ve glutatyon disülfid (GSSG)'in bir disülfid bağının NADPH bağımlı GR'nin katalizlediği reaksiyonların bulunduğu bitkilerde antioksidan süreçlerde GSH'nin redüksiyonunu katalizler ve bu GSH düzeyinin korunması için önemlidir (Reddy vd., 2006; Chalapathi Rao vd., 2008). Aslında GSSG, GR tarafından GSH geri dönüştürülebilir bir disülfid köprüsü ile bağlantılı iki GSH oluşur. GR, oksidatif strese karşı savunmaya katılır. Oysa GSH sülfhidril (-SH) grubun ve GST için bir substrat koruyucusu olan ASH-GSH döngüsünde katılımı içeren hücre sistemi içinde önemli bir rol oynamaktadır (Reddy vd., 2006).



1.3.3.3. Askorbat Peroksidaz (APX) Enzimi

APX'in yüksek bitkiler, yosun, öglena ve diğer organizmalarda ROT' ları temizlemede ve hücreleri korumada çok önemli rolü olduğu ifade edilmektedir. APX, su-su ve askorbat-glutatyon (ASH-GSH) döngülerine H_2O_2 süpürücü olarak katıldığı ve bu döngülerde elektron vericisi olarak askorbat (ASH)'ı kullandığı

belirtilmektedir (Dinakar vd., 2012). APX organellerdeki yerleşimlerine göre dört farklı formda bulunmaktadır: Bunlar kloroplast stromasındaki çözünebilir form (Sapx), sitozolik form (Capx), tilakoyite bağlı form (Tapx) ve glioksizom membran formu (gmAPX). APX'in H₂O₂ (mM aralığında) için, CAT ve peroksidaz (POD) (mM aralığında)'dan daha yüksek bir benzerliğe sahip olduğu belirlenmiş ve böylece APX'in stres sırasında ROT ile başa çıkmada çok daha önemli bir role sahip olabileceği bildirilmiştir (Gill ve Tuteja, 2010).

1.3.3.4. Katalaz (CAT) Enzimi

CAT, H₂O₂'nin yıkımından sorumlu diğer bir anahtar enzimdir (Apel ve Hirt, 2004). *Arabidopsis*'te CAT en az altı izoenzim formu için ortak bireysel alt birim kodlayan üç genden oluşan birçok gen ailesi tarafından kodlanmaktadır (Frugoli vd., 1996). Kararlı haldeki katalazın mRNA'sı, protein sentezi ve aktivitesi birkaç bitki türünde araştırılmış ve ayrıca peroksizomal katalazın ışığa duyarlı olduğu ileri sürülmüştür (Feierabend vd., 1992; Hertwig vd., 1992; Yang vd., 2008). CAT'ın katılımıyla H₂O₂ miktarının kontrol edildiği *Arabidopsis*'te bir genetik sistemin tespit edildiği bildirilmiştir (Mateo vd., 2004).

CAT tüm enzimlerden en yüksek işlev yapma oranlarından birine sahiptir. CAT'ın bir molekülü dakikada yaklaşık 6 milyon H₂O₂ molekülünü H₂O ve O₂'e dönüştürebilir (Polidoros vd., 1999). CAT yağ asitleri, fotorespirasyon ve pürin katabolizmasının β-oksidasyonda yer alan oksidazlar tarafından peroksizomlarda üretilen H₂O₂'in çıkarılmasında önemlidir. CAT izoenzimi yüksek bitkilerde yaygın olarak incelenmiştir (Azpilicueta vd., 2007).



1.4. Bitkilerde Nitrik Oksit (NO) Kavramı

Bitkilerden nitrik oksit salınması herbisit ile muamele edilmiş soya fasulyesi bitkisinde, hayvanlarda olduğundan çok daha önce, 1975 yılında Klepper tarafından ifade edilmiştir (Klepper, 1979). NO'nun işlevleri hakkında tahminlerde bulunulduktan sonra bitkilerde NO'nun sinyal molekülü gibi işlev yaptığı Leshem (1996), Delledonne vd. (1998) ve Durner vd. (1998) tarafından bildirilmiştir. NO araştırmaları bitki büyüme ve gelişmesindeki işlevi ve bitkilerde farklı hücre içi

süreçlerde önemli bir sinyal molekülü olması nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmüştür (Rio vd., 2004; Gill vd., 2013).

Nitrik oksit, biyolojik sistemlerde 3-5 saniye kadar, nispeten uzun (diğer serbest radikaller ile karşılaştırıldığında) bir yarı-ömre sahip serbest radikal olan gaz yapısında bir moleküldür. Hidrofobik bir özellik sergileyen, yayılma gücü yüksek, en az iki atomlu moleküllerden biridir. Böylece, yalnızca sitoplazma gibi hücrenin hidrofilik bölgesinde değil, aynı zamanda membranların lipid fazı boyunca da serbestçe yayılabilir.

Bitkilerde NO üretiminin ölçümü hala tartışmalıdır. NO üretiminin kinetiği, fizyolojik, sitolojik, genetik olaylarla ve diğer sinyallerin varlığında saptanabilir. Transkriptomik deneylerde proteomiğe dayalı çalışmalarda azotlanmış ya da nitratlanmış proteinlerde olduğu gibi NO veya NO donörleri kullanılabilir (Huang vd., 2002; Valderrama vd., 2007; Romero-Puertas vd., 2007). Problemler çoğunlukla NO'nun kendi fiziksel özelliklerinden dolayı ortaya çıkar. NO'nun biyolojik etkileri konsantrasyonuna bağlıdır ve NO'nun hareketini belirlemek için geniş bir aralıkta (pM-mM) ölçülmesinin gerekli olduğu ifade edilmiştir (Wink ve Mitchell, 1998; Beligni, 1999).

Nitrik oksit, bitkilerde biyotik ve abiyotik streslere karşı savunmada çeşitli fizyolojik mekanizmalara aracılık eder. NO'nun hormonlar gibi primer haberci moleküllerin biyolojik etkilerine aracılık ettiği bilinmektedir. Ayrıca, NO absisik asit (ABA) ile teşvik edilmiş stoma kapanmasında görev almaktadır. Aynı şekilde, oksin'in salatalık köklerinde NO sentezine neden olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, bitki dokularının olgunlaşma ve yaşlanmasında NO ve etilen gazlarının antagonistik ilişkisi bitki gelişiminin bu safhasını etkilediği açıklanmıştır (Rio vd., 2004; Wimalasekera vd., 2011).

Çizelge 1.1. Bitkilerde NO'nun etkilediği fizyolojik ve biyokimyasal olaylar.

| |
|--|
| <p>BÜYÜME VE GELİŞME</p> <ul style="list-style-type: none">• Çimlenme• Kök Gelişimi• Stoma Hareketi• Senesens ve Programlanmış Hücre Ölümü• Hücre Duvarı Lignifikasyonu• Deetilasyon• Hipokotil Uzaması |
| <p>HÜCRESEL BÖLÜMLERDEKİ METABOLİZMASI</p> <ul style="list-style-type: none">• Kloroplast: Klorofil Biyosentezi, Fotofosforilizasyon• Mitokondri: Sitokrom c oksidaz, alternatif oksidaz• Peroksizom: Katalaz düzenlenmesi |
| <p>HORMONLAR İLE İLİŞKİSİ</p> <ul style="list-style-type: none">• Etilen• Absisik Asit• Sitokinin |
| <p>BİYOTİK STRES</p> <ul style="list-style-type: none">• Aşırı Duyarlılık Yanıtları• Sistemik Kazanılmış Direnç |
| <p>ABIYOTİK STRES</p> <ul style="list-style-type: none">• Tuzluluk• Yüksek Sıcaklık• Kuraklık• Ultraviyole |

1.4.1. Nitrik Oksit (NO) ve Tuz Stresi Arasındaki İlişki

NO bitkilerde tuz stresine karşı savunmada önemli bir sinyal molekülü olarak bilinmektedir. NO donörlerinin çeşitli bitki türlerinde uygulanmasıyla yapılan çalışmalarda tuz stresine tolerans geliştirildiği bildirilmiştir. *Arabidopsis* Atnoa1 bitkisiyle yapılan bir çalışmada çimlenme sırasında NaCl hassasiyetinde gelişen NO sentezinin gözlenmesiyle tuzluluk toleransında NO'nun rolü olduğunu desteklemiştir. *Populus euphratica*'nın kallusuyla yapılan bir çalışmada tuz toleransında NOS benzeri bir aktivitenin gözlemlendiği bildirilmiştir. Valderrama vd. (2007) zeytin yapraklarında tuz stresi sırasında reaktif nitrojen türleri (RNS), yani NO, GSNO ve RSNO üretiminin tetiklendiğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla bu çalışmada, nitrozatif stresin bir göstergesi olan tirozin-nitratlı proteinlerdeki artış desteklenmiştir (Arasimowicz ve Floryszak-Wieczorek, 2007). Tuz toleransında H₂O₂ ve NO'nun fonksiyonları turuncgillerde tespit edilmiştir. Tuz-stresine maruz kalan pirinç fidelerine NO vericisi olan SNP uygulanmış ve birçok strese duyarlı genin ifadesini takiben ROT'u yok eden enzim aktivitelerinin olduğu tespit edilmiştir.

NO tuza bağlı diğer savunma yanıtlarının kurulmasında sinyal molekülleriyle etkileşime girer. S-nitrozilasyon gibi protein sentezlenmesindeki değişiklikler de tuz stresi sırasında NO sinyalinin oluşmasına katkıda bulunabilir (Wimalasekera vd., 2011).

Yapılan bir çalışmada, tuzluluk stresi uygulanan pirinç fidelerinde NO vericisi uygulaması ile oluşan zararın azalmasına neden olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada NO uygulandıktan sonra, PS-II faaliyet onarımı, antioksidan enzim aktivitesi artışı ve belirli tuz stresi direnç genlerinin ifadesiyle birlikte bitki büyümesi gözlemlendiği rapor edilmiştir (Uhida vd., 2002; Valderrama vd., 2007).

1.4.2. Nitrik Oksit (NO)'in Biyotik ve Abiyotik Stres Koşullarında Rolü

Kuraklık, yüksek veya düşük sıcaklık, tuzluluk, ağır metaller ve oksidatif stres gibi stres faktörlerine karşı bitki tepkisinin NO tarafından düzenlendiği yapılan araştırmalarla kanıtlanmıştır (Song vd., 2008; Gill vd., 2013). Durner vd. (1998) bitki aşırı duyarlılık cevaplarının (ADC; Hypersensitive Response=HR) tetiklenme sürecinde, NO'nun anahtar sinyal rolü olduğuna dair kanıtlar elde etmişlerdir. Aşırı duyarlılık cevabına neden olan tütün mozaik virüsü (TMV) ile enfekte olmuş tütün bitkisinde NOS aktivitesi uyarılmış ve bu aktivite NOS inhibitörleri tarafından inhibe edilmiştir. Ayrıca, NO savunma ile ilgili PR-1 geninin ifadesi ve salisilik asit (SA)

biyosentezini teşvik ettiği bildirilmiştir (Draper, 1997). Patojen enfeksiyonu sırasında aşırı duyarlılık cevabı ile ilgili maddelerden biri olan fitoaleksinlerin birikimi NO vericisi ile muamele edilmiş patates tuberlerinde artış göstermektedir (Noritake vd., 1996). NO ile aşırı duyarlılık hücre ölümü, programlanmış hücre ölümünün tipik bir örneğidir. Yapılan deneylerde bitki dokusunun NO vericisi uygulamasıyla kromatin yoğunlaşması ve DNA parçalanması başlattığı görülmüştür. Soya ve tütün süspansiyon hücrelerinde, NO ve H₂O₂ da eşzamanlı bir artışın hücre ölümünü aktif hale getirdiği görülmüştür.

Kuraklık, tuzluluk, düşük ve yüksek sıcaklık gibi çeşitli abiyotik stres koşulları altında da NO'nun etkileri araştırılmıştır. Bu tip stres koşulları altında aktif oksijen türleri açığa çıkmakta ve hücrelerde birçok oksidatif yıkım olayı başlamaktadır. Stres koşulları altında sinyal iletim yolunda görev alan NO aktif oksijen türleri ile karşılıklı etkileşim halindedir. Son yıllarda NO'nun buğday fidelerinde kuraklıktan kaynaklanan oksidatif strese karşı koruyucu olduğu gösterilmiştir (Garcia ve Lamattina, 2001).

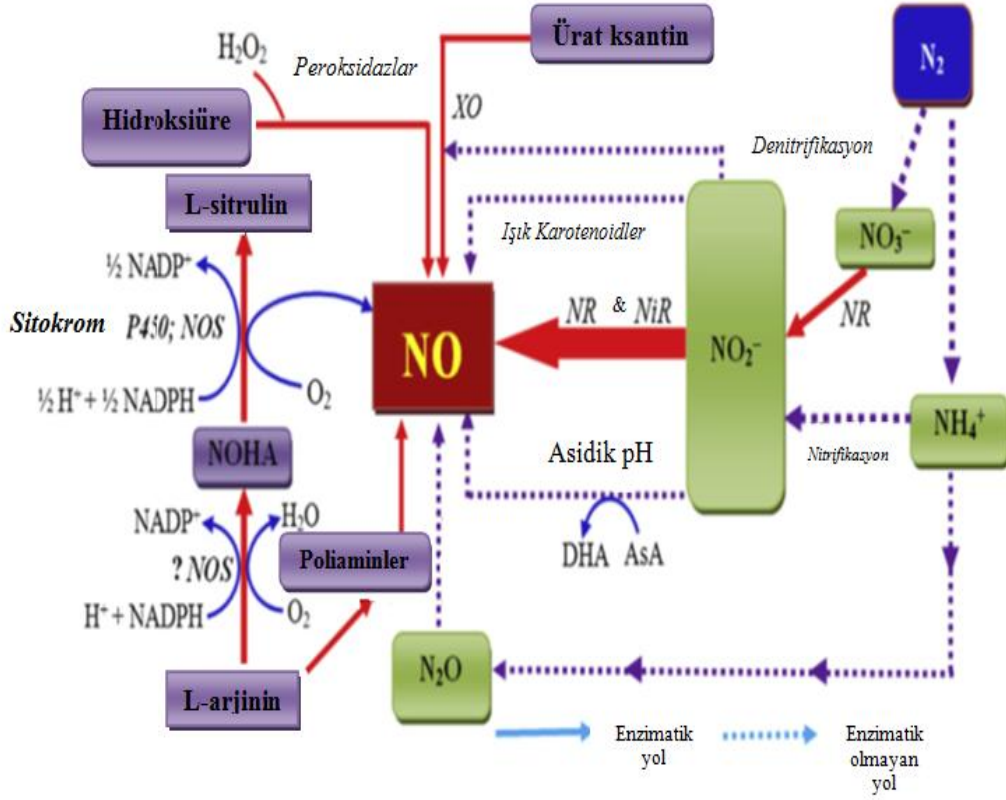
1.4.3. Nitrik Oksit (NO) Metabolizması

Nitrik oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) gazları genellikle azot oksitler (NO_x) adı altında bilinmektedir. Bu gazlar, hava kirliliğine ve ozon tabakasının incelmeye neden olurlar. Ayrıca insan sağlığı üzerine de zararlı etkileri vardır. Ancak, NO'nun endotel-kaynaklı gevşetici faktör (EDRF) olduğu Moncada ve Ignarro (1987) tarafından yapılan ayrı çalışmalarda tespit edilmesiyle dikkatleri üzerine çekmiştir. Sonraki çalışmalarda NO gazının, nitrik oksit sentaz (NOS) olarak adlandırılan bir enzim ailesi tarafından L-arginin amino asidi ile memeli hücrelerinde üretildiği kanıtlanmıştır. Dolayısıyla, hayvanlarda NO, kalp-damar, bağışıklık ve sinir sistemi işlevlerinin geniş yelpazesinde yer alan bir gazdır. Yüksek bitkilerde ise, hücre içi farklı süreçlerde önemli bir sinyal molekülü olmanın yanı sıra tohum çimlenmesi, primer ve yan kök büyümesi, çiçeklenme, polen tüpü büyümesinin düzenlenmesi, meyve olgunlaşması, yaşlanma, savunma yanıtı ve abiyotik stresinde yer aldığı bitki büyüme ve gelişiminde önemli bir role sahiptir (Corpas vd., 2011). Bitki organizmasında nitrik oksitlerle (NO₂, N₂O₃, NO₂, NO₃) ilgili ilk çalışmalar park ve fabrika alanlarındaki bitkilerde, seçili ormanlardaki bitki türlerinde, bitkilerin fotosentetik aygıtında ve klorofil kısımlarındaki toksik etkilerinde gözlemlenmiştir (Arasimowicz ve Floryszak-Wieczorek, 2007). Araştırmacılar eksojen olarak uygulanan NO'nun tuz toleransını uyararak dormansinin kırılmasına veya

çimlenmenin artırmasına yol açtığı, fotosentez ve karbonhidrat metabolizmasını hızlandırdığı bildirilmişlerdir. Endojen olarak sentezlenen ya da dışsal bir kaynaktan hücre içine alınan NO protein ve protein olmayan tioller ve süperoksit anyonu (O_2^-)'nun dahil olduğu geniş bir reaksiyon basamağından geçmektedir (Liu vd., 2014).

Bitkilerde NO enzimatik ve enzimatik olmayan iki farklı metabolik yol ile sentezlenmektedir. NO sentezi bitki türüne, dokusuna ve bitkinin içinde bulunduğu yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bitkiler NO üretiminde pek çok enzime sahiptir: Sitozolik nitrat redüktaz, plazma zarı (PM)-nitrit, NO redüktaz (Ni: NOR), nitrik oksit sentaz (NOS) ve ksantin dehidrogenaz (XDH). Enzimatik yollardan birinde, L-argininin NO ve L-sitruline dönüşümü nitrik oksit sentaz (NOS) enzimi tarafından katalizlenmektedir (Gill vd., 2013). NOS'un bezelye yapraklarında kloroplast ve peroksizomların matriksinde bulunduğu gösterilmiştir (Barroso vd., 1999). NOS daha sonra da ELISA metodu kullanılarak zeytin yaprağı ve ayçiçeği hipokotillerinin peroksizomlarında bulunmuştur (Corpas vd., 2004). Bitkilerde, memelilerdeki NOS'a benzer ne bir gen ya da cDNA ne de herhangi bir protein henüz tam anlamı ile tanımlanmamasına karşın tütün ve Arabidopsis bitkilerinde mitokondriyal dekarboksilaz glisin kompleksi (GDC)'nin P proteininin bir çeşidinin bitki NOS'u olduğu bulunmuştur (Chandok vd., 2003).

Diğer enzimatik yolda ise NO üretiminin başlıca kaynağı NADP(H)' a bağımlı nitrat redüktaz (NR) enzimidir (Şekil 1.3). Kofaktör olarak molibden (Mo^{++}) içeren bu enzim elektron vericisi NADP(H)'ı kullanarak NO_2^- 'den NO üretimini katalizlemektedir (Dean ve Harper, 1988; Yamasaki vd., 1999; Yamasaki ve Sakihama, 2000; Rockel vd., 2002; Lamattina vd., 2003). *Phytophthora infestans* mantarı ile enfekte olmuş patates tuberlerinde NR aktivitesinin teşvik edildiği gösterilmiştir (Yamamoto vd., 2003). Bitkilerde NO üretiminin diğer enzimatik kaynakları ksantin oksidoredüktaz (XOR), XOR'ın bezelye yaprak peroksizomlarında bulunduğu ve bitkilerde haberci molekül olarak NO üretiminde anahtar rol oynadığı gösterilmiştir (Corpas vd., 2002). Bitki hücrelerinde önemli fizyolojik süreçlerde yaygın bir şekilde görev alan peroksidaz enziminin hem N-hidroksiarginin ve H_2O_2 'den hem de hidroksiüre ve H_2O_2 ' den NO ürettiği rapor edilmiştir (Boucher vd., 1992; Huang vd., 2002; Veicht, 2004).



Şekil 1.3. Nitrik oksit metabolizması (Gill vd., 2013)

Enzimatik olmayan yolda, NO_2^- , NO ve dihidroaskorbik asiti üretmek üzere pH 3-6 da askorbik asitle kimyasal olarak indirgenir. Bu reaksiyonun apoplastik alanlarda ve kloroplastlarda meydana geldiği ve arpa alevron hücrelerinde NO'nin bu şekilde sentezlendiği gösterilmiştir (Henry vd., 1997; Horemans vd., 2000; Beligni vd., 2002; Stöhr ve Ullrich, 2002). Enzimatik olmayan yolda asidik pH da askorbat tarafından nitritin indirgenmesiyle NO sentezlenir (Weitzberg ve Lundberg, 1998). Diğer bir enzimatik olmayan yol ise ışığa bağımlı olarak NO_2^- 'nin NO'e dönüşümünün karotenoidler aracılığı ile katalizlenmesidir (Cooney vd., 1994).

1.5. Ayçiçeği

- Âlem** : Plantae
Bölüm : Magnoliophyta (Kapalı tohumlular)
Sınıf : Magnoliopsida (İki çenekliler)
Takım : Asterales (Campanulatae)
Familya : Asteraceae (Compositae)
Cins : *Helianthus*
Tür : *H. annuus*

Yağ üretimi için en önemli endüstri bitkilerinden biri olan ayçiçeği, Campanulatae takımının Compositae familyasının *Helianthus* cinsinden (*Helianthus annuus* L.) olup, anavatanı Peru ve Meksika olarak bilinmektedir. Ayçiçeği, nemli ve organik maddelerce zengin topraklarda yetişmekte olup, daha çok kurak ve yarı kurak iklimlerin bitkisidir. Işık isteği fazla olan bir bitki türüdür. Sap boyu 1-5 m, çapı ise 1-10 cm ve tabla çapları 10-60 cm arasında değişir. Ayçiçeği, kuvvetli olmayan kazık kök ve lignoselulozik bir yapıya sahiptir (Bektaş vd., 2002).

Ayçiçeği yetişeceği toprak tipi yönünden çok seçici olmamasına rağmen organik maddece zengin, derin ve su tutma kapasitesi iyi topraklarda yüksek verim potansiyeline sahiptir. Kumsal topraklardan ağır yapıdaki killi topraklara kadar her türlü iyi drenaj sağlanmış topraklarda tarımı yapılabilmektedir. Ayçiçeğinin tuzluluğa karşı toleransı azdır. Tuzlu topraklarda yetiştirilen ayçiçeğinin tohumlarının yağ yüzdesinde azalmalar görülmüştür. Ayrıca ayçiçeği yetişecek toprakta %1-2 düzeyinde bulunacak tuz konsantrasyonunun çimlenmeyi önemli oranlarda düşürdüğü belirlenmiştir. Ayçiçeği, asitliği (pH) 6.0 ile 7.2 arasında olan topraklarda en iyi şekilde yetişir. Ayçiçeği yüksek ve düşük sıcaklıklara gelişme dönemine bağlı olarak oldukça toleranslıdır. Tohumlarının en iyi çimlenebilmesi için 8-10°C'lik toprak sıcaklığı gerekir. Ayçiçeği bitkisi fideleri kotiledon devresinde -4 °C sıcaklığa dayanabilir. Ayçiçeği için en iyi yetişme sıcaklıkları 21 ile 24°C arasındadır.

Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.), günümüzün en önemli yağ bitkilerinden biridir. Ayçiçeği yağı yemeklik kalitesi yönünden tercih edilen bitkisel yağlar arasında ilk sırayı almaktadır. Dolayısıyla Dünya'da birçok ülkede ekonomik düzeyde tarımı yapılmaktadır. Yurdumuzda da yıllara göre değişmekle beraber yaklaşık 550-600.000 hektar arasında ayçiçeği ekilmektedir. Türkiye'deki ayçiçeği ekiliş alanlarının %73' ü Trakya-Marmara, %13' ü İç Anadolu, %19'u Karadeniz, %3' ü Ege ve %1'i Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerindedir (Anonim, 2002). TÜİK' in 2013 verilerine göre Türkiye'de ekim alanı 6.097.839 dekarlık (da) ekim alanı olan ayçiçeği 1.523.000 tonluk üretime sahiptir.

Çizelge 1.2. Türkiye'nin yıllara göre ayçiçeği üretimi (TUIK, 2013)

| Yıllar | Ayçiçeği Ekim Alanı (Da) | Ayçiçeği Üretimi (Ton) |
|---------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 2003 | 5 450 000 | 800 000 |
| 2004 | 5 500 000 | 900 000 |
| 2005 | 5 660 000 | 975 000 |
| 2006 | 5 854 000 | 1 118 000 |
| 2007 | 5 546 778 | 854 407 |
| 2008 | 5 800 000 | 992 000 |
| 2009 | 5 840 000 | 1 057 125 |
| 2010 | 6 414 000 | 1 320 000 |
| 2011 | 6 557 000 | 1 335 000 |
| 2012 | 6 046 160 | 1 370 000 |
| 2013 | 6 097 839 | 1 523 000 |

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Toprakların tuzluluk problemi insanoğlunun yaşadığı her dönemde problem olmuştur. Sınırlı yağış alan yerlerde tuz, bitkilerin köklerinin etrafından uzaklaşamaz ve tuz konsantrasyonunun artması verimde azalma meydana getirir. Yeryüzündeki toprakların büyük bir kısmında tuzluluktan dolayı tarım yapılamamaktadır. Çünkü tuza karşı kültür bitkileri düşük bir toleransa sahiptirler. Yüksek tuz olan ortamlardaki bitkiler, düşük bir ozmotik potansiyelden dolayı toprakta yeterince suyu alamadıklarından ve iyonların toksik etkilerinden dolayı stres altındadırlar (Kadıoğlu, 2007).

Her ne kadar tahmin edilmesi zor olsa da, toplam ekim arazilerinin yaklaşık üçte biri, tarımsal üretim sürecini de etkileyen tuzlanmadan etkilenmektedir. Ne yazık ki, tek başına ya da diğer stresler ile birleştirilen tuzluluktan etkilenen arazi miktarı, küresel iklim değişikliği için tahminlere göre yakın gelecekte artması beklenmektedir. Aynı zamanda şimdiki 7.2 milyar dünya nüfusu 2050 yılında 9.6 milyara ulaşması bekleniyor. Gıda ve yakıt talep baskısı altında tarımsal faaliyetler için kullanılan bozulmuş ve çorak araziden uzantısı artarken aksine, ekili arazi miktarı azalmaktadır. Sonuç olarak, belli tuzlu tarım alanlarında daha büyük bir sorun teşkil eden dünya gıda güvenliğini sağlamak amacıyla mevcut ve elde edilebilecek maksimum verim arasındaki boşluğu doldurmak ve ürün verimini artırmak için bir ihtiyaç vardır (Cabota vd., 2014).

Çeşitli çevresel streslerin sonucu oluşan ROT birikimi dünyada ürün veriminde kaybın önemli bir nedenidir. ROT, nükleik asitlere oksitlenmiş proteinlere ve lipit peroksidasyonunun hasarına yol açarak çok sayıda hücrel işlevi etkilemektedirler. ROT'un zararlı, koruyucu veya sinyal faktörü olup olmayacağı üretimi ve temizlenmesi arasındaki hassas dengeye bağlıdır. Stres kaynaklı ROT birikimi, ROT süpürücüsü olan SOD, APX, GPX, GST ve CAT gibi enzimatik antioksidan sistemler tarafından giderildiği bildirilmiştir (Gill ve Tuteja, 2010). Nitrik oksit bitkilerde çok önemli bir sinyal molekülü olarak ortaya çıkmıştır. Çeşitli büyüme ve gelişme süreçlerini düzenlenmesinden sorumlu olarak kabul edilir. (David vd., 2010).

Yapılan bir çalışmada domates bitkisine (*Lycopersicon esculentum*, Mill., cv. Ibiza F1) toksik dozda (50 mM) bakır metali uygulanarak antioksidan enzimlerinin etkileri incelenmiştir. 15 günlük fidelerinde bakır birikimiyle kök, gövde ve yapraklarda katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon peroksidaz

(GPx) gibi bazı antioksidan enzimlerin aktiviteleri tayin edilmiştir. Köklerde bakır uygulamasıyla APX aktivitesinin değişmediği, CAT aktivitesinin ise güçlü bir şekilde azaldığı gözlenmiştir. Ancak, GPx aktivitesini kısmen arttığı belirlenmiştir. Bakır stresine maruz kalmış bitki gövdelerinde GPx aktivitesinin yüksek olduğu CAT ve APX aktivitelerini anlamlı bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Yapraklarda ise CAT ve GPx faaliyetlerinde önemli bir değişiklik olmadığı APX aktivitesinin ise azaldığı kaydedilmiştir (Mazhoudi vd., 1997).

Sudhakar vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada *Morus alba* bitkisinin tuza dayanıklı (S1) ve hassas (ATP) iki çeşidinde tuz uygulamasıyla süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), katalaz (CAT), glutatyon redüktaz (GR), glutatyon S-transferaz gibi antioksidan enzim aktiviteleri, hücre zarı geçirgenliği ve lipit peroksidasyonlarındaki değişiklikler araştırılmıştır. Tuz uygulamasıyla dayanıklı olan S1 çeşidinde antioksidan enzimlerin önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Hassas olan ATP çeşidinde yüksek lipit peroksidasyon düzeyi belirlendiği bildirilirken dayanıklı olan çeşitte lipit peroksidasyon düzeyinde değişiklik olmadığı rapor edilmiştir. Ayrıca, tuz toleranslı olan çeşidinde elektrolit akışın nispeten düşük miktarda olduğu saptanmıştır.

Uchida vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada, *Oryza sativa* L. cv. Nipponbare bitkilerinde 0, 1, 10, 100, 1000 µM SNP ile ön uygulama yapılmıştır. Daha sonra bitkiler 100 µM NaCl bulunan ortamda 8 gün büyütülmüştür. Tuz stresine bağlı olarak, 1-10 µM SNP ön uygulamasının 100 µM SNP ön uygulamasına göre büyüme inhibisyonunu önemli derecede azalttığı saptanmıştır. Ayrıca SNP ön uygulamasının POX ve SOD enzim aktiviteleri üzerine etkili olduğu rapor edilmiştir. Araştırmacılar NO'in abiyotik stres için önemli bir sinyal molekülü olabileceğini bildirmiştir.

Karabal vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada bor toksisitesine duyarlı (Hamidiye) ve dayanıklı (Anadolu) arpa (*Holgarium vulgare*) bitkisi çeşitlerinde bor stresinin antioksidan sistem üzerine olan etkisi araştırılmıştır. 8 gün su kültüründe yetiştirilen fidelere, 5 gün boyunca 5 ve 10 mM borik asit uygulanmıştır. Büyüme parametreleri (kuru-ıslak ağırlık), protein, prolin, MDA, H₂O₂ içeriği, membran hasarı, süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT) ve glutatyon redüktaz (GR) enzim aktiviteleri kök ve sürgün dokularında değerlendirilmiştir. Araştırmacılar iki çeşitte de sürgün dokusunda toplam SOD, CAT ve GR faaliyetlerinin önemli ölçüde değişmediğini ancak 10 mM borik asit

uygulamasında anlamlı derecede yüksek APX aktivitesi gözlemlendiğini rapor etmişlerdir. Çalışmada duyarlı çeşidin köklerinde toplam SOD, CAT aktivitelerinde artış ve GR aktivitesinde azalma olduğu belirtilmiştir. Dirençli çeşidin köklerinde ise artan CAT ve azalan APX aktiviteleri gözlemlendiği ancak SOD ve GR aktivitelerinde önemli bir değişikliğin olmadığı rapor edilmiştir. Yapılan çalışmada arpa yapraklarında, bor toksisitesinde aktif oksijen türleri ve antioksidan enzim aktivitesinin kritik bir öneme sahip olmadığı bildirilmiştir.

Türkan vd. (2004) tarafından yapılan çalışmada, polietilen glikol (PEG) ile oluşturulan stres ortamında bitki gelişmesindeki değişim, oransal su içeriği, stomatal geçirgenlik, lipid peroksidasyonu, prolin ve antioksidan sistem tolerans ilişkisi kuraklığa duyarlı *Phaseolus vulgaris* L. ile kuraklığa dayanıklı *Phaseolus acutifolius* araştırılmıştır. Su stresinin başlatılması için 35 günlük fasulye filizleri -0.40 MPa ozmotik potansiyel altında PEG-6000 ile 14 gün muamele edilmiştir. Vejetatif gelişmenin *P. vulgaris*'te daha az olduğu gözlenmiştir. Kök ve gövde kuru ağırlığında kuru ağırlığında ise *P. vulgaris*'te azalma saptanmıştır. *P. acutifolius* bitkisindeki oransal su içeriğinde herhangi bir değişiklik belirlenmezken *P. vulgaris*'te azalma olduğu görülmüştür. *P. acutifolius*'ta *P. vulgaris*'ten daha kararlı stomatal geçirgenlik olduğu belirlenmiştir. Yine *P. acutifolius*'taki lipid peroksidasyon seviyesi *P. vulgaris*'ten düşük bulunmuştur. SOD, CAT, APX ve POXs gibi enzimlerin aktivitelerinin *P. acutifolius*'ta *P. vulgaris*'ten daha yüksek olduğu ve SOD, APX ve GR aktivitesinin ise su stresi şartlarında arttığı saptanmıştır.

Laspina vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada ayçiçeği yapraklarında Cd yol açtığı oksidatif strese karşı nitrik oksit (NO)'in koruyucu etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 100 µM sodyum nitroprussit ile kadmiyumun birlikte uygulanmasıyla ayçiçeği fidelerinin yapraklarının uygulama yapılmayan gruba göre kuru ağırlıklarında ve klorofil miktarında azalma olduğu saptanmıştır. Araştırmacılar Cd uygulanan yapraklarda gözlenen yüksek lipid peroksidasyonu ve glutatyon (GSH) içeriğinde %30 azalmanın nitrik oksit (NO) uygulamasıyla tersine çevrildiğini bildirmiştir. Askorbat (ASC) içeriğinin Cd stresi ile büyük ölçüde arttığı ancak bu artışın SNP ile Cd'un birlikte uygulandığı grupta tersine çevrildiği bildirilmiştir. Yapılan çalışmada nitrik oksit (NO) Cd stresi kaynaklı süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesindeki artışı engellediği ve Cd uygulanan ayçiçeği bitkilerinde katalaz (CAT) aktivitesini % 44 oranında azalttığını rapor etmişlerdir. Glutatyon redüktaz (GR) ve glutatyon peroksidaz (GPOX) enzim aktivitelerinin Cd'den hemen hemen

hiç etkilenmediği bildirilmiştir. NO'nun ise GR ve GPOX faaliyetleri üzerinde herhangi önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Araştırmacılar bu sonuçların dışsal NO uygulamasının Cd toksisitesine karşı olumlu etkisi olabileceğini ve bitkilerde ağır metal stresine karşı toleransı artıracağını düşünmektedirler.

Yaşar vd. (2006), 4 yerel (Besni, Yuva, Midyat ve Şemame) ile 3 kültür (Ananas, Galia C8 ve Galia F1) kavun (*Cucumis melo* L.) çeşidinin tuz stresine vermiş oldukları antioksidan enzim aktivitelerini ve askorbik asit seviyelerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda APX enzim aktivitesinin, tuza toleranslı olan Galia C8 ve Galia F1 çeşitlerinde ve orta düzeyde toleranslı olan Besni, Midyat ve Şemame çeşitlerinde artış gösterdiği ve bu artışın hassas çeşitlere (Ananas ve Yuva) oranla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada, kontrolle kıyaslandığında GR enzim aktivitesinin bütün çeşitlerde arttığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar GR faaliyetlerindeki artışların tuza toleranslı ve orta toleranslı çeşitlerde tuza duyarlı olanlardan daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Aynı şekilde, askorbik asit (AA) içerikleri tuza duyarlı Ananas hariç tüm çeşitlerde tuz uygulaması ile arttığını bildirilmiştir. Bu sonuçlara göre, kavun fidelerinin enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemlerini artırarak tuz ile uyarılan oksidatif strese cevap verdiği tespit edilmiştir. Bu artışların ise tuza toleranslı çeşitlerde daha net gözlemlendiği belirlenmiştir.

Song vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada sıcaklığa hassasiyetleri farklı iki kamış bitkisinin (*Pragmites communis* Trin.) sıcaklık stresine toleransları araştırılmıştır. Çalışmada SR (bataklık kamış) kalluslarının DR (kumul kamış) kalluslarına göre daha fazla etkilendiği belirlenmiştir. DR kalluslarının SR kalluslarına göre sıcaklık stresi altında daha yüksek gelişme gösterdiği ve DR kalluslarında daha az iyon akışı meydana geldiği bildirilmiştir. Nitrik oksit vericisi olan SNP ve SNAP ile muamele edildiğinde her iki kallus örneğinde de süperoksit dismutaz, katalaz, askorbat peroksidaz ve peroksidaz aktivitelerinin arttığı rapor edilmiştir. NO'nun sıcaklık stresi tarafından oluşturulan oksidatif stresin etkilerini ortadan kaldırabildiği ve aktif oksijen süpürücüsü enzimlerin aktivasyonunda sinyal molekülü olarak rol alabileceği bildirilmiştir.

Yaşar vd. (2008) tuz stresinin karpuz yapraklarındaki antioksidatif enzim aktiviteleri (SOD, CAT, APX ve GR) üzerine etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada; tuza duyarlı Golden Crown F1, Crimson Sweet ile tuz stresine toleranslı Diyarbakır ve Midyat yerel genotipinin fideleri kontrollü iklim odasında su

kültüründe test etmişlerdir. Fidelerde 4-5 gerçek yaprak oluştuktan sonra, 10 günlük süreyle 100 mM NaCl stresine maruz bırakılmıştır. Tuz uygulanan parsellerde, tuza dayanıklı genotiplerin SOD, CAT, APX ve GR enzim aktivitelerinin duyarlı olanlara göre çok yüksek olduğu saptanmıştır. Midyat yerel genotipinde SOD, CAT ve GR enzim aktiviteleri yüksek bulunmuştur. Diyarbakır genotipi ise APX enzim aktivitesi bakımından diğerlerine göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca kontroldeki Midyat yerel genotipi fidelerinin yaprak SOD, APX ve GR enzim aktivitelerinin, tuzlu ortamda kültüre alınan duyarlı genotiplerden fazla olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulgulara göre antioksidan enzim aktivitelerinde tuza dayanıklılık üzerinde etkili olduğu; tuzlu koşullarda kültüre alınan karpuz genotiplerinin antioksidatif enzim sistemlerini duyarlı çeşitlere göre çok daha aktif kullandıkları belirlenmiştir.

Arasimowicz-Jelonek vd. (2009) yaptıkları çalışmada salatalık bitkisinin köklerinde su eksikliğinin nitrik oksit (NO) birikimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bitki köklerine 5-10 saat süreyle orta şiddette su eksikliği, 17 saat ise kuvvetli stres şartları uygulanmıştır. Çalışmada orta şiddette uygulanan stres sonucunda kökün uzama bölgesi çevresinde NO miktarında kısmen artış olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar su eksikliğini uyarıcı NO üretiminin NO süpürücüsü olan 2-(4-karboksifenil)-4,4,5,5-tetrametilimidazolin-1-oksil-3-oksit (CPTIO), NR ve NOS inhibitörleri tarafından engellendiğini ortaya koymuşlardır. Çalışmada salatalık bitkisinin kök dokularının su eksikliğine uyum yanıtlarında NO kapasitesinin anlaşılması için farmakolojik bir yaklaşım kullanılmıştır. Araştırmacılar dehidrasyon süresince ölçülen oransal su içeriğinde ve bitki hidrasyon durumunda NO vericilerinin ön uygulanması arasında pozitif bir korelasyon olduğu rapor edilmiştir. Erken kuraklık stresi şartları süresince NO'nun lipit peroksidasyonunun zamana bağlı artışıyla lipoksigenaz aktivitesindeki periyodik artış arasında korelasyon sağladığı bildirilmiştir. Araştırmacılar ciddi kuraklık stresi şartlarında dışsal NO'nun lipoksigenaz aktivitesinde azalma sağladığı, kuraklık teşvikli membran geçirgenliğini ve lipit peroksidasyonunun etkilerini düzelttiğini rapor etmişlerdir. Bu araştırmanın sonucunda NO'nun yüksek su eksikliğinin etkilerini azalttığı ve doku dehidrasyonunun başlangıç safhasında bitkinin korunmasına yardımcı olduğu rapor edilmiştir.

Nitrik oksit ve salisilik asit (SA), bitkilerin çeşitli abiyotik ve biyotik streslere karşı çoklu cevaplarının düzenlenmesine katılmaktadır. Son zamanlarda, artan sayıdaki çalışmalarda, dış kaynaklı NO ve SA'nın bitkilerdeki çevresel toksisite

üzerinde; örneğin *Brassica napus* L.'deki nikel stresi ve soya fasulyesindeki tuz stresi üzerinde hafifletici etkisi olduğu bildirilmiştir. NO hücre içerisinde üretilmesinden veya dış kaynaklı olarak hücreye girmesinden sonra, aralarında protein, protein olmayan tiol ve süperoksit anyonu (O_2^-)'nun olduğu pek çok hedefle reaksiyona girer. Bununla birlikte, sonuçların pek çoğu bitkinin kullandığı gelişim safhalarına veya deneysel koşullara bağlıdır (Liu vd., 2014).

Tanou vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada narenciye bitkisinin (*Citrus aurantium* L.) köklerine 16 gün boyunca 150 mM NaCl ile uygulama yapılmıştır. Başka bir grup narenciye bitkisine ise NaCl uygulanmamıştır. 48 saat süreyle 100 μ M SNP uygulamasına bağlı olarak tuzluluğun bitki H_2O_2 ve NO moleküllerinin ön uygulamasıyla tuzluluk stresinin neden olduğu fenotipik ve fizyolojik etkilerini araştırmaktır. Araştırmacılar proteomik analizlerle doğrudan tuz stresine maruz kalan bitkilerde önemli kantitatif farklılıklar görülen 85 yaprak proteini olduğunu açıklamıştır. Bu değişikliklerin büyük bir kısmının tuz stresli bitkilerin H_2O_2 veya sodyum nitroprussit ile ön uygulama yapılan tuz stresli bitkilerde gözlenmediği açıklanmıştır. Ayrıca, birkaç proteinin tuzluluk stresine yanıtta ya oksidasyon ya da S-nitrozilasyon durumunda değişikliğe maruz kaldığı tespit edilmiştir. Tuzluluk stresinden önce hem H_2O_2 hem de SNP ön uygulamasının tuzluluk kaynaklı protein karboksillenmesini azalttığı belirlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada tuza-toleranslı *Plantago maritima* ile tuza-duyarlı *Plantago media* bitkilerinde tuz stresine toleransla ilişkili bitki büyüme, nisbi su içeriği (RWC), stoma iletkenliği, lipid peroksidasyonu ve antioksidan sistemdeki değişiklikler araştırılmıştır. Çalışmada 60 günlük *P. maritima* ve *P. media* fideleri 7 ve 14 gün süresince 0, 100 ve 200 mM NaCl stresine maruz bırakılarak incelenmiştir. Tuz stresi uygulamasının 14. gününde *P. media*'nın kök ve gövde büyümesinde (uzunluk, FW, DW) meydana gelen indirgenme, *P. maritima*'dan daha fazla olduğu saptanmış fakat 100 mM NaCl uygulamanın 7. gününde *P. maritima*'nın kök ve gövde büyümesini etkilemediği rapor edilmiştir. Tuz stresinin (tuz uygulamasının 7. gününde 100 mM NaCl uygulanan grup dışında) *P. maritima*'nın yaprak nisbi su içeriğini (RWC) değiştirmedeği belirlenmiş fakat *P. media*'ninkini azalttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmada tuz stresinin, stoma iletkenliğinde azalmaya neden olduğu ve bu azalmanın *P. media*'da belirgin olarak görüldüğü bildirilmiştir. *P. media*'nın süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon redüktaz (GR) aktiviteleri tuzluluktaki artışla azaldığı saptanmıştır. 7. günde, 100 mM NaCl stresi

P. media'nın askorbat peroksidaz (APX) aktivitesini arttırdığı ancak 200 mM NaCl değiştirmedeği rapor edilmiştir. Çalışmada tuz uygulamasının 14. gününde tuz stresi, *P. media*'nın APX aktivitesinin azalmasına neden olduğu, diğer yandan tuz stresinin 7. gününde 200 mM NaCl, *P. maritima*'nın CAT, APX ve GR aktivitesini arttırırken 100 mM NaCl bu enzimlerin aktivitesini değiştirmedeği tespit edilmiştir. Tuz uygulamasının 14. gününde, 200 mM NaCl stresi ile *P. maritima*'nın APX ve POX aktivitesini değiştirmeyenken CAT ve GR aktivitesini arttırdığı rapor edilmiştir. *P. maritima*'nın SOD aktivitesinin, deneme süresince artan tuzlulukla arttığı bildirilmiştir. Araştırmacı buna ek olarak tuz stresi altındaki iki türün doğal yaprak ekstraktları arasındaki farklı SOD ve POX izozimlerini tanımlandığını bildirmiştir. Yapılan çalışmada *P. media* yapraklarındaki malondialdehit seviyelerinin tuz stresi altında arttığı fakat *P. maritima*'nın MDA seviyesinin artan tuzlulukla genellikle değişmediği bildirilmiştir. Bu sonuçlarla, tuza-toleranslı *P. maritima*'nın tuz stresinin sebep olduğu oksidatif hasara karşı tuza-duyarlı *P. media*'dan daha fazla seviyede teşvik edilmiş antioksidan enzim aktivitesiyle daha iyi bir koruma mekanizması gösterdiğini ortaya koyduğunu saptanmıştır (Hediye, 2009).

Uzilday vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada C3 ve C4 bitkilerinin kuraklık stresine karşı antioksidan enzim aktivitelerindeki farkı ortaya koymak için *Cleome spinosa* (C3) ve *Cleome gynandra* (C4) bitkileri büyütüldükten sonra 10 gün kuraklık stresine maruz bırakılmışlardır. Çalışmanın 0., 5. ve 10. günlerinde örnekler alınmıştır. Süperoksit dismutaz (SOD) hariç antioksidan enzim düzeylerinin kontrol koşulları altında *C. spinosa*'da *C. gynandra*'da olduğundan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresinin her iki türde de POX, CAT, APX ve GR enzimlerinin artışına neden olduğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte, SOD aktivitesi *C. spinosa*'da stresin 5. ve 10. gününde değişmemiş ya da artmışken *C. gynandra*'da çok az azalma olduğu tespit edildiği bildirilmiştir. Bu sonuçlar ile *C. spinosa*'da antioksidan savunma sisteminin stres koşullarında artan ROT üretimini baskılamak için yetersiz olduğu saptanmıştır. Öte yandan *C. spinosa*'ya kıyasla *C. gynandra*'da düşükte olsa antioksidan enzim sisteminin kuraklık stresi altında ROT oluşumu ile başa çıktığı rapor edilmiştir.

Sánchez-Rodríguez vd. (2012) yaptıkları çalışmada su stresi toleransları farklı olan domates çeşitlerinin (Zarina ve Josefina) yaprak biyokütlesinin ve antioksidan yanıtının üretilmesinde kök ve gövdenin rollerini araştırmıştır. Çalışmada sürgünleri kuraklığa dayanıklı genotip olan Zarina'da sürgünlerde antioksidan enzim

aktivitelerinde değişikliğin yüksek ve tutarlı olduğu grlmştir, kuraklığa hassas genotip Josefina'da ise antioksidan enzim aktivitelerinin daha düşük olduğu grlmştir.

elik ve Atak (2012) yaptıkları çalışmada, iki tütün eşidinin (İzmir zbaş ve Akhisar 97) tuz toleranslarının karşılaştırmışlardır. Bu deneyi hem *in vitro* hem de *in vivo* koşullarda gerçekleştirilmişlerdir. 14 gün süreyle çeşitli tuz konsantrasyonları (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 ve 350 mM) uyguladıkları fidelerde fotosentetik pigment miktarları, lipid peroksidasyon oranları, total protein miktarları, antioksidan enzim aktiviteleri ve prolin konsantrasyonları saptamışlardır. Akhisar 97 eşidi tuzluluğa İzmir zbaş'a göre daha hassas olarak bulunmuştur. Prolin'in tuza toleranslı bitkilerde biriktiğinin düşünülmesine rağmen, tuz toleransı ve bitkilerde prolin birikimi arasında negatif korelasyon olduğu bildirilmiştir. Biyokimyasal analiz sonuçlarına göre, hem *in vitro* hem de *in vivo* denemelerde her iki çeşide ait süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, guaiakol peroksidaz ve katalaz aktivitelerinde anlamlı farklılıklar bulunmamasına rağmen her iki deneme koşulunda da kontrol ve tuz stresine bırakılan bitkiler arasında glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitelerinde istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak glutatyon redüktazın tütün çeşitlerinde tuz toleransının değerlendirilmesinde önemli bir enzim olduğu tespit edilmiştir.

Praxedes vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada tuza-toleranslı (Pitiba) ve tuza-duyarlı (TVU) brlce (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) eşidinde tuz stresinin oksidatif hasara ve reaktif oksijen türlerine karşı korunmasının uzun süreli etkileri araştırılmıştır. 10 günlük brlce fidelerine 24 gün boyunca 75 mM NaCl uygulanmıştır. Özellikle deney sonunda yapraklarda tuz kaynaklı oksidatif hasar malondialdehit (MDA) konsantrasyonundaki artış yoluyla gözlemlenmiştir. Çalışmada bu artışın ilk olarak Pitiba eşidinde gözlemlendiği bildirilmiştir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde, süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin tuz uygulamasının başlangıcından 24 gün sonra yalnızca Pitiba eşidinde arttığı saptanmıştır. TVU eşidinde tuz uygulamasının başlangıcından 10 gün sonra önemli ölçüde düşük CAT aktivitesi belirlenirken, Pitiba eşidinde, katalaz (CAT) aktivitesinin tuz uygulamasından önemli ölçüde etkilenmediği bildirilmiştir. Deney sonunda her iki çeşitte de, genel olarak tuz stresi uygulamasının, askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR) ve guaiakol peroksidaz (GPX) belirgin artışlara yol açtığı bildirilmiştir. Her iki çeşidin köklerinde enzim aktivitelerindeki tuz kaynaklı

artışlar özellikle tuz uygulamasının başlangıcından 24 gün sonra belirlenmiştir. Pitiúba çeşidinde SOD ve APX aktivitelerinde, TVU çeşidinde CAT aktivitesinde artışlar saptanırken GPX ve GR aktivitelerinin her iki çeşitte de arttığı belirlenmiştir. Çalışma sonunda, beklenilenin aksine, tuz stresi toleransı ve antioksidan sistem arasındaki işlevsel bağlantının olduğu görüşüne zıt sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. *Helianthus annuus* L. Bitkilerinin Seçimi

Bu çalışmada deney materyali olarak kullanılan tohumlar, Ankara Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü ve Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsünden temin edilmiştir. Asteracea familyasına ait 2517-A ve 6535-A *Helianthus annuus* (ayçiçeği) tohumları, 24 çeşit ayçiçeği (Armada, Sanay, Sanbro, Confeta, Oliva, Palancı, Ege, Tanay, Turay, Reyna, Paktol, TM-4, DKF2525, PR64H34, L65400H0, A-6626, A-7751, A-6522, A-6388, A-2453, A-9178, A-9661, A-2517, A-6535) tohumu arasından çimlendirme kaplarında çeşitli tuz konsantrasyonlarına karşı çimlenme yüzdelere bakılarak seçilmiştir. A-6535 çeşidi dayanıklı A-2517 çeşidi ise hassas olarak belirlenmiştir.

A-2517 ve A-6535 çeşitleri ayçiçeği hibrit üretiminde kullanılan CMS (Cytoplasmic Male Sterility) ebeveyn hattı olup Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsünden temin edilmiştir. Bu çeşitler yağlıktır ve Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilmiş ve tescil ettirilmiştir.



Şekil 3.1. Ayçiçeği çeşidi tohumlarının çimlendirme sonunda görünüşleri

3.2. *Helianthus annuus* L. Fidelerinin Yetiştirilmesi

Tohumların sterilizasyonu, %0.5'lik sodyum hipoklorit solüsyonunda 5 dakika ve daha sonra steril dH₂O'da 4-5 kez yıkanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Tohumlar steril edildikten sonra distile suda bir gece bekletilmiştir. Bir gece distile suda bekletilen ayçiçeği tohumları, perlit içeren plastik saksılara 20'şer adet ekilmiştir. Tohumlar perlitte, 12 saat karanlık/ 12 saat ışık, 25°C sıcaklık ve %60 nem oranı olan iklim odasında çimlendirilmiş ve ½ oranında seyreltilmiş Hoagland çözeltisiyle 3 gün aralıklarla 25 gün sulanarak yetiştirilmiştir. Büyümenin 25.

gününde; her iki ayçiçeği çeşidine ait saksılar ½ Hoagland çözeltilinde hazırlanan 100 mM NaCl, 200 mM NaCl, 400 mM NaCl ve 100µM konsantrasyonda NO vericisi sodyum nitroprussid (SNP) uygulanmıştır. Diğer bir seride ise 100µM SNP+100 mM NaCl, 100µM SNP+200 mM NaCl ve 100µM SNP+400 mM NaCl çözeltileri uygulanmıştır. Uygulama yapıldıktan sonra her konsantrasyon için 2 gün aralıklarla 3 kez yaprak dokusundan örnekler alınmıştır. Uygulamalar yapılmadan hemen önce (0. gün) ve uygulama yapıldıktan sonra 2. ve 4. gün sonunda analizlerde kullanılmak üzere olgunlaşmış yapraklardan örnekler alınarak sıvı azotta dondurulup, -30°C’de derin dondurucuda saklanmıştır.



Şekil 3.2. A-2517 ve A-6535 fidelerinin 15. ve 25. gün görünüşleri

3.3. Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesinin Ölçülmesi

Yapraklardaki süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi, Cayman Chem. SOD ölçüm kiti (Katalog no. 706002) kullanılarak yapılmıştır. Süperoksit dismutaz aktivitesinin belirlenmesi için taze ağırlıkları ölçülen yaprak doku örnekleri pH 7.2 Tris-HCl tamponunda homojenize edilip, 10.000 devir/dakika, 4°C de 15 dakika santrifüj edilmiştir (OLE DICH Instrument makers APS Microcentrifuge 157 MP). Ölçüm yapılana kadar örnekler -80°C de saklanmıştır. Süperoksit dismutaz aktivitesinin spektrofotometrik ölçümü kit protokolüne göre yapılmıştır. Hazırlanan mikrolakadaki standart ve örneklerin absorbans değerleri 450 nm dalga boyunda mikrolaka okuyucuda (Bio-Tek, Epoch Microplate Spectrophotometer, US) ölçülmüştür. SOD enzim aktivitesi standart eğriden faydalanılarak hesaplanmıştır.

3.4. Glutasyon Peroksidaz (GPx) Aktivitesinin Ölçülmesi

Bitki dokusundaki glutasyon peroksidaz enzim miktarı Cayman Chem. GPx ölçüm kiti (Katalog no. 703102) kullanılarak belirlenmiştir. Glutasyon peroksidaz aktivitesinin belirlenmesi için taze ağırlıkları ölçülen yaprak doku örnekleri pH 7.4 fosfat tamponunda yıkandıktan sonra pH 7.5 Tris-HCl tamponunda ekstraksiyonundan sonra, 10.000 devir/dakika, 4°C de 15 dakika santrifüj edilmiştir (OLE DICH Instrument makers APS Microcentrifuge 157 MP). Ölçüm yapılana kadar örnekler -80°C de saklanmıştır. Glutasyon peroksidaz aktivitesinin spektrofotometrik ölçümü kit protokolüne göre yapılmıştır. Hazırlanan karışımın 5 dakika içerisinde 1 dakika aralıklarla 340 nm dalga boyunda mikrolaka okuyucuda (Bio-Tek, Epoch Microplate Spectrophotometer, US) absorpsiyonu ölçülmüştür. Glutasyon peroksidaz enziminin aktivitesi, nmol/min/ml cinsinden tayin edilmiştir.

3.5. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesinin Ölçülmesi

Askorbat peroksidaz (APX) enziminin aktivite tayini Cayman Chem. APX ölçüm kiti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Askorbat peroksidaz aktivitesinin belirlenmesi için taze ağırlıkları ölçülen yaprak doku örnekleri pH 7.4 fosfat tamponunda homojenize edilmiştir. 10 dakika buzda inkübe edildikten sonra 12.000 devir/dakika, 4°C de 10 dakika santrifüj edilmiştir (OLE DICH Instrument makers APS Microcentrifuge 157 MP). Ölçüm yapılana kadar örnekler -80°C de saklanmıştır. Askorbat peroksidaz aktivitesinin floresans ölçümü kit protokolüne göre yapılmıştır. Hazırlanan mikrolakadaki standart ve örneklerin absorbanslar uyarıma dalga boyu 340 nm ve ışınım dalga boyu 420 nm olarak mikrolaka okuyucuda (Bio-Tek, Synergy H1 Hybrid Multi-Mode Microplate Reader, US) ölçülmüştür. APX enzim aktivitesi standart eğriden faydalanılarak hesaplanmıştır.

3.6. Katalaz (CAT) Aktivitesinin Ölçülmesi

Bitki doku homojenatlarında katalaz aktivite tayini, Cayman Chem. katalaz ölçüm kiti (Katalog no. 707002) kullanılarak yapılmıştır. Aktivitenin belirlenmesi için taze ağırlıkları ölçülen yaprak doku örnekleri pH 7.4 Tris-HCl tamponunda homojenize edilip, 10.000 devir/dakika, 4°C de 15 dakika santrifüj edilmiştir (OLE DICH Instrument makers APS Microcentrifuge 157 MP). Ölçüm yapılana kadar örnekler -80°C de saklanmıştır. Katalaz aktivitesinin spektrofotometrik ölçümü kit protokolüne göre yapılmıştır. Hazırlanan mikrolakadaki standart ve örneklerin absorbans değerleri 540 nm dalga boyunda mikrolaka okuyucuda (Bio-Tek, Epoch

Microplate Spectrophotometer, US) ölçülmüştür. CAT enzim aktivitesi standart eğriden faydalanılarak hesaplanmıştır.

3.7. Nitrik Oksit (NO) Düzeyinin Belirlenmesi

Nitrik oksit tayini Cayman Chem. NO ölçüm kiti (Katalog no. 780001) kullanılarak yapılmıştır. Deney aşamaları kit protokolüne göre düzenlenmiş olup nitrit ve nitrat standartları her bir bitki için ayrı ayrı belirlenmiştir. Taze ağırlıkları alınan bitki yaprakları pH 7.4 fosfat tamponunda homojenize edilip 10.000 devir/dakika, 4°C de 20 dakika santrifüj edilmiştir (OLE DICH Instrument makers APS Microcentrifuge 157 MP). Ölçüm yapılana kadar örnekler -80°C de saklanmıştır. Nitrit ve nitrat için ayrı mikropiplaklarda protokolde belirlenen reaktifler eklenerek standart ve bitki örnek absorbanları mikropiplaka okuyucuda (Bio-Tek, Epoch Microplate Spectrophotometer, US) 540 absorbansta spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Örnek konsantrasyonlar standart grafiğe göre belirlenerek hesaplamalar yapılmıştır. Nitrik oksit miktarı her bir örnek için belirlenen nitrit ve nitrat konsantrasyonlarının toplamına göre belirlenmiştir.

3.8. Oransal Su İçeriğinin Belirlenmesi

Yaprak dokularındaki oransal su içeriği (OSİ) Dichio vd. (2009)' nin belirttiği şekilde yapılmıştır. Her gruptaki bitkiden yaprak örneği alınarak yaş ağırlıkları (YA) yaklaşık birer gram olacak şekilde tartılmıştır. Yapraklar, 12 saat içleri distile suyla dolu parafilm kaplı petrielerde karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Petrielerde bekletilen yaprakların turgor haline gelmeleri sağlanmıştır. Turgorlu yapraklar kurutulur kurutulmaz turgorlu ağırlıkları (TA) belirlenmiş ve bu yapraklar 48 saat 80°C'de bekletilerek kuru ağırlıkları (KA) saptanmıştır. Her bir gruba ait yaprak örneklerinin bağıl su içeriği aşağıdaki formüle göre % olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Oransal Su İçeriği} = \frac{[YA-KA]}{[TA-KA]} \times 100$$

3.9. Toplam Protein Miktarının Belirlenmesi

Enzim ekstraktlarındaki protein içeriği; Bradford (1976) yöntemine göre standart olarak Bovine Serum Albumin (BSA) kullanılarak saptanmıştır. Uygun hacimde ve gerekli oranda seyreltilen süpernatlara 1 ml Coomassie Brilliant Blue protein boyası içeren reaksiyon karışımı eklenmiştir. Elde edilen karışım oda sıcaklığında 10 dk bekletildikten sonra spektrofotometrede 595 nm'de absorban değerleri mikropiplaka okuyucuda (Bio-Tek, Epoch Microplate Spectrophotometer,

US) ölçülmüştür. 0.1-1.4 mg/ml aralığında hazırlanan BSA standartları ile oluşturulan kalibrasyon eğrisinden faydalanılarak, çözülebilen protein miktarı mg/g yaş ağırlık olarak belirlenmiştir.

3.10. İstatistiksel Analizler

Verilen istatistik analiz için, SPSS 15.0 software programı kullanılmıştır. Parametrik olmayan testlerden bağımlı örneklemeler için olan Wilcoxon işaret sıra testi, grupların kendi arasında farklar için parametrik olmayan testlerden Kruskal Wallis testi ve ayrıca ikili karşılaştırmalar içinse parametrik olmayan testlerden Mann Whitney U testi kullanılarak yapılmıştır ($p \leq 0.05$). Sonuçlar ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

İki farklı ayçiçeği çeşidinin (*Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535) yaprak dokularında sodyum klorür (NaCl), sodyum nitroprussid (SNP) (SNP uygulaması tüm gruplarda kontrol hariç 100 µM olarak uygulanmıştır) ve NaCl+SNP uygulamalarına bağlı olarak, süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GPx), askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT) enzim aktiviteleri, nitrik oksit (NO) düzeyleri, oransal su içerikleri (OSİ) ve toplam çözünebilir protein miktarları araştırılmıştır.

4.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi Üzerine Etkileri

4.1.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-2517 ayçiçeği bitkisinin yaprak dokusunda süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1).

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda NaCl (100, 200 ve 400 mM) uygulamalarında SOD enzim aktivitelerinin kontrol grubuna göre arttığı, günlere bağlı olarak ise genellikle azaldığı saptanmıştır. En yüksek SOD enzim aktivitesi 400 mM NaCl uygulamasının 2. gününde 18.38±0.96 U/ml olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1). Yapılan istatistik analize göre, 400 mM NaCl uygulamasında günler arası SOD enzim aktivitesi arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir.

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1 incelendiğinde, A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl+SNP uygulamalarında kontrol grubuna göre, SOD enzim aktivitelerinde artış saptanmıştır. En yüksek SOD enzim aktivitesi 400 mM NaCl+SNP uygulamasının 2. ve 4. günlerde sırasıyla, 15.10±0.25 U/ml ve 13.40±0.39 U/ml olarak belirlenmiştir. Tüm uygulama gruplarında (SNP ve 100 mM NaCl+SNP uygulama grubu hariç) SOD enzim aktiviteleri 4. günde 2. güne göre azalma göstermiştir. Yapılan istatistik analize göre, 2. ve 4. günde 400 mM NaCl+SNP ve kontrol grubu uygulamalarındaki SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

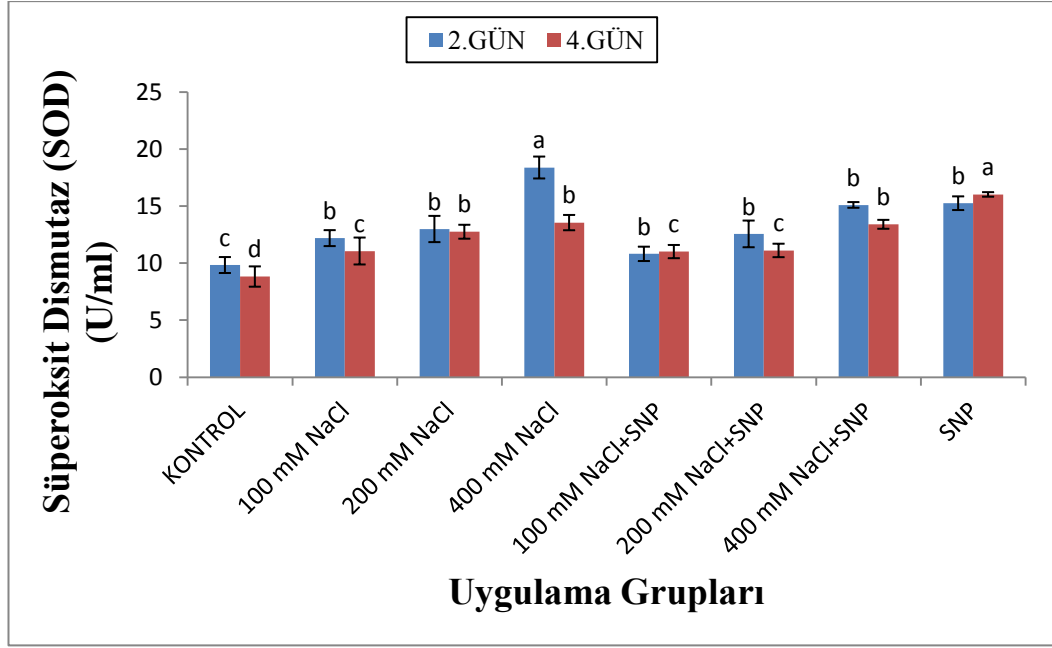
A-2517 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında kontrol grubuna ve günlere bağlı olarak SOD enzim aktivitelerinde artış belirlenmiştir. Yapılan istatistik

analize göre, SNP ve kontrol uygulamalarında belirlenen SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. 4. günün tüm uygulamalarda SNP uygulamasına göre SOD enzim aktivitelerinde azalma saptanmıştır. SNP uygulama grubunda en yüksek SOD enzim aktivitesi 4. günde 16.02 ± 0.20 U/ml olarak belirlenmiş ve bu değer tüm uygulama gruplarında en yüksek SOD enzim aktivitesi olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 2. günde SNP uygulamasına bağlı olarak SOD enzim aktiviteleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli ($p > 0.05$) bulunmamıştır.

Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi, A-2517 çeşidi yaprak dokusunda NaCl+SNP uygulamalarının tümünde NaCl uygulamalarına göre SOD enzim aktivitelerinde azalma olduğu belirlenmiştir. En belirgin azalmanın 400 mM NaCl ve 400 mM NaCl+SNP uygulamaları arasındaki SOD enzim aktiviteleri arasında olduğu ve sırasıyla 18.38 ± 0.96 U/ml ve 15.10 ± 0.25 U/ml olarak saptanmıştır (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1).

Çizelge 4.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde SOD aktivitesinde (U/ml) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kontrol | 9.83±0.70 c | 8.82±0.89 d |
| 100 mM NaCl | 12.19±0.70 b | 11.06±1.18 c |
| 200 mM NaCl | 12.99±1.15 b | 12.75±0.61 b |
| 400 mM NaCl | 18.38±0.96 a | 13.55±0.67 b |
| 100 mM NaCl+SNP | 10.81±0.63 b | 11.01±0.58 c |
| 200 mM NaCl+SNP | 12.56±1.17 b | 11.11±0.59 c |
| 400 mM NaCl+SNP | 15.10±0.25 b | 13.40±0.39 b |
| 100 µM SNP | 15.25±0.60 b | 16.02±0.20 a |



Şekil 4.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde SOD aktivitesinde (U/ml) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P>0.05$). Sütunlardaki hata çubukları ortalama \pm standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.1.2. *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-6535 bitkisinin yaprak dokusunda süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi, NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2).

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. günde kontrole göre, 100 mM ve 200 mM NaCl uygulama gruplarında SOD enzim aktivitelerinde azalma görülürken 400 mM NaCl uygulamasında bir artış saptanmıştır. Çizelge 4.2 den görüldüğü gibi, en yüksek SOD enzim aktivitesi 400 mM NaCl uygulamasında 14.18 ± 0.99 U/ml olarak belirlenmiştir. 4. gün 100 mM NaCl ve 200 mM NaCl uygulamalarında SOD enzim aktivitelerinde kontrol grubuna göre azalma olduğu belirlenirken 400 mM NaCl uygulamasında SOD enzim aktivitesinin değişmeden kaldığı saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 2. gün NaCl uygulamaları ve kontrol grubu SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p>0.05$), gruplar arasında SOD enzim aktivitelerinde ise 200 mM NaCl ve 400 mM NaCl uygulamaları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. 4. gün 100 mM NaCl ve kontrol grubu SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunurken diğer iki

NaCl uygulamasının ve kontrol grubu SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p>0.05$) bulunmuştur.

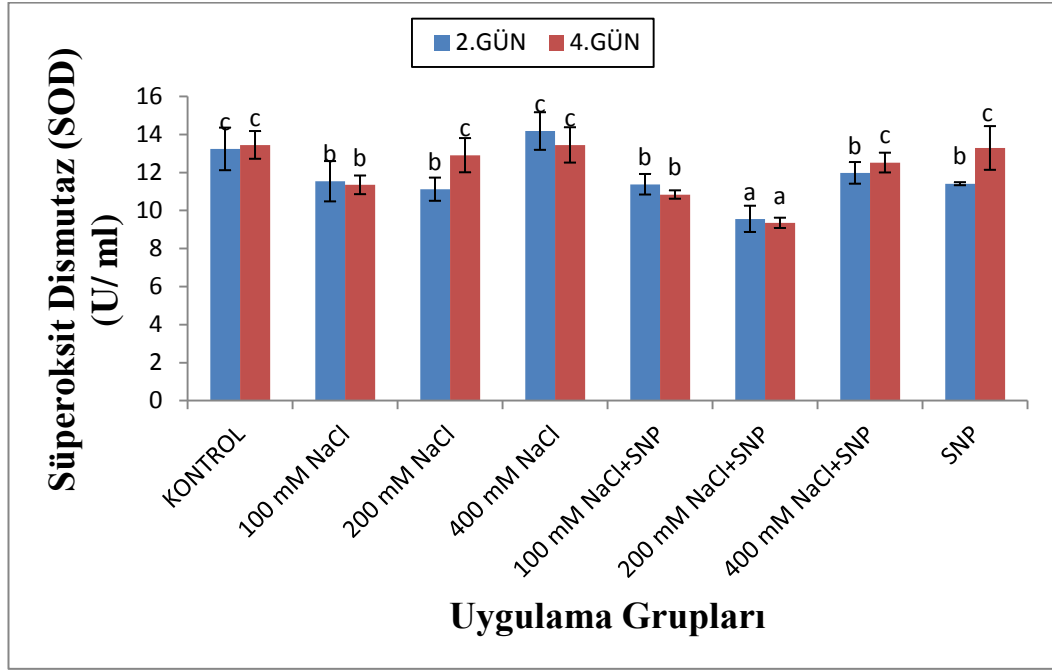
Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2 birlikte incelendiğinde, A-6535 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl+SNP uygulamalarında kontrole göre ve günlere bağlı olarak SOD enzim aktivitelerinde azalma belirlenmiştir. En yüksek SOD enzim aktivitesi 4. gün 400 mM NaCl+SNP uygulamasında 12.52 ± 0.52 U/ml olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 2. gün 100 mM ve 200 mM NaCl+SNP uygulaması ve kontrol grubu SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkın ve 4. günde ise 100 mM NaCl+SNP ve 200 mM NaCl+SNP uygulamaları ve kontrol grubu SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p\leq 0.05$) bulunmuştur.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında 2. ve 4. günde kontrol grubuna bağlı olarak SOD enzim aktivitesinde azalma, günlere göre ise artış olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 4. günde 100 mM NaCl+SNP, 200 mM NaCl+SNP, 400 mM+SNP uygulamaları ve SNP uygulaması SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p\leq 0.05$) saptanmıştır.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda NaCl+SNP uygulamalarının tümünde NaCl uygulamalarına göre SOD enzim aktivitelerinde azalma olduğu belirlenmiştir. En belirgin azalma 4. günde 200 mM NaCl ve 200 mM NaCl+SNP uygulamalarında SOD enzim aktiviteleri arasında olmuştur ve sırasıyla 12.91 ± 0.90 U/ml ve 9.35 ± 0.27 U/ml olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2).

Çizelge 4.2. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde SOD aktivitesinde (U/ml) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P>0.05$)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|------------------------|--------------|--------------|
| Kontrol | 13.24±1.12 c | 13.45±0.73 c |
| 100 mM NaCl | 11.54±1.06 b | 11.35±0.49 b |
| 200 mM NaCl | 11.12±0.61 b | 12.91±0.90 c |
| 400 mM NaCl | 14.18±0.99 c | 13.45±0.93 c |
| 100 mM NaCl+SNP | 11.38±0.54 b | 10.84±0.22 b |
| 200 mM NaCl+SNP | 9.56±0.69 a | 9.35±0.27 a |
| 400 mM NaCl+SNP | 11.98±0.57 b | 12.52±0.52 c |
| 100 µM SNP | 11.41±0.08 b | 13.29±1.15 c |



Şekil 4.2. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde SOD aktivitesinde (U/ml) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$). Sütunlardaki hata çubukları ortalama \pm standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.2. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkileri Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Glutasyon Peroksidaz (GPx) Aktivitesi Üzerine Etkileri

4.2.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GPx) Aktivitesi Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-2517 bitkisinin yaprak dokusunda glutasyon peroksidaz (GPx) aktivitesi NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3).

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. günde NaCl (100, 200 ve 400 mM) uygulamalarında kontrole göre, GPx enzim aktivitesinde artış olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.3). En yüksek GPx enzim aktivitesi 400 mM NaCl uygulamasının 2. gününde 7.97 ± 0.18 nmol/min/ml olarak belirlenmiştir. NaCl uygulamasının 4. gününde 2. güne göre GPx enzim aktivitesi yaklaşık 2 katı kadar artış göstermiştir. GPx enzim aktiviteleri NaCl uygulama gruplarında 4. günde sırasıyla 19.59 ± 0.58

nmol/min/ml, 18.83 ± 0.78 nmol/min/ml ve 18.53 ± 0.38 nmol/min/ml olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 2. gün NaCl uygulamasında kontrol grubuna göre GPx enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$), 4. günde ise GPx enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

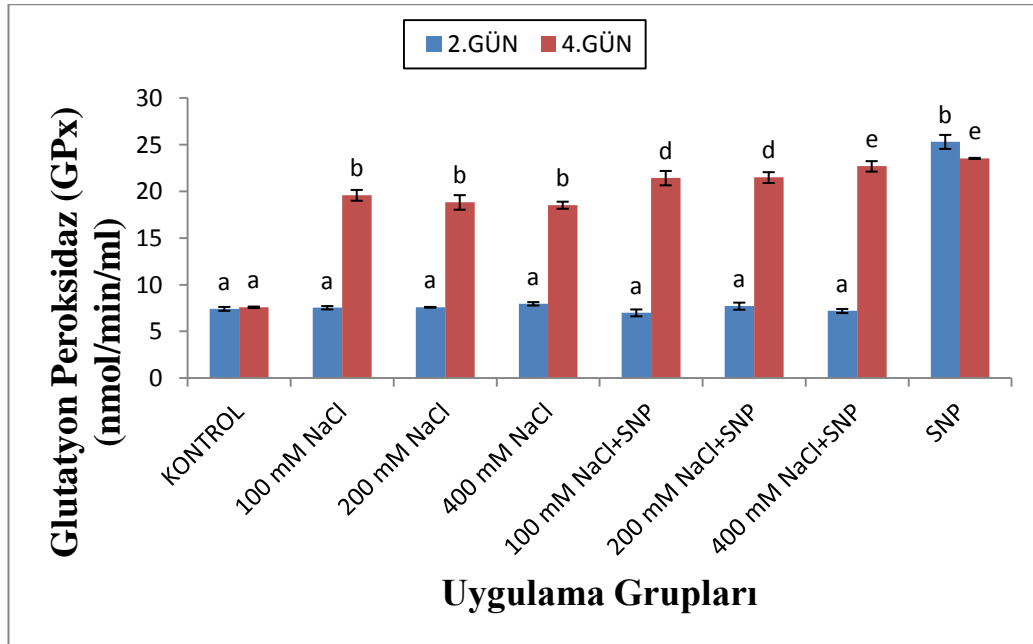
Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3 incelendiğinde, 2. günde 200 mM NaCl+SNP uygulamasındaki GPx aktivitesinde kontrole göre artma olduğu bulunurken diğer iki konsantrasyon uygulamasında GPx aktivitesinde azalma olduğu saptanmıştır. 2. gün 100 mM NaCl+SNP, 200 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP uygulamalarındaki GPx aktiviteleri sırasıyla 7.00 ± 0.37 nmol/min/ml, 7.72 ± 0.38 nmol/min/ml ve 7.20 ± 0.22 nmol/min/ml olarak belirlenmiştir. A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 4. günde ise, tüm NaCl+SNP uygulamalarında kontrol grubuna ve 2. güne göre GPx enzim aktivitelerinde yaklaşık 3 katı artış olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, NaCl+SNP uygulamalarında günlere bağlı olarak belirlenen GPx enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında kontrol grubuna göre GPx enzim aktivitesinde artış olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP ve kontrol uygulamalarında belirlenen GPx enzim aktiviteleri arasındaki farkın önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. 2. ve 4. günlerdeki SNP uygulanan GPx enzim aktivitesi tüm uygulama gruplarına göre daha yüksek bulunmuştur.

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. günde 200 mM NaCl+SNP uygulamasının 200 mM NaCl uygulamasına göre GPx enzim aktivitesinde artış olduğu belirlenirken, diğer iki konsantrasyonda NaCl+SNP uygulamalarının NaCl uygulamalarına göre GPx enzim aktivitelerinde azalma olduğu belirlenmiştir. 4.günde NaCl+SNP uygulamalarının NaCl uygulamalarına göre GPx enzim aktivitesinde artış olduğu belirlenmiştir. En yüksek artış 4. günde 400 mM NaCl ve 400 mM NaCl+SNP uygulamaları GPx enzim aktiviteleri arasında olup sırasıyla 18.53 ± 0.38 nmol/min/ml ve 22.69 ± 0.56 nmol/min/ml olarak bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, 4. günde 400 mM NaCl ve 400 mM NaCl+SNP uygulamalarında GPx enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3).

Çizelge 4.3. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde GPx aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir (P>0.05)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kontrol | 7.43±0.21 a | 7.60±0.08 a |
| 100 mM NaCl | 7.55±0.18 a | 19.59±0.58 b |
| 200 mM NaCl | 7.60±0.04 a | 18.83±0.78 b |
| 400 mM NaCl | 7.97±0.18 a | 18.53±0.38 b |
| 100 mM NaCl+SNP | 7.00±0.37 a | 21.43±0.77 c |
| 200 mM NaCl+SNP | 7.72±0.38 a | 21.49±0.58 c |
| 400 mM NaCl+SNP | 7.20±0.22 a | 22.69±0.56 d |
| 100 µM SNP | 25.31±0.75 b | 23.54±0.06 d |



Şekil 4.3. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde GPx aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir (P>0.05). Sütunlardaki hata çubukları ortalama ± standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.2.2. *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GPx) Aktivitesi Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-6535 bitkisinin yaprak dokusunda glutasyon peroksidaz (GPx) aktivitesi NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4).

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4 incelendiğinde, 2. günde 100 mM NaCl uygulamasında kontrol grubuna göre GPx enzim aktivitesi artarken 200 mM NaCl ve 400 mM NaCl uygulamalarında GPx aktiviteleri kontrol grubuna göre azalmıştır. En yüksek GPx enzim aktivitesi 2. günde 100 mM NaCl uygulamasında 24.20 ± 0.58 nmol/min/ml olarak bulunmuştur. NaCl uygulamasının 4. gününde GPx enzim aktivitesinin kontrol grubuna göre azalma saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, NaCl uygulamasında günlere göre GPx enzim aktivitesi arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün 200 mM NaCl+SNP uygulamasında kontrol grubuna göre GPx enzim aktivitesinde artış saptanırken, 100 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP uygulamalarında kontrol grubuna göre azalma olduğu saptanmıştır. En yüksek GPx enzim aktivitesi 100 mM NaCl+SNP uygulamasının 4. gününde 24.48 ± 0.51 nmol/min/ml olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.4 incelendiğinde 4. gün 100 mM NaCl+SNP uygulamasında kontrol grubuna göre GPx enzim aktivitesinde artış olduğu görülürken, 200 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP uygulamalarında kontrol grubuna göre azalma saptanmıştır. Yapılan istatistiksel analize göre, 4. günde 100 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP uygulamaları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

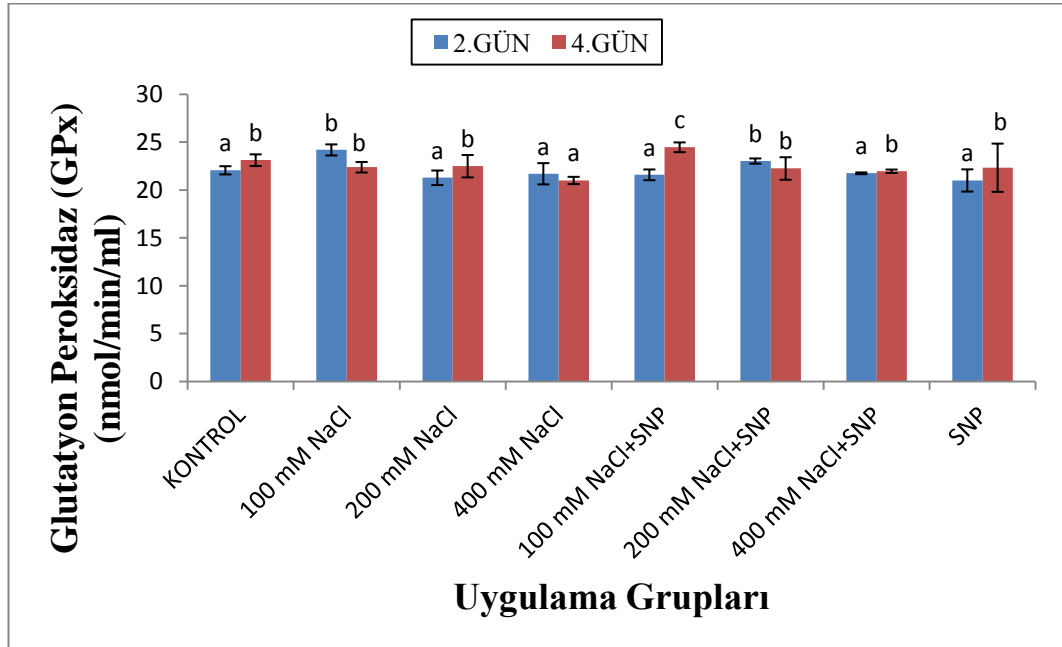
A-6535 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında kontrol grubuna göre 2. ve 4. günlerde GPx enzim aktivitesinde azalma belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP ve kontrol grubunda belirlenen GPx enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$) saptanırken, 4. günde SNP ve 100 mM NaCl+SNP uygulaması arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün 100 mM NaCl uygulamasının 100 mM NaCl+SNP uygulamasına göre GPx enzim aktivitesinde azalma olduğu belirlenirken diğer iki NaCl+SNP uygulamasında NaCl uygulamalarına göre artış olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4). 4. gün 200 mM NaCl uygulamasının 200 mM NaCl+SNP uygulamasına göre GPx enzim aktivitesinde azalma olduğu saptanırken

diğer iki NaCl+SNP uygulamasında NaCl uygulamalarına göre artış olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 2. günde 100 mM NaCl ve 100 mM NaCl+SNP uygulamalarındaki GPx enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4).

Çizelge 4.4. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde GPx aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kontrol | 22.07±0.43 a | 23.13±0.61 b |
| 100 mM NaCl | 24.20±0.58 b | 22.39±0.55 b |
| 200 mM NaCl | 21.29±0.76 a | 22.50±1.17 b |
| 400 mM NaCl | 21.71±1.11 a | 21.01±0.38 a |
| 100 mM NaCl+SNP | 21.60±0.56 a | 24.48±0.51 c |
| 200 mM NaCl+SNP | 23.04±0.27 b | 22.26±1.18 b |
| 400 mM NaCl+SNP | 21.76±0.09 a | 21.97±0.18 b |
| 100 µM SNP | 21.01±1.16 a | 22.34±2.52 b |



Şekil 4.4. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde GPx aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$). Sütunlardaki hata çubukları ortalama \pm standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.3. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi Üzerine Etkileri

4.3.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-2517 bitkisinin yaprak dokusunda askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5).

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl (100, 200 ve 400 mM) uygulamalarında kontrol grubuna göre 2. ve 4. günlerde APX enzim aktivitesinde artış olduğu belirlenmiştir. En yüksek APX enzim aktivitesi 100 mM NaCl uygulamasının 2. gününde 9.08 ± 0.02 nmol/min/ml olarak bulunmuştur. 4. günde ise NaCl uygulamalarında 2. güne göre APX enzim aktivitelerinde azalma saptanmıştır (Çizelge 4.5). Yapılan istatistik analize göre, NaCl ve kontrol grubu uygulamalarında belirlenen APX enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanırken, 4. gün 200 mM NaCl ve 400 mM NaCl uygulamaları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$) saptanmıştır.

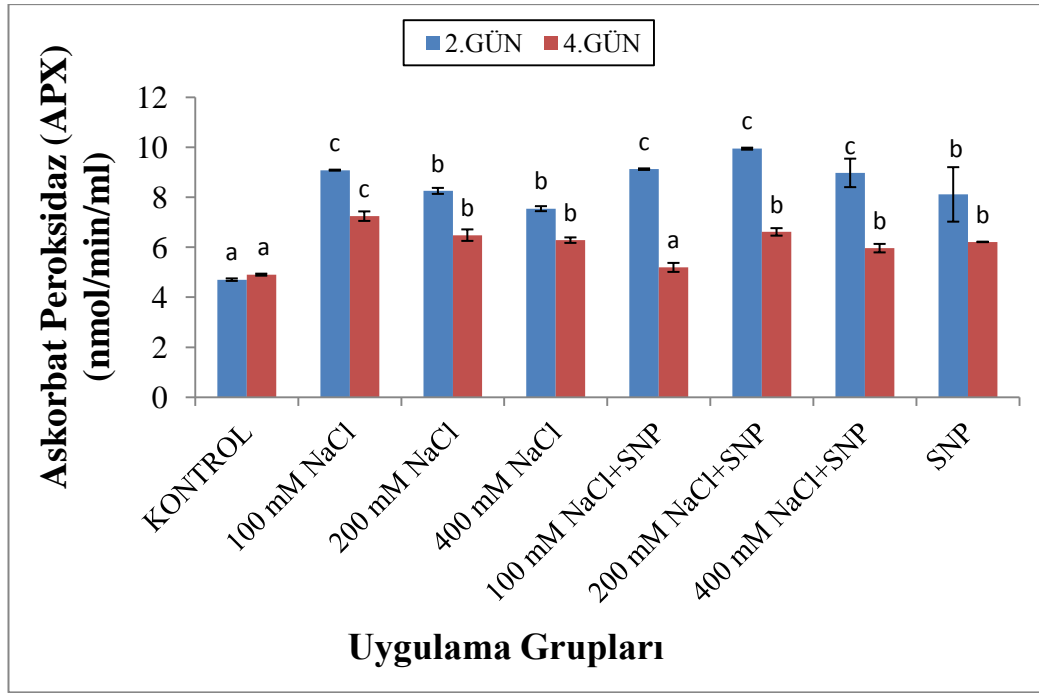
Çizelge 4.5 incelendiğinde, A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl+SNP uygulamalarında kontrol grubuna bağlı olarak APX enzim aktivitesinde bir artış saptanırken günlere bağlı olarak azalmaların olduğu belirlenmiştir. En yüksek APX enzim aktivitesi 200 mM NaCl+SNP uygulamasının 2. gününde 9.94 ± 0.04 nmol/min/ml olarak bulunmuştur. 2. ve 4. günler arasında en belirgin azalmanın 100 mM NaCl+SNP uygulamasında olduğu görülmektedir. 2. gün 100 mM NaCl+SNP, 200 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP uygulamalarının APX enzim aktiviteleri sırasıyla 9.12 ± 0.03 nmol/min/ml, 9.94 ± 0.04 nmol/min/ml ve 8.97 ± 0.57 nmol/min/ml olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 2. gün NaCl+SNP uygulamaları ve kontrol grubu arasında APX enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde SNP uygulamasında kontrol grubuna göre, APX enzim aktivitesinde artış belirlenirken günlere göre azalma bulunmuştur (Çizelge 4.5). Yapılan istatistik analize göre, SNP ve kontrol uygulamalarında belirlenen APX enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün tüm NaCl+SNP uygulamalarında NaCl uygulamalarına göre APX enzim aktivitelerinde artış olduğu saptanmıştır. 4. günde ise, 200 mM NaCl+SNP hariç tüm NaCl uygulama gruplarına göre azalma saptanmıştır (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5). 2. gün APX enzim aktivitelerindeki en yüksek artışın 100 mM NaCl uygulaması ve 200 mM NaCl+SNP uygulaması arasında olduğu görülmektedir (sırasıyla 9.08 ± 0.02 nmol/min/ml ve 9.94 ± 0.04 nmol/min/ml).Yapılan istatistik analize göre, 2. gün 200 mM NaCl uygulaması ve 200 mM NaCl+SNP uygulaması APX enzim aktiviteleri arasındaki fark ile 400 mM NaCl uygulaması ve 400 mM NaCl+SNP uygulaması arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p\leq 0.05$) saptanmıştır. 4. gün 200 mM NaCl uygulamasında 200 mM NaCl+SNP uygulamasına göre APX enzim aktivitelerinde artış belirlenirken diğer iki konsantrasyon grubu (100 mM NaCl -100 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl -400 mM NaCl+SNP) arasında APX enzim aktivitelerinde azalma belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, sadece 4. gün 100 mM NaCl uygulaması ve 100 mM NaCl+SNP uygulaması APX enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p\leq 0.05$) saptanmıştır (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5).

Çizelge 4.5. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde APX aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P>0.05$)

| Uygulama Grupları | 2. GÜN | 4. GÜN |
|------------------------|--------------------|--------------------|
| Kontrol | 4.70±0.05 a | 4.90±0.04 a |
| 100 mM NaCl | 9.08±0.02 c | 7.24±0.19 c |
| 200 mM NaCl | 8.25±0.12 b | 6.48±0.23 b |
| 400 mM NaCl | 7.54±0.10 b | 6.28±0.11 b |
| 100 mM NaCl+SNP | 9.12±0.03 c | 5.19±0.18 a |
| 200 mM NaCl+SNP | 9.94±0.04 c | 6.61±0.15 b |
| 400 mM NaCl+SNP | 8.97±0.57 c | 5.96±0.17 b |
| 100 µM SNP | 8.11±1.09 b | 6.21±0.01 b |



Şekil 4.5. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde APX aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Sütunlar aynı gözlenen değerleri göstermektedir (P>0.05). Sütunlardaki hata çubukları ortalama ± standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.3.2. *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-6535 bitkisinin yaprak dokusunda askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6).

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün tüm NaCl uygulamalarında kontrol grubuna göre, APX enzim aktivitelerinde azalma olduğu saptanmıştır. En düşük APX enzim aktivitesi 100 mM NaCl uygulamasında 4.08 ± 0.01 nmol/min/ml olarak saptanmıştır (Çizelge 4.6). Yapılan istatistik analize göre, 2. günde tüm NaCl uygulamaları ve kontrol grubu uygulamalarında APX enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. 4. gün 400 mM NaCl uygulaması kontrol grubuna göre APX enzim aktivitesinde artış olduğu belirlenirken diğer iki konsantrasyonda (100 mM NaCl ve 200 mM NaCl) kontrol grubuna göre APX enzim aktivitesinde azalma olduğu belirlenmiştir. En yüksek APX enzim aktivitesi NaCl uygulamalarında 4. gün 400 mM NaCl+SNP uygulama grubunda 7.25 ± 0.12 nmol/min/ml olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 4. gün

400 mM NaCl uygulaması ve kontrol grubu uygulamaları APX enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p>0.05$) saptanmıştır.

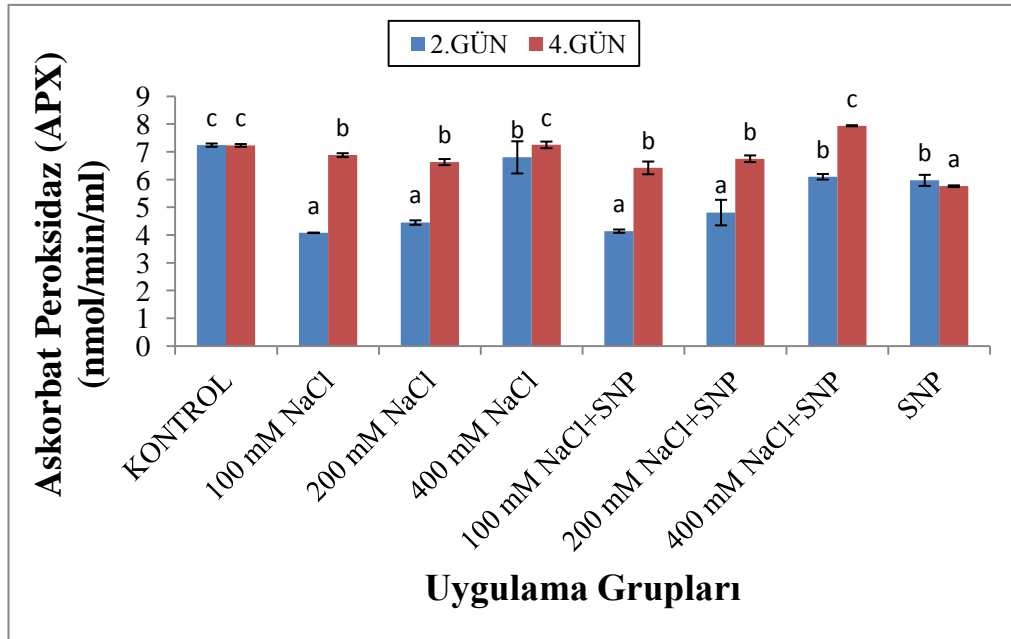
Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6 incelendiğinde, A-6535 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl+SNP uygulamalarında kontrol grubuna bağlı olarak APX enzim aktivitesinde azalma saptanmıştır (4. gün 400mM NaCl+SNP grubu hariç). 4. günde 2. güne göre NaCl+SNP gruplarında bir artış görülmüştür. Tüm uygulama gruplarında en yüksek APX enzim aktivitesi 4. günde 400mM NaCl+SNP grubunda 7.94 ± 0.02 nmol/min/ml olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 2. ve 4. günlerde NaCl+SNP uygulamaları ile kontrol grubu uygulamalarının APX enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p\leq 0.05$) belirlenmiştir.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında kontrol grubuna ve günlere bağlı olarak APX enzim aktivitesinde azalma belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP ve kontrol uygulamalarında belirlenen APX enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p\leq 0.05$) saptanmıştır.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün 400 mM NaCl uygulamasında 400 mM NaCl+SNP uygulamasına göre APX enzim aktivitesinde azalma olduğu (sırasıyla 6.80 ± 0.58 nmol/min/ml ve 6.10 ± 0.10 nmol/min/ml) diğer iki NaCl uygulamasındaki (100 mM NaCl ve 200 mM NaCl) APX enzim aktivitesi NaCl+SNP uygulamasına (100 mM NaCl+SNP ve 200 mM NaCl+SNP) göre artış göstermiştir (Çizelge 4.6). Yapılan istatistik analize göre, 2. gün ve 4. günlerde tüm NaCl+SNP uygulamaları ve NaCl uygulamaları APX enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p>0.05$) saptanmıştır (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6).

Çizelge 4.6. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde APX aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir (P>0.05)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|-------------------|-------------|-------------|
| Kontrol | 7.24±0.06 c | 7.23±0.05 c |
| 100 mM NaCl | 4.08±0.01 a | 6.88±0.07 b |
| 200 mM NaCl | 4.45±0.08 a | 6.63±0.11 b |
| 400 mM NaCl | 6.80±0.58 b | 7.25±0.12 c |
| 100 mM NaCl+SNP | 4.14±0.06 a | 6.42±0.23 b |
| 200 mM NaCl+SNP | 4.81±0.46 a | 6.75±0.12 b |
| 400 mM NaCl+SNP | 6.10±0.10 b | 7.94±0.02 c |
| 100 µM SNP | 5.97±0.20 b | 5.76±0.03 a |



Şekil 4.6. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde APX aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir (P>0.05). Sütunlardaki hata çubukları ortalama ± standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.4. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Katalaz (CAT) Aktivitesi Üzerine Etkileri

4.4.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Aktivitesi Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-2517 bitkisinin yaprak dokusunda katalaz (CAT) aktivitesi NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7).

Çizelge 4.7 incelendiğinde A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün NaCl (100, 200 ve 400 mM) uygulamalarının CAT enzim aktivitelerinde kontrol grubuna göre, bir azalma görülürken, 4. gün NaCl uygulamalarındaki CAT enzim aktivitelerinde 100 mM NaCl uygulamasında bir azalma, 200 mM ve 400 mM NaCl uygulamalarında ise çok az bir artış saptanmıştır. NaCl uygulamasında belirlenen en yüksek enzim aktivitesi 400 mM NaCl uygulamasının 4. gününde 15.75 ± 0.62 nmol/min/ml olarak bulunmuştur. NaCl uygulamalarının CAT aktivitesinde 4. günde 2. güne göre yaklaşık 2 kat artış olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, NaCl uygulamasında günler arası CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir.

Çizelge 4.7 incelendiğinde, A-2517 çeşidi yaprak dokusunda NaCl+SNP uygulamalarında kontrol grubuna göre CAT enzim aktivitelerinde azalma olduğu saptanmıştır. 2. gün CAT enzim aktiviteleri (100 NaCl+SNP, 200 NaCl+SNP ve 400 NaCl+SNP)sırasıyla 8.50 ± 0.04 nmol/min/ml, 9.80 ± 0.35 nmol/min/ml ve 8.60 ± 0.29 nmol/min/ml 4. gün ise sırasıyla 8.51 ± 0.75 nmol/min/ml, 9.62 ± 0.44 nmol/min/ml ve 8.91 ± 0.27 nmol/min/ml olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, NaCl+SNP uygulaması ve kontrol grubu CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

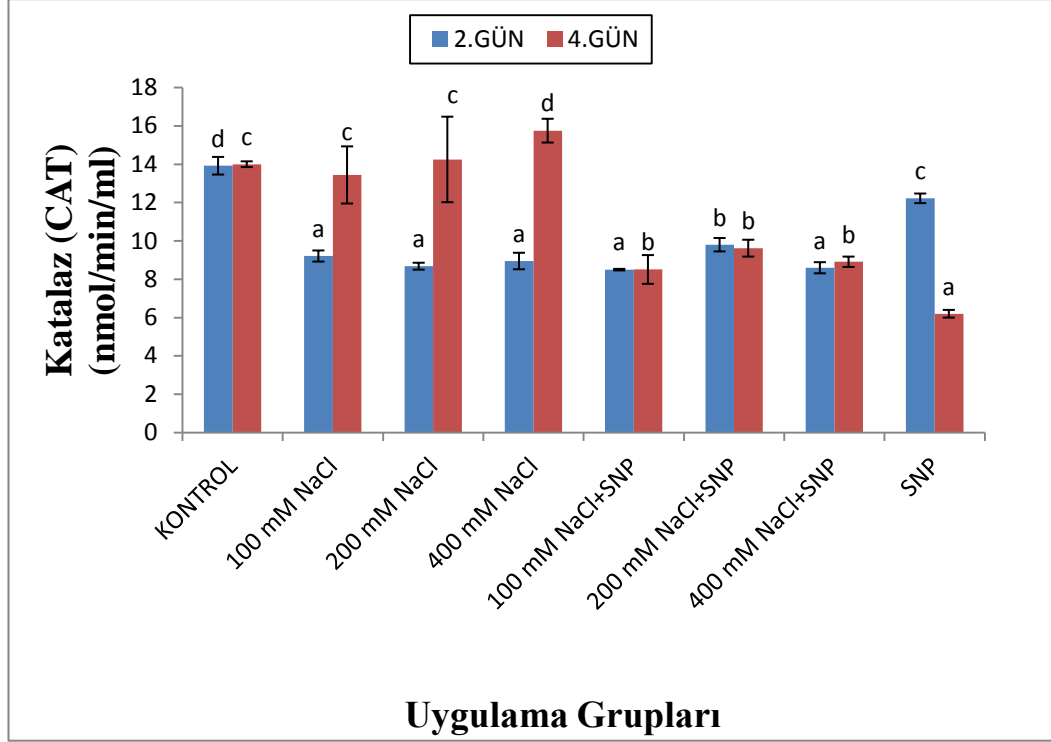
A-2517 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasının kontrol grubuna ve günlere göre CAT enzim aktivitelerinde azalma olduğu saptanmıştır. 4. gün SNP uygulaması ile elde edilen CAT enzim aktivitesinin, kontrol grubunun yaklaşık yarısı değerinde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.7). Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulaması ve kontrol grubu CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. 2. gün tüm NaCl uygulama gruplarının SNP uygulamasına göre CAT enzim aktivitelerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasında NaCl konsantrasyonlarına göre

CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün 100 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP uygulamalarının 100 mM NaCl ve 400 mM NaCl uygulamalarına göre CAT enzim aktivitelerinde azalma olduğu belirlenirken 200 mM NaCl+SNP uygulamasındaki CAT enzim aktivitesinde 200 mM NaCl uygulamasına göre artış olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7 incelendiğinde, 4. gün NaCl+SNP uygulamalarında NaCl uygulamalarına göre CAT enzim aktivitelerinde yaklaşık 1.5 katı kadar azalma saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 4. gün NaCl ve NaCl+SNP uygulamalarındaki tüm CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7).

Çizelge 4.7. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde CAT aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kontrol | 13.92±0.46 d | 14.00±0.15 c |
| 100 mM NaCl | 9.21±0.29 a | 13.44±1.49 c |
| 200 mM NaCl | 8.68±0.18 a | 14.25±2.23 c |
| 400 mM NaCl | 8.95±0.43 a | 15.75±0.62 d |
| 100 mM NaCl+SNP | 8.50±0.04 a | 8.51±0.75 b |
| 200 mM NaCl+SNP | 9.80±0.35 b | 9.62±0.44 b |
| 400 mM NaCl+SNP | 8.60±0.29 a | 8.91±0.27 b |
| 100 µM SNP | 12.22±0.25 c | 6.20±0.20 a |



Şekil 4.7. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde CAT aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$). Sütunlardaki hata çubukları ortalama \pm standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.4.2. *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Aktivitesi Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-6535 bitkisinin yaprak dokusunda CAT enzim aktiviteleri NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.8 ve Şekil 4.8).

Şekil 4.8 incelendiğinde, A-6535 çeşidi yaprak dokusunda CAT enzim aktivitesinin NaCl uygulamalarının (100, 200 ve 400 mM) kontrol grubuna göre, yaklaşık 2.5-3 katı kadar bir artış belirlenmiştir. 4 gündeki CAT enzim aktivitesinde de 2. güne göre yine bir artış saptanmıştır. En yüksek CAT enzim aktivitesi 200 mM NaCl uygulamasının 4. gününde 18.51 ± 0.18 nmol/min/ml olarak bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, NaCl uygulamaları ve kontrol grubu uygulamaları CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda NaCl+SNP uygulamalarında tüm uygulamaların kontrol grubuna göre, CAT enzim aktivitelerinde artış saptanmıştır.

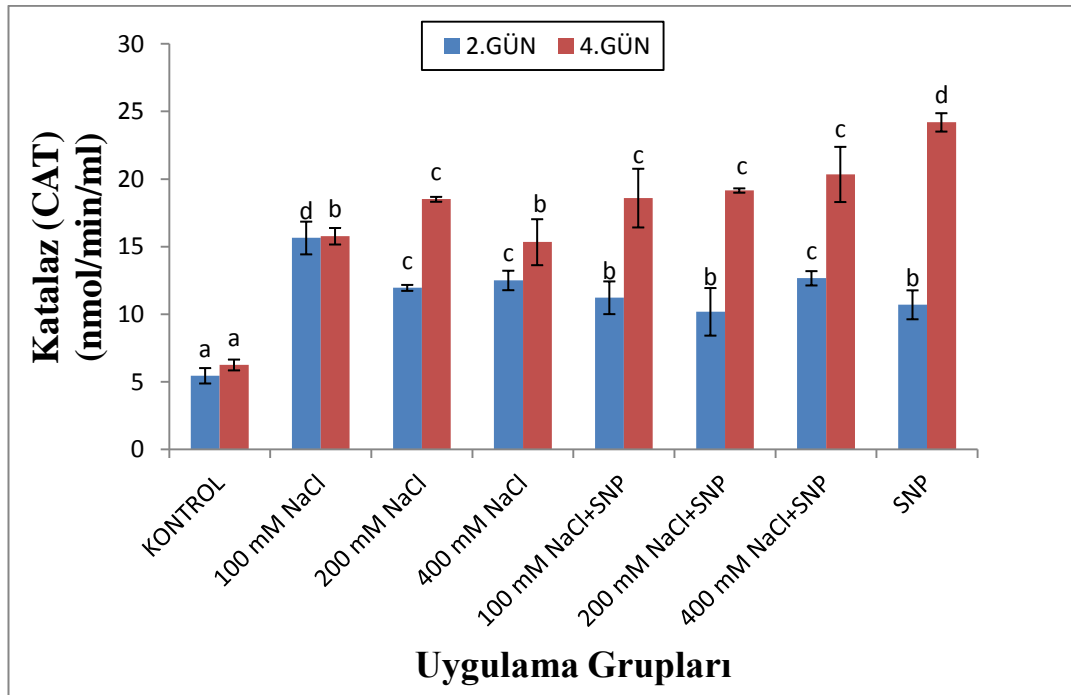
Çizelge 4.8 incelendiğinde 2. günde CAT enzim aktivitelerindeki artışın yaklaşık 2 katı kadar olduğu 4. gündeki CAT enzim aktivitelerindeki artışın ise yaklaşık 3 katı kadar olduğu belirlenmiştir. NaCl+SNP uygulamalarında tüm uygulamaların günlere göre CAT enzim aktivitelerinde artış saptanmıştır. Günler arasında CAT enzim aktivitelerinde en yüksek artışın 200 mM NaCl+SNP uygulamasının 2. ve 4. günlerinde (sırasıyla; 10.19 ± 1.76 nmol/min/ml ve 19.16 ± 0.16 nmol/min/ml) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.8). Yapılan istatistik analize göre, NaCl+SNP uygulamaları ve kontrol grubu CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında kontrol grubuna göre CAT enzim aktivitelerinde artış saptanmıştır. Çizelge 4.8 incelendiğinde CAT enzim aktivitelerindeki artışın kontrol grubuna göre, 2. gün yaklaşık 2 katı kadar 4. gün ise yaklaşık 4 katı kadar olduğu görülmektedir. SNP uygulamasına göre NaCl konsantrasyonlarındaki CAT enzim aktivitelerinde 2. gün artış saptanırken 4. gün NaCl uygulamaları CAT enzim aktivitelerinde azalma saptanmıştır. SNP uygulamasında günlere göre CAT enzim aktivitesindeki artışın önemli olduğu ve yaklaşık 2 katı kadar olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.8 ve Şekil 4.8). Yapılan istatistik analize göre, 2. gün SNP uygulaması ile 100 mM NaCl+SNP ve 200 mM NaCl+SNP uygulamaları CAT enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç diğer tüm gün ve konsantrasyonlar arasındaki CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün 400 mM NaCl+SNP uygulamasının 400 mM NaCl uygulamasına göre, CAT enzim aktivitesinde artış olduğu bulunurken 4. gün NaCl+SNP uygulamalarının tümünde NaCl uygulamalarına göre CAT enzim aktivitelerinde artış olduğu bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, 4. gün 200 NaCl ve 200 NaCl+SNP uygulamalarındaki CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) diğer iki konsantrasyon için CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir (Çizelge 4.8 ve Şekil 4.8).

Çizelge 4.8. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde CAT aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir (P>0.05)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kontrol | 5.46±0.57 a | 6.26±0.40 a |
| 100 mM NaCl | 15.65±1.21 d | 15.78±0.61 b |
| 200 mM NaCl | 11.96±0.22 c | 18.51±0.18 c |
| 400 mM NaCl | 12.51±0.72 c | 15.34±1.70 b |
| 100 mM NaCl+SNP | 11.23±1.21 b | 18.60±2.17 c |
| 200 mM NaCl+SNP | 10.19±1.76 b | 19.16±0.16 c |
| 400 mM NaCl+SNP | 12.67±0.53 c | 20.35±2.04 c |
| 100 µM SNP | 10.71±1.07 b | 24.20±0.68 d |



Şekil 4.8. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde CAT aktivitesinde (nmol/min/ml) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir (P>0.05). Sütunlardaki hata çubukları ortalama ± standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.5. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri

4.5.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-2517 bitkisinin yaprak dokusunda nitrik oksit düzeyi NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.9 ve Şekil 4.9).

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl uygulamalarında (100, 200 ve 400 mM) nitrik oksit düzeylerinin kontrole göre ve günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır (Çizelge 4.9). En yüksek NO düzeyi 400 mM NaCl uygulamasının 4. gününde $3012.58 \pm 9.57 \mu\text{M}$ olarak bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, NaCl uygulamasının her iki gününde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$).

Çizelge 4.9 ve Şekil 4.9 incelendiğinde, A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl+SNP uygulamalarında günlere ve konsantrasyonlara göre NO düzeylerinde artış belirlenmiştir. En yüksek NO düzeyinin 400 mM NaCl+SNP uygulamasının 4. gününde $2985.92 \pm 4.50 \mu\text{M}$ olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 400 mM NaCl+SNP konsantrasyonundaki NO düzeylerinin diğer iki konsantrasyona ve kontrole göre önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir.

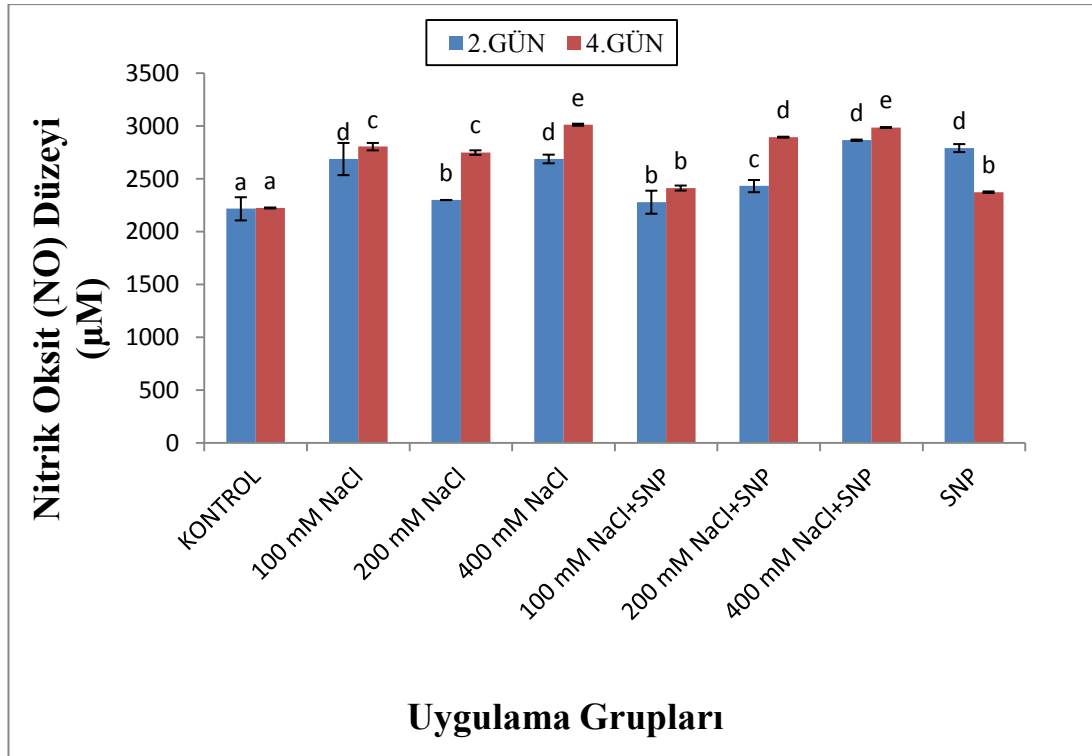
A-2517 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasının kontrol grubuna göre NO düzeyinde artış belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP ve kontrol uygulamalarında belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün 100 mM NaCl+SNP uygulamasının 100 mM NaCl uygulamasına göre NO düzeyinde azalma belirlenirken, diğer iki NaCl+SNP uygulamasının (200 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP) NaCl uygulamalarına (200 mM NaCl ve 400 mM NaCl) göre NO düzeylerinde artış olduğu belirlenmiştir. 4. gün 200 mM NaCl+SNP uygulamasındaki NO düzeyinde 200 mM NaCl uygulamasına göre artış olduğu ve diğer iki NaCl+SNP uygulamasının (100 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP) NaCl uygulamalarına (100 mM NaCl ve 400 mM NaCl) göre ise azalma olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 2. ve 4. günlerde NaCl+SNP uygulamaları ve NaCl

uygulamaları NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.9 ve Şekil 4.9).

Çizelge 4.9. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde NO düzeyinde (μM) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|---|-------------------------|------------------------|
| Kontrol | 2216.21±109.66 a | 2224.23±4.58 a |
| 100 mM NaCl | 2687.60±152.53 d | 2804.85±35.12 c |
| 200 mM NaCl | 2299.47±0.69 b | 2748.75±21.45 c |
| 400 mM NaCl | 2688.17±40.95 d | 3012.58±9.57 e |
| 100 mM NaCl+SNP | 2278.84±109.03 b | 2412.88±23.75 b |
| 200 mM NaCl+SNP | 2431.46±57.83 c | 2894.54±4.53 d |
| 400 mM NaCl+SNP | 2865.80±6.43 d | 2985.92±4.50 e |
| 100 μM SNP | 2791.29±37.98 d | 2373.75±7.11 b |



Şekil 4.9. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde NO düzeyinde (μM) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri hatayı (S.H.) göstermektedir ($P > 0.05$). Sütunlardaki hata çubukları ortalama \pm standart göstermektedir

4.5.2. *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-6535 bitkisinin yaprak dokusunda nitrik oksit düzeyi NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.10 ve Şekil 4.10).

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda, 2. ve 4. gün NaCl uygulamalarında (100, 200 ve 400 mM) NO düzeylerinin kontrol grubuna göre arttığı belirlenmiştir. Çizelge 4.10 ve Şekil 4.10 incelendiğinde 2. gün NaCl uygulamasında kontrol grubuna göre NO düzeylerinin yaklaşık 0.5 kat arttığı ve en yüksek NO düzeyinin 400 mM NaCl uygulamasının 2. gününde $2758.08 \pm 16.98 \mu\text{M}$ olduğu görülmektedir. NaCl uygulamalarında NO düzeylerinin günlere göre azaldığı saptanmıştır. Yapılan istatistiksel analize göre, NaCl uygulamaları ve kontrol grubu NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl+SNP uygulamaları NO düzeylerinde kontrol grubuna göre artış olduğu saptanmıştır. En yüksek NO düzeyi 100 mM NaCl+SNP uygulamasının 2. gününde $2282.88 \pm 0.90 \mu\text{M}$ olarak belirlenmiştir. NaCl+SNP uygulamalarının NO düzeylerinde günlere göre azalma görülmüştür. Yapılan istatistiksel analize göre, NaCl+SNP uygulamaları ve kontrol grubu NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

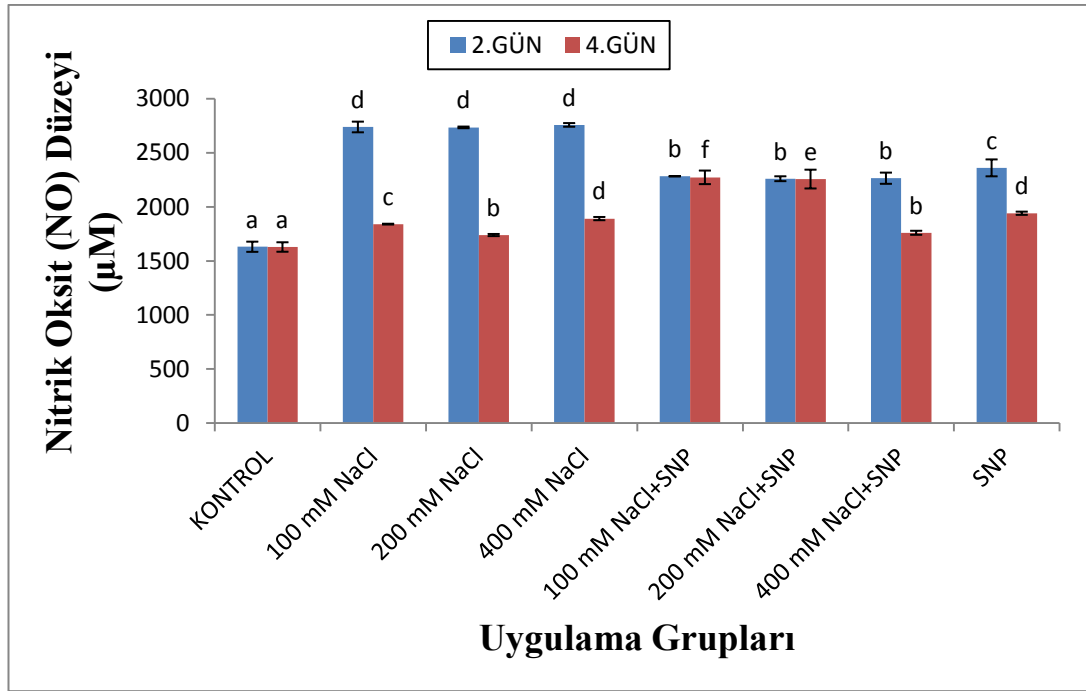
A-6535 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında kontrol grubuna göre NO düzeylerinde artış belirlenmiştir. Çizelge 4.10 incelendiğinde 2. gün NO düzeyindeki artışın yaklaşık 0.5 kat olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre SNP uygulaması ve kontrol grubu NO düzeyleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2.gün tüm NaCl+SNP uygulamalarının NaCl uygulamalarına göre NO düzeylerinde azalma olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 2. günde NaCl+SNP uygulamaları ve NaCl uygulamaları NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. Çizelge 4.10 ve Şekil 4.10 incelendiğinde 4. gün 400 mM NaCl+SNP uygulamasındaki NO düzeyinin 400 mM NaCl uygulamasına göre azaldığı görülürken diğer iki NaCl+SNP uygulamasının (100 mM NaCl+SNP ve 200 mM NaCl+SNP) NaCl uygulamalarına (100 mM NaCl ve 200 mM NaCl) göre NO düzeylerinin arttığı görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 4. gün NaCl+SNP uygulamaları ve

NaCl uygulamaları NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.10 ve Şekil 4.10).

Çizelge 4.10. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde NO düzeyinde (μM) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|---|------------------------|------------------------|
| Kontrol | 1630.42±47.21 a | 1628.13±43.79 a |
| 100 mM NaCl | 2738.92±49.48 d | 1839.75±3.71 c |
| 200 mM NaCl | 2735.00±7.64 d | 1738.71±9.93 b |
| 400 mM NaCl | 2758.08±16.98 d | 1891.00±14.85 d |
| 100 mM NaCl+SNP | 2282.88±0.90 b | 2272.79±62.63 f |
| 200 mM NaCl+SNP | 2259.88±22.49 b | 2256.75±86.87 e |
| 400 mM NaCl+SNP | 2264.75±51.84 b | 1759.67±18.67 b |
| 100 μM SNP | 2360.42±78.24 c | 1940.50±14.80 d |



Şekil 4.10. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde NO düzeyinde (μM) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$). Sütunlardaki hata çubukları ortalama \pm standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.6. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri

4.6.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-2517 bitkisinin yaprak dokusunda oransal su içeriği (OSİ) (%), NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.11 ve Şekil 4.11).

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl uygulamalarında (100, 200 ve 400 mM) OSİ değerlerinin kontrol grubuna ve günlere göre azaldığı saptanmıştır. Çizelge 4.11 incelendiğinde NaCl uygulamasında en yüksek azalışın 4. gün 400 mM NaCl uygulaması OSİ değerinde olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, NaCl uygulamasında tüm uygulama grupları ve kontrol grubu OSİ değerleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

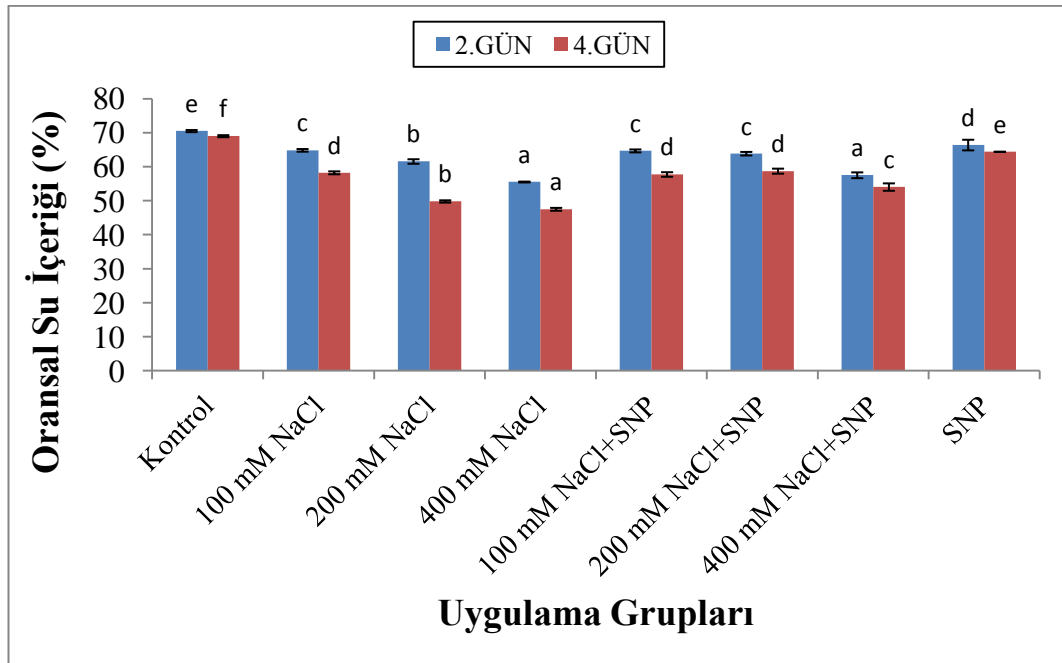
A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl+SNP uygulamalarında OSİ değerlerinin kontrol grubuna ve günlere göre azalma olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, NaCl+SNP uygulamasında tüm uygulama grupları ve kontrol grubu OSİ değerleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında kontrol grubuna ve günlere göre OSİ değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.11 incelendiğinde SNP uygulamasına göre, tüm uygulama gruplarındaki OSİ değerlerinde azalma bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, SNP ve kontrol uygulamalarında belirlenen OSİ değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. ve 4. gün 100 mM NaCl+SNP uygulamasında 100 mM NaCl uygulamasına göre OSİ değerlerinde azalma olduğu saptanmıştır. 2. ve 4. gün 200 mM NaCl+SNP uygulamasında 200 mM NaCl uygulamasına göre ve 400 mM NaCl+SNP uygulamasının 400 mM NaCl uygulamasına göre OSİ değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel analize göre, 2. ve 4. gün bazı NaCl+SNP uygulamaları ve NaCl uygulamaları OSİ değerleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.11 ve Şekil 4.11).

Çizelge 4.11. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde oransal su içeriğinde (OSİ) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir (P>0.05)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|------------------------|--------------|--------------|
| Kontrol | 70.51±0.31 e | 69.01±0.30 f |
| 100 mM NaCl | 64.84±0.39 c | 58.23±0.43 d |
| 200 mM NaCl | 61.56±0.66 b | 49.81±0.34 b |
| 400 mM NaCl | 55.53±0.13 a | 47.50±0.42 a |
| 100 mM NaCl+SNP | 64.68±0.43 c | 57.74±0.67 d |
| 200 mM NaCl+SNP | 63.86±0.52 c | 58.72±0.74 d |
| 400 mM NaCl+SNP | 57.51±0.85 a | 54.04±1.09 c |
| 100 µM SNP | 66.40±1.56 d | 64.41±0.04 e |



Şekil 4.11. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde oransal su içeriğinde (OSİ) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir (P>0.05). Sütunlardaki hata çubukları ortalama ± standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.6.2. *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-6535 bitkisinin yaprak dokusunda oransal su içeriği (OSİ) (%), NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.12 ve Şekil 4.12).

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün 100 mM NaCl uygulamasında OSİ değerinin kontrol grubuna göre arttığı belirlenirken, 200 mM NaCl ve 400 mM NaCl uygulamalarında azaldığı belirlenmiştir. 4. gün tüm NaCl uygulamalarında (100, 200 ve 400 mM) OSİ değerinin kontrol grubuna göre azaldığı saptanmıştır. Şekil 4.12 incelendiğinde tüm NaCl uygulamalarında OSİ değerlerinin günlere göre azaldığı görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, NaCl uygulamasında bazı uygulama grupları ve kontrol grubu OSİ değerleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün 100 mM NaCl+SNP ve 200 mM NaCl+SNP uygulamalarında OSİ değerlerinin kontrol grubuna göre arttığı 400 mM NaCl+SNP uygulamasında ise azaldığı saptanmıştır. 4. gün tüm NaCl+SNP uygulamalarında OSİ değerlerinin kontrol grubuna göre azaldığı saptanmıştır. NaCl+SNP uygulamalarının tümünde OSİ değerlerinin günlere göre azaldığı saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, tüm NaCl+SNP uygulamaları ve kontrol grubu OSİ değerleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

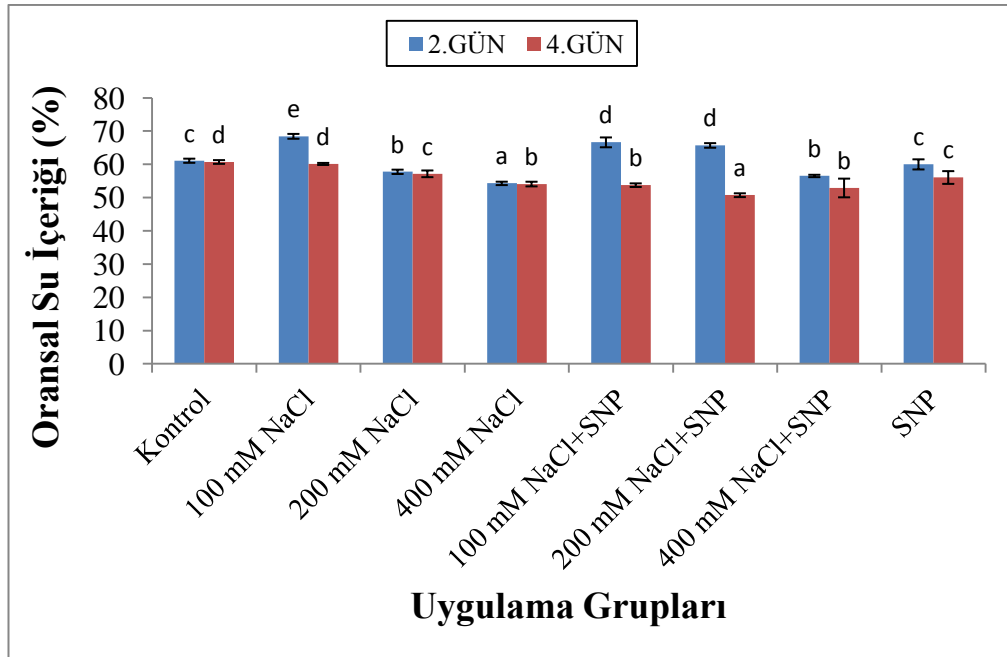
A-6535 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında kontrol grubuna ve günlere bağlı olarak OSİ değerlerinde azalma belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 4. gün SNP ve kontrol uygulamalarında belirlenen OSİ değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$), ancak 2. gün SNP ve kontrol uygulamalarında belirlenen OSİ değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$) saptanmıştır.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün 100 mM NaCl+SNP uygulamasında 100 mM NaCl uygulamasına göre azalma saptanırken diğer iki NaCl+SNP uygulamasında NaCl uygulamalarına göre artış saptanmıştır. 4. gün NaCl+SNP uygulamalarının tümünde NaCl uygulamalarına göre azalma olduğu bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, 4. gün 100 mM NaCl uygulaması ve 100 mM NaCl+SNP uygulaması OSİ değerleri arasındaki fark ile 200 mM NaCl uygulaması

ve 200 mM NaCl+SNP uygulaması OSİ değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.12 ve Şekil 4.12).

Çizelge 4.12. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde oransal su içeriğinde (OSİ) gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|------------------------|---------------|--------------|
| Kontrol | 61.11±0.62 c | 60.74±0.56 d |
| 100 mM NaCl | 68.45±0.73 e | 60.15±0.31 d |
| 200 mM NaCl | 57.78±0.65 b | 57.18±1.01 c |
| 400 mM NaCl | 54.30±0.51 a | 54.10±0.70 b |
| 100 mM NaCl+SNP | 66.64±1.48 d | 53.76±0.54 b |
| 200 mM NaCl+SNP | 65.71±0.69 d | 50.75±0.57 a |
| 400 mM NaCl+SNP | 56.53±0.36 b | 52.92±2.81 b |
| 100 µM SNP | 60.01 ±1.52 c | 56.07±1.92 c |



Şekil 4.12. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde oransal su içeriğinde (OSİ) gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$). Sütunlardaki hata çubukları ortalama \pm standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.7. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında NaCl ve SNP Uygulamalarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri

4.7.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-2517 bitkisinin yaprak dokusunda toplam çözünebilir protein miktarı NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.13 ve Şekil 4.13).

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl uygulamalarında (100, 200 ve 400 mM) toplam çözünebilir protein miktarının kontrol grubuna göre azaldığı saptanmıştır. En yüksek toplam çözünebilir protein miktarı 400 mM NaCl uygulamasının 2. gününde 10.77 ± 0.40 mg/ml olarak belirlenmiştir. 200 mM NaCl uygulamasında günlere bağlı olarak toplam çözünebilir protein miktarında artış, 100 mM NaCl ve 400 mM NaCl uygulamalarında günlere bağlı olarak azalma belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel analize göre, 4. gün 400 mM NaCl uygulaması ve kontrol grubu toplam çözünebilir protein miktarı arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.13 ve Şekil 4.13).

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda NaCl+SNP uygulamasında tüm NaCl uygulamalarının bağlı olarak toplam çözünebilir protein miktarının kontrol grubuna göre azaldığı saptanmıştır. En yüksek toplam çözünebilir protein miktarı 200 mM NaCl+SNP uygulamasının 2. gününde 9.35 ± 0.06 mg/ml olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre tüm NaCl+SNP uygulamaları ve kontrol grubu toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

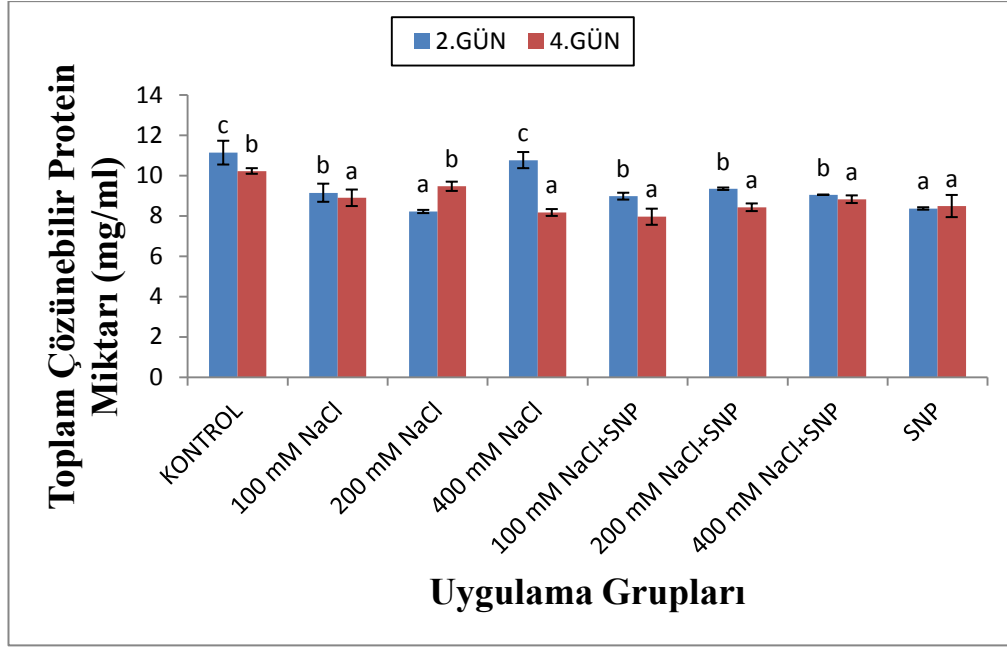
A-2517 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında kontrol grubuna göre toplam çözünebilir protein miktarında azalma olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 2. ve 4. gün SNP ve kontrol grubunda belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün 200 mM NaCl+SNP uygulamasının 200 mM NaCl uygulamasına göre toplam çözünebilir protein miktarında bir artış, diğer iki NaCl+SNP uygulamasının NaCl uygulamalarına göre azalma saptanmıştır. Yapılan istatistiksel analize göre, 2. gün 200 mM NaCl+SNP uygulaması ile 200 mM NaCl uygulaması toplam çözünebilir protein miktarı arasındaki fark ve 400 mM

NaCl+SNP uygulaması ile 400 mM NaCl uygulaması toplam çözünebilir protein miktarı arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. 4. gün ise 400 mM NaCl+SNP uygulamasında 400 mM NaCl uygulaması toplam çözünebilir protein miktarına göre artış olduğu saptanırken diğer iki NaCl+SNP uygulamasında NaCl uygulaması çözünebilir protein miktarına göre azalma olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistiksel analize göre, 4. gün 200 mM NaCl+SNP uygulaması ve 200 mM NaCl uygulaması toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.13 ve Şekil 4.13).

Çizelge 4.13. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde toplam çözünebilir protein miktarında gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kontrol | 11.14±0.59 c | 10.23±0.14 b |
| 100 mM NaCl | 9.15±0.45 b | 8.90±0.41 a |
| 200 mM NaCl | 8.22±0.08 a | 9.47±0.23 b |
| 400 mM NaCl | 10.77±0.40 c | 8.17±0.17 a |
| 100 mM NaCl+SNP | 8.98±0.17 b | 7.96±0.40 a |
| 200 mM NaCl+SNP | 9.35±0.06 b | 8.43±0.19 a |
| 400 mM NaCl+SNP | 9.05±0.01 b | 8.83±0.19 a |
| 100 µM SNP | 8.37±0.06 a | 8.49±0.55 a |



Şekil 4.13. *Helianthus annuus* L. A-2517 bitkisi yaprak dokusunda 2.ve 4. günlerde toplam çözünebilir protein miktarında gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P>0.05$). Sütunlardaki hata çubukları ortalama \pm standart hatayı (S.H.) göstermektedir

4.7.2. *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri

Helianthus annuus L. A-6535 bitkisinin yaprak dokusunda toplam çözünebilir protein miktarı NaCl ve SNP uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.14 ve Şekil 4.14).

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl uygulamalarında (100, 200 ve 400 mM) 2. ve 4. günlerde toplam çözünebilir protein miktarında kontrol grubuna göre artış günlere göre ise azalma saptanmıştır. En yüksek toplam çözünebilir protein miktarı 400 mM NaCl+SNP uygulamasının 2. gününde 16.66 ± 0.12 mg/ml olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 4. gün 100 mM NaCl uygulaması hariç diğer tüm NaCl uygulamaları ve kontrol grubu toplam çözünebilir protein miktarı arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün tüm NaCl+SNP uygulamalarında kontrol grubuna göre toplam çözünebilir protein miktarında artış olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.14 ve Şekil 4.14 incelendiğinde 4. gün 100 mM NaCl+SNP uygulaması toplam çözünebilir protein miktarında kontrol grubuna göre artış görülürken, 200 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP uygulamalarında toplam

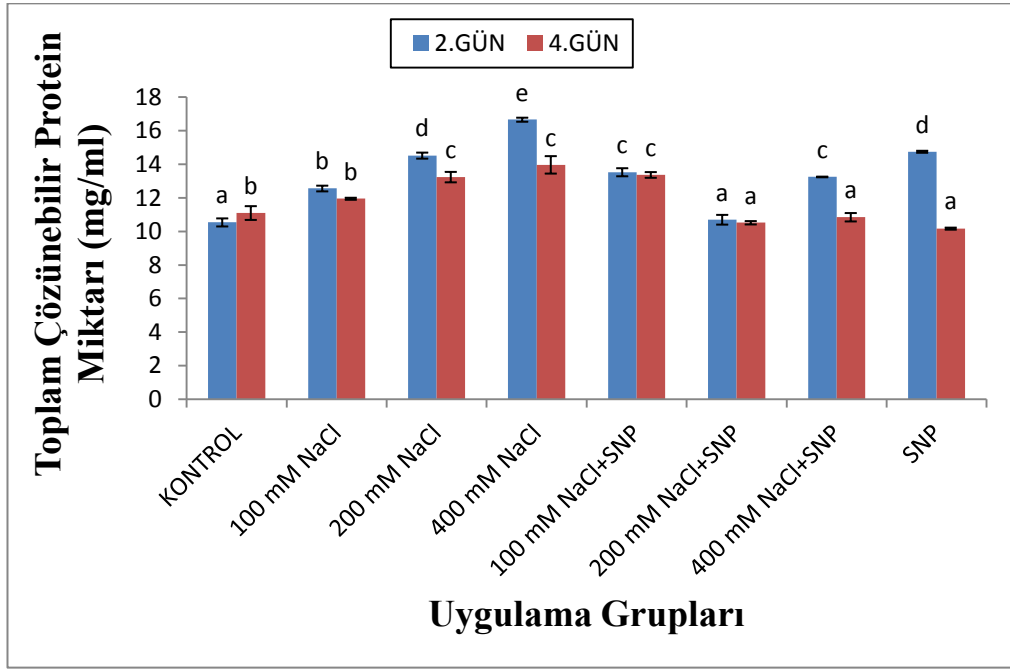
çözünebilir protein miktarlarında kontrol grubuna göre azalma olduğu belirlenmiştir. NaCl+SNP uygulamalarının günlere göre toplam çözünebilir protein miktarlarında azalma belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 2. gün 200 mM NaCl+SNP uygulaması hariç tüm NaCl+SNP uygulamaları ve kontrol grubu toplam çözünebilir protein miktarı arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. günde SNP uygulamasının kontrol grubuna göre toplam çözünebilir protein miktarında artış, 4. günde ise azalma olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP ve kontrol uygulamalarında belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. ve 4. gün 100 mM NaCl+SNP uygulamasında 100 mM NaCl uygulamasına göre toplam çözünebilir protein miktarları hariç diğer iki NaCl+SNP uygulamasında NaCl uygulamasına göre azalma saptanmıştır. Yapılan istatistiksel analize göre, 2. ve 4. gün tüm NaCl+SNP uygulamaları ve NaCl uygulamaları toplam çözünebilir protein miktarı arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.14 ve Şekil 4.14).

Çizelge 4.14. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4. günlerde toplam çözünebilir protein miktarında gözlenen değişimler. Rakamların yanlarındaki aynı harfler istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$)

| Uygulama Grupları | 2.GÜN | 4.GÜN |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kontrol | 10.54±0.24 a | 11.10±0.41 b |
| 100 mM NaCl | 12.56±0.17 b | 11.95±0.06 b |
| 200 mM NaCl | 14.52±0.18 d | 13.24±0.31 c |
| 400 mM NaCl | 16.66±0.12 e | 13.97±0.52 c |
| 100 mM NaCl+SNP | 13.53±0.24 c | 13.37±0.17 c |
| 200 mM NaCl+SNP | 10.70±0.29 a | 10.52±0.10 a |
| 400 mM NaCl+SNP | 13.25±0.02 c | 10.85±0.25 a |
| 100 µM SNP | 14.75±0.06 d | 10.17±0.06 a |



Şekil 4.14. *Helianthus annuus* L. A-6535 bitkisi yaprak dokusunda 2. ve 4 günlerde toplam çözünebilir protein miktarında gözlenen değişimler. Sütunlar üzerindeki aynı harfler aynı gün için istatistiksel bakımdan farklı olmayan değerleri göstermektedir ($P > 0.05$). Sütunlardaki hata çubukları ortalama \pm standart hatayı (S.H.) göstermektedir

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

5.1. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD), Glutasyon Peroksidaz (GPx), Askorbat Peroksidaz (APX) ve Katalaz (CAT) Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri

Çalışmamızda NaCl stresine duyarlı olan A-2517 çeşidinin yaprak dokusunda NaCl (100, 200 ve 400 mM) ve NaCl+SNP uygulamalarının SOD enzim aktivitelerinin kontrol grubuna göre arttığı, günlere bağlı olarak ise azaldığı saptanmıştır. Şekil 4.1 incelendiğinde, SNP uygulamasında kontrol grubuna ve günlere bağlı olarak SOD enzim aktivitelerinde artışın olduğu anlaşılmaktadır. NaCl+SNP uygulamalarının tümünde NaCl uygulamalarına göre SOD enzim aktivitelerinde azalma olduğu belirlenmiştir. A-6535 çeşidi yaprak dokusunda ise 2. günde kontrole göre, 100 mM ve 200 mM NaCl uygulama gruplarında SOD enzim aktivitelerinde azalma görülürken 400 mM NaCl uygulamasında bir artış saptanmıştır. Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2 birlikte incelendiğinde, NaCl+SNP uygulamasında kontrole göre ve günlere bağlı olarak tüm NaCl+SNP uygulamalarında SOD enzim aktivitelerinde azalma olduğu görülmektedir. SNP uygulamasında 2. ve 4. günde kontrol grubuna bağlı olarak SOD enzim aktivitesinde azalma, günlere göre ise artış olduğu belirlenmiştir. NaCl+SNP uygulamalarının tümünde NaCl uygulamalarına göre SOD enzim aktivitelerinde azalma olduğu belirlenmiştir.

Çeşitli abiyotik streslerin reaktif oksijen türlerinin aşırı üretilmesine neden olduğu bilinmektedir. Reaktif oksijen türleri (ROT) proteinlere, lipitlere, karbonhidratlara ve DNA'ya zarar verir. ROT hem serbest radikalleri (O_2^- , süperoksit radikali; OH^\cdot , hidroksil radikali; HO_2^\cdot , perhidroksil radikali ve RO_2^\cdot , alkoksi radikali) hem de radikal olmayan (moleküler) formları, hidrojen peroksit (H_2O_2) ve singlet oksijen (1O_2) oluştururlar (Gill ve Tuteja, 2010). Tuzluluk bitkilerde reaktif oksijen türlerinin (ROT) oluşumuna neden olmaktadır (Sairam ve Srivastava, 2002). Bitki hücreleri bu radikallerin zararlı etkilerinden kompleks bir antioksidan sistem tarafından korunurlar (Chandra ve Dubey, 2010). Antioksidan metabolizması, tuzluluk stresi ile oluşan reaktif oksijen türlerinin (ROT) ortadan kalkmasını sağlayan antioksidan enzimler ve enzimatik olmayan bileşikleri içermektedir. Tuzluluk toleransı süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutasyon peroksidaz (GPx), askorbat peroksidaz (APX) ve glutasyon redüktaz (GR)

gibi enzimleri içine alan antioksidan enzim aktivitesine ve enzimatik olmayan antioksidan bileşiklerin birikimi ile bağlantılıdır (Gupta ve Huang, 2014). Bitkilerde tuz stresi ile ilgili araştırmaların çoğunda ROT ların zararlarını ortadan kaldırmada antioksidan enzim sistemi ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur (Dinakar vd., 2012). SOD, CAT, APX, POD, GR ve monodehidroaskorbat (MDAR) gibi bu tür antioksidan enzimlerin bitkilerde süperoksit ve hidrojen peroksit seviyelerinin azalttığı bilinmektedir Süperoksit dismutaz, bir O_2^- 'yi dismutasyonla H_2O_2 'ye dönüştürürken diğer O_2^- 'yi de oksidasyonla O_2 ' ye dönüştürür. Katalaz, hidrojen peroksidin su ve oksijene dismutasyonunu veren bir redoks reaksiyonunu katalizlemektedir. Askorbat peroksidazlar hidrojen peroksit tarafından askorbat oksidasyonunu katalizlerler ve monodehidroaskorbatı meydana getirirler (Ashraf, 2009). APX, sitoplazma, glioksizom, peroksizomlar ve mitokondride bulunur. Bitkinin kloroplastında meydana gelen H_2O_2 'nin süpürülmesini ve kloroplastın oksidatif hasara karşı korunmasını sağlar (Caverzan, 2014). SOD, CAT ve peroksidaz (POD) gibi bitki antioksidan savunma enzimleri çok önemli serbest elektron süpürücüleridir (Mittler, 2002). CAT ve peroksidaz (POD) süperoksit radikali olan H_2O_2 'yi ortadan kaldıran asıl detoksifikasyon enzimleridir. Bunun yanı sıra bu enzimler tuz stresine cevapta önemli rol oynarlar. Yine yapılan araştırmalar doğrultusunda çeşitli bitkilere uygulanan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak CAT ve POD aktivitesinde artışlara neden olmuştur (Sen ve Alikamanoğlu, 2011).

Çalışmamızda NaCl uygulaması ile tuz stresine duyarlı olan A- 2517 çeşidi yaprak dokusunda SOD enzim aktivitesi artarken, tuz stresine dayanıklı olan A-6535 ayçiçeği çeşidinde yalnızca 400 mM uygulamasında arttığı diğer tuz uygulanan gruplarda azaldığı ancak bu azalma ve artışların çok fazla olmadığı belirlenmiştir. Ancak, kontrol grubuna göre NaCl stresine duyarlı olan A-2517 çeşidinin yaprak dokusunda SOD enzim aktivitesinin dayanıklı (A-6535) olan çeşide göre daha yüksek olduğu söylenebilir (Çizelge 4.1 ve 4.2). Bir çalışmada belirtildiği gibi (Karabal vd., 2003) arpa bitkisine yapılan bor uygulamasıyla duyarlı çeşitte SOD enzim aktivitesinin arttığı, dayanıklı çeşitte ise SOD enzim aktivitesinde önemli bir değişikliğin olmadığı belirtilmiştir. Ancak bu çalışmada dayanıklı çeşitte kontrol grubundaki (borik asit uygulaması yapılmayan grup) SOD enzim aktivitesinin duyarlı çeşide göre çok daha yüksek olduğu belirlenmiş ve bor uygulamasıyla duyarlı çeşitte SOD aktivitesinde artış olmasına rağmen dayanıklı çeşidin SOD enzim aktivitesi kadar yüksek olmadığı bildirilmiştir. Bu gözlemler, dayanıklı ve duyarlı

çeşitler arasında antioksidan enzim aktivitelerinde farklı tepkilerin olmasına rağmen stres altında daha az ya da daha fazla benzer enzimatik aktivitelerin olabileceğini düşündürmektedir. Yapılan başka bir çalışmada ise, C3 ve C4 bitkilerinin kuraklık stresine karşı antioksidan enzim aktivitelerindeki farkı ortaya koymak için *Cleome spinosa* (C3) ve *Cleome gynandra* (C4) bitkileri büyütüldükten sonra 10 gün kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. Çalışmada kuraklık uygulamasıyla C4 bitkisi olan *C. gynandra*'da daha yüksek SOD enzim aktivitesi saptanmıştır (Uzilday vd., 2012). Bu sonuçlar bitkilerin antioksidan sistemde strese karşı savunmada büyük rolü olan SOD enzim aktivitelerinin aynı bitkinin farklı çeşitlerinde farklı olabileceğini göstermektedir. Tuz stresiyle birlikte SNP uygulamasında A-2517 kontrol grubuna göre SOD enzim aktivitesinde artış A-6535 çeşidinde ise azalma olduğu belirlenmiştir. Laspina vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada ayçiçeği yapraklarında Cd yol açtığı oksidatif strese karşı nitrik oksit (NO)'in koruyucu etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 100 µM sodyum nitroprussit ile kadmiyumun birlikte uygulandığı ayçiçeği yapraklarında kontrol grubuna göre SOD enzim aktivitesinde %59 oranında artış olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar SNP uygulamasının SOD enzimini aktif hale getirdiğini ve strese karşı bitki antioksidan enzim sisteminde aktif rol oynadığını ortaya koymaktadır. Başka bir çalışmada ise Çelik ve Atak (2012), dayanıklı olarak belirledikleri İzmir Özbaş ve duyarlı olarak belirledikleri Akhisar 97 tütün çeşitlerine 14 gün süreyle çeşitli tuz konsantrasyonları (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 ve 350 mM) uygulayarak antioksidan enzim aktivitelerini karşılaştırılmışlardır. Deney sonunda, süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, guaiakol peroksidaz ve katalaz aktivitelerinde anlamlı farklılıklar bulunmamıştır.

Çalışmamızda NaCl+SNP uygulamalarının NaCl uygulamalarına göre SOD enzim aktivitelerinde her iki çeşitte de azalma olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar Laspina vd. (2005) tarafından nitrik oksitin (NO), Cd stresi kaynaklı süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesindeki artışı engellediği sonucuna vardıkları çalışma ile uygunluk göstermektedir. Literatürde NO' nun çevresel streslere karşı bir sinyal molekülü olarak rol oynadığı bildirilmektedir. Dışsal NO uygulamasının stresin sebep olduğu yıkıcı etkiyi azaltabileceği bildirilmektedir (Gill vd., 2013). SNP uygulamasında SOD enzim aktivitesinin A-2517 çeşidinde kontrol grubuna göre göre arttığı özellikle 4. gündeki artışın yaklaşık 2 kat olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu Uchida vd. (2002)'nin yapmış olduğu çalışmayla uygunluk göstermektedir. A-6535 çeşidinde SNP uygulamasında SOD enzim aktivitesinin kontrol grubuna göre

azaldığı saptanmıştır. Sonuçlar SNP'in onarıcı etkisiyle enzim aktivitesini azalttığını düşündürmektedir ve literatür ile uygunluk göstermektedir (Laspina vd., 2005; Eşim vd., 2014).

Çalışmamızda, A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. günde NaCl (100, 200 ve 400 mM) uygulamalarında ve SNP uygulamasında kontrole göre, GPx enzim aktivitelerinde artış olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3 incelendiğinde, 2. günde 200 mM NaCl+SNP uygulamasındaki GPx aktivitesinde kontrole göre artma olduğu bulunurken diğer iki konsantrasyon uygulamasında GPx aktivitesinde azalma olduğu saptanmıştır. 2. günde 200 mM NaCl+SNP uygulamasının 200 mM NaCl uygulamasına göre GPx enzim aktivitesinde artış olduğu belirlenirken, diğer iki konsantrasyonda NaCl+SNP uygulamalarının NaCl uygulamalarına göre GPx enzim aktivitelerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Dayanıklı olan A-6535 çeşidinde 2. günde, 100 mM NaCl uygulamasında kontrol grubuna göre GPx enzim aktivitesi artarken 200 mM NaCl ve 400 mM NaCl uygulamalarında GPx aktiviteleri kontrol grubuna göre azalma gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.4). 2. gün 200 mM NaCl+SNP uygulamasında kontrol grubuna göre GPx enzim aktivitesinde artış saptanırken, 100 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP uygulamalarında kontrol grubuna göre azalma olduğu saptanmıştır. SNP uygulamasında kontrol grubuna göre 2. ve 4. günlerde GPx enzim aktivitesinde azalma belirlenmiştir.

GPx, GSH kullanarak hidrojen peroksidi indirgemektedir (Gill ve Tuteja, 2010). Yapılan bir çalışmada tuza-toleranslı *Plantago maritima* ile tuza-duyarlı *Plantago media* bitkilerinde tuz stresine toleransla ilişkili bitki büyüme, oransal su içeriği (OSİ), stoma iletkenliği, lipid peroksidasyonu ve antioksidan sistemdeki değişiklikler araştırılmıştır. Çalışmada 60 günlük *P. maritima* ve *P. media* fideleri 7 ve 14 gün süresince 0, 100 ve 200 mM NaCl stresine maruz bırakılarak incelenmiştir. Tuz stresi uygulamasının 14. gününde *P. media*'nın kök ve gövde büyümesinde meydana gelen indirgenme, *P. maritima*'dan daha fazla olduğu saptanmış fakat 100 mM NaCl uygulamanın 7. gününde *P. maritima*'nın kök ve gövde büyümesini etkilemediği rapor edilmiştir. Tuz stresinin (tuz uygulamasının 7. gününde 100 mM NaCl uygulanan grup dışında) *P. maritima*'nın yaprak oransal su içeriğini (OSİ) değiştirmedeği belirlenmiş fakat *P. media* kültüründe azalttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmada tuz stresinin, stoma iletkenliğinde azalmaya neden olduğu ve bu azalmanın *P. media*'da belirgin olarak görüldüğü bildirilmiştir. *P. media*'nın süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon redüktaz (GR) aktiviteleri tuzluluktaki

artışla azaldığı saptanmıştır. 7. günde, 100 mM NaCl stresi *P. media*'nin askorbat peroksidaz (APX) aktivitesini arttırdığı ancak 200 mM NaCl değiştirmedeği rapor edilmiştir. Çalışmada tuz uygulamasının 14. gününde tuz stresi, *P. media*'nin APX aktivitesinin azalmasına neden olduğu, diğer yandan tuz stresinin 7. gününde 200 mM NaCl, *P. maritima*'nin CAT, APX ve GR aktivitesini arttırırken 100 mM NaCl bu enzimlerin aktivitelerini değiştirmedeği tespit edilmiştir. Tuz uygulamasının 14. gününde, 200 mM NaCl stresi ile *P. maritima*'nin APX ve POX aktivitesini değiştirmeyenken CAT ve GR aktivitelerini arttırdığı rapor edilmiştir. *P. maritima*'nin SOD aktivitesinin, deneme süresince artan tuzlulukla arttığı bildirilmiştir. Araştırmacı buna ek olarak tuz stresi altındaki iki türün doğal yaprak ekstraktları arasındaki farklı SOD ve POX izozimlerinin tanımlandığını bildirmiştir. Yapılan çalışmada *P. media* yapraklarındaki malondialdehit seviyelerinin tuz stresi altında arttığı fakat *P. maritima*'nin MDA seviyesinin artan tuzlulukla genellikle değişmediği bildirilmiştir. Bu sonuçlarla, tuza-toleranslı *P. maritima*'nin tuz stresinin sebep olduğu oksidatif hasara karşı tuza-duyarlı *P. media*'dan daha fazla seviyede teşvik edilmiş antioksidan enzim aktivitesiyle daha iyi bir koruma mekanizması gösterdiğini ortaya koyduğu saptanmıştır (Hediye, 2009).

Çalışmamızda tuz stresine duyarlı olan A-2517 çeşidinde NaCl uygulaması ile GPx enzim aktivitelerinde kontrol grubuna göre artış olduğu saptanırken özellikle dördüncü gündeki artışların yaklaşık 2.5 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Tuz stresine dayanıklı olan A-6535 çeşidinde 2. gün 100 mM NaCl uygulaması dışında diğer iki NaCl uygulaması ve 4. gündeki tüm NaCl uygulamalarında kontrole göre GPx enzim aktivitelerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, SNP uygulamalarının hassas olan A-2517 çeşidinde kontrol grubuna göre GPx enzim aktivitelerinde yaklaşık 3 katı kadar artış belirlenirken dayanıklı olan A-6535 çeşidinde SNP uygulamalarının kontrol grubuna göre GPx enzim aktivitelerinde çok büyük değişiklik olmadığı saptanmıştır (Çizelge 4.3 ve 4.4). Dayanıklı çeşit olan A-6535 bitkisinde tuz stresi ile kısıtlanan GPx enzim aktivitesinin SNP uygulaması ile önemli değişiklikler gözlenmemiştir ve Liu vd. (2014)'nin yapmış olduğu çalışma ile uygunluk göstermiştir. Liu vd. (2014)'nin yaptıkları çalışmada 100 mM NaCl' ye maruz kalan tuza dayanıklı pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) fidelerinde sodyum nitroprussid (SNP) ve salisilik asit (SA)'in etkileri, büyüme, fotosentetik verim, toplam osmoregülasyon madde içeriği, antioksidan enzim aktiviteleri ve H-ATPaz ölçülerek araştırmışlardır. Çalışmada 100 mM NaCl uygulaması ile pamuk filizlerinde büyüme

ve fotosentetik parametreler engellenirken elektrolit sızıntı, bitki prolin içeriği, lipid peroksidasyonu (malondialdehid), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve Na içeriğinde artış meydana geldiği bildirilmiştir. Hatta, antioksidan enzim aktivitelerinin de kısıtlandığı rapor edilmiştir. Yapılan çalışmada NaCl stresine maruz kalan pamuk filizlerine 0.1 mM SNP ve/veya 0.1 mM SA foliar olarak uygulanması fotosistem-II'nin de olduğu fotosentez, büyüme, fotosentetik oran ve transpirasyon oranında artışa, ROT' ları uzaklaştıran enzim aktivitelerinde artışa ve H_2O_2 birikiminde azalmaya neden olduğu rapor edilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada tuz stresine maruz bırakılan pirinç fidelerinde 0, 7, 12, 24, 48 ve 72. saatlerde belirlenen GPx enzim aktivitelerinde önemli bir değişikliğin olmadığı tespit edilmiştir (Menezes-Benavente vd., 2004). A-2517 çeşidinde tuzluluk uygulamasıyla GPx enzim aktivitesinin kontrol grubundan yüksek bulunmasının nedeni antioksidan sisteminin aktif olduğuna işaret etmektedir. Bunun yanında tuzluluğa dayanıklı olan A-6535 çeşidinde özellikle 4. gündeki enzim aktivitesinin kontrol grubuna ve 2. güne göre azalmasının antioksidan enzim sisteminin reaktif oksijen türlerini ortadan kaldırdıktan sonra meydana gelmiş olabileceğini akla getirmektedir. A-2517 çeşidinde SNP uygulamasına bağlı olarak hem kontrole hem de günlere bağlı olarak GPx enzim aktivitelerinde artışlar göstermesi nitrik oksitin antioksidan savunma sisteminin daha fazla uyarılmasına yol açarak enzim aktivitesini artırdığı sonucuna varılabilir. SNP uygulaması ile A-6535 çeşidinde GPx enzim aktivitelerinde azalmaların olması NO'nin enzim aktivitesini tuz uygulamasından sonra yeniden harekete geçirerek SNP'nin uyarıcı etkisini ortaya koymaktadır. A-6535 çeşidinde tuz ile birlikte SNP uygulamasının genel olarak çok yüksek olmasa da artışlara neden olması NO'nin bir sinyal molekülü olarak antioksidan sistemi harekete geçirdiğini söyleyebiliriz.

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl (100, 200 ve 400 mM) NaCl+SNP ve SNP uygulamalarında kontrol grubuna göre 2. ve 4. günlerde APX enzim aktivitelerinde artış olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.5 incelendiğinde, 2. gün tüm NaCl+SNP uygulamalarında NaCl uygulamalarına göre APX enzim aktivitelerinde artış olduğu anlaşılmaktadır. 4. günde ise, 200 mM NaCl+SNP hariç tüm NaCl uygulama gruplarına göre azalma olduğu belirlenmiştir. Dayanıklı A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün tüm NaCl uygulamalarında kontrol grubuna göre, APX enzim aktivitelerinde azalma olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6 incelendiğinde, tüm NaCl+SNP uygulamalarında kontrol grubuna bağlı olarak APX enzim aktivitesinde azalma saptanmıştır (4. gün 400mM NaCl+SNP grubu hariç). 4.

günde 2. güne göre NaCl+SNP gruplarında bir artış görülmüştür. SNP uygulamasında kontrol grubuna ve günlere bağlı olarak APX enzim aktivitesinde azalma belirlenmiştir.

Çalışmamızda, tuz stresine duyarlı olan A-2517 çeşidinde NaCl uygulaması ile APX enzim aktivitelerinde kontrol grubuna göre yaklaşık 2 kat artış saptanmıştır. Elde edilen bu sonuç, Praxedes vd. (2014) tarafından yapılan tuza-toleranslı ve tuza-duyarlı börülce çeşitlerinin kök ve yaprak dokularında tuz uygulamasıyla deney sonunda duyarlı çeşitte görülen APX enzim aktivitesindeki önemli artışın saptandığı çalışmayla uygunluk göstermiştir. Tuz stresine dayanıklı olan A-6535 çeşidinde NaCl uygulaması ile APX enzim aktivitelerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Duyarlı ve hassas çeşit arasındaki bu fark, Karabal vd. (2003) tarafından bor toksisitesine dayanıklı ve duyarlı buğday bitkisinin köklerinde belirledikleri APX enzim aktivitesiyle uygunluk göstermiştir. Diğer taraftan, Türkan vd. (2004) tarafından polietilen glikol (PEG) ile oluşturulan stres ortamında APX enzim aktivitesinin *P. acutofoliusta* (dayanıklı) türünden *P.vulgaristen* (duyarlı) daha yüksek olduğu çalışma ile, Yaşar vd. (2006)'nin tuz uygulaması ile APX enzim aktivitesinin, tuza dayanıklı olan Galia C8 ve Galia F1 çeşitlerinde ve orta düzeyde dayanıklı olan Besni, Midyat ve Şemame çeşitlerinde artış gösterdiği ve bu artışın hassas çeşitlere (Ananas ve Yuva) oranla daha yüksek olduğunu bildirdikleri çalışma ile, Yaşar vd. (2008)'nin tuz uygulanan karpuz bitkilerinde en yüksek APX aktivitesinin tuza-toleranslı genotiplerde bulunduğu, tuza-duyarlı olanların APX enzim aktivitelerinin ise oldukça düşük çıktığı çalışmalarla farklılık göstermektedir. Tuz stresisiyle birlikte SNP uygulamasında A-2517 çeşidinde APX enzim aktivitelerinin kontrol grubuna göre arttığı ve bu artışın yaklaşık 2 kat olduğu görülürken, A-6535 çeşidinde ise azaldığı belirlenmiştir. Çalışmamızda duyarlı çeşitte belirlenen bu sonuçlar Laspina vd. (2005) tarafından yapılan kadmiyum stresi şartlarında ayçiçeği yapraklarında APX enzim aktivitesinde artışın rapor edildiği ve NO uygulamasıyla APX enzim aktivitesinde kontrol grubuna göre yaklaşık 2 kat artışın saptandığı çalışmayla uygunluk göstermektedir.

Çalışmamızda, A-2517 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün NaCl (100, 200 ve 400 mM) uygulamalarının CAT aktivitelerinde kontrol grubuna göre bir azalma görülürken, 4. gün NaCl uygulamalarındaki CAT aktivitelerindeki değişikliklerin çok az olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7). NaCl+SNP uygulamasının kontrol grubuna ve SNP uygulamasının kontrol grubuna ve günlere göre CAT enzim

aktivitelerinde azalma olduğu saptanmıştır. Dayanıklı A-6535 çeşidi yaprak dokusunda ise, CAT enzim aktivitesinde NaCl uygulamalarının (100, 200 ve 400 mM) kontrol grubuna göre yaklaşık 3 kat ve günlere göre ise bazı uygulamalarda yaklaşık 2 kat artış saptanmıştır. NaCl+SNP ve SNP uygulamalarında tüm uygulamaların kontrol grubuna göre CAT enzim aktivitelerinde artış saptanmıştır (Çizelge 4.8).

Yaşar vd. (2008) tarafından yapılan, tuz stresine toleranslı Diyarbakır ve Midyat karpuz yapraklarında belirledikleri yüksek CAT enzim aktivitesi çalışması ile, Türkan vd. (2004)'nin polietilen glikol (PEG) ile oluşturulan stres ortamında CAT enzim aktivitesinin dayanıklı fasülye çeşidi olan *P. acutofolius*'ta duyarlı olan *P. vulgaris*' ten daha yüksek olduğu ve kontrole göre dayanıklı çeşitte CAT enzim aktivitesinde yüksek bir artışın gözlenip duyarlı çeşitte önemli bir değişikliğin olmadığı çalışma ile, Karabal vd. (2003)'nin bor toksisitesinin dayanıklı (Anadolu) arpa bitkisi çeşidinde CAT enzim aktivitesini arttırdığı, duyarlı (Hamidiye) olan çeşitte ise önemli bir değişikliğe yol açmadığı çalışma ile uygunluk göstermektedir. Tuz stresiyile birlikte SNP uygulamalarında kontrol grubuna göre CAT enzim aktivitelerinde A-2517 çeşidinde azalma belirlenirken A-6535 çeşidinde 2. gün 2 kat artış 4. gün ise 4 kat artış saptanmıştır. Dayanıklı çeşitteki bu artışlar Song vd. (2006) tarafından yapılan sıcaklığa hassasiyetleri farklı iki kamış bitkisinin (*Pragmites communis* Trin.) sıcaklık stresi altında nitrik oksit vericisi olan SNP ve SNAP ile muamele edildiğinde her iki kallus örneğinde de katalaz enzim aktivitesinin arttığı çalışma ile uygunluk göstermektedir. Bu artışların antioksidan savunma sisteminin stres koşullarında artan ROT üretimini baskılamasından kaynaklandığını düşündürmektedir. Yapılan bir çalışmada, nitrik oksit (NO)'in Cd uygulanan ayçiçeği bitkilerinde Cd stresi kaynaklı katalaz (CAT) aktivitesini % 44 oranında azalttığı belirlenmiştir (Laspina vd., 2005).

Yapmış olduğumuz bu çalışmada, SNP uygulamasında duyarlı A-2517 çeşidinde CAT enzim aktivitelerinde kontrol grubuna göre azalma olduğu 4. gündeki azalmanın ise kontrol grubunda elde edilen değer yaklaşık yarısı kadar olduğu saptanmıştır. Dayanıklı A-6535 çeşidinde ise, SNP uygulamalarının kontrol grubuna göre CAT enzim aktivitelerinde artış belirlenmiş, 2. gündeki artışın yaklaşık 2 katı, 4. gün ise yaklaşık 4 katı kadar olduğu saptanmıştır. Bu da bize NO' nun enzim aktiviteleri üzerinde etkili olduğu ve abiyotik stres için önemli bir sinyal molekülü olabileceği fikrini vermektedir.

Çalışmamızda, NaCl uygulaması ile A-6535 çeşidi CAT enzim aktivitesinde ve A-2517 çeşidi SOD enzim aktivitesinde artışlar belirlenmiş olup NaCl ile SNP uygulamalarında enzim aktivitelerinde SNP'nin iyileştirici etkisi ile azalmalar olması, Eşim vd. (2014)'nin yapmış olduğu çalışma ile uygunluk göstermektedir. Eşim vd. (2014) soğuklama stresinin *Triticum aestivum* L. bitkisinde hidrojen peroksit içeriği (H₂O₂), süperoksit anyon (O²⁻) ve lipid peroksidasyon düzeyi (malondialdehit, MDA), süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX) ve katalaz (CAT) enzim aktiviteleri ve nitrik oksit (NO) düzeyi üzerine etkisi araştırılmıştır. NO vericisi olan sodyum nitroprussid (SNP) püskürtme yoluyla buğday yapraklarına uygulanmıştır. Çalışmada, 0.1 ve 1 mM SNP konsantrasyonları 11 günlük bitkilerin yaprakları üzerine uygulandıktan sonra da 3 gün boyunca soğuk koşullara (5/2°C) maruz bırakılmıştır. Soğuklama stresi uygulamasının, hem MDA, H₂O₂ ve O₂⁻ seviyelerini ve hem de antioksidan enzim aktivitelerini arttırdığı rapor edilmiştir. Benzer şekilde, soğuklama stresi NO uygulamasında SOD, POX ve CAT aktivitelerini arttırdığı ancak H₂O₂ ve O²⁻ seviyelerini azalttığı bildirilmiştir. En etkili konsantrasyonun 0.1 mM SNP olduğu ve bir NO vericisi olarak dışsal SNP uygulamasının antioksidan enzim aktivitesini uyararak soğuk stresine maruz kalmış fidelerde soğuk toleransında önemli bir iyileştirici etkiye sahip olduğu da ifade edilmiştir.

Yaptığımız çalışmada, SNP uygulaması ile A-6535 çeşidi CAT enzim aktivitesinde, A-2517 çeşidin de SOD ve APX enzim aktivitelerinde kontrole göre büyük ölçüde artışlar olduğu gözlenmiş ve bu artışların 100 µM SNP uygulamasından kaynaklandığı görüşü Boogar vd. (2014)'nin yaptığı çalışma ile uygunluk göstermektedir. Boogar vd. (2014) yaptıkları çalışmada kuraklık stresinin neden olduğu oksidatif stresin, kurak ve yarı-kurak bölgelerde çim ekimi için önemli bir sınırlayıcı faktör olduğunu bildirmişler ve kuraklık toleransı üzerine nitrik oksitin etkisini *Poa apratensis* L. 'Balin', *Lolium* L. 'Numan' perenne ve *Cynodon dactylon* [L.] Pers., bitkilerinde çalışmışlardır. Sodyum nitroprussid (SNP) ve potasyum nitrit (PN) 3, 5, 7, ve 9 gün aralıklarla 150, 200 ve 250 µM konsantrasyonlarda uygulanmıştır. NO donörlerinin kuraklık stresi sırasında üç çim türünde antioksidan enzimlerin aktivitesini arttırdığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar bu artırıcı etkinin NO (SNP veya PN) kaynağına bağlı olmadığı daha çok konsantrasyon üzerine etkili olduğu ve katalaz (CAT), peroksidaz (POD), süperoksit dismutaz (SOD) ve askorbat peroksidaz (APX)'in maksimum aktivitesinin, 200 µM SNP veya PN uygulaması ile

elde edildiği bildirilmiştir. Çalışmada kuraklık stresine 7 veya 9 gün boyunca maruz kalan bitkilerde nitrik oksit vericilerinin antioksidan enzim faaliyetlerinin büyük bir artışına neden olduğu da bildirilmiştir. Yapmış olduğumuz çalışmada A-6535 çeşidinin NaCl uygulaması ile kontrol grubuna göre CAT enzim aktivitesinde ve A-2517 çeşidinin SOD enzim aktivitesinde artışlar saptanırken, A-6535 çeşidinin APX enzim aktivitesinde azalma belirlenmiş olup antioksidan savunma sisteminde yer alan enzimlerin strese karşı farklı yanıtlar gösterdiği belirlenmiş olup bu sonuçlar Aghaleh vd. (2014)'nin yaptığı çalışma ile uygunluk göstermektedir. Aghaleh vd. (2014)'in yaptıkları çalışmada, *Salicornia persica* ve *S. europaea* bitkilerinde, tuz stresinin kuru ağırlık, lipid peroksidasyonu, polifenol ve hidrojen peroksit içeriği ve antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, tohumlar çimlenme esnasında 0, 100, 200, and 300 mM NaCl konsantrasyonlarda Murashige ve Skoog ortamında 45 gün tutulmuştur. Her iki çeşitte de kuru ağırlığın 100 mM tuz çözeltisinde artış gösterdiği fakat 200 mM ve 300 mM tuz çözeltisinde azaldığı, malondialdehit içeriğinde ise 100 mM tuz çözeltisinde azalma diğer konsantrasyonlarda artışın olduğu bildirilmiştir. *S. europaea*'da H₂O₂ içeriği tuzla birlikte önemli derecede artış gösterirken *S. ersica*'da önemli bir değişikliğin olmadığı ifade edilmiştir. Her iki çeşitte de tuzluluk, süperoksit dizmutaz (SOD) ve peroksidaz (PX) aktivitelerini artırırken katalaz (CAT) aktivitesi düşük konsantrasyonlu tuz ortamında azalmış, askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi ise her iki türde azalmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre *S. persica* oksidatif hasara karşı, tuza dayanıklı *S. europaea*'dan daha iyi korunma mekanizması gösterdiği tespit edilmiştir.

5.2. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl (100, 200 ve 400 mM) ve NaCl+SNP uygulamalarında nitrik oksit düzeylerinin kontrole göre ve günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır (Çizelge 4.9). SNP uygulamasında da kontrol grubuna göre NO düzeyinde artış saptanmıştır. Dayanıklı A-6535 çeşidi yaprak dokusunda, 2. ve 4. gün NaCl uygulamalarında NO düzeylerinin kontrol grubuna göre arttığı belirlenmiştir. Tüm NaCl+SNP uygulamaları NO düzeylerinde kontrol grubuna göre artış olduğu saptanmıştır. SNP uygulamasında kontrol grubuna göre NO düzeylerinde artış belirlenmiştir.

Arasimowicz-Jelonek vd. (2009) su eksikliğine maruz bırakılmış salatalık bitkisinin köklerinde NO düzeylerini araştırmıştır. Araştırmada orta şiddette uygulanan stres sonucunda kökün uzama bölgesinde NO miktarında kısmen artış olduğu belirlenmiştir. Li vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, tuz stresine maruz kalan arpa (*Triticum aestivum* L.) bitkisi yapraklarında iyon akışı, lipid peroksidasyonu ve protein oksidasyonu üzerinde nitrik oksidin rolü araştırılmıştır. Çalışmada, SNP uygulamasıyla tuz stresi altındaki arpa bitkisinde lipit peroksidasyonu iyon akımında azalma olduğu ancak protein miktarında artışa neden olduğu ve böylece tuz stresine toleransı artırdığı bildirilmektedir. Song vd., (2006)'nin yapmış olduğu çalışmada sıcaklığa hassasiyetleri farklı iki kamış bitkisinin (*Pragmites communis* Trin.) sıcaklık stresine toleransları araştırılmıştır. Çalışmada SR (bataklık kamış) kalluslarının DR (kumul kamış) kalluslarına göre daha fazla etkilendiği belirlenmiştir. DR kalluslarının SR kalluslarına göre sıcaklık stresi altında daha yüksek gelişme gösterdiği ve DR kalluslarında daha az iyon akışı meydana geldiği bildirilmiştir. Nitrik oksit vericisi olan SNP ve SNAP ile muamele edildiğinde her iki kallus örneğinde de süperoksit dismutaz, katalaz, askorbat peroksidaz ve peroksidaz aktivitelerinin arttığı rapor edilmiştir. NO'nun sıcaklık stresi tarafından oluşturulan oksidatif stresin etkilerini ortadan kaldırdığı ve aktif oksijen süpürücüsü enzimlerin aktivasyonunda sinyal molekülü olarak rol alabileceği bildirilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, değişik konsantrasyonlardaki kadmiyum sülfat ($CdSO_4$) uygulamalarının ayçiçeği bitkisinde Cd birikimi, fitokelatin miktarı, toplam çözünebilir protein içeriği ile nitrik oksit düzeyleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada stres şartlarına dayanıklı olan Meriç çeşidi ile duyarlı olan Tarsan 1018 çeşidi kullanılmıştır. Araştırma sonucunda Meriç çeşidinde Tarsan 1018 çeşidine göre daha yüksek düzeyde NO bulunduğu rapor edilmiştir (Porgalı, 2007). Tanou vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada narenciye (*Citrus aurantium* L.) bitkisinde NO ve H_2O_2 uygulamalarının tuzluluğa olan etkisi araştırılmıştır. Tuz stresıyla her iki molekülde de artış gözlemlendiği bildirilmiştir. Yapılan çalışmada ayçiçeği yaprakları Cd stresinin yol açtığı oksidatif strese karşı nitrik oksitin (NO) koruyucu etkisi değerlendirilmiştir. Ayçiçeği yaprakları NO donörü olan 100 mM sodyum nitroprussid (SNP) muamele edilmiştir. Metale maruz kalma ile artan nekrozis ve klorozisin NO+Cd uygulamalarında azaldığı rapor edilmiştir (Laspina vd., 2005).

Çalışmamızda literatürde belirtildiği şekilde NaCl uygulamalarında hem tuz stresine duyarlı ayçiçeği çeşidi olan A-2517 hem de dayanıklı olan A-6535 çeşidinde kontrole göre NO düzeylerinde artış belirlenmesi, NaCl stresine karşı NO'nun tuz stresine karşı toleransı artırıcı etkisinin olduğu çalışma (Li vd., 2008) ve bazı literatürler ile (Arasimowicz-Jelonek vd., 2009 ve Tanou vd., 2009) uygunluk göstermektedir A-2517 çeşidinde NaCl uygulamaları NO düzeylerinde günlere göre artış saptanırken, SNP uygulamasında her iki bitki çeşidinde NO düzeylerinin kontrol grubuna göre arttığı ve A-6535 çeşidinde kontrole göre artışın A-2517 çeşidinden daha yüksek olduğu belirlenmiş olup sonuçlar literatür ile uygunluk göstermektedir (Uchida vd., 2002). Literatürde (Arasimowicz-Jelonek vd., 2009) stres uygulaması ve SNP' nin ön muamelesiyle bitkilerde NO düzeyinin arttığını bildirilmektedir. Çalışmamızda da NaCl+SNP uygulamalarında NO düzeylerinde her iki çeşitte de kontrol grubuna göre artış saptanmış ve sıcaklık stresi ve SNP uygulamasıyla artan NO düzeyinin belirlendiği çalışmayla (Song vd., 2006) uygunluk göstermektedir.

5.3. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda NaCl (100, 200 ve 400 mM), NaCl+SNP ve SNP uygulama gruplarında OSİ değerlerinin kontrol grubuna ve günlere göre azaldığı saptanmıştır (Çizelge 4.11). Dayanıklı A-6535 çeşidi yaprak dokusunda NaCl (100, 200 ve 400 mM), NaCl+SNP ve SNP uygulama gruplarında OSİ değerlerinin günlere göre azaldığı saptanmıştır (Çizelge 4.12). Yapılan bir çalışmada 60 günlük *P. maritima* ve *P. media* fideleri 7 ve 14 gün süresince 0, 100 ve 200 mM NaCl stresine maruz bırakılarak incelenmiştir. Çalışmada tuz stresinin (tuz uygulamasının 7. gününde 100 mM NaCl uygulanan grup dışında) tuz stresine dayanıklı olan *P. maritima*'nın yaprak oransal su içeriğini (OSİ) değiştirmediği fakat tuz stresine duyarlı olan *P. media* türünde azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Arasimowicz-Jelonek vd. yaptıkları araştırma sonucunda NO'nun yüksek su eksikliğinin etkilerini azalttığı ve doku dehidrasyonunun başlangıç safhasında bitkinin korunmasına yardımcı olduğunu rapor etmişlerdir (Arasimowicz-Jelonek vd., 2009). Türkan vd. (2004) tarafından yapılan çalışmada, polietilen glikol (PEG) ile oluşturulan stres ortamında bitki gelişmesindeki değişim, oransal su içeriği, stomatal geçirgenlik, lipit peroksidasyonu, prolin ve antioksidan sistem tolerans ilişkisini kuraklığa duyarlı *Phaseolus vulgaris* L. ile kuraklığa dayanıklı *Phaseolus*

acutifoliusta araştırmışlardır. Araştırmacılar *P. acutifolius* bitkisindeki oransal su içeriğinde herhangi bir değişiklik olmazken *P. vulgaris*'te azalma olduğunu bildirmişlerdir. Sairam ve Srivastava (2002) tuz stresinin, tuz stresine dayanıklı Kharchia 65 ve duyarlı HD 2687 buğday çeşitlerinde oransal su içeriklerinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Yang vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada *Populus cathayana* Rehder bitkisinde tuz stresine olan tepkisini araştırmak için fizyolojik, biyokimyasal ve proteomik çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada bitkiye 0, 50 ve 100 mM konsantrasyonlarında tuz uygulanmıştır. Çalışma sonunda her iki tuz uygulamasında da yaprak oransal su içeriği (OSİ) , klorofil a, klorofil b, CO₂ emilim hızı ve stoma iletkenliğinin azaldığı saptanmıştır.

Yapılan alışmada NaCl stresine dayanıklı olan A-6535 çeşitinde ve duyarlı olan A-2517 eşitinde NaCl uygulamasıyla kontrol grubuna ve günlere göre oransal su içeriğinde (OSİ) azalmalar olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar, çözünebilir tuzlardaki artışın bitki su ilişkisi üzerinde olumsuz etkiye neden olduğunu ortaya koymaktadır ve literatür ile uygunluk gösterdiği anlaşılmıştır (Yang vd., 2009 ve Türkan vd., 2004). Topaloğlu (2010)'nun *Capsicum annuum* L. varyetelerinde (Meksika, Yediveren, 6089 ve 13), farklı konsantrasyonlarda (50, 100, 150 ve 200 mM) NaCl tuzluluğunun etkisi ile oransal su içeriğinde (OSİ) azalmanın tespit edildiği çalışma ile, ncel ve Keleş (2002)'in iki buğday türüne ait 6 genotipin (*Triticum aestivum* L. cv. Bezostaya-1, cv. Seri-82, cv. Kır-66 ve *Triticum durum* Desf. cv. Kızılta-91, cv. Kunduru 414-44, cv. .1252) tuz stresi ile oransal su içeriklerinde önemli ölçüde azalmanın tespit edildiği çalışma ile uygunluk göstermektedir. NaCl uygulamasının 4. gününde duyarlı olan A-2517 eşitindeki OSİ değerlerinin kontrole ve günlere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiş ve Uzilday vd. (2012) tarafından yapılan çalışma ile uygunluk göstermektedir. Bu durum, duyarlı çeşitinin stres koşullarından daha fazla etkilendiğini ve osmotik potansiyelini azalttığını düşündürmektedir. Yaptığımız çalışmada hem dayanıklı olan A-6535 çeşitinin hem de duyarlı olan A-2517 eşitinin NaCl uygulaması ile oransal su içeriklerinde azalma olması Agami (2014)'nin yapmış olduğu çalışma ile uygunluk göstermektedir. Agami (2014) yaptığı çalışmada, *Hordeum vulgare* L. Giza 124 bitkisi tohumları 1mM askorbik asit (AA) ve 1 mM prolinle ıslatıldıktan sonra kontrollü koşullarda bitki büyütme odasında büyütülmüştür. Daha sonra arpa bitkilerinin 3. yaprağı oluştuktan sonra 100 mM ve 200 mM NaCl tuz uygulaması yaparak 49 günün sonunda yapraktan alınan örneklerde NaCl stresine maruz kalan

bitkilerde elektrolit sızıntı, prolin içeriği ve antioksidan enzimlerde (SOD, CAT ve POX) artış olduğu bildirilmiştir. Ayrıca tuz stresine maruz kalan bitkilerde büyümenin, oransal su içeriğinin, fotosentetik pigmentlerin ve çözünebilir şekerlerin ise önemli derecede azaldığı da ifade edilmiştir. Araştırmacı, antioksidan enzimlerin ve yaprak anatomisinin NaCl varlığında veya yokluğunda AA ve prolin uygulamalarına cevapta önemli değişimlerin olduğunu ve antioksidan sistemde artış olması kısmen fotosentetik aygıtın korunması ve tuz stresine arpa bitkilerinin toleransını arttırdığını da rapor etmiştir. SNP uygulamasında her iki ayçiçeği çeşidinde de OSİ'nin günlere ve kontrole göre azaldığı saptanmıştır. Bu sonuçlar Arasimowicz-Jelonek vd. (2009) NO'nun yüksek su eksikliğinin etkilerini azalttığı sonucuna vardıkları çalışmayla farklılık göstermektedir.

5.4. *Helianthus annuus* L. A-2517 ve *Helianthus annuus* L. A-6535 Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri

A-2517 çeşidi yaprak dokusunda tüm NaCl (100, 200 ve 400 mM), NaCl+SNP ve SNP uygulamalarında toplam çözünebilir protein miktarının kontrol grubuna göre azaldığı saptanmıştır. 2. gün 200 mM NaCl+SNP uygulamasının 200 mM NaCl uygulaması toplam çözünebilir protein miktarına göre artış görülürken, diğer iki NaCl+SNP uygulamasının NaCl uygulamalarına göre toplam çözünebilir protein miktarında azalma olduğu saptanmıştır. 4. gün ise 400 mM NaCl+SNP uygulamasında 400 mM NaCl uygulaması toplam çözünebilir protein miktarına göre artış olduğu saptanırken diğer iki NaCl+SNP uygulamasında NaCl uygulaması çözünebilir protein miktarına göre azalma olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.12).

Dayanıklı A-6535 çeşidi yaprak dokusunda 2. gün tüm NaCl (100, 200 ve 400 mM), NaCl+SNP ve SNP uygulamalarında toplam çözünebilir protein miktarında kontrol grubuna göre artış saptanmıştır. 4. gün tüm NaCl uygulamalarında toplam çözünebilir protein miktarında kontrol grubuna göre artış saptanmıştır. 4. gün 100 mM NaCl+SNP uygulaması toplam çözünebilir protein miktarında kontrol grubuna göre artış görülürken 200 mM NaCl+SNP ve 400 mM NaCl+SNP uygulamalarında toplam çözünebilir protein miktarlarının kontrol grubuna göre azaldığı görülmüştür. NaCl+SNP uygulamalarının günlere göre toplam çözünebilir protein miktarlarında azalma belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

Yaptığımız çalışmada NaCl stresine dayanıklı olan A-6535 çeşidinde, duyarlı olan A-2517 çeşidine göre daha yüksek toplam çözünebilir protein miktarı

belirlenmiştir. Çalışmamızda NaCl stresine duyarlı olan A-2517 çeşidinde toplam çözünebilir protein miktarlarının NaCl uygulamasında kontrol grubuna göre azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar Mazhoudi vd. (1997) tarafından yapılan, bakır metali stresi altındaki domates bitkisinde artan protein miktarının belirlendiği çalışma ile uygunluk göstermektedir. Duyarlı çeşidin 100 mM NaCl ve 400 NaCl uygulamalarının günlere göre toplam çözünebilir protein miktarında azalma saptanmış ve elde ettiğimiz bu sonuçlar Ge vd. (2014) tarafından yapılan kuraklık stresi altındaki kuraklığa hassas olan *Phoebe bournei* bitkisinde stres uygulamasının ilerleyen günlerde arttırdığı çözünebilir protein miktarının belirlendiği çalışma ile uygunluk göstermektedir. Kuraklığa dayanıklı olan A-6535 çeşidinde ise toplam çözünebilir protein miktarının kontrol grubuna ve stres şartlarındaki artışa bağlı olarak arttığı saptanmıştır. NaCl+SNP uygulamasında A-2517 çeşidinde toplam çözünebilir protein miktarının kontrol grubuna ve günlere göre azaldığı belirlenmiştir. NaCl stresine dayanıklı olan A-6535 çeşidinde 2. gün NaCl+SNP uygulamasında toplam protein miktarının arttığı saptanırken, 4 gün 100 mM NaCl+SNP uygulaması hariç diğer iki uygulamada azalma olduğu saptanmıştır.

Çalışmamızda SNP uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarının A-2517 çeşidinde kontrole göre azaldığı, A-6535 çeşidinde ise 4. gün ise azalma olduğu saptanmıştır. A-6535 çeşidinin 2. gününde ise kontrol grubuna göre artış belirlenmiş ve bu sonuç Uchida vd. (2002) tarafından yapılan, *Oryza sativa* L. cv. Nipponbare bitkisiyle yalnızca SNP uygulanan gruplarda protein miktarında artışın saptandığı çalışma ile uygunluk göstermektedir. Çalışmamızda her iki çeşitte de 2. gün 100 mM NaCl+SNP uygulamasının 100 mM NaCl uygulamasına göre ve 400 mM NaCl+SNP uygulamasının 400 mM NaCl uygulamasına göre toplam çözünebilir protein miktarlarında azalma belirlenirken 200 mM NaCl+SNP uygulamasının 200 mM NaCl uygulamasına göre arttığı saptanmıştır. 4. gün tüm NaCl+SNP uygulamalarının NaCl uygulamalarına göre toplam çözünebilir protein miktarlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar Liu vd. (2014) tarafından yapılan patojene maruz bırakılan pirinç bitkisinde silikon uygulamasıyla toplam çözünebilir protein miktarının arttığı çalışma ile uygunluk göstermektedir. Çalışmada silikon uygulamasıyla artan protein miktarı pirinçte patojen direncini artırmış olabileceğini düşündürürken yaptığımız çalışmada da SNP'in toplam çözünebilir protein miktarı üzerine olumlu etki yaptığı düşünülmektedir.

Yaptığımız çalışmada NaCl stresine duyarlı olan A-2517 çeşidinde tuz uygulamasıyla artan total çözünebilir protein miktarının SNP uygulamasında önemli bir değişikliğe neden olmayıp protein miktarını koruduğu gözlenmiş olup Fan vd. (2014)'nin yapmış olduğu çalışma ile uygunluk göstermektedir. Fan vd. (2014) çalışmalarında aşırı su stresine maruz kalan salatalık (*Cucumis sativus* L., cv. Jinyou No.1) bitkisinin büyümesi ve antioksidan aktiviteleri üzerine eksojen sodyum nitroprussit (SNP)'in etkilerini araştırmıştır. Çalışmada aşırı sulamaya maruz kalan salatalık fidelerinin büyümesinin önemli derecede engellendiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, filizlerin SNP püskürtülmesi ile bu tip stresin neden olduğu büyümeyi engelleyici etkisini önlediğini bildirmişlerdir. Aşırı sulamanın, salatalık bitkisi yapraklarında antioksidan enzimlerin (SOD, POD, CAT, APX) aktivasyonuna neden olurken, klorofil içeriğinde azalmaya, MDA ve protein birikimine neden olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada, SNP uygulamasının aşırı sulamanın tamamında antioksidan enzimlerinin daha da etkili olmasına klorofil ve protein içeriğinin korunmasına, bununla birlikte MDA içeriğinin azalmasına neden olduğu bulunmuştur. Böylece, NO'nun bitkileri oksidatif hasardan koruduğu ve yapraklarda antioksidan enzimlerinin aktivasyonunu sağlayarak büyümeyi teşvik ettiği ve membran hasarını engellediği ifade edilmiştir.

Kültür bitkilerinin tuz toleransının araştırılması, tuzlu topraklardan yararlanma açısından oldukça önemlidir. Ülkemizde ekimi yapılan ve ekonomik olarak önemli bir bitki olan Ayçiçeği'nin duyarlı ve dayanıklı çeşidi ile yaptığımız bu çalışmada, değişik konsantrasyonlarda NaCl ve NaCl+SNP uygulanmış yaprak dokularında SOD, GPX, APX ve CAT antioksidan enzim aktivitelerinin, NO düzeylerinin, oransal su içeriklerinin ve toplam çözünebilir protein miktarlarının günlere ve uygulama gruplarına bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır.

Sonuç olarak, son yıllarda tuza tolerans ile ilgili genlerin aşırı ifadesi tuza duyarlılığa karşı ürün geliştirmede tuzluluğun bitkiler üzerine etkileri ve bu etkilere karşı bitkilerin verdikleri karmaşık cevaplar üzerine araştırmalar yoğun şekilde devam etmektedir. Bitkilerin gerek tuzluluk ve gerekse diğer abiyotik stres faktörlerine karşı tolerans geliştirdiği bilindiğinden, bitkilerin tuz stresine toleransını sağlayan biyokimyasal, fizyolojik ve moleküler mekanizmaların belirlenmesi önemlidir. Dünyamızda tarımsal üretimi sınırlayan tuzluluk problemine karşı toleranslı ve dayanıklı bitki türlerinin belirlenmesi ve yeni çeşitlerin geliştirilmesi için daha detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bu çalışmanın sonuçları, tuz toleransının genetik ve biyokimyasal temelleriyle ilgili daha ileri düzeyde çalışmalar yapmak için gerekli bazı temel bilgileri ve sistemi sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abogadallah, G. M. (2011). Differential regulation of photorespiratory gene expression by moderate and severe salt and drought stress in relation to oxidative stress. *Plant Sci.* **180**, 540–547.
- Agami, R.A. (2014). Applications of ascorbic acid or proline increase resistance to salt stress in barley seedlings. *Biologia Plantarum.* **58** (2), 341-347.
- Aghaleh, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H. ve Razavi, K. (2014). “Antioxidative enzymes in two in vitro cultured *Salicornia* species in response to increasing salinity”. *Biologia Plantarum.* **58** (2), 391-394.
- Alam, Md. M., Nahar, K., Hasanuzzaman, Fujita, M. (2014). Exogenous jasmonic acid modulates the physiology, antioxidant defense and glyoxalase systems in imparting drought stress tolerance in different *Brassica* species. *Plant Biotechnol. Rep.* **8**, 279–293
- Ali, A.A. ve Alqurainy, F. (2006). Activities of antioxidants in plants under environmental stress. In: Motohashi N, editor. The lutein-prevention and treatment for diseases. India: Transworld research network; p. 187–256.
- Alscher, R.G., Erturk, N. ve Heath, L.S. (2002). Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *J. Exp. Bot.* **53**(372), 1331-1341.
- Amor, N. B., Hamed, K. B., Debez, A., Grignon, Abdelly, C. (2005). Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Sci.* **168**, 889–899.
- Anonim. (2002) <http://www.ttae.gov.tr/index.php/makaleler/aycicegi/164-ekolojik-aycicegi-tar-m-yazar-dr-sami-suezer> 344, Ankara, 282s.
- Apel, K. ve Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction, *Annu. Rev. Plant Biol.* **55**, 373–399.
- Arasimowicz, M. ve Floryszak-Wieczorek, J. (2007). Nitric oxide as a bioactive signalling molecule in plant stress responses. Review. *Plant Sci.* **172**, 876–887.
- Arasimowicz-Jelonek, M., Floryszak-Wieczorek, Kubis, J. (2009). Involvement of nitric oxide in water stress-induced responses of cucumber roots. *Plant Sci.* **177**, 682–690.

- Asada, K. ve Takahashi, M. (1987). Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis. In: Kyle DJ, et al, editor. Photo inhibition. Amsterdam: Elsevier/North Holland; p. 227–87.
- Ashraf, M. (2004). Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora*. **199**, 361-376.
- Ashraf, M. (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*. **27**, 84–93.
- Ashraf, M. ve Ali, Q. (2008). 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**, 266-73.
- Azpilicueta, C.E., Benavides, M.P., Tomaro, M.L., Gallego, S.M. (2007). Mechanism of CATA3 induction by cadmium in sunflower leaves. *Plant Physiol. Biochem.* **45**, 589-595.
- Backhausen, J. E., Klein, M., Klocke, M., Jung, S., Scheibe, R. (2005). Salt tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L. var. Desire'e) plants depends on light intensity and air humidity. *Plant Sci.* **169**, 229–237.
- Barroso, J.B., Corpas, F.J., Carreras, A., Sandalio, L.M., Valderrama, R., Palma, J.M., Lupiáñez, J.A. ve Rio, L.A. (1999). Localization of nitric-oxide synthase in plant peroxisomes. *J. Biol. Chem.* **274**, 36729-36733.
- Bektaş, İ., Güler, C., Kalaycıoğlu, H. (2002). Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Saplarından üre formaldehit tutkalı ile yongalevha üretimi. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*. **5(2)**.
- Beligni, M.V., Lamattina, L. (1999). Is nitric oxide toxic or protective? *Trends Plant Sci.* **4**, 299–300.
- Beligni, M.V., Fath, A., Bethke, P.C., Lamattina, L. ve Jones, R.L. (2002). Nitric oxide acts as an antioxidant and delays programmed cell death in barley aleurone layers. *Plant Physiology*. vol. **129**, 4: 1642-1650.
- Benlloch-Gonzalez, M., Fournier, J.M., Ramos, J & Benlloch, M. (2005). Strategies underlying salt tolerance in halophytes are present in *Cynara cardunculus*. *Plant Sci.* **168**, 653-659.
- Blokhina, O., Fagerstedt, K. V. (2010). Oxidative metabolism, ROS and NO under oxygen deprivation. *Plant Physiol. Biochem.* **48**, 359-373.
- Blokhina, O., Virolainen, E., Fagerstedt, K.V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annu. Bot.* **91**, 179–94.

- Bohnert, H.J. (2007). *Abiotic Stress*: John Wiley & Sons, Ltd.
- Boogar, A.R., Salehi, H., Jowkar, A. (2014). Exogenous nitric oxide alleviates oxidative damage in turf grasses under drought stress. *South African J. Bot.* **92**, 78–82.
- Boucher, J.L., Genet, A., Vadon, S., Delaforge, M. ve Mansuy, D. (1992). Formation of nitrogen oxides and citrulline upon oxidation of N^w-hydroxy-L-arginine by heme proteins. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **184**, 1158–1164.
- Bradford M.M. (1976). A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. *Anal Biochem.* **72**, 248-54.
- Breusegem F.V., Vranova, E., Dat, J.F., Inze, D. (2001). The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant Sci.* **161**, 405–14.
- Burssens, S., Himanen, K., Cotte, B.V., Beeckman, T., Montagu, M.V., Inze, D. ve Verbruggen, N. (2000). Expression of Cell Cycle Regulatory Genes and Morphological Alterations in Response to Salt Stress in *Arabidopsis thaliana*. *Planta.* **211**, 632-640.
- Büyük, İ., Soydam-Aydın, S., Aras, S. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Türk Hij Den Biyol Derg.* **69**(2), 97-110.
- Cabota, C., Sibolea, J. V., Barcelób, J., Poschenrieder, C. (2014). Lessons from crop plants struggling with salinity. *Plant Sci.* xxx, xxx–xxx
- Caverzan, A., Bonifaci, D., Carvalh, F.E.L., Andrade, C. M.B., Passaia, G., Schünemanna, M., Maraschin, F. d. S., Martins, M. O., Teixeira, F. K., Rauber, R., Margis, R., Silveira, J. A. G., Margis-Pinheiro, M. (2014). The knockdown of chloroplastic ascorbate peroxidases reveals its regulatory role in the photosynthesis and protection under photo-oxidative stress in rice. *Plant Sci.* **214**, 74–87.
- Chalapathi Rao, A.S.V, Reddy A.R. (2008). Sulfur assimilation and abiotic stresses in plants. Springer, The Netherlands. pp.111-147.
- Chandok, M.R., Ytterberg, A.J., Wijk, K.J., Klessig, D.F. (2003). The pathogen-inducible nitric oxide synthase (iNOS) in plants is a variant of the P protein of the glycine decarboxylase complex. *Cell.* Vol. **113**, 4: 469–482.
- Chandra, A. ve Dubey, A. (2010). Effect of ploidy levels on the activities of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase, superoxide dismutase and peroxidase

- in *Cenchrus* species grown under water stress. *Plant Physiol. Biochem.* **48**, 27–34.
- Cooney, R.V., Harwood, P.J., Custer, L.J. ve Franke, A.A. (1994). Light-mediated conversion of nitrogen dioxide to nitric oxide by carotenoids. *Environmental Health Perspective.* **102**, 460-462.
- Corpas, F.J., Barroso, J.B., Esteban, F.J., Romero-Puertas, M.C., Valderrama, R., Carreras, A., Quiros, M., León, A.M., Palma, J.M., Sandalio, L.M., del Río, L.A., (2002). Peroxisomes as a source of nitric oxide in plant cells. *Free Radical Biol. Med.* **33** (S1), 187.
- Corpas, F.J., Barroso, J.B., Carreras, A., Quirós, M., León, A.M., Romero-Puertas, M.C., Esteban, F.J., Valderrama, R., Palma, J.M., Sandalio, L.M., Gómez, M., Río, L.A. del. (2004). Cellular and subcellular localization of endogenous nitric oxide in young and senescent pea plants. *Plant Physiol.* **136**, 2722–2733.
- Corpas, F. J., Leterrier, M., Valderramab, R., Airakia, M., Chakia, M., Palmaa, J. M., Barroso, J.B. (2011). Nitric oxide imbalance provokes a nitrosative response in plants under abiotic stress. Review. *Plant Sci.* xxx, xxx–xxx
- Çelik, Ö. ve Atak, Ç. (2012). The effect of salt stress on antioxidative enzymes and proline content of two Turkish tobacco varieties. *Turk. J. Biol.* **36**, 339-356 c.
- Çırak, C. ve Esenal, E. (2006). Soyada kuraklık stresi. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, **21(2)**, 231-237.
- David, A., Yadav, S. ve Bhatla, S.C. (2010). Sodium chloride stress induces nitric oxide accumulation in root tips and oil body surface accompanying slower oleosin degradation in sunflower seedlings. *Physiologia Plantarum.* **140**, 342–354.
- Dean, J.V. ve Harper, J.E. (1988). The conversion of nitrite to nitrogen oxide(s) by the constitutive NAD(P)H-nitrate reductase enzyme from soybean. *Plant Physiol.* **88**, 389–395.
- Delledonne, M., Xia, Y.J., Dixon, R.A., Lamb, C. (1998). Nitric oxide functions as a signal in plant disease resistance. *Nature:* **394**, 585–588.
- Demiral, T., Türkan, İ. (2004). Does exogenous glycinebetaine affect antioxidative system of rice seedlings under NaCl treatment? *J. Plant Physiol.* **161**, 1089–1100.

- Dichio, B., Margiotta, G., Xiloyannis, C., Bufo, S. A. , Sofo, A., Cataldi, T. R. I. (2009). Changes in water status and osmolyte contents in leaves and roots of olive plants (*Olea europaea* L.) subjected to water deficit. *Trees*. **23**, 247–256.
- Dinakar, C., Djilianov, D., Bartels, D. (2012). Photosynthesis in desiccation tolerant plants: Energy metabolism and antioxidative stress defense. Review. *Plant Sci*. **182**, 29–41.
- Divate, M.R. ve Pandey, R.M. (1979). Salt tolerance in grapes. Effect of salinity on chlorophyll, photosynthesis and respiration. *Indian J. Plant Physiol*. **24(1)**, 74-79.
- Downton, W.J.S., Loveys, B.R. ve Grant, W.J.R. (1990). Salinity effects on the stomatal behaviour of grapevina. *New Phytologist*. **116**, 499-503.
- Draper, J. (1997). Salicylate, superoxide synthesis and cell suicide in plant defence. *Trends Plant Sci*. **2**, 162-165.
- Durner, J., Wendehenne, D., Klessig, D.F. (1998). Defense gene induction in tobacco by nitric oxide, cyclic GMP, and cyclic ADPribose. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. **95**, 10328–10333.
- Elkahoui, S., Herna´ndez, J. A., Abdelly, C., Ghrir, R., Limam, F. (2005). Effects of salt on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of *Catharanthus roseus* suspension cells. *Plant Sci*. **168**, 607–613.
- Eryılmaz, F. (2003). *Yüksek bitkilerde tuz stresi ile antosiyan içeriği arasındaki ilişkiler*. Yüksek lisans tezi.
- Eşim, N., Atıcı, O., Mutlu, S. (2014). “Effects of exogenous nitric oxide in wheat seedlings under chilling stress”. *Toxicology and Industrial Health*. Vol: **30**, 3: 268-274.
- Fan, H. F., Du, C. X., Ding, L. ve Xu, Y. L. (2014). “Exogenous nitric oxide promotes waterlogging tolerance as related to the activities of antioxidant enzymes in cucumber seedlings”. *Russian J. Plant Physiol*..Vol. **61**, 3: 366–373.
- Feierabend, J., Schann, C. ve Hertwig, B. (1992). Photoinactivation of catalase occurs under both high and low temperature stress conditions and accompanies photoinhibition of Photosystem II. *Plant Physiol*. **100**, 1554-1561.

- Foyer, C.H. ve Harbison, J. (1994). Oxygen metabolism and the regulation of photosynthetic electron transport. In: Foyer C.H., Mullineaux P., editors. Causes of photooxidative stresses and amelioration of defense systems in plants. Boca Raton, Florida, USA: CRC. Press; p. 1-42.
- Frugoli, J.A., Zhong, H.H., Nuccio, M.L., McCourt, P., McPeck, M.A., Thomas, T.L. and McClung, C.R. (1996). Catalase is encoded by multigene family in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Plant Physiology*. **112**(1), 327-336.
- Garcia-Mata, C. ve Lamattina, L. (2001). Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. *Plant Physiol.* **12**, 1196–1204.
- Garratt, L.C., Janagoudar, B.S., Lowe, K.C., Anthony, P., Power, J.B., Davey, M.R. (2002). Salinity tolerance and antioxidant status in cotton cultures. *Free Radical Biol. Med.* **33**, 502–11.
- Ge, Y., He, X., Wang, J., Jiang, B., Ye, R., Lin, X. (2014). Physiological and biochemical responses of *Phoebe bournei* seedlings to water stress and recovery. *Acta Physiol. Plant.* **36**, 1241–1250.
- Gill S.S. ve Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol. Biochem.* **48**, 909-930.
- Gill, S.S., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Macovei, A., Tuteja, N. (2013). Importance of nitric oxide in cadmium stress tolerance in crop plants. Review. *Plant Physiol. Biochem.* **63**, 254-261.
- Glenn, E.P. ve Brown, J.J. (1998). Effects of soil salt levels on the growth and water use efficiency of *Atriplex canescens* (Chenopodiaceae) varieties in drying soil. *Am. J.Bot.* **85**, 10-16.
- Gomez, J.M., Jimenez, A., Olmos, E. ve Sevilla, F. (2004). Location and effects of long-term NaCl stress on superoxide dismutase and ascorbate peroxidase isoenzymes of pea (*Pisum sativum* cv. Puget) chloroplasts. *J. Exp. Bot.* **55**, 119–30.
- Grattana, S.R. ve Grieveb, C.M. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae.* **78**, 127-157.
- Graziano, M. ve Lamattina, L. (2007). Nitric oxide accumulation is required for molecular and physiological responses to iron deficiency in tomato roots. *The Plant Journal.* **52**, 949–960.

- Gupta, K.J., Stoimenova, M. ve Kaiser, K.M. (2005). In higher plants, only root mitochondria, but not leaf mitochondria reduce nitrite to NO, in vitro and in situ. *J. Exp. Bot.* **56**, 2601–9.
- Gupta, B. ve Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Genomics*. Vol. Article ID; 701596, 18 pages.
- Halliwell, B. ve Gutteridge, J.M.C. (1999). Free radicals in biology and medicine. 3rd ed. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Hasegawa, M., Bressan, A., Zhu, J.-K. and Bohnert, H.J., (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bio.* **51**, 463-499.
- Hediye, E. S. A. (2009). *Tuz stresinin farklı tuz toleransına sahip iki Plantago türünün fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması*. Doktora tezi. Ege Üniversitesi. İzmir.
- Henry, Y.A., Ducastel, B. ve Guissani, A. (1997). Basic chemistry of nitric oxide and related nitrogen oxides, nitric oxide research from chemistry to biology. *Landes Co. Biomed. Publ.* Austin, USA, 15–46.
- Hertwig, B., Streb, P. ve Feierabend, J. (1992). Light dependence of catalase synthesis and degradation in leaves and the influence of interfering stress conditions. *Plant Physiol.* **100**, 1547-1553.
- Horemans, N., Foyer, C.H. ve Asard, H. (2000). Transport and action of ascorbate at the plasma membrane. *Trends Plant Sci.* **5**, 263–267.
- Huang, J., Sommers, E.M., Kim-Shapiro, D.B. ve King, S.B. (2002). Horseradish peroxidase catalyzed nitric oxide formation from hydroxyurea. *J. Am. Chem. Soc.* **124**, 3473–3480.
- Huang, S., Greenway, H., Colmer, T.D., Millar, A.H. (2005). Protein synthesis by rice coleoptiles during prolonged anoxia: implications for glycolysis, growth and energy utilization. *Ann. Bot. (London)* **96**, 703-715.
- Jasid, S., Galatro, A., Villordo, J. J., Puntarulo, S., Simontacchi, M. (2009). Role of nitric oxide in soybean cotyledon senescence. *Plant Sci.* **176**, 662–668.
- Jung, S., Kim, J.S., Cho, K.Y., Tae, G.S., Kang B.G. (2000). Antioxidant responses of cucumber (*Cucumis sativus*) to photoinhibition and oxidative stress induced by norflurazon under high and low PPFDs. *Plant Sci.* **153**, 145-154.

- Kadioğlu, A. (2007). *Bitki fizyolojisi*. Trabzon, 422.
- Karabal, E., Yücel, M., Öktem, H. A. (2003). Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. *Plant Sci.* **164**, 925-933.
- Katsuhara, M., Otsuka, T., Ezaki, B. (2005). Salt stress-induced lipid peroxidation is reduced by glutathione S-transferase, but this reduction of lipid peroxides is not enough for a recovery of root growth in *Arabidopsis*. *Plant Sci.* **169**, 369–73.
- Khoshgoftarmansh, A. H., Khodarahmi, S. ve Haghghi, M. (2014). Effect of silicon nutrition on lipid peroxidation and antioxidant response of cucumber plants exposed to salinity stres. *Archives of Agronomy and Soil Science.* **60**, 5: 639-653.
- Klepper, L.A. (1979). Nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂) emissions from herbicide-treated soybean plants. *Atmos. Environ.* **13**, 537–542.
- Kukreja, S., Nandval, A.S., Kumar, N., Sharma, S.K., Unvi, V., Sharma, P.K. (2005). Plant water status, H₂O₂ scavenging enzymes, ethylene evolution and membrane integrity of *Cicer arietinum* roots as affected by salinity. *Biol. Plant.* **49**, 305-308.
- Lamattina, L., Garciamata, C., Graziano, M. ve Pagnussat, G. (2003). Nitric oxide: the versatility of an extensive signal molecule. *Annu. Rev. Plant Biol.* **54**, 109–136.
- Lamb, C. ve Dixon, R.A. (1997). The oxidative burst in plant disease resistance. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **48**, 251–75.
- Laspina, N.V., Groppa, M.D., Tomaro, M.L., Benavides, M.P. (2005). Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stres. *Plant Sci.* **169**, 323–330.
- Leshem, Y.Y. (1996). Nitric oxide in biological systems. *Plant Growth Regul.* **18**, 155–159.
- Liu, M., Cai, K., Chen, Y., Luo, S., Zhang, Z., Eur, W. L. (2014). Proteomic analysis of silicon-mediated resistance to *Magnaporthe oryzae* in rice (*Oryza sativa* L.). *J Plant Pathol.* **139**, 579–592.
- Li, Q., Niu, H., Yin, J., Wang, M., Shao, H., Deng, D., Chen, X., Ren, J., Li, Y. (2008). Protective role of exogenous nitric oxide against oxidative-stress induced by salt stress in barley (*Hordeum vulgare*). *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* **65**, 220–225.

- Liu, S., Dong, Y., Xu, L., Kong, J. (2014). Effects of foliar applications of nitric oxide and salicylic acid on salt-induced changes in photosynthesis and antioxidative metabolism of cotton seedlings. *Plant Growth Regul.* **73**, 67–78.
- Mansour, M.M.F., Salama, K.H.A., Al-Mutawa, M.M. (2003). Transport proteins and salt tolerance in plants. Review. *Plant Sci.* **164**, 891-900.
- Mateo, A., Mühlenbock, P., Rustérucci, C., Chang, Chi-Chen., Miszalski, C., Z., Karpinska, B. (2004). Lesion simulating disease 1 is required for acclimation to conditions that promote excess excitation energy. *Plant Physiol.* **136**, 2818–30.
- Mazhoudi, S., Chaoui, A., Ghorbal, M. H., Ferjani, E. E. (1997). Response of antioxidant enzymes to excess copper in tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). *Plant Sci.* **127**, 129–137.
- Menezes-Benavente, L., Teixeira, F. K., Kamei, C. L. A., Margis-Pinheiro, M. (2004). Salt stress induces altered expression of genes encoding antioxidant enzymes in seedlings of a Brazilian *indica* rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Sci.* **166**, 323–331.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance, *TRENDS in Plant Sci.* **7**, 405-410.
- Mittova, V., Volokita, M., Guy, M., Tal, M. (2000). Activities of SOD and the ascorbate-glutathione cycle enzymes in subcellular compartments in leaves and roots of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii*. *Physiol. Plant.* **110**, 42–51.
- Munns, R. (1993). Physiological process limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* **16**, 15-24.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* **25**, 239-250.
- Munns, R. ve Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* **59**, 651-681.
- Mura, L. A.J., Mandon, J., Cristescu, S. M., Harren, F. J.M., Prats, E. (2011). Methods of nitric oxide detection in plants: A commentary. Review. *Plant Sci.* **181**, 509–519.
- Nian, H., Zhang, D., Zeng, Z., Yan, J., Li, K., Chen, L. (2014). Over-expression of heat shock factor gene (AtHsfA1d) from *Arabidopsis thaliana* confers

- formaldehyde tolerance in tobacco. *Acta Physiol. Plant.* **36**, 1455–1462.
- Noctor, G. ve Foyer, CH. (1998). Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **49**, 249–79.
- Noritake, T., Kawakita, K. ve Doke, N. (1996). Nitric oxide induces phytoalexin accumulation in potato tuber tissues. *Plant Cell Physiol.* **37**(1), 113-116.
- Öncel, I. ve Keleş, Y. (2002). Tuz stresi altındaki buğday genotiplerinde büyüme, pigment içeriği ve çözümlü madde kompozisyonunda değişimler. *C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi.* **23**, 2.
- Polidoros, A.N. ve Scandalios, J.G. (1999). Role of hydrogen peroxide and different classes of antioxidants in the regulation of catalase and glutathione S-transferase gene expression in maize (*Zea mays* L.). *Physiol. Plant.* **106**, 112–20.
- Polesskaya, O.G., Kashirina, E.I., Alekhina, N.D. (2006). Effect of salt stress on antioxidant system of plants as related to nitrogen nutrition. *Russian Journal of Plant Physiol.* **53**(2), 186-192.
- Porgalı, Z.B. (2007). *Ayçiçeği bitkisinde kadmiyum sülfat uygulamasının bazı metabolik olaylar üzerine etkisi*. Doktora tezi. İnönü Üniversitesi. Malatya.
- Praxedes, S. C., Damatta, F. M., Lacerda, C. F. D., Prisco, J. T. Gomes-Filho, E. (2014). Salt stress tolerance in cowpea is poorly related to the ability to cope with oxidative stress. *Acta Bot. Croat.* **73** (1), 51–62.
- Queirós, F., Rodrigues, J. A., Almeida, J. M., Almeida, D.P.F., Fidalgo, F. (2011). Differential responses of the antioxidant defence system and ultrastructure in a salt-adapted potato cell line. *Plant Physiol. Biochem.* **49**, 1410-1419.
- Queslati, S., Karray-Bouraoui, N., Attia, H., Rabhi, M., Ksouri, R., Lachaal, M. (2010). Physiological and antioxidant responses of *Mentha pulegium* (Pennyroyal) to salt stress. *Acta Physiol. Plant.* **32**, 289–296
- Rawson, H.M. (1979). Vertical wilting and photosynthesis, transpiration and water use efficiency of sunflower leaves. *Aust. J.Plant Physiol.* **6**, 109-120.
- Reddy A.S, Raghavendra A.S. (2006). Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants. Springer, The Netherlands, pp. 157-186.
- Rio, L.A. del, Corpas, F. J., Barroso, J. B. (2004). Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants. *Phytochemistry.* **65**, 783–792.

- Rio, L.A. del, Corpas, F.J., Sandalio, L.M., Palma, J.M., Gómez, M., Barroso, J.B. (2002). Reactive oxygen species, antioxidant systems and nitric oxide in peroxisomes. *J. Exp. Bot.* **53**, 1255–1272.
- Rios-Gonzalez, K., Erdei, L., Lips, S. H. (2002). The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources. *Plant Sci.* **162**, 923-930.
- Rockel, P., Strube, F., Rockel, A., Wildt, J. ve Kaiser, W.M. (2002). Regulation of nitric oxide (NO) production by plant nitrate reductase in vivo and in vitro. *J. Exp. Bot.* **53**, 103–110.
- Romero-Puertas, M.C., Corpas, F.J., Rodríguez-Serrano, M., Gomez, M., Rio, L.A. del., Sandalio, L.M. (2007). Differential expression and regulation of antioxidative enzymes by cadmium in pea plants. *J. Plant Physiol.* **164**, 1346-1357.
- Russel, J. C., Kadry, L., ve Hanna, A. B. (1965). Sodic soils in Iraq. *Agrokomia ES Talajtan*. Tom 14(Suppl.): 91-97.
- Sairam, R.K. ve Srivastava, G.C. (2002). Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stres. *Plant Sci.* **162**, 897-904.
- Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M.d.M., Blasco, B., Leyva, R., Romero, L., Ruiz, J.M. (2012). Antioxidant response resides in the shoot in reciprocal grafts of drought-tolerant and drought-sensitive cultivars in tomato under water stres. *Plant Sci.* 188–189, 89–96.
- Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M.M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., Ruiz, J.M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Sci.* **178**, 30-40.
- Scandalios, JG. (1993). Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiol.* **101**, 7-12.
- Sen, A., Alikamanoglu, S. (2011). Effect of salt stress on growth parameters and antioxidant enzymes of different wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties on in vitro tissue culture. *Fresenius Environ. Bulletin*. Vol.: **20**, 2A: 489-495.
- Serrano, R., Culiánz-Macia, F. ve Moreno, V. (1999). Genetic engineering of salt and drought tolerance with yeast regulatory genes. *Scientia Horticulturae.* **78**, 261-269.

- Shalata, A. ve 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.
- Shan, C., Liu, H., Zhao, L. ve Wang, X. (2014). Effects of exogenous hydrogen sulfide on the redox states of ascorbate and glutathione in maize leaves under salt stress. *Biol. Plant.* **58(1)**, 169-173.
- Shanker, A. K. ve Venkateswarlu, B. (2011). *Abiotic stress in plants—mechanisms and adaptations*. Published by InTech. Janeza Trdine. **9**, 51000 Rijeka, Croatia.
- Shannon, M.(1984). Breeding. Selection and genetics of salt tolerance. Salinity tolerance in plants. Strategies for crop improvement. John Wiley and Sons. *New York R.C. Stables*. G.H. Toenniensen.(121425).
- Singh K.N., Chatrath, R. (2001). Salinity tolerance. In ‘Application of physiology in wheat breeding’. (Eds MP Reynolds, JJ Ortiz-Monasterio, A McNab) pp. 101–110. (CIMMYT: Mexico).
- Song, L., Ding, W., Zhao, M., Sun, B., Zhang, L. (2006). Nitric oxide protects against oxidative stress under heat stress in the calluses from two ecotypes of reed. *Plant Sci.* **171**, 449–458.
- Song, L., Ding, W., Shen, J., Zhang, Z., Bi, Y., Zhang, L. (2008). Nitric oxide mediates abscisic acid induced thermotolerance in the calluses from two ecotypes of reed under heat stress. *Plant Sci.* **175**, 826–832.
- Stöhr, C. ve Ullrich, W.R. (2002). Generation and possible roles of NO in plant roots and their apoplastic space. *J. Exp. Bot.* Vol. **53**, 2293-2303.
- Sudhakar, C., Lakshmi, A., Giridarakumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Sci.* **161**, 613–619.
- Tanou, G., Job, C., Rajjou, L., Arc, E., Belghazi, M., Diamantidis, G., Molassiotis, A. ve Job, D. (2009). Proteomics reveals the overlapping roles of hydrogen peroxide and nitric oxide in the acclimation of citrus plants to salinity. *The Plant Journal.* **60**, 795–804.
- Topaloğlu, K. (2010). *Tuz stresinin Chili biberlerinin pigment ve kapsaisinoid değişimi ile peroksidaz aktivitesi arasındaki ilişki*. Yüksek lisans tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana.

- TUIK, 2013. TUIK 2013. <http://www.tuik.gov.tr>
- Turner, N.C., Begg, J.E. ve Tonner, M.L. (1978). Osmotic adjustment of sorghum and sunflower crops in response to water deficits and its influence on the water potential at which stomata close. *Aust. J.Plant Physiol.* **5**, 597-608.
- Tuteja, N. (2007). Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in Enzymology.* **428**, 419-438.
- Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F., Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Sci.* **168**, 223–231.
- Uchida, A., Jagendorf, A. T., Hibino, T., Takabe, T., Takabe, T. (2002). Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. *Plant Sci.* **163**, 515-523.
- Uhida, A., Jagendorf, A.T, Hibino, T., Takabe, T. (2002). Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. *Plant Sci.* **163**, 515–523.
- Uzilday, A., Turkan, I., Sekmen, A.H., Ozgur, R., Karakaya, H.C. (2012). Comparison of ROS formation and antioxidant enzymes in *Cleome gynandra* (C4) and *Cleome spinosa* (C3) under drought stress. *Plant Sci.* **182**, 59–70.
- Vaidyanathan, H., Sivakumar, P., Chakrabarty, R., Thomas, G. (2003). Scavenging of reactive oxygen species in NaCl-stressed rice (*Oryza sativa* L.)- differential response in salt-tolerant and sensitive varieties. *Plant Sci.* **165**, 1411–8.
- Valderrama, R., Corpas, F.J., Carreras, A., Fernández-Ocan, A., Chaki, M., Luque, F., Go´mez-Rodríguez, M.V., Colmenero-Varea, P., del Rio, L.A. ve Barroso, J.B. (2007). Nitrosative stress in plants. *FEBS Lett.* **581**, 453–461.
- Veicht, N.C. (2004). Horseradish peroxidase: a modern review of a classic enzyme. *Phytochemistry.* **65**, 249–259.
- Volkmar, K.M., HU, Y. ve Steppuhn, H. (1998). Physiological responses of plants to salinity: a review. *Can. J. Plant Sci.* **78**, 19-27.
- Wang, Y., Ying, Y., Chen, J., Wang, X. (2004). Transgenic *Arabidopsis* over expressing Mn-SOD enhanced salt-tolerance. *Plant Sci.* **167**, 671–677.

- Weitzberg, E. ve Lundberg, J. (1998). Nonenzymatic nitric oxide production in humans, nitric oxide. *Biology and Chemistry*. **2**, 1-7.
- Wimalasekera, R., Tebartz, F., Scherer, G. F.E. (2011). Polyamines, polyamine oxidases and nitric oxide in development, abiotic and biotic stresses. *Plant Sci*. **181**, 593–603.
- Wink, D.A. ve Mitchell, J.B. (1998). Chemical biology of nitric oxide: insights into regulatory, cytotoxic and cytoprotective mechanisms of nitric oxide. *Free Radic. Biol. Med.* **25**, 434–456.
- Woods, S.A. (1996). Salinity tolerance of ornamental trees and shrubs. Her Majesty the Queen in the Right of Alberta.
- Wormuth, D., Heiber, I., Shaikali, J., Kandlbinder, A., Baier, M., Dietz, Karl-Josef. (2007). Redox regulation and antioxidative defence in *Arabidopsis* leaves viewed from a systems biology perspective. *Journal of Biotechnology*. **129**, 229–248.
- Yamamoto, A., Katou, S., Yoshioka, H., Doke, N. ve Kawakita, K. (2003). Nitrate reductase, a nitric oxide-producing enzyme: induction by pathogen signals. *J. Gen. Plant Pathol.* **69**, 218–229.
- Yamasaki, H. , Sakihama, Y. ve Takahashi, S. (1999). An alternative pathway for nitric oxide production in plants: new features of an old enzyme. *Trends in Plant Sci.* **2**, 128–129.
- Yamasaki, H. ve Sakihama, Y. (2000). Simultaneous production of nitric oxide and peroxynitrite by plant nitrate reductase: in vitro evidence for the NR-dependent formation. *FEBS Lett.* **468**, 89–92.
- Yang, Y., Han, C., Liu, Q., Lin, B., Wang, J. (2008). Effect of drought and low light on growth and enzymatic antioxidant system of *Picea asperata* seedlings. *Acta Physiol. Plant.* **30**, 433-40.
- Yang, F., Xiao, X., Zhang, S., Korpelainen, H., Li, C. (2009). Salt stress responses in *Populus cathayana* Rehder. *Plant Sci.* **176**, 669–677.
- Yaşar, F., Kuşvuran, S. ve Ellialtıoğlu, S. (2006). Determination of anti-oxidant activities in some melon (*Cucumis melo* L.) varieties and cultivars under salt stress. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. **81**(4), 627–630.
- Yaşar, F., Ellialtıoğlu, S., Özpaya, T., Uzal, Ö. (2008). Tuz stresinin Karpuzda (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) antioksidan enzim (SOD, CAT, APX VE

GR) aktivitesi üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*. **18(1)**, 61-65.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: İlknur ÇELİK

Doğum Yeri ve Tarihi: KEBAN-01/09/1986

Adres: Cumhuriyet mah. Şehit Polis İbrahim Bozkurt sok. Güvenoba Sitesi No:22/5
ELAZIĞ

E-Posta: ilknurcelik86@hotmail.com

Yüksek Lisans : İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim
Dalı, Botanik Bilim Dalı, 2010

Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen- Edebiyat Fakültesi, Biyoloji
Bölümü, 2005-2010

Ortaöğretim : Elazığ Anadolu Lisesi, Elazığ, 1997-2004