

**NİTRİK OKSİT UYGULAMASININ BİBER BİTKİSİNDE
(*Capsicum annuum* L.) KİMİ STRES FAKTÖRLERİ ÜZERİNE
ETKİSİ**

Günsu BARIŞIK KAYIN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NİTRİK OKSİT UYGULAMASININ BİBER BİTKİSİNDE (*Capsicum annuum*
L.) KİMİ STRES FAKTÖRLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Günsu BARIŞIK KAYIN
000-0003-1588-3857

Doç. Dr. Murat Ali TURAN
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Günsu BARIŞIK KAYIN tarafından hazırlanan “NİTRİK OKSİT UYGULAMASININ BİBER BİTKİSİNDE (*Capsicum Annum* L.) KİMİ STRES FAKTÖRLERİ ÜZERİNE ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir

Danışman : Doç. Dr. Murat Ali TURAN

Başkan : Doç. Dr. Murat Ali TURAN
0000-0002-7936-1663
Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

İmza

Üye : Doç. Dr. Hakan ÇELİK
0000-0003-4673-3843
Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

İmza

Üye : Doç. Dr. Arzu AKPINAR BAYİZİT
0000-0003-1898-1153
Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÇIKILI
0000-0002-0393-6248
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat
Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme
Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Halil SAMET
0000-0003-2376-7944
Kocaeli Üniversitesi, Gıda ve Tarım MYO,
Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

08/04/2020

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/06/2020

Günsu BARIŞIK KAYIN

ÖZET

Doktora Tezi

NİTRİK OKSİT UYGULAMASININ BİBER BİTKİSİNDE (*Capsicum Annum L.*)
KİMİ STRES FAKTÖRLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Günsu BARIŞIK KAYIN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat Ali TURAN

Biyotik ve abiyotik çevre etmenlerinin etkisi altında bitkilerde ortaya çıkan değişimler stres olarak tanımlanır. Bu etmenler bitkilerde önemli ürün kaybına neden olmaktadır. Bitkiler stres faktörlerinden kaynaklanan olumsuz etkilerin azaltılmasında rol oynayan bir savunma sistemine sahiptir. Bitkilerde stres koşulları altında reaktif oksijen türleri (ROT) üretilmekte ve üretilen bu bileşikler bitki hücrelerine saldırarak hücrelerde zararlanmalara ve hücre ölümlerine yol açmaktadır. “Oksidatif hasar” olarak adlandırılan bu zararın azaltılmasında ve bitki bünyesinden uzaklaştırılmasında antioksidatif stres enzimleri rol oynar. Nitrik oksit (NO), oksidatif stres koşullarının verdiği zarara karşı çeşitli biyolojik yollarla bitkileri koruduğu kanıtlanan çok aktif bir moleküldür. Lipofilik doğası nedeniyle hücre membranından kolayca geçebilen ve hem hücre içi hem hücre dışı haberci olarak görev yapan NO birçok fizyolojik ve kimyasal süreci düzenler. NO’in bitki hücrelerinde hücrel redoks dengesini düzenlemede ve ROT’lardan kaynaklanan oksidatif hasarın önlenmesinde önemli bir rolü vardır. . Bu çalışmada test bitkisi olarak iki farklı biber çeşidi (çarliston Yalova 341, Doru 16) seçilmiş ve bu çeşitlerde nitrik oksit (NO) vericisi olarak farklı seviyelerde (0, 25 ve 50 µM) uygulanan Sodyum Nitroprusside (SNP)'nin tuzluluk (50 mM), ağır metaller (çinko, bakır ve kadmiyum) ve bor (1 mM) kaynaklı strese karşı etkileri araştırılmıştır. Tesadüf parselleri deneme desenine göre oluşturulan deneme 5 tekrarlamalı olarak yürütülmüş ve bitkilerde büyüme, fotosentetik pigmentler, stres parametreleri ve antioksidatif enzim aktivitelerindeki değişimler araştırılmıştır. Tuz, ağır metal ve bor stresine sokulan bitkilerde kuru madde miktarı ve fotosentetik pigment içeriklerinde önemli azalmalar olmuş, hidrojen peroksit (H₂O₂), prolin, lipid peroksidasyon (MDA) ve askorbik asit (AsA) içerikleri artmış ve buna paralel olarak süperoksit dismütaz (SOD; EC 1.15.1.1), askorbat peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11), glutatyon redüktaz (GR; EC 1.6.4.2), katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) ve peroksidaz (POD; EC 1.11.1.7) enzim aktiviteleri de önemli derecede artmıştır. NO uygulaması ile bitkilerde stres parametreleri (H₂O₂, prolin, MDA ve AsA) ve enzim aktiviteleri (SOD, APX, GR, CAT ve POD) önemli derecede artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nitrik oksit, ağır metal stresi, tuz stresi, antioksidatif enzimler

2020, xi + 215 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

EFFECT OF NITRIC OXIDE APPLICATION ON SOME STRESS FACTORS IN
PEPPER (*Capsicum Annum* L.)

Günsu BARIŞIK KAYIN

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Plant Nutrition and Soil Science

Supervisor: Doç. Dr. Murat Ali TURAN

Under the influence of biotic and abiotic environmental factors, changes that occur in plants are defined as stress. These factors cause significant product loss in plants. Plants have a defense system that plays a role in reducing negative effects caused by stress factors. Reactive oxygen species (ROS) are produced in plants under stress conditions, and these compounds attack the plant cells, causing damage to the cells and cell deaths. Antioxidative stress enzymes play a role in reducing this harm called 'oxidative damage' and removing it from the plant. Nitric oxide (NO) is a very active molecule that has been proven to protect plants in various biological ways against damage caused by oxidative stress conditions. NO, which can easily pass through the cell membrane due to its lipophilic nature and acts as both intracellular and extracellular messenger, regulates many physiological and chemical processes. NO plays an important role in regulating cellular redox balances in plant cells and preventing oxidative damage sourced by reactive oxygen species. In this study, two different pepper varieties (çarliston Yalova 341, Doru 16) were selected as test plants and in these varieties, the effects of SNP applied at different levels (0, 25 and 50 µM), as an NO donor, on stress-induced by salinity (50 mM), heavy metals (zinc, copper, and cadmium), and boron (1 mM) were investigated. In the plants exposed to salt, heavy metal and boron stress, there was a significant decrease in the dry matter amount and photosynthetic pigment content, hydrogen peroxide (H₂O₂), proline, lipid peroxidation (MDA) and ascorbic acid (AsA) contents increased and in parallel, superoxide dismutase (SOD; EC 1.15.1.1). Ascorbate peroxidase (APX; EC 1.11.1.11), glutathione reductase (GR; EC 1.6.4.2), catalase (CAT; EC 1.11.1.6) and peroxidase (POD; EC 1.11.1.7) enzyme activities are also significantly increased. With NO application, stress parameters (H₂O₂, proline, MDA and AsA) and enzyme activities (SOD, APX, GR, CAT and POD) have significantly increased in plants

Key words: Nitric Oxide, heavy metal stress, salt stress, antioxidative enzymes

2020, xi + 215 pages.

TEŞEKKÜR

Öncelikte bana bu tez çalışmasının her noktasında bilgi, deneyim ve desteğini esirgemeyen, eğitim ve çalışma hayatıma kattığı eşsiz değerler için Sayın Hocam Doç. Dr. Murat Ali TURAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam kapsamında kurulan denemelerin yürütülmesinde ve analizlerin yapılması aşamasında yardımları için sevgili meslektaşlarım Ziraat Müh. Sayın Gökhan ÇAKAT, Ziraat Müh. Sayın Berkay CÜRE, Ziraat Müh. Sayın Rıfat POLAT, Ziraat Müh. Sayın Çağan Kutay ER'e ve Ziraat Müh. Sayın Mustafa ÜLKÜ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında sonsuz sabır ve anlayışları için öncelikle sevgili eşim Hasan KAYIN'a, her durumda yanımda oldukları ve desteklerini esirgemedikleri için canım annem Bilgi BARIŞIK ve babam Melih BARIŞIK'a çok teşekkür ederim. Yanlarında olamadığım her gün ve dakikada bile sevgilerini ve gülücüklerini benden esirgemeyen can evlatlarım Güneş KAYIN ve Toprak KAYIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Günsu BARIŞIK KAYIN
08/06/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Bitkilerde Tuz Toksisitesi ile İlgili Çalışmalar.....	5
2.2. Bitkilerde Ağır Metal Toksisitesi ile İlgili Çalışmalar.....	9
2.3. Bor Toksisitesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	13
2.4. Nitrik Oksit ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1. Materyal.....	26
3.1.1. Denemede kullanılan bitki materyali.....	26
3.1.2. Yetiştirme ortamı.....	26
3.2. Yöntem.....	27
3.2.1. Bitkilerin Yetiştirilmesi.....	27
3.2.2. Besin çözeltisi ve uygulama dozlarının hazırlanması.....	27
3.2.3. Hasat ve örneklerin analize hazırlanması.....	28
3.2.4. Mikrodalga Yaş Yakma Yöntemi ile bitki Ekstraktlarının çıkartılması... ..	29
3.2.5. Bitki örneklerinde Na, Zn, Cu ve B konsantrasyonunun belirlenmesi.....	29
3.2.6. Fotosentetik pigmentlerin belirlenmesi.....	29
3.2.7. Çözünür protein konsantrasyonunun belirlenmesi.....	30
3.2.8. Enzim analizleri için örneklerin hazırlanması ve enzim aktivitelerinin belirlenmesi.....	31
3.2.9. Bitkide stres parametrelerinin belirlenmesi.....	34
3.2.10. İstatistiksel analizler.....	35
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	36
4.1. Nitrik Oksit (NO) Uygulamasının Tuz Stresine Etkisi.....	36
4.1.1. Bitkilerin kuru madde verimleri.....	36
4.1.2. Bitkilerin toprak üstü aksamlarının na içerikleri.....	40
4.1.3. Bitkilerin fotosentetik pigment içerikleri.....	42
4.1.4. Bitkilerin çözünebilir protein miktarları.....	50
4.1.5. Bitkilerin kimi stres parametresi (H ₂ O ₂ , MDA, Prolin ve AsA) içerikleri.....	53
4.1.6. Bitkilerin kimi antioksidatif enzim (SOD, APX, GR, CAT, POD) aktivitelerine etkisi.....	61
4.2. Nitrik Oksit (NO) Uygulamasının Ağır Metal (Zn, Cu, Cd) Stresi Üzerine Etkisi.....	70
4.2.1. Bitkilerin kuru madde verimleri.....	70
4.2.2. Bitkilerin ağır metal (Zn, Cu ve Cd) içerikleri.....	75
4.2.3. Bitkilerin fotosentetik pigment İçerikleri.....	84
4.2.4. Bitkilerin çözünebilir protein miktarları.....	101
4.2.5. Bitkilerin kimi stres parametresi (H ₂ O ₂ , MDA, Prolin ve AsA) içerikleri.....	106

4.2.6. Bitkilerin Kimi Antioksidatif Enzim (SOD, APX, GR, CAT, POD) Aktivitelerine Etkisi.....	124
4.3. Nitrik Oksit (NO) Uygulamasının Bor (B) Stresine Etkisi.....	154
4.3.1. Bitkilerin kuru madde verimleri.....	154
4.3.2. Bitkilerin toprak üstü aksamaların B içerikleri.....	157
4.3.3. Bitkilerin fotosentetik pigment içerikleri.....	159
4.3.4. Bitkilerin çözünebilir protein miktarları.....	166
4.3.5. Bitkilerin kimi stres parametresi (H ₂ O ₂ , MDA, Prolin ve AsA) içerikleri.....	168
4.3.6. Bitkilerin kimi antioksidatif enzim (SOD, APX, GR, CAT, POD) aktivitelerine etkisi.....	176
5. SONUÇ.....	185
KAYNAKLAR.....	188
ÖZGEÇMİŞ.....	214

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
-SH	Sülfidril
O ₂ •	Süperoksit Radikali
•OH	Hidroksil Radikali
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
NaCl	Sodyum Klorür
%EC	Yüzde Elektriksel İletkenlik
mM	Milimolar
µM	Mikromolar
M	Molar
Na	Sodyum
K	Potasyum
Ca	Kalsiyum
P	Fosfor
mg	Miligram
mL	Mililitre
L	Litre
dS	DesiSiemens
Fe	Demir
Cl	Klor
Cu	Bakır
Co	Kobalt
Cr	Krom
CO ₂	Karbondioksit
Ni	Nikel
Pb	Kurşun
Mg	Magnezyum
Cd	Kadmiyum
B	Bor
Zn	Çinko
Mn	Mangan
kg	Kilogram
da	Dekar
ppm	Parts per million
CaCl ₂	Kalsiyum klorür
KNO ₃	Potasyum nitrat
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	Kalsiyum nitrat tetrahidrat
MgSO ₄ .7H ₂ O	Magnezyum sülfat heptahidrat
KH ₂ PO ₄	Potasyum dihidrojen fosfat
FeSO ₄ .7H ₂ O	Demir sülfat heptahidrat

H ₃ BO ₃	Borik asit
MnSO ₄ .H ₂ O	Mangan sülfat monohidrat
ZnSO ₄ .7H ₂ O	Çinko sülfat heptahidrat
CuSO ₄ .5H ₂ O	Bakır sülfat pentahidrat
(NH ₄) ₂ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	Amonyum molibdat tetrahidrat
Na ₂ EDTA.2H ₂ O	Etilen diamin tetra asetik asit disodyum dihidrat
3CdSO ₄ .8H ₂ O	Kadmiyum sülfat oktahidrat
Na ₂ [Fe(CN) ₅ NO]	Sodyum nitroprussid
HNO ₃	Nitrik asit
pH	Toprak reaksiyonu
rpm	Dakikadaki devir sayısı
nm	Nanometre
p<0,01	Yüzde bir olasılık düzeyinde önemli
p<0,05	Yüzde beş olasılık düzeyinde önemli

Kısaltmalar

ROT

UV

NO

MDA

SOD

APX

GPx

CAT

GR

POX

SNP

BAP

GPOX

GSH

GSSG

PAL

RNA

RWC

ICP-OES

NBT

NADPH

TCA

TBA

LSD

YA

Açıklama

Reaktif Oksijen Türleri

Ultraviyole

Nitrik Oksit

Malondialdehit

Süperoksit Dizmutaz

Askorbat Peroksidaz

Glutasyon Peroksidaz

Katalaz

Glutasyon Redüktaz

Peroksidaz

Sodyum Nitroprusid

Benzilaminopürin

Glutasyon Peroksidaz

Glutasyon

Okside Glutasyon

Fenilalanin Amonyum Liyaz

Ribo Nükleik Asit

Nisbi Su İçeriği

Inductively coupled plasma - optical emission spectrometry

Nitro Blue Tetrazolium Chloride

Nikotinamid Adenin Dinükleotit Fosfat

Trikoloroasetik Asit

Tiobarbütirik Asit

Least Significant Difference Test

Yaş Ağırlık

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Deneme planı.....	28
Çizelge 4.1. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde verimlerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	36
Çizelge 4.2. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde miktarı (g saksı ⁻¹) üzerine etkileri.....	36
Çizelge 4.3. Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam Na içeriklerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	40
Çizelge 4.4. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam Na içeriklerine (g Na kg ⁻¹) etkisi.....	40
Çizelge 4.5. Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içerikleri (mg g ⁻¹ YA) üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	43
Çizelge 4.6. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin yaprak fotosentetik pigment içeriklerine (µg g ⁻¹) etkisi üzerine etkileri.....	44
Çizelge 4.7. Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünebilir protein miktarları (mg prot g ⁻¹ YA) üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	50
Çizelge 4.8. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünebilir protein miktarları (mg prot g ⁻¹ YA) üzerine etkisi.....	51
Çizelge 4.9. Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H ₂ O ₂ , MDA, prolin ve AsA miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	54
Çizelge 4.10. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H ₂ O ₂ , MDA, prolin ve AsA miktarları üzerine etkisi.....	55
Çizelge 4.1. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde verimlerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	62
Çizelge 4.12. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT, POD enzim aktivite miktarları.....	63
Çizelge 4.13. Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde verimlerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	71
Çizelge 4.14. Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde miktarı (g saksı ⁻¹) üzerine etkileri.....	71

Çizelge 4.15.	Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam ve kök Zn, Cu ve Cd konsantrasyonlarına etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	76
Çizelge 4.16.	Ağır metal (Zn, Cu, Cd) stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam ve kök Zn, Cu, Cd konsantrasyonları üzerine etkileri.....	77
Çizelge 4.17.	Çinko stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içeriğine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	85
Çizelge 4.18.	Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin yaprak fotosentetik pigment içeriklerine ($\mu\text{g g}^{-1}$) etkisi.....	86
Çizelge 4.19.	Cu stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin fotosentetik pigment miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	91
Çizelge 4.20.	Cd stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin fotosentetik pigment miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	96
Çizelge 4.21.	Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünebilir protein miktarlarına etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	101
Çizelge 4.22.	Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünebilir protein miktarları (mg prot g^{-1} YA) üzerine etkileri.....	102
Çizelge 4.23.	Çinko stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H_2O_2 , MDA, Prolin ve AsA miktarına etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	107
Çizelge 4.24.	Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H_2O_2 , MDA, prolin ve AsA miktarları) üzerine etkisi.....	108
Çizelge 4.25.	Bakır stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H_2O_2 , MDA, Prolin ve AsA miktarına etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	114
Çizelge 4.26.	Kadmiyum stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H_2O_2 , MDA, Prolin ve AsA miktarına etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	119
Çizelge 4.27.	Çinko stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktivitelerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	125
Çizelge 4.28.	Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR enzim aktivite miktarları.....	126
Çizelge 4.29.	Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin CAT ve POD enzim aktivite miktarları.....	127

Çizelge 4.30.	Bakır stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktivitelerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	133
Çizelge 4.31.	Kadmiyum stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktivitelerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	140
Çizelge 4.32.	Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde verimlerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	154
Çizelge 4.33.	Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde miktarı (g saksı ⁻¹) üzerine etkileri.....	154
Çizelge 4.34.	Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam B içeriklerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	157
Çizelge 4.35.	Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam B içeriklerine (g B kg ⁻¹) etkisi.....	157
Çizelge 4.36.	Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içerikleri üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	160
Çizelge 4.37.	Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin yaprak fotosentetik pigment içerikleri (µg g ⁻¹) üzerine etkileri.....	161
Çizelge 4.38.	Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünebilir protein miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	166
Çizelge 4.39.	Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünebilir protein miktarları (mg prot g ⁻¹ YA) üzerine etkisi.....	166
Çizelge 4.40.	Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H ₂ O ₂ , MDA, prolin ve AsA miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	169
Çizelge 4.41.	Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H ₂ O ₂ , MDA, prolin ve AsA miktarları üzerine etkisi.....	170
Çizelge 4.42.	Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT, POD enzim aktiviteleri üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu.....	176

Çizelge 4.43. Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT, POD enzim aktivite miktarları.....	177
--	-----

1. GİRİŞ

Bitkiler yaşamları sürecinde birçok stres faktörü ile karşılaşır. Lichtenhaler (1996)'a göre biyotik ve abiyotik olmak üzere ikiye ayrılan stres faktörleri çevre etmenlerinin etkisi altında bitkilerde ortaya çıkan değişimler olarak tanımlanır. Biyotik faktörler; mikroorganizma enfeksiyonu ve zararlı hayvanlardan kaynaklanan stres faktörleridir. Abiyotik faktörler ise su, sıcaklık, radyasyon, tuz, kimyasallar, manyetik ve elektriksel alanlar gibi çevre faktörleridir.

Biyotik ve abiyotik stres etmenleri çeşitli bitkilerde verimde kayıplara neden olarak, insan ve hayvanların beslenmelerini olumsuz etkilemektedir. Optimum koşullarda çeşitli bitkilerden elde edilebilecek ürün miktarına göre; çeşitli biyotik stres etmenleri etkisiyle ortalama ürün kaybı; %65'ten %87'ye kadar değişirken, abiyotik etmenlerin neden olduğu ortalama ürün kaybı %51'den %82'ye kadar değişmektedir (Kacar ve ark. 2013). Abiyotik stres faktörlerinin başında gelen tuzluluk, ülkemiz tarım topraklarında karşılaşılan, verim ve kaliteyi olumsuz etkileyen en önemli etmenlerden biridir. Sıcak ve kurak iklim koşullarının yanında, yanlış sulama uygulamaları, kötü drenaj ve yoğun gübre kullanımı tarım topraklarında tuzluluğun artmasına ve yetişen bitkilerde kalite ve verimde kayıplara neden olmaktadır. Özellikle aşırı sulama sonucu oluşan toprak tuzluluğunun bitkilerde iki şekilde etkili olduğu bilinmektedir. Birincisi, bitkilerin su alımını engelleyen toplam tuz etkisi veya ozmotik etki, ikincisi ise bitkilerdeki bazı fizyolojik olayları etkileyen toksik iyon etkisidir. Toprakta tuzluluğun artması bitkilerde transpirasyonun ve solunumun yanında, su alımını azaltmakta ve kök gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun sonucunda fotosentez azalır, nitrat alımı düşer ve sonucunda protein sentezinde azalma meydana gelerek bitki gelişimi geriler (Kacar ve Katkat 2011).

Bitki gelişimini olumsuz etkileyen bir diğer abiyotik stres faktörü de ağır metallerdir. Motorlu taşıtlar, maden işletmeleri, volkanlar, sanayi, tarımda kullanılmak üzere üretilen gübre ve ilaçlar ağır metallerin yayılmasına sebep olan başlıca etmenlerdir (Stresty ve Madhava Rao 1999). Ağır metallerin hücrelerde yüksek miktarda birikimi bitkilerde vejetatif ve generatif gelişimi olumsuz yönde etkilemektedir (Gür ve ark. 2004).

Ağır metallerin toksik etkileri bitkilerde solunum, stoma hareketleri, suyun alınımı, fotosentez, enzimlerin aktiviteleri, çimlenme, protein sentezi, membran stabilitesi, hormonal denge gibi birçok fizyolojik olayın bozulmasına neden olmaktadır. (Kennedy ve Gonsalves 1987).

Çinko bitkilerde özellikle ribonükleik asit (RNA) sentezinde önemli roller üstlenmektedir. Bitkide azot metabolizmasını, nişasta oluşumunu ve tohum olgunlaşmasını etkiler. Ayrıca büyüme hormonlarının (oksin hormonu) üretimi için gerekli olan bir bitki besin elementi olan çinko; özellikle internodun uzaması için çok önemlidir (Kantarıcı 2000, Boşgelmez ve ark. 2001, McCauley ve ark. 2009). Çinko toksisitesi altında yetişen bitkilerde çimlenme oranlarının düşmesi yanında hipokotil ve radikula büyümesinin de engellendiği bildirilmiştir [8]. Yüksek konsantrasyondaki çinko; bitkide küçülmeye, tohum sayısında, tohum ağırlığında ve çözünebilir proteinlerde azalmaya sebep olmaktadır (Khurana ve Chatterjee 2001).

Bakırın (Cu) toprakta 100 mg kg^{-1} , bitki kuru maddesinde ise $15\text{-}30 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dan fazla olması bitkilerde toksik etki gösterir. Bakır toksisitesi genellikle bitki köklerinde açığa çıkmakta ve protein sentezi, fotosentez, solunum, iyon alımı ve hücre membran stabilitesi gibi fizyolojik olaylarda aksamalara neden olmaktadır (Sossé ve ark. 2004). Bakır toksisitesine maruz kalan bitkilerde bitki gelişiminin gerilediği, genç yapraklarda kıvrılmanın olduğu, hücre organellerinin parçalandığı ve yeterli demir bulunmasına rağmen bitkinin bundan yararlanmasının engellenmesi sonucu klorofil sentezinin azaldığı gözlemlenmektedir.

Toprakta 3 mg kg^{-1} , bitki kuru maddesinde ise 1 mg kg^{-1} 'dan fazla Kadmiyum (Cd) bulunması bitkiler için toksik etkilidir (Özbek ve ark. 1995). Bitki bünyesinde azot ve karbonhidrat metabolizmalarını olumsuz etkileyerek birçok fizyolojik değişikliğe neden olmaktadır. Proteinlerin –SH gruplarındaki enzimleri ve fotosentezi engellemekte, stomaların kapanmasına, klorofil sentezinin bozulmasına, transpirasyonun ve nitrat asimilasyonunun azalmasına neden olmaktadır (Gouia ve ark. 2000, Brahim ve Mohamed 2011, Khairy ve ark. 2016).

Ağır metallerin toksik sınırlarda olması durumunda bitkiler üzerine söz konusu negatif etkilerinin yanında serbest radikallerin oluşumuna yol açtığı ve bu yolla tilakoid membran lipitlerinin yıkımına neden olduğu, bu durumun sonucu olarak klorofil yıkımının artarak sentezinin önlendiği bilinmektedir (Kırbağ Zengin ve Munzuroğlu 2005).

Bor (B), bitkilerde noksanlık ve toksisite sınırları birbirine en yakın besin elementidir. Bor toksisitesi kurak ve yarı kurak iklimlerde gözlemlenmektedir. Bor toksisitesine maruz kalan bitkilerde çimlenme ve büyümede gerileme, hücre duvarında yapısal bozukluklar ile fotosentetik pigment sentezinin yavaşlaması gibi nedenler sonucu kloroz ve nekrotik lekeler meydana gelmektedir (Mukhopadhyay ve ark. 2013, Surgun ve ark. 2016). Tuzluluk ve ağır metal streslerine benzer olarak bor toksisitesi de bitkilerde serbest radikallerin oluşumuna neden olmakta ve strese bağlı zararlanmalar meydana getirmektedir (Esim ve ark. 2013).

Serbest radikaller ortaklanmamış (eşleşmemiş) elektron içeren atom, atom grubu veya moleküller olarak tanımlanır. Bitkilerde ve memelilerde en yoğun olarak oluşan serbest radikaller reaktif oksijen türleri (ROT) olarak sınıflandırılmaktadır (Hayat ve ark. 2010). Ortamda oksijen (O) bulunması durumunda zorunlu metabolik reaksiyonlar sonucu oksijen radikalleri üretilir. Oksijen radikalleri arasında süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$), hidroksil radikali ($\cdot OH$) ve radikal olmayan hidrojen peroksitin (H_2O_2) özel yerleri vardır. Biyotik ve abiyotik stres koşullarının da içinde bulunduğu birçok hüresel ve metabolik işlevde sekonder haberci olarak görev alan ROT'ların miktarı özellikle tuzluluk ve ağır metal toksisitesi gibi abiyotik stres faktörleri altında artış göstermektedir. Stres koşullarında hücrelerde üretimi artan ROT'lar ile bitkilerin strese karşı tolerans mekanizmaları olan antioksidatif sistem enzimleri arasındaki denge bozulmaktadır. Bu dengenin bozulması ile bitkilerde oksidatif zararlanma meydana gelmektedir. Hücre içerisinde oluşan yüksek miktarda ROT, bitkilerde lipid peroksidasyonunda artışa, nükleik asitlerin parçalanmasına, enzimlerin inhibisyonuna ve sonuç olarak hücre ölümlerine yol açabilmektedir (Corpas ve ark. 2013).

Nitrik oksit (NO), oksidatif stres koşulları altında bitkilerde meydana gelen zararlanmalara karşı çeşitli biyolojik yollarla bitkileri koruduğu kanıtlanan bir moleküldür (Kumari ve ark. 2010). Lipofilik doğası nedeniyle hücre membranından kolayca nüfuz edebilen ve hem hücre içi hem hücre dışı haberci olarak görev alan NO dormansi, büyüme ve gelişme, yaşlanma, solunum, fotosentez, programlanmış hücre ölümü ve antioksidatif savunma sistemi gibi birçok fizyolojik ve kimyasal süreci düzenlemektedir. NO'in bitki hücrelerinde sitospotektif (bir hücrenin zedeleyici ve öldürücü etkenlere karşı direncini artıran hücre koruyucu etki) etkisi vardır. Hücrenel redoks dengesini düzenlediği, ROT'lardan kaynaklanan toksisteleri, lipid radikalleri ile reaksiyona girerek lipid oksidasyonu oluşumunu, süperoksit anyonu ve bitkiler için toksik olan peroksinitrit (ONOO^-) oluşumunu engelleyerek antioksidatif enzimlerin aktivasyonunu sağladığı bildirilmiştir. (Fecht-Christoffers ve ark. 2003, Procházková ve ark. 2012).

Bu çalışmada tuz, bor ve ağır metal stresi altında yetiştirilen diğer bitki türlerine göre stres koşullarına daha duyarlı olduğu bilinen iki farklı biber çeşidinde (çarliston Yalova 341, Doru 16) NO uygulamalarının söz konusu stres faktörlerine karşı etkilerini belirlemek amacıyla bitkilerde kuru madde, toplam klorofil, klorofil *a* ve *b*, karotenoid, çözünebilir protein, hidrojen peroksit (H_2O_2), malondealdehit (MDA), askorbik asit (AsA), prolin miktarları ile süperoksit dismütaz (SOD), askorbik peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (CAT) ve peroksizdaz (POD) enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Bitkilerde söz konusu stres uygulamalarından kaynaklı meydana gelen değişimler ve bitkilerin stres koşullarına verdikleri cevaplar içinde NO'in yeri ile bitkide antioksidatif savunma mekanizmasına etkisi açıklanmaya çalışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Bitkilerde Tuz Toksisitesi ile İlgili Çalışmalar

Kuraklık ve tuz stresine (150 mM NaCl) maruz bırakılmış mercimek (*Lens culinaris*) bitkilerinde antioksidan mekanizmalarının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada Aksoy (2008); bitki kök ve gövdelerinden toplam RNA'yı izole etmiş ve uygulamaların Mn SOD ve Cu/Zn SOD üzerine olan etkisini araştırmıştır. 150 mM NaCl uygulanan bitkilerden alınan doku örneklerinde göreceli gen ifade seviyelerinde azalma olduğunu ancak kuraklık stresi altında yetiştirilen bitkilerde Mn-SOD gen ifadesi seviyelerinde bir fark oluşmadığını belirtmiştir. Kuraklık uygulamasının 5. gününde bitki gövde dokularında Cu/Zn SOD gen ifade miktarlarında artış meydana geldiğini belirten araştırmacı, köklerde ise bu artışın 7. günden sonra meydana geldiğini ve NaCl uygulamasında ise Cu/Zn SOD gen ifade seviyesindeki bu artışın 3 ila 5 gün içerisinde gözlemlendiğini belirtmiştir.

Yaşar ve ark. (2008) tuza duyarlı (Golden Crown F1, Crimson Sweet) ile tuza-tolerant (Diyarbakır ve Midyat) olmak üzere dört farklı karpuz (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) çeşidinde yaptıkları çalışmada; karpuz fidelerini 10 gün süre ile 100 mM NaCl stresine maruz bırakmışlardır. Tuz uygulanan bitkilerde, tuza tolerant genotiplerin SOD, CAT, APX ve GR enzim aktivitelerinin duyarlı olanlara göre çok yüksek olduğunu belirten araştırmacılar; antioksidan enzim aktivitelerinin tuza tolerans üzerinde etkili olduğunu, tuzlu koşullarda kültüre alınan karpuz çeşitlerinin antioksidatif enzim sistemlerini duyarlı çeşitlere göre çok daha aktif kullandıklarını belirlemişlerdir.

Çelik ve Atak (2012), yaptıkları çalışmada İzmir Özbaş ve Akhisar 97 tütün (*Nicotiana tabacum*) çeşitlerinin tuz toleranslarını karşılaştırmışlardır. Denemeleri *in vitro* ve *in vivo* koşullarında gerçekleştirmişlerdir. İki çeşitten alınan fideler 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 ve 350 mM NaCl stresine maruz bırakmışlar ve bitkide pigment miktarı, MDA oranı, toplam protein, antioksidatif enzim aktiviteleri ve prolin miktarlarını belirlemiş, İzmir Özbaş çeşidinin daha toleranslı olduğunu tespit etmişlerdir. Tuz toleransı ile prolin birikimi arasında negatif bir korelasyon bulmuşlardır.

Analiz sonuçlarına göre; denemelerde iki çeşit içinde SOD, APX, GPx ve CAT aktivitelerinde önemli farklara rastlanmamışlardır. Fakat bütün denemelerde strese maruz kalan bitkilerde GR enzim aktivitelerinde istatistiksel açıdan önemli farklar bulunmuş ve tütün çeşitlerinde tuz toleransının belirlenmesinde GR'ın belirleyici enzim olduğunu bildirmişlerdir.

Yıldıztuğay ve ark. (2014) halofit bitki türü olan etli sudaotu (*Amaranthaceae*) ile yaptıkları çalışmada, bitkilere 0, 250, 500, 750, 1000, 1250 ve 1500 mM NaCl uygulamışlar ve tuz stresinin bitkilerde antioksidatif sisteme etkisini incelemişlerdir. Tuz stresi ile bitkilerde büyümenin gerilediğini, su içeriğinin ve osmotik potansiyelin azaldığını prolin ve H₂O₂ içeriğinin ise önemli oranda arttığını belirlenmişlerdir. Bunun yanında tuz stresi altında bitkilerde SOD, CAT, POD, GR, GPX enzim aktivitelerinde önemli artış olduğunu bildiren araştırmacılar, sonuç olarak tuz uygulaması ile bitkilerde oksidatif hasarlanma meydana geldiğini ve bitkilerde bu hasarın azaltılması amacıyla antioksidatif enzim aktivitelerinde artış meydana geldiğini rapor etmişlerdir.

Duman ve ark. (2016) tükenme tehdidi ile karşı karşıya olan *Amsonia orientalis* Decne. (*Apocynaceae*) (Doğu Razyası) türü ile yaptıkları çalışmada, bitkinin tükenme tehditlerinin başında gelen çevresel stres koşullarından tuzluluğun H₂O₂ ve MDA seviyeleri ile CAT, SOD ve POD enzim aktivasyonları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bitkilere 1 mg/mL benzilaminopürin (BAP) uygulamışlar ve bitkileri elektrofotometrik ve fotometrik yöntemlerle analiz etmişlerdir. H₂O₂ ve MDA seviyelerinin tuz stresinin artmasıyla arttığını, tuz stresinin azalmasına bağlı olarak da azaldığını, SOD, CAT ve POD enzim aktivitelerinin arttığını bildirmişlerdir. Elektrofotometrik analizlere göre tuz stresinin artmasıyla Fe-SOD ve Cu/Zn-SOD aktivitelerinde düşüş gözlemlendiğini, Mn-SOD aktivitesinde herhangi bir değişim görülmediği, POD ve CAT enzim aktivasyonlarının ise tuz konsantrasyonlarından etkilenmediğini rapor etmişlerdir.

Turfan (2017) Ispanak (*Spinacea oleracea* L.) ile yaptığı çalışmada bitkinin tuzluluk, ağır metal, kireç (CaCO₃) ve kuraklık stresine karşı direncini araştırmıştır. Araştırmacı bitkileri 0, 75, 150 ve 225 mM konsantrasyonlarda tuz (NaCl), %0,2 FeCl₃, NiCl₂ ve ZnCl₂, %0,2 kireç (CaCO₃) ve %50 kuraklık stresine maruz bırakmıştır.

CaCO₃ ve kuraklık stresi uygulamaları altında yetişen bitkilerde klorofil *a*, klorofil *b*, total klorofil, β-karoten, karotenoit ve likopen içeriklerinde önemli artış belirlenmiştir. Toplam protein ve GPx tüm uygulamalarda artış gösterirken prolin içeriği NiCl₂ ve 75 ve 150 mM NaCl uygulamalarında yüksek bulunduğunu bildiren araştırıcı APX enzim aktivitesinin 75 mM NaCl ve ZnCl₂ uygulamalarında, CAT enzim aktivitesinin 150 mM NaCl ve kuraklık hariç diğer uygulamalarda ve SOD enzim aktivitesinin ise kuraklık, CaCO₃ ve 225 mM NaCl uygulamalarında yüksek bulunduğunu rapor etmiştir. MDA içeriğinin FeCl₃ uygulaması hariç diğer stres uygulamalarında düştüğünü bildiren araştırıcı H₂O₂ içeriğinin ise 225 mM NaCl ve kuraklık stresinde düşüş gösterirken diğer uygulamalarda arttığını bildirmiştir. Araştırma sonucuna göre; ıspanak bitkisinin CaCO₃ ve kuraklık stresine karşı direnci yüksek, 225 mM NaCl, %0,2 ZnCl₂ ve FeCl₃ stres uygulamalarına duyarlı olduğunu tespit etmiş, %0,2 NiCl₂ ve 75 mM NaCl uygulanmış bitkilerde toleransı orta derecede bulmuş ve strese bağlı tolerans parametrelerinin değişkenlik gösterdiğini rapor etmiştir.

Tuna ve Eroğlu (2017) saksı denemesi olarak yaptıkları çalışmada, biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisine 100 mM NaCl ve yapraktan 0.5 mM askorbik asit (AsA), 0.1 mM salisilik asit (SA), 100 µM nitrik oksit (NO), 10 mM prolin, 2 mM silisyum (Si), 10 mM kalsiyum (Ca) ve 10 mM potasyum (K) uygulamışlar ve bitkideki yaprak membran geçirgenliği (%EC), prolin, klorofil ve karotenoid miktarları, SOD, CAT, POD aktivitelerini ve Na, Ca, K ve P miktarlarını belirlemişlerdir. Sonuç olarak; artan tuz stresi ile beraber %EC, MDA, prolin miktarında ve antioksidatif enzim aktivitelerinde artış tespit etmişlerdir. Tuz stresine maruz kalmış biber bitkisinde etkinliklerini karşıladıkları organik ve inorganik bileşiklerin antioksidatif sistemi desteklediği belirten araştırmacılar, stresi azaltmada en fazla etkiye sahip olan AsA ve NO bileşiklerinin stres şartlarında kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Day ve ark. (2018) yedi farklı keten hattı ile yaptıkları çalışmada bitkilere KCl, CaCl₂, MgCl₂(0,10 ve 20 dSm⁻¹) uygulamışlar, bitkilerde çimlenme ve fide büyümesi ile fide özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda bitkilerin tuzluluğa toleranslarının çeşitlere göre değişiklik gösterdiğini ve tuza toleransı en yüksek olan çeşidin en yüksek verime sahip olduğunu rapor etmişlerdir.

Araştırcılar özellikle tuzluluk sorunu olan arazilerde ürün deseninin belirlenmesinde tuz toleransı yüksek çeşitlerin seçilmesinin verim açısından önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Rahneshan ve ark. (2018) tuz stresi (0, 50, 100 ve 150 mM NaCl) altında yetiştirdikleri iki farklı fıstık çeşidinde tuzun bitki büyümesini olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Tuzun bitki büyümesindeki bu negatif etkisini fotosentetik pigmentlerin önemli derecede azalması ile açıklamışlardır. Bunun yanında tuz uygulaması ile bitkilerin Na içeriğinin, prolin ve çözünür şeker içeriklerinin önemli miktarda arttığını bildirmişlerdir.

Kirei ve Yürekli (2019) ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.cv. Tarsan-1018) bitkisi ile yaptıkları çalışmada bitkiye uygulanan tuz, SNP ve hormonların bitkinin antioksidatif sistem aktivasyonları (SOD, CAT, Glutasyon S transferaz, prolin) zerine etkisini araştırmışlardır. İklım odasında 5 hafta Hoagland besin çözeltisi ile yetiştirdikleri bitkilere 5 hafta sonunda tuz (300 mM NaCl), 100 μM SNP, 100 μM giberellik asit ve 100 μM absisik asit uygulamış ve sonuçları değerlendirmişlerdir. Buna göre; SNP ve tuz stresinin antioksidatif sistemi teşvik ettiğini, bitki hormonlarından absisik asidin antioksidatif sistemi desteklediğini, giberellik asitin ise enzim aktivasyonları ve prolini olumsuz etkilediğini rapor etmişlerdir.

Najar ve ark. (2019) Tunus' da yerel bir tür olan kara yonca (*Medicago turuncatula* L.) bitkisinin iki farklı eşidi (TN6.18 ve TN8.20) ile yaptıkları çalışmada bitkilere tuz (75 mM NaCl) uygulamışlar ve tuz stresi altında yetiştirdikleri bitkilerde fotosentez ve klorofil floresandaki değişimlerini incelemişlerdir. Araştırcılar tuz stresi altında kara yonca bitkilerinde fotosentez miktarında önemli azalmalar belirlemiş, bu azalmayı tuzun stomaların iletkenliğini sınırlaması ve fotosistem II (PSII) aktivitelerinde azalmaya neden olması ile açıklamışlardır.

2.2. Bitkilerde Ağır Metal Toksikitesi ile İlgili Çalışmalar

Brown ve Wells (1990) bir yosun türü (*Rhytidiadelphus squarrosus*) ile yaptıkları çalışmada Cu, kurşun (Pb), Cd, nikel (Ni) ve Zn ağır metallerinin oluşturduğu zararları belirlemişlerdir. 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarında çözeltilerle yaptıkları uygulamada bitkilerin farklı tepkiler gösterdiklerini ortak tepki olarak ise fotosentezde azalma ve hücre duvarında hasarları belirtmişlerdir. Ağır metallerin konsantrasyonu ve bitkinin ağır metale maruz kalma süreleri gibi faktörlerin ağır metallerin oluşturduğu zararlar ve fotosentezin azalmasına neden olarak saptamışlardır.

Tremper ve ark. (2004) iki farklı yosun türü ile yaptıkları çalışmada *Rhytidiadelphus squarrosus*. ve *Pleurozium schreberi* türlerinin Pb, Zn ve Cu birikimlerini araştırmışlar ve örneklerin ağır metal içeriklerinin bitkilerin ağır metallere maruz kalma süreleriyle doğru orantılı olduğunu belirlemişlerdir. Ağır metal birikimiyle klorofil konsantrasyonu arasında önemli bir ilişki belirleyemeyen araştırmacılar ve klorofil konsantrasyonlarını başka etmenlerin değiştirdiğini düşünerek Cu, Pb ve Zn uygulamalarını laboratuvar ortamında tekrarlamış ve Cu'nun klorofil *a* konsantrasyonunda önemli azalmalara sebep olduğunu rapor etmişlerdir.

Panda ve Choudhury (2005) bir yosun türü olan *Polytrichum commune* ile yaptıkları çalışmada; bitkilere Cr, Cu ve Zn uygulayarak nitrat redüktaz aktivitesi ve oksidatif stres mekanizması üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bitkilere 24 ve 48 saat süre ile 0, 0,01, 0,1 ve 1 mM konsantrasyonlarında Cr, Cu ve Zn uygulayan araştırmacılar, uygulamanın sonucu olarak bitkilerde en çok Cu uygulaması sonrasında sıra ile Cr ve Zn birikimi olduğunu bildirmişleridir. Uygulamaların hepsinde klorofil miktarlarının azaldığını, MDA içeriklerinde ise en yüksek artışın Cu uygulamasında meydana geldiğini rapor eden araştırmacılar, Cr, Cu ve Zn uygulamalarının GR, SOD, CAT enzim aktivitelerinde artışa sebep olduğunu, Cr uygulamasının GPx aktivitesinde azalmaya neden olurken Cu ve Zn uygulamalarında GPx enzim aktivitesinin arttığını belirlemişlerdir.

Dazy ve Masfaraud (2009) sucul bir briyofit türü olan *Fontinalis antipyretica* Hedw. ile yaptıkları çalışmada Cu, Zn, Pb ve Cd'un etkilerini araştırmışlardır. Bitkilere 7 gün süre ile 0, 0,1, 1, 10, 100 ve 1000 µM konsantrasyonlarında Cu, Zn, Pb ve Cd uygulayan araştırmacılar araştırma sonucunda bitkilerde GPx, GR, CAT, APX, SOD enzim aktivitelerinde kontrol bitkilerine göre önemli düzeyde artış meydana geldiğini belirlemişler ve 1000 µM ağır metal uygulaması ile bitkilerde lipid peroksidasyona bağlı olarak MDA seviyesinin önemli derecede arttığını rapor etmişlerdir.

Kurt (2012) *Timmiella barbuloidea* ve *Pleurochaete squarrosa* türleriyle yaptığı çalışmada, bitkilere 48 saat süreyle Cr, Cu, Ni ve Pb uygulamış ve birikimleri hesaplandığında bünyede en çok biriktirilen ağır metallerin Ni ve Pb olduğunu belirlemişlerdir. *Timmiella barbuloidea* türünde Ni ve Pb birikiminin fazla olmasına karşın, kuru ağırlıkta azalmaya neden olmaması, MDA ve pigmentlerin parçalanmasına neden olmadığını bildiren araştırmacılar, bu durumun türün ağır metallere karşı toleranslı olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir. *Pleurochaete squarrosa* türünün ağır metallere karşı direncinin daha az olduğunu dolayısıyla diğer türe göre daha hassas olduğunu rapor etmişlerdir.

Koç ve ark. (2013) farklı konsantrasyonlarda uyguladıkları kadmiyumun Kahramanmaraş (*Capsicum annum* cv. Kahramanmaraş) biber çeşidinde bitkilerinin yaprak ve gövdelerinde, kadmiyum (Cd), kalsiyum (Ca), potasyum (K) ve magnezyum (Mg) içerikleri üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada 6-7 yapraklı biber fideleri 4 gün boyunca 20, 40, 80, 100 µM Cd uygulanmıştır. Cd uygulaması ile biber bitkisinde Ca ve Mg miktarında azalma olduğu belirtilen çalışmada özellikle 100µM Cd uygulamasında K miktarında azalma olduğu belirtilmiştir. Yapılan araştırma sonucunda araştırmacılar özellikle 100µM Cd'un toksik bir etkiye sahip olduğunu rapor etmişlerdir.

Yücel ve Yücel (2013) yaptıkları çalışmada Cr, Cu, Ni, Fe, Zn ağır metallerinin ülkemizde üretimi yaygın şekilde yapılan 17 buğday (*Triticum aestivum*) çeşidinin çimlenmeleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Her çeşitten 100'erli gruplar alınarak petri kapları içerisinde 12 saat aydınlık 12 saat karanlık ortamda oda sıcaklığında bekletip 100, 200 ve 300 µM ağır metal uygulaması yapmışlardır.

Sonuçlara göre ağır metal uygulamalarının buğday çeşitlerinin çimlenmeleri üzerinde önemli istatistiksel farklar oluşturduğunu, çimlenmeyi en çok etkileyen faktörün bakır, olduğunu belirtmişlerdir. Ağır metallere duyarlılık düzeyi en düşük “Kutluk-94” çeşidi, en dayanıklı çeşit ise “Kundurur-1149” çeşidinin olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan analiz sonuçlarına göre ağır metallerin bitki çimlenmesini olumsuz etkileyip üretimde önemli yitmelere neden olduğunu, kirliliğe uğramış alanların ıslahında “Kıraç” ve “Kundurur-1149” çeşitlerinin kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

He ve ark. (2013) altı kavak (*Populus Sp L.*) türü ile yaptıkları çalışmada, 10 haftalık kavak fidelerine 20 gün süre ile 0 ve 200 μM Cd (CdSO_4) uygulamışlardır. Kadmiyum uygulamasının bitkilerde fotosentez miktarında azalmaya neden olduğunu bildiren araştırmacılar; köklerde toplam çözünür şeker miktarında artış olduğunu ancak köklerde, odunda ve yapraklarında nişasta miktarında azalma meydana geldiğini belirlemiş, bunun yanında bitki köklerinde ve yapraklarda $\bullet\text{O}_2$ - ve H_2O_2 üretiminin ve serbest prolin ile çözünür fenolikler ve antioksidatif enzimlerin aktivitelerinde artış meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Koç ve İşlek (2015) biber bitkisinde Cd uygulamalarının bitkilerde fenilalanin amonyum liyaz (PAL) () ve lipid peroksidasyonu üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada biber bitkilerine 20, 40, 80 ve 100 μM Cd uygulamışlardır. Cd stresi altında yetiştirilen bitkilerde denemenin ilk 4 gününde PAL miktarında artışa sebep olduğunu ve en yüksek PAL miktarının 20 μM Cd uygulamasından elde edildiğini belirtmişlerdir. Biber bitkisi yaprak ve gövdelerinde Cd uygulaması sonucunda lipid peroksidasyonunda artış belirlendiğinin bildiren araştırmacılar en yüksek lipid peroksidasyon seviyesinin 80 μM Cd uygulamasından elde edildiğini rapor etmişlerdir.

Kuzu (2015) yaptığı çalışmada *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schimp. ve *Hypnum cupressiforme* (Hedw) yosun türlerinin ağır metal uygulamalarının fizyolojik ve biyokimyasal parametreleri üzerindeki etkileri araştırmıştır. Araştırmada bitkiler Cu ve Pb çözeltileriyle kültüre alınmış ve ağırlık, H_2O_2 MDA, CAT, SOD, APX, POD askorbat ve prolin miktarlarını belirlenmiştir. Bitkilerin ağır metallerin bir kısmını bünyesinde biriktirdiği, Cu uygulaması *Hypnum cupressiforme* bitkisi örneklerinde SOD ve POD

enzim aktivitelerinde artışlara sebep olurken askorbat miktarında önemli değişimler göstermemiş, CAT enzim aktivitesinde görülen azalmanın ise Cu gibi ağır metal iyonlarının CAT enziminin yarayışsız inhibitörleri gibi davrandığı ve aktiviteleri durdurmasından olduğunu belirtilmiştir.

Çıkkılı ve ark. (2016) Solanaceae familyasına ait 4 farklı bitkide (domates, *Solanum lycopersicum* L.; biber, *Capsicum annuum* L.; patlıcan, *Solanum melongena* L., ve altın çilek, *Physalis peruviana* L.) yaptıkları çalışmada, bitkilere topraktan 0- 2,5- 5- 10 ve 20 mg kg⁻¹ kadmiyum (Cd) uygulamışlardır. Bitki büyümesi, biyoakümülyasyon, Cd translokasyonu ve metal birikimi belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada domates hariç diğer bitkilerde Cd uygulamasının kök ve gözde kuru ağırlıklarını önemli ölçüde azaldığını belirlemişlerdir. Bu nedenle araştırmacılar domates bitkisinin kadmiyum toksisitesine dayanıklı diğer çeşitlerin ise hassas olduğunu belirtmişlerdir. Cd translokasyonu açısından denemede kullanılan bitkilerin altın çilek < biber < patlıcan < domates olarak sıralandığını belirten araştırmacılar, altın çilek bitkisinde Cd uygulamaları ile tüm metal besin elementlerinin birikimi arttığını, Zn ve Cu hariç iki değerli metal besin elementleri birikiminin biber ve patlıcan için artarken, tek değerli metal besin elementi olan K'un sadece biber bitkisinde azaldığı rapor edilmiştir.

Özkay ve ark. (2016) sera koşullarında yaptıkları çalışmada, kıvırcık marula 4 farklı dozda hümik asit (0, 2, 4, 8 L da⁻¹) ve 4 farklı dozda da sulama suyu uygulamışlar ve hümik asidin bitkideki morfolojik ve biyokimyasal etkilerini araştırmışlardır. Kontrol gruplarında 0 ppm, birinci karışımda 0,2 ppm Cu, 5 ppm Pb, 0,01 ppm Cd, ikinci karışımda 0,4 ppm Cu, 10 ppm Pb, 4 ppm Zn, 0,02 ppm Cd, son karışımda ise 0,8 ppm Cu, 0,04 ppm Cd, 8 ppm Zn ve 20 ppm Pb uygulamışlar ve 4 hafta sonunda hasat etmişlerdir. Çalışmada yaş ve kuru ağırlık, bitki ve kök boyu, MDA içerikleri, SOD ve GR enzim aktivitelerini incelemişlerdir. Son karışımda uygulanan yüksek dozlardaki ağır metallerin en fazla toksik etkiye sebep olduğunu belirtmişlerdir. Ağır metal uygulamalarının MDA içeriklerini ve antioksidatif enzim aktivasyonlarını arttırdığını, ağır metallerin sebep olduğu stresi azaltmada 4 L da⁻¹ dozundaki hümik asit uygulamasının daha etkili olduğunu, hümik asidin ağır metallerin sebep oldukları stres dolayısıyla bitki gelişmesine olan olumsuz etkileri azalttığını rapor etmişlerdir.

Sera koşullarında Cd toksisitesine karşı uygulanan demirin ve arıtma çamurunun inhibasyon etkisini ölçmek amacıyla yaptıkları denemede araştırcılar, marul bitkisine 100 mg kg⁻¹ Cd uygulamışlardır. Denemede antioksidatif enzim aktivitesi, MDA seviyeleri ve bitkide Cd miktarları incelenmiştir. Deneme sonucunda, Cd uygulamalarının bitkilerde büyümede gerilemeye ve bitki yaprak miktarında önemli ölçüde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. CAT enzim içeriği ve MDA seviyelerinin Cd uygulaması ile arttığını belirten araştırcılar bitki bünyesinde Cd miktarının da önemli ölçüde arttığını rapor etmişlerdir (Boysan Canal ve Bozkurt 2018).

Tane sorgum bitkisinde Cd uygulamalarının bitkide fizyolojik ve morfolojik etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, bitkilere 25, 50, 75, 100, 125 ppm dozlarında Cd uygulanmıştır. Artan dozlarda Cd uygulamasının bitkilerde bitki boyu, gövde çapı, bin tane ağırlığı, salkım uzunluğu ve salkım oranı üzerinde önemli derecede geriletici etkisi olduğu, kök/gövde oranının ise artış gösterdiği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda deneme materyalleri olan tane sorgum çeşitleri için 25 ppm Cd ve üzeri uygulamaların toksik etki yaptığı rapor edilmiştir (Yılmaz ve Kökten 2019).

2.3. Bor Toksisitesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Wimmer ve ark. (2003) tuzun, suyun yapısında değişikliklere sebep olarak bor ile beraber hücredeki bor konsantrasyonunu önemli şekilde arttırdığını belirtmişler ve hücre içi ve hücre dışı protein yapısının bor birikimiyle beraber nitel ve nicel olarak değiştiğini ve dolayısıyla hücre membran yapısının da degradasyona uğrayabileceğini rapor etmişlerdir.

Karabal ve ark. (2003) iki çeşit arpayla sera koşullarında topraksız yetiştiricilik koşullarında yaptıkları çalışmada fidelere 5 gün süreyle 5 ve 10 mM borik asit uygulamışlardır. Fidelerde; ağırlık, protein miktarı, prolin, MDA, H₂O₂, hücre zarı hasarı, SOD, APX, CAT ve GR aktiviteleri analiz edilmiştir. Borik asit uygulanmış bitkilerde kontrol gruplarına göre, kök ağırlıklarının düştüğu, borik asit uygulanan bitkilerde ise prolin ve H₂O₂ içeriklerinde önemli değişiklikler olmadığı belirlenmiştir.

MDA içeriğinin ve elektrolit kaybının doz artışıyla beraber sürgünlerde arttığı köklerde herhangi bir değişiklik görülmediğini belirten araştırmacılar toksisiteye duyarlı çeşitte yapraklardaki hücre zarı hasarının daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Her iki çeşitte de sürgünlerde SOD, GR ve CAT aktivitelerinde önemli değişiklikler görülmediğini fakat 10 mM borik asit uygulanmış çeşitlerde APX aktivitelerinin arttığını belirleyen araştırmacılar toksisiteye duyarlı çeşit köklerinde SOD, GR ve CAT enzim aktivasyonlarında artış görüldüğü ve SOD ve GR enzim aktivasyonlarında ise önemli değişiklikler görülmediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda, arpa bitkisinde antioksidatif enzim aktivitelerinin bor toksisitesine karşı kritik öneme sahip bir koruyucu olmadığını rapor etmişlerdir.

Baykal ve Öncel (2006) yürüttükleri sera çalışmasında 2 buğday genotipinin (*Triticum aestivum* L. cv. Kıraç 66 ve *Triticum durum* Desf. cv. Kunduru 1149) B toksisitesi altında gösterecekleri tepkileri incelemek amacıyla toprağa 0, 15, 30, 45, 60 ve 75 mg kg⁻¹ bor uygulamışlar ve 6 hafta süren deneme sonunda bitkilerde; boy ve kuru madde miktarlarının düştüğü, bitkilerin B içeriğinin yükseldiği ve su miktarında ise büyük ölçüde değişiklikler olmadığını belirlemişlerdir. Fenolik bileşiklerin Kıraç 66 çeşidinde 15 mg kg⁻¹ Bor uygulamasıyla arttığı, Kunduru 1149 çeşidinde ise 30 mg kg⁻¹ B uygulaması ile azaldığı ve 60 mg kg⁻¹ B uygulamasıyla ise arttığı bildirilmiştir. Kıraç 66 genotipinde 60 mg kg⁻¹ B uygulamasında protein miktarında artma olduğunu, Kunduru 1149 genotipinde ise protein miktarının 45 ve 75 mg kg⁻¹ B konsantrasyonunda azaldığını rapor eden araştırmacılar, bu iki çeşitin B toksisitesine karşı dirençleri arasında büyük farklar olduğunu belirtmişlerdir.

Ardıç ve ark. (2009) nohut bitkisinin (*Cicer arietinum* L.) Gökçe ve Küsmen çeşitlerini kullandıkları çalışmada, 0, 0,05, 1,6 ve 6,4 mM konsantrasyonlarında bor uygulayarak antioksidatif enzim aktivasyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Uygulamanın iki çeşit arasında etkileri farklı olduğunu, bor uygulamasının en yüksek dozunda iki çeşidin de kök uzunlukları ve kuru madde miktarını olumsuz etkilediğini, POD, SOD ve CAT enzim aktivasyonlarının borun yüksek dozlarından etkilendiğini ve çeşide göre değişiklik gösterdiğini rapor etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre Gökçe çeşidinin bor stresine karşı daha dayanıklı olduğu belirtilmiştir.

Wang ve ark. (2011) armut bitkisinde B miktarındaki artışların fotosentez miktarını azalttığını, ROT'ların ve hücre zarı lipid peroksidasyonun artmasına neden olduğunu belirtmişler ve toksisitenin fazla olmadığı topraklarda ROT'ların bitki dokularından uzaklaştırılmasına etkisinden dolayı bitki toleransını yükselttiğini belirtmişlerdir.

Guidi ve ark. (2011) sera koşullarında topraksız kültürde yetiştirdikleri domates bitkisine 0-550 mg NaCl L⁻¹ ve 2 mg B L⁻¹ konsantrasyonlarında sulama suyu uygulamışlar ve klorofil floresansını belirlemişlerdir. Bor konsantrasyonundaki artışla beraber yaprakların kenarlarında doku ölümlerinin görüldüğünü, tuz seviyesindeki artışın ise yüksek bor konsantrasyonunun zararlarını azalttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bor uygulamaları ile fotosentetik aktivitenin giderek düştüğünü rapor etmişlerdir.

Oluk ve ark. (2012) diğer besin elementlerinde olduğu gibi, bitkilerin büyüüp gelişmelerinde borun da gerekli olduğunu fakat toprakta bor birikiminin bitki gelişmesini engelleyen faktörlerden olduğunu belirtmişlerdir. İki domates çeşidiyle yaptıkları çalışmada, bitkilere 3mM konsantrasyonunda bor uygulamışlar ve çeşitlerin çimlenmeleri üzerine etkilerini ve MDA içeriği ile SOD, POD, CAT, APX ve GR enzim aktivitelerini belirlemişlerdir. Kontrol gruplarına göre bor uygulanan bitkilerde, APX haricinde antioksidatif enzim aktivasyonunun arttığını bildiren araştırmacılar köklerde CAT gövdede ise CAT, GR, POD, APX ve SOD enzim aktivasyonlarının artış gösterdiğini belirtmişler, Safari F1 çeşidinde oksidatif sistemde herhangi bir zararın görülmediği ve köklerdeki korumanın daha yüksek olduğu rapor etmişlerdir.

Masood ve ark. (2012) buğday bitkisini su kültüründe yetiştirdikleri çalışmada, bitkilere kontrol grubunda 2,5 µM B, diğer gruplarda ise 75 mM NaCl, 200 µM B ve 75 mM NaCl + 200 µM B uygulamışlar ve bitkide POD, CAT, GR enzim aktivitesi üzerine tuz ve borun etkilerini araştırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre tuz stresi uygulanan gruplarda gövde ağırlığı ile bitkide tutulan su miktarının düştüğünü fakat oksidatif enzim aktivasyonlarının yükseldiğini belirtmişlerdir.

Bitkilere uygulanan yüksek dozlarda borun nekroza neden olduğu fakat bitki gelişiminde önemli gerilemeler olmadığını belirten araştırmacılar NaCl+B uygulamasında enzim aktivasyonlarından yalnız peroksidaz miktarının arttığını, diğer değerlerin ise NaCl uygulamalarıyla farklı olmadığını belirlemişler ve tuz uygulamasının bor stresi altındaki bitkilerde oksidatif hasarlanmayı arttırdığını rapor etmişlerdir.

Bañón ve ark. (2012) iki dış mekân bitkisiyle (*Viburnum tinus* sp. ve *Metrosideros excelsa*) yürüttükleri sera çalışmasında, tuz ve borun bitki üzerindeki gelişimi su ve klorofil miktarları, Na, Cl ve B miktarları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada; 2 ve 6 dS m⁻¹ tuz ile 1 ve 6 mg L⁻¹ B uygulamışlar ve uygulama sonucunda bor ve tuzluluk toksisitesinin bitkide kuru madde ağırlığında gerilemeye neden olduğunu fakat bor ve tuz içeren konsantrasyonun uygulandığı gruplarda ağırlık üzerine etkisinde önemli farklar olmadığını belirtmişlerdir. Tuzluluk bitki yapraklarında Na ve Cl miktarlarını arttırmış ve bitki dokularında doku ölümüne kadar gidebilecek etkiler yaptığı belirtilmiştir. Bor toksisitesinin ise Na ve Cl içeriklerine bir etkisi olmamış, genç yaprakları etkilemezken yaşlı yaprakların yanmalarına sebep olmuş ve bor içeriklerinin 1385 mg kg⁻¹ düzeylerine kadar çıktığını rapor edilmiştir. Tuz uygulanan gruplarda bor içeriğinin 425 mg kg⁻¹ düzeylerine gerilediğini, stomalardaki geçirgenliği ve fotosentez hızını düşürdüğünü ve su ile ilgili değerleri de etkilediğini raporlamışlardır. Analiz sonuçlarına göre araştırmacılar, kartopu bitkisi bor toksisitesine hassas olduğunu, tuzluluğun bu etkiyi azalttığını ancak zararları engelleyemediği ve tuz ile bor toksisitesinin düşük kalitede bitkilere sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Esim ve ark. (2013) mısır bitkisinde yaptıkları çalışmada bitkilere 2 mM borik asit (H₃BO₃) ve 100 µM NO uygulamışlardır. Bor uygulamasının bitkilerin büyümesini önemli ölçüde azalttığını ve elektrolit sızıntısını MDA ve H₂O₂ miktarlarını önemli ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir. NO uygulaması ile MDA ve H₂O₂ içeriğinin azaldığını bunun yanında SOD, CAT ve POD enzim aktivitelerinin arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, mısır bitkilerinde bor kaynaklı oksidatif strese karşı NO'nun antioksidan ve antioksidatif enzim kapasitelerini geliştirdiğini rapor etmişlerdir.

Kaptan (2013) iki yıllık tarla denemesinde (2011-2012) pamuk bitkisinin (*Gossypium hirsutum* L.) bitki besin elementi içeriği, kalite unsurları, topraktaki element dengesi bitki verimi ve fitoremediasyonda yararlanılabilme gücünü tayin etmek amacıyla yaptığı çalışmada, artan dozlarda bor (0,6–1,8–5,4–16,2 mg L⁻¹) ve hümik madde (0-20-40 kg da⁻¹) içeriğine sahip sulama suyu kullanmıştır. Bu uygulamalar topraktaki bor seviyesinde ciddi artışlara sebep olmuş bitkide borun zararlarının oluşmasına sebep olmuştur. Bor uygulamalarının neden olduğu zararlar ikinci yıl artmış kütlü veriminde %13,75 olan kayıp ikinci yılda %73,32 seviyesine kadar arttırmıştır. Bitkideki analizlerde ilk yılda bor içeriği %468,56 iken ikinci yılda %1152,08 arttığını kaydetmiştir. Yaptığı analizlerde ilk yıl en yüksek bor içeriğini 1020 mg B L⁻¹, ikinci yıl 2048 mg B L⁻¹ ile en yüksek uygulama olan 16,2mg B L⁻¹ uygulamasında kaydedildiğini belirtmiştir. Borun bitkide en çok yaprak ve generatif organlarda olduğu belirlenmiştir. Çalışmaya göre, fitoremediasyon kapasitesi 0,23 kg B da⁻¹ potansiyelinin ise 1/57 olduğu, kapasitenin ikinci yıl artış gösterdiği fakat toksisite arttıkça düştüğü ve uygulanan hümik maddelerin ise diğer özelliklere bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir.

Samet ve Çıkkılı (2019) semizotu (*Portulaca oleraceae* L.) bitkisinde artan bor (0, 5, 10 ve 25 mg B kg⁻¹) düzeylerinin bitkilerde bitki gelişimi, toplam klorofil ve karotenoid miktarları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar bor stresi altındaki bitkilerde bitki gelişiminin sınırlandığını toplam klorofil ve karotenoid miktarlarının önemli oranda azaldığını belirlemişlerdir. Bunun yanında araştırmacılar gövde kök oranı ve membran geçirgenliğinin arttığını ve artan bor düzeylerine paralel olarak bitkilerin bor içeriklerinin arttığını rapor etmişlerdir.

Kaya ve ark. (2020) biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisi ile yaptıkları çalışmada, tiamin ile indüklenen NO sentezinin bor toksisite toleransının geliştirilmesindeki rolünü araştırmışlardır. Dört hafta süre ile bor toksisitesine (2 mM H₃BO₃) maruz bıraktıkları bitki yapraklarına tiamin çözeltisi (50 veya 100 mg L⁻¹) püskürmüşlerdir. Bitki kuru ağırlığı, toplam klorofil, yaprak su potansiyeli miktarlarında bor toksisitesinden kaynaklı önemli azalmalar olduğunu bildiren araştırmacılar, ayrıca yapraklarda prolin, AsA, H₂O₂, MDA ve bor içeriklerinde de önemli azalmalar belirlemişlerdir.

Tiamin uygulamaları ile bitkide NO sentezinin arttığını bildiren araştışıcılar, NO'in oksidatif stresten kaynaklı zararlanmayı azalttığını, antioksidan savunma mekanizmasını geliştirdiğini, mineral madde dengesini dzenleyerek bitkilerin bor toksisitesine karşı toleranslarını arttırdığını rapor etmişlerdir

2.4. Nitrik Oksit ile İlgili Yapılan alışmalar

Shi ve ark. (2007) hıyar bitkisinde yapmış oldukları çalışmada, bitkilere 100 mM NaCl ve 50 μM SNP uygulayarak SNP uygulamasının tuz stresi altındaki bitkilerde mitokondrideki ROT metabolizması ile tonoplast ve plazma zarı fonksiyonları üzerine etkisini araştırmışlardır. NaCl uygulamasının bitkilerde lipid peroksidasyonda artışa neden olduğunu, H₂O₂ birikiminin önemli ölçüde arttığını, 50 μM SNP uygulamasının bitkilerde oluşan H₂O₂ birikimini azalttığını ve tuzluluk sebebiyle artan lipid peroksidasyonunda gerilemeye sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Noreen ve Asraf (2009) dokuz farklı bezelye (*Pisum sativum*) türü ile yaptıkları çalışmada bitkilere 0, 40, 80, 120 mM dozlarında tuz (NaCl) uygulamışlar ve tuz uygulamasının bitkilerde enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan seviyeleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştışıcılar tuz stresi altında bitkilerde, yaprak taze biyokütlesi, toplam fenolik içeriği, toplam çözünür protein, H₂O₂, MDA ile SOD, POD ve CAT enzim aktiviteleri ile alfa-gama- ve delta-tokoferol içeriklerini incelemişlerdir. Tuz stresinin SOD ve POD aktivitelerini, toplam fenolik ve gamma- ve delta-tokoferol seviyelerini önemli ölçüde arttırdığını, toplam çözünür protein miktarını ise azalttığını bildiren araştışıcılar, tuz stresi altında tüm çeşitlerde oksidatif hasarlanmanın önemli ölçüde arttığını rapor etmişlerdir.

Sheokand ve ark. (2010) nohut bitkisinde yaptıkları çalışmada, bitkilere 0 ve 250 mM NaCl ve 0, 0,2, 1 mM SNP uygulamışlar ve NO vericisi olarak kullanılan SNP'nin tuz stresi altındaki bitkilerde meydana gelen oksidatif hasarlanma üzerine etkilerini araştırmışlardır. Tuz stresi altında bitkilerde SOD, POX, APX ve DHAR enzim aktivitelerinde artış olduğunu belirten araştışıcılar, her iki SNP dozunda da SOD, CAT, APX, GR ve DHAR enzim aktivitelerinin önemli oranda arttığını bildirmişlerdir.

Bunun yanında NaCl uygulaması ile GSH / GSSG ve ASC / DHA oranlarında düşüş meydana geldiğini ve SNP uygulaması GSH / GSSG ve ASC / DHA oranında artış meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, eksojen olarak uygulanan NO'nun nohut yapraklarını NaCl uygulamasından kaynaklı oksidatif strese karşı koruduğunu bildirmişlerdir.

Wu ve ark. (2011) tuza duyarlı (Hufan 2496) ve tuzla toleranslı (Hufan1480) iki domates (*Lycopersicon esculentum*) çeşidi ile yaptıkları çalışmada bitkilerde tuz stresinden kaynaklanan oksidatif strese karşı eksojen olarak uygulanan NO'nun koruyucu etkisini araştırmışlardır. NO kaynağı olarak kullanılan SNP'nin bitkilerde kuru madde veriminde artışa, MDA ve •O₂ miktarında ise azalmaya neden olduğunu ve bitkilerde tuz stresinin bitki büyümesi üzerindeki baskısını hafiflettiğini belirtmişlerdir. Bunun yanında her iki çeşitte de NO uygulamaları ile SOD, CAT, APX ve guaikol peroksidaz enzim aktiviteleri ile antioksidan metabolitler olan askorbat ve glutatyon ve osmoz moleküllerinden prolin ve çözünür şekerlerin NO uygulaması ile arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, NO'nun tuz stresinden kaynaklanan hasarın azaltılmasındaki rolünü antioksidan sistemi uyarması şeklinde açıklamışlardır.

Sevengör ve ark. (2011) dört farklı balkabağı (*Cucurbita moschata*) türü ile yaptıkları çalışmada, bitkilere yedi gün süre ile 100 mM NaCl uygulamışlar ve tuzluluğun antioksidatif enzim sistemine etkilerini araştırmışlardır. Tuz uygulamasının bitkilerde kök miktarını azalttığını ve klorofil içeriğinin ise tuza duyarlı türlerde tuza toleranslı türlere göre daha fazla azaldığını bildirmişlerdir. Tuz uygulaması ile MDA ile SOD, CAT, GR ve APX enzim aktivitelerinde önemli artış meydana geldiğini bildiren araştırmacılar, tuza toleransı yüksek olan türlerde bu artışların daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar, tuz stresi altında bitkilerde antioksidatif sistemin oksidatif strese karşı savunma sistemi olarak yanıt verdiğini ve bitkilerin tuza tolerans düzeylerinin antioksidatif enzim aktivitelerinde meydana gelen artış ile açıklanabileceğini rapor etmişlerdir.

Bavita ve ark. (2012) iki farklı buğday (*Triticum aestivum*) türü ile yaptıkları çalışmada, sıcaklık stresine maruz bırakılan bitkilerde NO vericisi olarak kullanılan SNP'nin bitkilerde oksidatif hasarlanma üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, normal sıcaklık koşulunu 25°C ve yüksek sıcaklık koşulunu ise 33°C olarak belirlemişlerdir. Bitkilerin çimlenmesinden 6 gün sonra bitkilerin eşit boya geldiğini belirten araştırmacılar, stres ve SNP uygulamasına başlamışlardır. Kontrol ve sıcaklık stresi altında yetiştirilen bitkilere 0, 50 ve 100 µM SNP uygulamışlar ve bitkilerde SOD, CAT, APX, GR ve guaikol peroksidaz enzim aktivitelerini incelemişlerdir. Sıcaklık uygulaması ile bitkilerde H₂O₂ birikiminin artış gösterdiğini ve hücre canlılıklarında önemli azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. SNP uygulaması ile SOD, CAT, APX, GR ve guaikol peroksidaz enzim aktivitelerinin önemli oranda artış gösterdiğini belirten araştırmacılar, bitkilerde H₂O₂ birikiminin ise önemli düzeyde azaldığını rapor etmişlerdir.

Hayat ve ark. (2012) domates bitkisinde yaptıkları çalışmada 8 saat süreyle 50, 100, 150 mM NaCl ve SNP uygulamalarının tohumlarda antioksidan enzim ve nitrat redüktaz aktivitesi ile protein içeriklerine etkisini araştırmışlardır. Tohumların bir kısmını 8 saat süre ile 0,05mM SNP çözeltisi içerisinde bekletmişlerdir. SNP uygulanan bitkilerde tuz toleransında artış gözlemlendiğini belirten araştırmacılar elde edilen bu sonuca paralel olarak bitki antioksidan enzim ve nitrat redüktaz aktivitesi ile protein kapasitelerinde artış olduğunu rapor etmişler ve SNP'in bitkilerde tuz stresini azaltmada kullanılabileceğini önermişlerdir.

Hardal bitkisinde kalsiyum klorür ve SNP uygulamasının tuz stresine olan etkisini araştırmak amacıyla bitkilere CaCl₂ ve SNP uygulaması yapan Khan ve ark. (2012), tuz stresinin H₂O₂ miktarında artışa sebep olduğunu ve hücre membranlarında hasar oluştuğunu belirlemişlerdir. 0,2 mM SNP uygulamasının bitkide tuz stresi nedeniyle meydana gelen negatif etkiler üzerinde geriletici etkisi olduğunu ve CaCl₂ ve SNP uygulamalarının bitkide antioksidatif enzim aktivitelerinde artışa sebep olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar SNP ve CaCl₂'ün birlikte kullanılması durumunda bitkide tuza toleransın daha fazla arttığını rapor etmişlerdir.

Lin ve ark. (2012) hıyar bitkisinde yaptıkları çalışmayla, 100mM NaCl uygulanan bitkilerde hipokotil ve radikulasında antioksidan kapasite ve bitki gelişimine SNP'in etkilerini gözlemlemişlerdir. Bu uygulamanın hıyar hipokotil ve radikulasında H₂O₂ ve tiyobarbiturik asit reaktif maddelerinin bitkide büyük bir kısmının biriktiğini, uygulanan 100 µM SNP'in bitkideki ROT-süpürücü enzimlerin aktivitesini harekete geçirdiğini, DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) süpürücü aktiviteyi, demir iyonlarının şelatlama aktivitesini, OH radikali süpürme aktivitesini artırdığı, uygulamanın yüksek dozda uygulanan tuz konsantrasyonunun neden olduğu lipid peroksidasyonunu azalttığı belirlenmiştir. Yapılan gözlemlerde uygulanan tuz konsantrasyonunun hücre duvarı ve mitokondriye zarar verdiği, SNP uygulamasının ise tuz stresinin hücreye verdiği zararları engellediği ifade edilmiştir.

Farklı dozlarda (0-0,005-0,1-0,15 mM veya 0-5-100-150 µM) SNP tuzlu (0-150 mM NaCl) ortamda yetiştirilen buğday bitkisinde, yapraklardan uygulanan nitrik oksitin NaCl stresinin bitkiye zararlı etkilerinin engellenmesindeki etkileri araştırılmıştır. Tüm buğday fidelerinde yapraklardan uygulanan nitrik oksitin antioksidan enzim (SOD, CAT, POD) aktivitelerini, prolin ve toplam çözünebilir proteinin bitkideki oranının arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemlerde büyüme, verim, klorofil içeriği antioksidan aktivite, mineral besin konsantrasyonu belirlenmiş, köke uygulanan tuzluluğun kök-gövde kuru ağırlığını, sürgün büyümesini, verimin azaldığı, antioksidanlar, prolin birikimi, bitkideki Na ve Cl minerallerinin arttığı belirtilmiştir. Çalışmalar sonucunda yapraklardan uygulanan nitrik oksitin bitkideki oksidatif hasara karşı antioksidan enzimleri arttırarak bitkinin korunmasında önemli bir etki gösterdiği belirlenmiştir (Kausar ve ark. 2013)

Fan ve ark. (2013) farklı tuz streslerinde çimlenen salatalık bitkilerinin gelişimi ve antioksidan enzimlerin aktivitelerine sonradan uygulanan nitrik oksidin etkilerini gözlemledikleri çalışmalarında bitkilerin çimlenmesi esnasında NaCl ve saf su uygulamışlardır.

50 mM NaCl uygulanan tohumlarda kısa sürede çimlenme hızı ve çimlenme oranının olumsuz etkilendiği, NaCl artışıyla beraber bitkilerin çimlenme gücünün ve oranının düştüğü, ortama sonradan uygulanan SNP'nin bu etkileri önemli ölçüde düşürdüğü, 150 mM NaCl ve 50 µM SNP'nin beraber uygulanmasında SOD ve CAT enzimlerinin aktivitelerini, prolin miktarını artırdığı ve MDA içeriğini düşürdüğü, APX ve POD enzim aktivitelerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı ve uygulanan NO'nun ise SOD ve CAT aktivitelerinde artışa sebep olduğu belirtilmiştir.

Dört farklı çeltik çeşidine (*Oryza sativa* L.), iki düzeyde NaCl (0 and 80 mM) ve üç düzeyde NO (0, 0.1 ve 0.2 mM) dozlarının uygulandığı çalışmada, nitrik oksitin iyileştirici etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda; klorofil, fotosentez, transpirasyon, stomalardaki iletkenlik ve hücrel CO₂ varlığının düştüğü, daha önceden bitkilere uygulanan nitrik oksitin bitkideki klorofil içeriğinde ve gaz değişiminde artışa sebep olduğu belirtilmiştir (Noman Habib ve ark. 2013).

Esim ve Atıcı (2014) düşük sıcaklık stresi altında ve NO uygulamasının mısır bitkisinde hücrel protein profili, serbest radikaller, lipid peroksidasyon, antioksidan enzim aktivite kapasitesi ve absisik asit hormon seviyesi üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada bitki yapraklarına gelişimlerinin onuncu gününde 0-0,1-1 ve 100 µM SNP uygulamış ve bitkileri farklı hasat zamanlarında (10'uncu, 21'inci ve 28'inci günler) 2'şer gün önce düşük sıcaklığa (7-10 °C) maruz bırakmış ve tüm parametrelerde (nedir bu parametreler? Örnek ver) belirgin seviyede artış gözlemlendiğini belirten araştırmacı NO uygulamasının serbest radikallerin oluşumunda ve lipid peroksidasyonunda gerileme sağladığını ve antioksidan enzim aktivitelerinde artışa neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Esim ve Atıcı (2014) mısır bitkisine harici olarak uygulanan NO'nun bor toksisitesinden kaynaklanan oksidatif hasar ve bitki büyümesi üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada; B uygulamasının, bitkilerin büyümesini önemli ölçüde azalttığını ve elektrolit sızıntısı, MDA ve H₂O₂ içeriklerini arttırdığını belirlemişlerdir. Çimlenmeden önce tohumlara uygulanan 100 µM SNP dozunun hem 11 hem de 15 günlük mısırın bitki boyunu (sırasıyla % 8 ve % 5), taze ağırlığını (sırasıyla % 9 ve % 6) ve kuru ağırlıklarını (sırasıyla %15 ve 12) önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir.

Ayrıca, B uygulamasından kaynaklanan oksidatif stres nedeni ile bitkilerde elektrolit sızıntısı, MDA ve H₂O₂ içeriğinin NO uygulanan bitkilere göre önemli ölçüde arttığını bildiren araştırmacılar, SNP uygulamasının bitkilerde süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) dahil olmak üzere antioksidan enzimlerin aktivitelerini arttırdığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, NO vericisi olarak uygulanan SNP'nin mısır bitkilerinde B kaynaklı oksidatif strese karşı geliştirilen antioksidan kapasitesini arttırdığını belirtmişlerdir.

Soğuk stresine maruz bırakılmış Çin lahanası fideleriyle yapılan çalışmada, fidelerin gelişimi ve antioksidan enzim aktivitelerine nitrik oksit vericisi olarak kullanılan SNP'nin etkileri gözlemlenmiştir. Strese maruz kalan fidelerde büyüme ve gelişmelerinin olumsuz etkilendiği fakat bitkiye uygulanan SNP ile bu etkilerin engellendiği belirtilmiştir. Fidelerde boy, uzunluk, ağırlık, CAT enzim aktivitesi dışında antioksidan enzim aktivitesinin ve hücre zarı geçirgenliğinin olumlu yönde geliştiği belirlenmiştir (Fan ve ark. 2014).

Chen ve ark. (2014) *Aegiceras corniculatum* (Hindistan sakızağacı, mangrove) türüyle yaptıkları çalışmada, fideleri 350 mM tuz konsantrasyonuna maruz bırakmışlar ve tuzun neden olduğu oksidatif stresin etkilerini azaltmak amacıyla yapraklardan SNP uygulaması yapmışlardır. Yapılan gözlemlerde, bitkideki MDA ve H₂O₂ içeriğinin azaldığı, glutatyon ve polifenol içeriğinin ise arttığı ve bu sayede stresin etkilerinin en aza indirildiği ifade edilmiştir. Araştırma sonucunda; mangrove ağaçlarında tuzun olumsuz etkilerini NO'nin düşürdüğü belirlenmiştir.

Manai ve ark. (2014) domates bitkisinde tuzun bitki gelişimini engelleyen etkilerini ortamdaki kaldırmadaki bitkiye sonradan uygulanan NO'nin etkinliğini gözlemledikleri çalışmalarında; nitrik oksitin SOD, CAT, POD başta olmak üzere birçok antioksidan enzim aktivitesini arttırdığı, bununla birlikte azot metabolizmasında önemli yerlere sahip bazı enzimlerin ise aktivitelerinin de yükseldiğini belirtmişlerdir. Uygulamanın sonunda prolin seviyesinde artış, askorbat ve H₂O₂ seviyelerinde ise düşüş gözlemlendiği bildirilmiştir.

Dong ve ark. (2014) pamuk bitkisinde NO vericisi olarak uygulanan SNP'nin bitkilerde tuz stresine karşı toleransı arttırmadaki rolünü araştırdıkları çalışmada, bitkilere 0 ve 100 mM NaCl ile 0, 0,1 ve 0,25 mM SNP uygulamışlardır. Araştırmacılar, tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerde fotosentetik aktivitenin, toplam klorofil miktarının ve nitrat Redüktaz enzim aktivitesinin önemli miktarda düştüğünü, bunun yanında lipid peroksidasyonda önemli artışlar meydana geldiğini rapor etmişlerdir. 0,1 mM SNP uygulaması ile bitkilerde, büyümenin hızlandığını, süperoksit anyonlarının ($\bullet\text{O}_2$) üretiminin arttığını ve SOD, CAT gibi antioksidatif enzimlerin aktivasyonunun arttığını bildiren araştırmacılar, elde ettikleri sonuçlara göre tuz stresi altındaki bitkilerde SNP uygulamasının bitkilerin tuza karşı toleranslarının artırılmasında kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Habib ve ark. (2016) çeltik (*Oriza sativa*) bitkisinde eksojen olarak uygulanan SNP'nin tuz stersine karşı bitkiler korumadaki rolünü araştırmışlardır. Araştırmacılar bitki tohumlarını 20 saat süre ile 0, 0,1 ve 0,2 mM konsantrasyonlarındaki SNP çözeltisi içerisinde beklettikten sonra saksılara ekmiştir. Ekimden 1 hafta sonra bitkilere 0 ve 50 mM NaCl uygulamışlar ve bitkileri 30 gün sonunda hasat etmişlerdir. Tuz stresi altında bitkilerde kuru madde verimi ve verimde önemli azalmalar olduğunu bildiren araştırmacılar, tuz uygulaması ile bitkilerde prolin, AsA, H_2O_2 ve MDA miktarlarında ise önemli artışlar olduğunu rapor etmişlerdir. Bitkilerde toplam fenolik içeriğinde önemi azalma olduğunu bunun yanında SOD, POD ve CAT enzim seviyelerinde önemli artışlar meydana geldiğini belirtmişleridir. Tohum hazırlama işlemi olarak uygulanan SNP'nin, tuzluluğun kuru madde verimi ve tahıl verimi üzerine olan olumsuz etkilwerini azalttığını bildiren araştırmacılar, bitkilerde SNP uygulaması ile H_2O_2 ve MDA birikiminde önemli azalma olduğunu rapor etmişlerdir.

Ahmad ve ark. (2018) domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitkisinde yaptıkları çalışmada bitkileri tuz (200 mM NaCl) stresi altında yetiştirmiş ve bitkilere jasmonik asit (1 nM) ve nitrik oksit (50 μM) uygulamışlar bitkilerde nispi su içeri, klorofil, lipid peroksidasyon ve antioksidatif enzim aktivitelerini (SOD, CAT, APX, GR) belirlemişlerdir. Tuz uygulamasının bitkilerde elektrolit sızıntısında lipidlerin peroksidasyonunda ve H_2O_2 miktarında önemli artışlara neden olduğu ve bu artışların NO önemli miktarda azaldığını

bildirmişlerdir. Bunun yanında SOD, CAT, APX, GR enzim aktivitelerinin NO uygulaması ile önemli miktarda artış gösterdiğini rapor eden araştırmacılar, NO uygulamasının bitkilerin antioksidan mekanizmasını düzenlediği ozmolit sentezi ve metabolit birikimini inhibe ettiği ve tuz stresinden kaynaklanan hasarlanmanın giderilmesinde kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Çanakçı Güleğül ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, 15 günlük mısır (*Zea mays* L.) fidelerine, 25 ve 50 μ M SNP uygulayarak farklı Cd (25, 50 ve 75 μ M) uygulamalarına verecekleri biyokimyasal cevaplar araştırmışlardır. Hidroponik ortamda kurulan denemede, SNP uygulanmayan bitkilerde, okside glutatyon (GSSG) ve redükte glutatyon (GSH) miktarlarında artma, SNP uygulanan bitkilerde ise azalma tespit olduğunu belirtmişlerdir. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun, hem -SNP hem de +SNP uygulamalarında palmitik asit (16:0) miktarında artışa sebep olduğunu palmioleik asit (16:1) miktarının ise genel olarak artarken, bu artışın SNP uygulamaları ile gerilediğini bildirmişlerdir. Cd uygulaması ile stearik asit (18:0) miktarının köklerde ve linoleik asit (18:2) miktarının ise kök ve yapraklarda arttığı ve linolenik asit (18:3) miktarının yapraklarda azaldığı belirtilmiştir. Araştırma sonucunda araştırmacılar 50 μ M SNP uygulamasının Cd toksisitesinin etkilerini azaltmada 25 μ M dozundan daha etkili olduğunu rapor etmişlerdir.

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Denemede Kullanılan Bitki Materyali

Yapılmış olan çalışmada Bursa Tohumculuk Ziraat ve Ticaret A.Ş. tarafından tescillenmiş çarliston Yalova 341 (çarliston) ve Doru 16 (dolmalık) biber çeşitleri kullanılmıştır. Denemede kullanılan çeşitler ülkemizde üretimi yapılan yerli çeşitler olup bölgemizde özellikle biber tarımının yapıldığı Yenişehir ilçesinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. çarliston Yalova 341 çeşidi açık saha sofralık bir çeşit olup, meyveleri sarımsı yeşil renkte ve tatlıdır. Çeşidin ortalama verimi 3-4 ton da⁻¹ 'dır. Meyveleri 25-30 cm uzunluğunda, çok verimli, düzgün meyveli, albenisi yüksektir. Doru 16, dolmalık bir biber çeşidi olup, açık yeşil renkte meyvelere sahip ve açık saha yetiştiriciliğine uygun bir çeşittir.

Çalışma kapsamında kurulan deneme Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında yürütülmüştür. Denemenin kurulduğu seranın coğrafi konumu 40° 13' 39,24" kuzey (N) ve 28° 51' 40,28" doğu (E) olarak belirlenmiştir.

3.1.2. Yetiştirme Ortamı

Denemede yetiştirme ortamı olarak tarım perliti kullanılmıştır. İzmir Perlit firmasından temin edilen tarım perliti %74 SiO₂ içeriğine sahip, 0-6 mm çapında, yoğunluğu 70-80 kg m⁻³ ve ısı iletme katsayısı 0,040 – 0,045 Kcal mh^oC⁻¹'dir. Denemede herhangi bir eleme, sıkıştırma vb. bir işlem yapılmadan olduğu gibi kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Bitkilerin yetiştirilmesi

Piyasadan temin edilen (Bursa Tohumculuk A.Ş.) biber tohumları damlama görülene kadar saf su ile doyurulmuş perlit ile doldurulmuş viyollere ekilerek karanlık ortamda çimlenmeye bırakılmıştır. 1 L perlit standardizasyonu 1 L hacimli dereceli silindir ile sağlanarak çimlenen bitkiler (4-5 günlük) saksılara alınmıştır.

Deneme tesadüf parselleri deneme deseninde 5 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Bitkilerin sağlıklı büyümeleri gözlemlenerek her saksıda 4 bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Bitkiler 4 yapraklı döneme geldiğinde (20 günlük) ağır metal, tuz ve NO uygulamaları başlatılmış ve 40 gün süreyle uygulanmıştır. Bitkilerde herhangi bir büyüme ve beslenme probleminin yaşanmaması için tüm bitkiler değiştirilmiş Hoagland besin çözeltisi ile sulanmıştır.

3.2.2. Besin çözeltisi ve uygulama dozlarının hazırlanması

Denemede kullanılan besin çözeltisinde uygulama dozları hariç diğer tüm besin elementleri aynı dozda uygulanmıştır. Kotiledon yapraklarının çıkışından sonra bitkilerin sulanmasında ½ oranında hazırlanan değiştirilmiş Hoagland besin çözeltisi kullanılmış, bitkiler 3-4 yapraklı döneme geldiğinde tam oranda hazırlanan değiştirilmiş Hoagland besin çözeltisi uygulanmıştır (Hoagland ve Arnon 1950).

Değiştirilmiş Hoagland besin çözeltisi bileşimi:

5 mM potasyum nitrat (KNO_3), 5 mM kalsiyum nitrat tetrahidrat ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$), 2 mM magnezyum sülfat heptahidrat ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), 1 mM potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4), 44,65 μM demir sülfat heptahidrat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), 45,50 μM borik asit (H_3BO_3), 9,09 μM mangan sülfat monohidrat ($MnSO_4 \cdot H_2O$), 0,765 μM çinko sülfat heptahidrat ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), 0,315 μM bakır sülfat pentahidrat ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$),

0,104 μM amonyum molibdat tetrahidrat $[(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, 54,8 μM dietilen triamin penta asetik asit dihidrat disodyum tuzu ($\text{Na}_2\text{EDTA}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 30 μM sodyum klorür (NaCl).

Uygulama konuları; 50 mM NaCl , 1 mM Zn ($\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 1 mM Cu ($\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$), 1 mM Cd ($3\text{CdSO}_4\cdot 8\text{H}_2\text{O}$), 1 mM B (H_3BO_3). Bitki çıkışlarının 20. Gününden itibaren uygulama düzeyleri, değiştirilmiş Hoagland çözeltisi içine karıştırılarak bitkilere sulama şeklinde uygulanmaya başlanmıştır. Deneme planına uygun olarak; tuz, ağır metal (Zn , Cu , Cd) ve bor uygulanmış saksılara NO vericisi olarak 0, 25 ve 50 μM Sodyum nitropurissid ($\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \text{L}^{-1}$) uygulanmıştır. Deneme planı Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3. 1. Deneme Planı

-NO (0 μM)	-NaCl (0 mM)	-Zn (0 mM)	-Cu (0 mM)	-Cd (0 mM)	-B (0 mM)
	+NaCl (50 mM)	+Zn (1 mM)	+Cu (1 mM)	+Cd (1 mM)	+B (1 mM)
+NO (25 μM)	-NaCl (0 mM)	-Zn (0 mM)	-Cu (0 mM)	-Cd (0 mM)	-B (0 mM)
	+NaCl (50 mM)	+Zn (1 mM)	+Cu (1 mM)	+Cd (1 mM)	+B (1 mM)
+NO (50 μM)	-NaCl (0 mM)	-Zn (0 mM)	-Cu (0 mM)	-Cd (0 mM)	-B (0 mM)
	+NaCl (50 mM)	+Zn (1 mM)	+Cu (1 mM)	+Cd (1 mM)	+B (1 mM)

3.2.3. Hasat ve örneklerin analize hazırlanması

Antioksidatif enzim, protein ve fotosentetik pigment analizleri için toplam 2 g yaprak örneği alınmış ve sıvı azot ile muamele edilerek -80°C 'ye ayarlı derin dondurucuda korumaya alınmıştır. Daha sonra bitkiler toprak üstü ve kök ayrı ayrı olmak üzere hasat edilmiştir. Hasat edilen toprak üstü aksam ve kök örneklerinin yaş ağırlıkları alındıktan sonra musluk suyu ile yıkanmış ve üç kez saf su ile durulanmıştır. Bitki örnekleri sabit ağırlığa gelinceye kadar 70°C 'de kurutulmuş, kuru ağırlıkları kaydedilmiş öğütülmüş ve diğer analizler için muhafaza edilmiştir (Kacar ve İnal 2008).

3.2.4. Mikrodalga yaş yakma yöntemi ile bitki ekstraktlarının çıkartılması

Öğütülmüş olan yaprak örneklerinin yaş yakılması için 0,2 g örnek üzerine 4 mL %30'luk hidrojen peroksit (H₂O₂) ve 4 mL %65'lik nitrik asit (HNO₃) eklenmiş, örnekler mikrodalga yaş yakma cihazında (Berghof MVS2) yakılmıştır. Yakma işlemi tamamlanan örnekler filtre kâğıdından (Whatman 42) süzülerek 50 mL hacimli balon jodelere aktarılmış ve %0,3'lük HNO₃ ile derecesine tamamlanmıştır (Çelik ve ark. 2017).

3.2.5. Bitki örneklerinde Na, Zn, Cu ve B konsantrasyonlarının belirlenmesi

Mikrodalga yaş yakma yöntemi ile yakılarak elde edilen yaprak ekstraksiyon çözeltilinde ağır metal belirlenmesi İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 2100 DV) cihazı ile Isaac ve Johnson (1997) tarafından bildirilen yöntemle yapılmıştır. Bitki yapraklarında bulunan Na içeriği Horneck ve Hanson (1998)'e göre Flame Fotometre (Eppendorf Elex 6361) cihazı ile belirlenmiştir.

3.2.6. Fotosentetik pigmentlerin belirlenmesi

Lichtenthaler (1987)'e göre yapılan analizlerde 0,100 g (100 mg) taze bitki örneği 10 mL % 80'lik aseton ile ekstrakte edilmiş ve 4600 devir/dakika (rpm)'da santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası alınan alikotların 663, 652, 645 ve 470 nanometre (nm) dalga boyundaki absorbans değerleri spektrofotometrede (PG T60 UV-VIS) belirlenerek kaydedilmiştir. Toplam klorofil, klorofil *a*, klorofil *b* ve karotenoid konsantrasyonları Lichtenthaler (1987) tarafından belirlenen ve aşağıda sunulan formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam klorofil } (\mu\text{g g}^{-1} \text{ YA}) = (27,8 \times A_{652}) \times V/g \quad (3.1)$$

$$\text{Klorofil } a \text{ (Chl } a; \mu\text{g g}^{-1} \text{ YA}) = (11.75 \times A_{663}) - (2.35 \times A_{645}) \times V/g \quad (3.2)$$

$$\text{Klorofil } b \text{ (Chl } b; \mu\text{g g}^{-1} \text{ YA}) = (18.61 \times A_{645}) - (3.96 \times A_{663}) \times V/g \quad (3.3)$$

$$\text{Karotenoid (Car; } \mu\text{g g}^{-1} \text{ YA}) = [(1000 \times A_{470}) - (2.27 \times \text{Chl } a)] - (81.4 \times \text{Chl } b / 227) \times V/g \quad (3.4)$$

Burada;

YA: Yaş ağırlık

A₆₆₃: 663 nm dalga boyunda absorban okuması

A₆₅₂: 652 nm dalga boyunda absorban okuması

A₆₄₅: 645 nm dalga boyunda absorban okuması

A₄₇₀: 470 nm dalga boyunda absorban okuması

V : Homojenat hacmi (mL)

g : Homojenize edilen örnek miktarı (mg)

3.2.7. Çözünür Protein Konsantrasyonun Belirlenmesi

Bitki dokularındaki protein konsantrasyonu üzerine stres faktörlerinin etkisini belirlemek için protein analizi Bradford (1976)'a göre yapılmıştır. Sıvı azot içerisinde dondurulmuş ve -80 °C'de muhafaza edilmiş taze bitki örneklerinden 0,5 gram alınarak 0,1 mM Na₂EDTA içeren 50 mM fosfat tamponu çözeltisi (Na₂HPO₄.2H₂O; pH 7,6) ile (5 mL) homogenize edilmiş ve +4 °C sıcaklıkta 15 dakika boyunca 12000 devir/dakika (rpm)'da santrifüj edilmiştir. Elde edilen alikotlar protein analizlerinde kullanılmıştır.

Bradford çözeltisi (ayıracı) aşağıda belirtildiği şekilde hazırlanarak buzdolabında 24 saat bekletildikten sonra kullanılmıştır;

- 100 mg Coomassie Brilliant Blue (G 250) boyası 50 mL etil alkol (%99,5) içerisinde çözülmüştür.
- Üzerine 100 mL %85'lik ortofosforik (H₃PO₃) asit ilave edilen bu karışım saf su ile toplam 600 mL'ye tamamlanarak kaba filtre kâğıdından süzölmüştür.
- Bu çözeltini üzerine 100 mL gliserol (%87) eklenmiş ve bu son karışım saf su ile 1000 mL'ye tamamlanmıştır.

Analiz aşamasında, 100 µL örnek üzerine 5 mL Bradford çözeltisi ilave edilmiş ve renklenme için 10 dakika beklenmiştir. Analizde standart olarak 0-200-400 ve 800 µg mL⁻¹ konsantrasyonlarında hazırlanan sığır serum albümini (Albumin fraction V) kullanılmıştır. Bitkilerdeki protein konsantrasyonları belirtilen standartlar kullanılarak spektrofotometrede 595 nm dalga boyunda belirlenmiştir.

3.2.8. Enzim Analizleri İçin Örneklerin Hazırlanması ve Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi

Sıvı azot içerisinde dondurulmuş ve -80 °C de muhafaza edilmiş taze bitki örneklerinden 1 gram alınarak 0,5 mM Na-EDTA içeren 100 mM Na₂-fosfat (Na₂HPO₄.2H₂O; pH 7,5) çözeltisi ile ekstrakte edilmiştir. Homojenize edilen örnekler 15mL hacimli santrifüj tüplerine alınarak +4 °C' de 15 dakika 12 000 devir/dakika (rpm)'da santrifüj edilmiştir. Elde edilen homojenatlar süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1), askorbat peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11), katalaz (CAT; EC 1.11.1.6), glutatyon redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) ve peroksidaz (POD; EC 1.11.1.7) enzim aktivitelerinin belirlemelerinde kullanılmıştır.

SOD enzim aktivitesinin belirlenmesi:

SOD enzim aktivitesinin belirlenmesi için gerekli olan reaksiyon çözeltisi 50 mM Na-fosfat (Na₂HPO₄.2H₂O), 0,1 mM Na₂-EDTA, 13 mM L-methionin ve 33 µM nitro blue tetrazolium chloride (NBT) içerecek şekilde (pH 7,0) hazırlanmıştır. 2 mL reaksiyon çözeltisi üzerine 1mL 10 µM riboflavin ve 0,2 mL örnek için hazırlanan enzim homojenatı ilave edilerek çalkalanmıştır. Reaksiyon 25 °C sıcaklıkta ve 40 Watt (75 µmol m² s⁻¹) altında 15 dakika bekletilerek sağlanmıştır. Kontrol çözeltisi için enzim homojenatı olmadan karanlıkta aynı süre bekletilmiştir. Bekletme sonrası hızlıca karanlık ortama alınan örneklerde SOD enzim aktivasyonu ünite olarak NBT'nin %50'sinin ışık altında O₂ tarafından indirgenmesine bağlı olarak belirlenmiştir. Kontrol ve örnekler için reaksiyon çözeltilerinin absorbanlarındaki değişimler spektrofotometrede 560 nm dalga boyunda ölçülerek belirlenmiş ve not edilmiştir. (Giannopolitis ve Ries 1977).

$$TA - TK = C/L = \text{Unit} \quad (3.5a)$$

$$TA - TK / \text{Örnek} - TK = \text{Unit} \quad (3.5b)$$

$$\text{Unit/SF} = \text{Unit/G}$$

TA: Tanık aydınlık

TK: Tanık karanlık

APX enzim aktivitesinin belirlenmesi:

APX enzim aktivitesi Nakano ve Asada (1981)' a göre spektrofotometrede 290 nm dalga boyunda 1 dakika içerisinde askorbik asite bağlı H₂O₂'in indirgenmesinin izlenmesi ile belirlenmiştir. Buna göre 50 mM Na-fosfat (Na₂HPO₄.2H₂O), 0,1 mM NA₂-EDTA, 0,01 mM askorbik asit ve 1,5 mM H₂O₂ içeren reaksiyon çözeltisi (pH 7,0) hazırlanmıştır. 3mL reaksiyon çözeltisi üzerine 0,1 mL örnek için hazırlanan enzim homojenatı ilave edilerek spektrofotometrede 290 nm' dalga boyunda 0. ve 60. saniye absorbans okumaları alınmıştır. APX aktivitesi, askorbatın indirgenmesi için 2.8 mM⁻¹ cm⁻¹ katsayısı ($\epsilon = 2.8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) kullanılarak hesaplanmıştır.

CAT Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi:

Spektrofotometrede 240 nm dalga boyunda 1 dakika içerisinde H₂O₂'nin indirgenmesinin izlenmesi ile belirlenmiştir. Bunun için 50 mM KH₂PO₄ ve 1,5 mM H₂O₂ kapsayan reaksiyon çözeltisi (pH 7,0) hazırlanmıştır. 2,5 mL reaksiyon çözeltisine 0,2 mL örnek için hazırlanan enzim homojenatı ilave edilerek 240 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede 0. ve 60. saniyede absorbans okumaları alınmıştır. CAT aktivitesi, H₂O₂'nin indirgenmesi için 40 mM⁻¹ cm⁻¹ katsayısı ($\epsilon = 40 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) kullanılarak hesaplanmıştır (Çakmak ve ark. 1993).

$$A_{240} (0 - 60 \text{ sn}) = \epsilon \times C \times l \text{ (küvetin boyu)} \quad (3.6)$$

Burada:

A_{240} : 240 nm dalga boyunda absorbans okuması

ϵ : 40 mM⁻¹ cm⁻¹

küvetin boyu: 1cm (sabit)

GR enzim aktivitesinin belirlenmesi:

GR enzim aktivitesi Foyer ve Halliwell (1976) tarafından bildirildiği şekilde, NADPH'nin oksidasyonunun ölçülmesi esasına göre belirlenmiştir. Buna göre; 0,1 mM Na-EDTA içeren 50 mM fosfat (pH 7,6) tamponundan 1 mL alınarak üzerine 0,1 mL 0,5 mM okside glutatyon (GSSG), 0,1 mL 0,5 mM NADPH ve 0,1 mL enzim ekstraktı ilave edilerek 340 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede absorbans okumaları alınmıştır. GR enzim aktivitesi NADPH'nin oksidasyonu için $6.2 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ($\epsilon = 6.2 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) kullanılarak hesaplanmıştır.

POD enzim aktivitesinin belirlenmesi:

POD aktivitesi tayini, guaikol ve H₂O'nin substrat olduğu reaksiyonun ürünü olan renkli bileşiğin meydana getirdiği absorbans artışının 470 nm'de izlenmesi esasına dayanmaktadır Aktivite ölçümü için spektrofotometre küvetine; 100 mL 0,1 M NaH₂PO₄ (pH 5,5) ve 5 mM guaikol içeren substrat çözeltisinden 3 mL konulduktan sonra, üzerine 10 µL enzim ekstraktı ilave edilmiştir. 470 nm'de 5 dakika boyunca absorbans artışı 1 dakika aralıklarla kaydedilmiş ve absorbansın doğrusal olarak arttığı kısımdaki absorbans artışı 1 dakikaya oranlanmıştır. 25°C'de 1 dakikada, absorbansı 0,01 artıran enzim miktarı 1 enzim ünitesi olarak kabul edilmiş ve sonuçlar gram yaprak başına düşen enzim ünitesi (EU/g yaprak) olarak sunulmuştur (Angelini ve ark. 1993).

$$\text{POD (mg prot}^{-1} \text{ YA)} = ((\text{homejanat/ yaprak g}) / \text{alınan homejanat}) \times 2 \times (1/0,01) \times \text{Abs.} \quad (3.7a)$$

$$\text{POD (mg prot}^{-1} \text{ YA)} = 1000 \times 100 \times \text{Absorbans değeri} \quad (3.7b)$$

3.2.9. Bitkide stres parametrelerinin belirlenmesi

Askorbik Asit (AsA) belirlenmesi

0,25 g bitki örneği 10 mL % 6 trikloroasetik asit (TCA) ile ekstrakte edilmiş, 4 mL ekstrakt alınarak üzerine 2 mL %2'lik dinitro fenil hidrazin ve 1 damla % 10 tioüre (% 70'lik etil alkolde çözülmüş) eklenmiştir. Karışım 15 dakika su banyosunda kaynatıldıktan sonra üzerine 0 °C'de soğutulmuş 2,5 mL % 80 H₂SO₄ (v/v) çözeltisi ilave edilmiştir. Daha sonra 530 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede örneklerin absorbans okumaları yapılmıştır. Askorbik asit ile hazırlanmış standart kurveden örneklerin askorbik asit miktarları belirlenmiştir (Mukherjee ve Choudhuri 1983).

Hidrojen Peroksit (H₂O₂) belirlenmesi

0,25 g taze bitki örneği 5 mL soğuk aseton ile homojenize edildikten sonra berrak kısımdan 1 mL alınarak üzerine 4 mL titanyum oksit (TiO₂) çözeltisi (1 g TiO₂ + 10 g K₂SO₄ 150 mL H₂SO₄ içerisinde 2 saat kaynatılmış ve 1500 mL'ye tamamlanmıştır) ve 5 mL konsantre amonyak (NH₃) ilave edilmiştir. 10 dakika boyunca 10000 devir/dakika (rpm)'da santrifüj edilen örneklerin sıvı kısımları dökülmüştür. Üzerine toplamda 6 mL olacak şekilde 1M H₂SO₄ ilave edilerek 5 dakika boyunca tekrar santrifüj edilmiştir. Karışımın berrak kısımlarında 415 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede absorbans okuma yapılmıştır. Standart kurveden örneklerin H₂O₂ miktarları belirlenmiştir (Mukherjee ve Choudhuri 1983).

Malondialdehit (MDA) belirlenmesi

Lipit peroksidasyonunu belirlemek için örneklerde MDA düzeyi belirlenmiştir. Bunun için 0,2 g taze bitki örneği 4 mL %0,1 trikloroasetik asit (TCA) çözeltisi ile homojenize edildikten sonra 5 dakika boyunca 12.500 devir/dakika (rpm)'da santrifüj edilmiştir. Berrak kısımdan 1mL alikot alınarak temiz tüplere aktarılmış ve üzerine 4 mL %20'lik TCA içinde çözülmüş %0,5 tiobarbütirik asit (TBA) ilave edilmiştir.

Sıcaklığı 95 °C'ye ayarlanmış su banyosunda 30 dakika bekletilen örnekler hızlıca soğutulduktan sonra 10 dakika boyunca 10000 devir/dakika (rpm)'da santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası örneklerin berrak kısımlarının absorban okumaları 532 ve 600 nm dalga boyunda ayarlanmış spektrofotometrede yapılmıştır (Zhou ve Leul 1999).

$$\text{MDA nmol g}^{-1} \text{ YA} = (A_{532} - A_{600}) \times V (4 \text{ mL}) \times 1000 / 155 \times W (\text{g bitki}) \quad (3.8)$$

A_{532} : 532 nm dalga boyunda absorban okuması

A_{600} : 600 nm dalga boyunda absorban okuması

Prolin belirlenmesi

Uygun koşullarda saklanmış taze bitki örneklerinde prolin belirlenmesi amacıyla %3 sülfosalisilik asit içeren ekstraksiyon çözeltisi ile 0,25 g örnek homogenize edilmiştir. 5 dakika 13.000 devirde/dakika (rpm)'da homogenize edilen örneklerden 1mL temiz tüplere alınarak üzerine 1mL ninhidrin çözeltisi (1,25 g ninhidrin + 30 mL glasiyal asetik asit + 6 M H₃PO₄/50 mL) ilave edilmiştir. Örnekler 100 °C'ye ayarlanmış su banyosunda 1 saat bekletildikten sonra hızlıca buz içerisinde soğutularak üzerlerine 4mL tolüen eklenmiştir. Vortekslenen örneklerden berrak kısım alınarak 520 nm dalga boyunda ayarlanmış spektrofotometrede absorban okumaları yapılmış ve aşağıda sunulan formüle göre hesaplanmıştır (Ábrahám ve ark 2010).

$$\text{Prolin (mg/g}^{-1} \text{ YA)} = [(\mu\text{g prolin/mL} \times \text{mL tolüen})] / [115.5 \mu\text{g}/\mu\text{mol}] / [(\text{g örnek}/5)] \quad (3.9)$$

3.2.10. İstatistiksel analizler

Deneme, tesadüf parselleri deneme deseninde göre üç faktörlü olarak planlanmış, elde edilen verilerle JMP 9.0.2 paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmıştır. Önemlilik testlerinde ve ortalama değerlerin gruplandırılmasında 0,05 ve 0,01 olasılık düzeyinde LSD Student-t testi uygulanmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Nitrik Oksit (NO) Uygulamasının Tuz Stresine Etkisi

4.1.1. Bitkilerin kuru madde verimleri

Tuzlu ortamda yetiştirilen (50 mM NaCl) çarliston Yalova 341 (çarliston) ve Doru 16 (dolmalık) biber çeşitlerinin artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin kuru madde verimi üzerine olan etkilerine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.1'de ve biber çeşitlerinin kuru madde verimine ait ortalamalar Çizelge 4.2' de verilmiştir. Çizelge 4.1 ve 4.2'nin birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin kuru madde verimi üzerine artan düzeylerde NO uygulamalarının ($P<0,01$) ve NaCl uygulamasının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken ($P<0,01$) NO x NaCl interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.1. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit (NO) uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde verimlerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Genel	5	2,269		3,875	
Nitrik Oksit (NO)	2	10,666	7,045**	20,520	7,045**
Tuz (NaCl)	1	10,585	1,936**	10,236	1,936**
NO x NaCl	2	0,017	0,018 öd	0,117	0,018 öd
Hata	12	1,255		2,296	

*** $P<0,001$; ** $P<0,010$; * $P<0,050$; öd: önemli değil

Çizelge 4.2. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde miktarı (g saksı⁻¹) üzerine etkileri

NaCl Uygulaması (50 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
-NaCl	1,45	1,72	2,09	1,74 A	2,20	2,42	2,75	2,46 A
+NaCl	1,17	1,51	1,72	1,46 B	1,63	2,03	2,49	2,05 B
Ortalama	1,31 C	1,62 B	1,89 A		1,91 C	2,23 B	2,62 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Çarliston çeşidinin kuru madde verimleri üzerine NO x NaCl interaksiyonunun etkisi önemli bulunmamakla birlikte; tuz uygulanmayan (0 mM) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin kuru madde verimleri 0 µM NO uygulamasında 1,45 g saksı⁻¹ iken 25 ve 50 µM NO uygulamalarında artışlar göstererek sırasıyla 1,72 ve 2,09 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Tuz (50 mM) uygulanmış koşullarda ise; 0 µM NO uygulamasında 1,17 g saksı⁻¹ olarak belirlenen çarliston çeşidinin kuru madde verimi 25 ve 50 µM NO uygulamalarıyla artış göstererek sırasıyla 1,51 ve 1,72 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur. Bununla birlikte tuz (50 mM) uygulanan koşullara göre tuz uygulanmayan (0 mM) koşullarda NO uygulamalarıyla (0, 25 ve 50 µM) çarliston çeşidinin kuru madde veriminde belirlenen azalma oranları sırasıyla %19,3, %12,2 ve %17,7 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). NO uygulanmayan (0 µM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama kuru madde verimi 1,31 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %23,3 ve %44,4 oranında önemli artışlar göstererek 1,62 ve 1,89 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Dolmalık çeşidinin kuru madde verimi üzerine NO x NaCl interaksiyonunun etkisi önemli bulunmamakla birlikte; tuz uygulanmayan (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin kuru madde verimi 0 µM NO uygulamasında 2,20 g saksı⁻¹ iken 25 ve 50 µM NO uygulamalarında artış göstererek 2,42 ve 2,75 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Tuz (50 mM) uygulanmış koşullarda ise; 0 µM NO uygulamasında 1,63 g saksı⁻¹ olan dolmalık çeşidinin kuru madde verimi 25 ve 50 µM NO uygulamalarında artış göstererek 2,03 ve 2,49 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur. NO uygulamalarının ortalaması olarak, NaCl uygulanmayan kontrol grubunda 2,46 g saksı⁻¹ olan dolmalık çeşidinin ortalama kuru madde verimi tuz (50 mM) uygulaması ile %20,0 oranında azalma göstererek 2,05 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. Tuz uygulamalarının ortalaması olarak, NO uygulanmayan (0 µM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama kuru madde verimi 1,91 g saksı⁻¹ olarak bulunurken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %14,34 ve %27,09 oranında artış göstererek 2,23 ve 2,62 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Çalışmamız sonucunda elde edile verilerle göre, tuz uygulanmış ortamda yetiştirilen her iki biber çeşidinde de kuru madde miktarının önemli ölçüde düştüğü belirlenmiştir. Charleston ve dolmalık çeşidi bitkilerde en yüksek kuru madde 50 µM NO ve 0 mM NaCl uygulamalarından; en düşük kuru madde miktarı ise 0 µM NO ve 50 mM NaCl uygulamalarında yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Yapılan birçok araştırmada tuzluluğun bitkilerde kuru madde miktarı ve verimde önemli düşüklere neden olduğu bildirilmiştir. Topraktaki tuzluluğun bitkilerde meydana getirdiği hasarın; tuzun bitkilerde su potansiyelinde düşüşe ve bitkinin topraktan su ve besin maddelerini alması için harcaması gereken enerji miktarının artmasına neden olarak, bitkinin osmotik strese girmesine sebep olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumda bitki dokularında sodyum (Na) iyonunu birikmekte ve bitkiler iyonik strese girmektedir. (Munns ve Tester 2008, Flowers ve ark 2010, Yıldırım ve ark. 2015). Zhu ve Boyer (1992) bitkilerde tuz stresi nedeniyle meydana gelen büyüme ve gelişmedeki yavaşlamanın tuzun bitkilerde turgor basıncına olan negatif etkisi olarak değil, hücre çeperi polimerlerinin sentezinin azalması ve enerji metabolizmasındaki inhibisyon olarak açıklamışlardır. Yapılan çalışmalarda, yetiştirme ortamında tuz miktarının fazla olması durumunda bitkilerde karbondioksit asimilasyonunun düştüğü bunun yanında kök etki alanındaki osmotik basıncın artması ile bitkilerde stomatal etkinliğin kısıtlandığı, sonuç olarak bitkilerde fotosentez kapasitesinin düşerek bitki veriminde azalma meydana geldiği belirtilmiştir (Brugnoli ve ark. 1991, Munns ve Tester 2008, Kıran ve ark. 2017). Benzer şekilde başka araştırmacılar bitkilerde tuz stresinden kaynaklı kuru madde azalmasını tuzun fotosentezi inhibe ettiği ya da vejetatif aksamın büyümesini kısıtlayarak yaprak büyüme oranını düşürdüğü şeklinde açıklanmıştır (Turner ve Begg 1981). Day ve ark (2018) keten bitkisi ile yaptıkları bir çalışmada tuz uygulamalarının bitkilerde çimlenmeyi ve bitki çıkışlarını engellediğini ve fide büyümesini kısıtladığını bildirmişlerdir. Tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerde yapılan birçok çalışmada tuz stresinin bitkilerde kuru ağırlık, klorofil miktarı ve verim öğelerinde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Alpaslan ve Güneş, 2001, Meloni ve ark. 2004, Eraslan ve ark. 2007, Turan ve ark. 2007, Kausar ve ark., 2013, Latif ve Chaoxing 2014, Mostofa ve ark. 2015).

Nitrik oksitin çeşitli biyotik ve abiyotik stresler altında bitkilerde büyüme ve gelişmenin düzenlenmesinde rol oynayan önemli bir sinyal molekülü olduğu birçok çalışmada rapor edilmiştir (Kausar ve Shahbaz, 2013, Liu ve ark, 2014, Esim ve Atıcı, 2014, Manai ve ark. 2014). Eksojen olarak uygulana nitrik oksitin tuz zararının azaltılmasındaki etkisi hücredeki fosfolipidler üzerinde hareket ederek; bitkilerde hücre duvarının genişlemesine ve membran akışkanlığının artmasına yardımcı olduğu ve bu sayede bitki büyümesine katkı sağladığı şeklinde açıklanmıştır (Leshem ve Haramaty, 1996). Mısır (*Zea Mays* L.) bitkisi ile yapılan benzer bir çalışmada da Zhang ve ark. (2006) tuz stresine maruz bırakılan bitkilerde NO vericisi olarak kullanılan SNP'in bitki büyümesini teşvik ettiği ve bitki kuru ağırlıklarını arttırdığını rapor etmişlerdir. Sonuçlarımızı destekler nitelikte veriler elde edilen başka bir çalışmada araştırmacılar tuz stresi koşullarında yetiştirdikleri maş fasulyesi (*Vigna radiata*) bitkisinde, tuz uygulamasının bitkilerde çimlenme ve büyümeyi olumsuz etkilediği ve kuru madde miktarının önemli derecede azaldığını rapor etmişlerdir. Bitkilere NO uygulayan araştırmacılar, NO uygulamasının tuz stresinden kaynaklanan bu negatif etkileri azalttığını belirterek, eksojen olarak NO uygulamasının tuzluluk sorunu yaşanan bölgelerde bitkilerin stresten korunmaları için etkili bir yaklaşım olabileceğini rapor etmişlerdir (Salahuddin ve ark 2017, Ahmad ve ark 2018). Eksojen olarak uygulanan NO'in tuz stresinden kaynaklanan büyüme ve gelişmeyi engelleyici etkilerini hafifletmek amacıyla kullanılabileceği birçok araştırmacı tarafından farklı bitkiler ile yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir; nohut (*Cicer Arietinum* L.) (Sheokand et ve ark. 2010), mısır (*Zea Mays*) (Yildiztugay ve ark. 2014), buğday (*Triticum aestivum*) (Bavita ve ark. 2012), kamış (*Phragmites australis*) (Zehra ve ark. 2013), hıyar (*Cucumis sativus*) (Cui ve ark. 2011), ve çeltik (*Oryza sativa* L.) (Habib ve ark., 2016) bitkileriyle çalışan araştırmacılar tuz ve NO ile yaptıkları çalışmalarında sonuçlarımızı destekler nitelikte veriler elde etmiş ve NO uygulamasının tuz stresine karşı bitkilere tolerans kazandırdığını belirtmişlerdir. Bir diğer araştırmada ise NO'in tuz stresini azaltmadaki rolünün NO'in bitki hücrelerinde ozmotik basıncı ve sitoplazmik viskoziteyi düzenlediği şeklinde açıklanmıştır (Dong ve ark. 2014). Wu ve ark (2011) domates bitkisinde yaptıkları çalışmalarda tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerde eksojen olarak uygulanan NO'in bitkilerde tuz stresinden kaynaklı kuru madde azalmasını inhibe ettiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar NO'in bu etkisinin, NO'in stres koşullarında antioksidatif enzimlerin aktivitelerini arttırmasından kaynaklanabileceğini rapor etmişlerdir.

4.1.2. Bitkilerin Toprak Üstü Aksamlarının Na İçerikleri

Tuzlu ortamda yetiştirilen çarliston ve dolmalık çeşidinde artan konsantrasyonlarda NO uygulamasının bitkilerin toprak üstü aksamlarının Na içerikleri üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.3’de ve toprak üstü aksamlarının Na içeriklerine ait ortalamalar Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.3 ve 4.4’ün birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin toprak üstü aksamlarının Na içerikleri üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, tuz uygulamasının ve NO x NaCl interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$).

Çizelge 4.3. Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam Na içeriklerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Genel	5	17,729		16,723	
Nitrik Oksit (NO)	2	30,188	18,995**	1,640	423,140**
Tuz (NaCl)	1	180,641	162,551**	13,641	7035,785**
NO x NaCl	2	8,899	5,357**	1,441	371,633**
Hata	12	1,007		0,023	

*** $P<0,001$; ** $P<0,010$; * $P<0,050$; öd: önemli değil

Çizelge 4.4. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam Na içeriklerine (mg Na kg^{-1}) etkisi

NaCl Uygulaması (50 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (μM)				NO Uygulaması (μM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
-NaCl	0,86 c	0,70 c	0,50 c	0,69 B	0,10 d	0,07 d	0,05 d	0,07 B
+NaCl	2,86 a	1,63 b	1,39 b	1,96 A	2,63 a	1,54 b	1,28 c	1,81 A
Ortalama	1,68 A	0,85 B	0,73 B		1,36 A	0,80 B	0,66 C	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Tuz uygulanmayan (0 mM) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin toprak üstü aksamının Na içerikleri üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 μM) ile kontrole göre %18,6 ve %41,86 oranında azalmalar belirlenmiş ancak istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

Tuzlu koşullarda (50 mM) uygulanan artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları ile arliston çeşidinin toprak üstü aksam Na içeriklerinde sırasıyla %43,0 ve %51,39 oranlarında önemli azalmalar belirlenmiştir (izelge 4.4). Tuz uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda arliston çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Na içeriği 0,69 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken, tuz uygulanan ortamda bu değer 2,84 kat artış göstererek 1,96 g Na kg⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen arliston çeşidinin toprak üstü aksam ortalama Na içeriği 1,68 mg Na kg⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %49,4 ve %56,54 oranında önemli azalma göstererek 0,85 ve 0,73 mg Na kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (izelge 4.4).

Tuz uygulanmayan (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin toprak üstü aksam Na içerikleri üzerine artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 μM) ile kontrole göre meydana gelen azalmalar istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Tuzlu koşullarda (50 mM) ve 0 μM NO uygulama konusunda bitkilerin toprak üstü aksam Na içerikleri 2,63 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamalarıyla bitkilerin toprak üstü aksam Na içerikleri sırasıyla %41,44 ve %51,33 oranlarında azalmıştır (izelge 4.4). Tuz uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO uygulamalarının ortalaması olarak dolmalık çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Na içeriği 0,07 mg Na kg⁻¹ olarak belirlenirken, tuz uygulanan ortamda bu değer 25,9 kat artış göstererek 1,81 mg Na kg⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin toprak üstü aksam ortalama Na içeriği 1,36 mg Na kg⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %70,0 ve %106,0 oranında önemli azalma göstererek 0,80 ve 0,66 mg Na kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (izelge 4.4). Her iki biber çeşidinde de tuz uygulaması bitkilerin gövde Na içeriklerinde önemli artışlara sebep olmuştur. Bitki gövdelerindeki Na içeriklerinde meydana gelen bu artışın bitkilere sulama yolu ile verilen tuzun bitki vejetatif aksamlarına taşınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çarliston ve dolmalık çeşidinde tuz uygulaması bitkilerin toprak üstü aksam Na içeriklerini önemli miktarda arttırmıştır (Çizelge 4.4). Yetiştirme ortamına uygulanan tuzun bitkilerde Na miktarında artışa neden olduğu yapılan birçok çalışmada bildirilmiştir (Alpaslan ve ark., 1999, Taban ve ark. 1999, Turan ve ark. 2007, Guo ve ark 2018). NO uygulaması bitkilerde toprak üstü aksam Na birikiminin azalmasına neden olmuştur. Tuz uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde en yüksek toprak üstü aksam Na içeriği NO uygulanmayan (0 μM NO) uygulamasından elde edilirken, en düşük Na içeriği 50 μM NO uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.4). Bitkilerin tuz stresi koşullarında, stresten kaynaklanan negatif etkilerden korunmak amacıyla hücre çeperi boyunca sodyumun taşınmasının kontrolü, ozmotik basıncın düzenlenmesi, reaktif oksijen türlerini süpürücü etkisi olan moleküllerin etkinleştirilmesi ve hücre organelerinde iyonların birikiminin engellenmesi için birçok farklı yöntem geliştirdikleri yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Maggio ve ark. 2007, Mickelbart ve ark. 2015). Bitkiler stres koşulları altında fizyolojik cevap olarak sinyal molekülleri üretirler. Bu sinyal molekülleri arasında önemli bir yere sahip olan NO lipofilik doğası gereğiyle hücre membranlarından kolaylıkla geçerek, hücre içi ve hücre dışı haberci olarak görev alır. Bunun yanında Lin ve ark. (2012), NO'nun, tuz stresinden kaynaklı hasarın azaltılmasında bitkilerde antioksidatif metabolizmaları harekete geçiren bir molekül olduğunu rapor etmiştir. Tuzlu koşullarda yetiştirilen her iki biber çeşidinde de NO uygulamasının bitkilerin toprak üstü aksam Na içeriklerinde meydana getirdiği bu azalmanın, NO'in bitkilerde su emilimi ve fotosentez gibi mekanizmaları düzenleyerek bitkilerde osmotik sistemin ayarlanmasına ve iyon toksitesinden kaçınmaya yardımcı olduğu şeklinde düşünülmektedir.

4.1.3. Bitkilerin Fotosentetik Pigment İçerikleri

Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 μM) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içerikleri üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.5'de ve fotosentetik pigment içeriklerine ait ortalamalar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5 ve 4.6'nın birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içeriklerine üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, NaCl uygulamasının ve NO x NaCl interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$).

Çizelge 4.5. Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içerikleri [mg g^{-1} YA (Yaş ağırlık)] üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Toplam Klorofil					
Genel	5	7361,507		10972,647	
Nitrik Oksit (NO)	2	1261,716	415,341**	7802,505	442,765**
Tuz (NaCl)	1	5805,031	382,189**	2791,290	316,792**
NO x NaCl	2	294,759	970,310**	378,851	214,980**
Hata	12	0,182		0,106	
Klorofil a					
Genel	5	44,685		64,944	
Nitrik Oksit (NO)	2	23,070	150,456**	10,897	124,151**
Tuz (NaCl)	1	12,005	156,587**	15,308	348,810**
NO x NaCl	2	9,610	62,673**	38,737	441,336**
Hata	12	0,920		0,526	
Klorofil b					
Genel	5	362,438		171,319	
Nitrik Oksit (NO)	2	5,102	125,739**	49,891	162,195**
Tuz (NaCl)	1	288,480	142,186**	2,952	19,196**
NO x NaCl	2	68,856	169,689**	118,475	385,159**
Hata	12	0,24347		1,845	
Karotenoid					
Genel	5	299,800		1015,885	
Nitrik Oksit (NO)	2	76,510	249,489**	516,040	3870,300**
Tuz (NaCl)	1	208,080	1357,043**	325,125	4876,875**
NO x NaCl	2	15,210	49,597**	174,720	1310,400**
Hata	12	1,840		0,800	

*** $P<0,001$; ** $P<0,010$; * $P<0,050$; öd: önemli değil

Tuz uygulaması çarliston çeşidi biber bitkilerinde toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve NaCl uygulanmamış kontrol grubunda toplam klorofil içeriği $66,58 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %16,1 oranında azalarak $55,84 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO toplam klorofil içeriğinde önemli artışa neden olmuş toplam klorofil miktarları sırasıyla %7,95 ve %12,9 oranlarında artış göstererek $60,28$ ve $63,09 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin yaprak fotosentetik pigment içeriklerine etkisi üzerine etkileri

NaCl Uygulaması (50 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
Toplam klorofil (µg g⁻¹)								
-NaCl	66,58 c	68,97 b	73,98 a	69,84 A	61,28 d	63,37 b	69,99 a	64,88 A
+NaCl	55,84 f	60,28 e	63,09 d	59,73 B	54,59 e	59,97 c	63,38 b	59,31 B
<i>Ortalama</i>	<i>61,21 C</i>	<i>64,62 B</i>	<i>68,53 A</i>		<i>57,93 C</i>	<i>61,67 B</i>	<i>66,68 A</i>	
Klorofil a (µg g⁻¹)								
-NaCl	46,50 b	45,40 c	47,20 a	46,36 A	45,10 e	44,50 d	49,50 a	46,36 A
+NaCl	42,90 e	44,20 d	47,10 a	44,73 B	44,10 d	46,16 c	47,70 b	45,98 B
<i>Ortalama</i>	<i>44,70 B</i>	<i>44,80 B</i>	<i>47,15 A</i>		<i>44,60 B</i>	<i>45,33 B</i>	<i>48,60 A</i>	
Klorofil b (µg g⁻¹)								
-NaCl	18,91 c	21,05 b	24,32 a	21,43 A	14,77 b	15,01 b	19,73 a	16,50 A
+NaCl	10,87 f	14,50 e	14,90 d	13,42 B	9,44 d	12,51 c	14,47 b	12,14 B
<i>Ortalama</i>	<i>14,89 C</i>	<i>17,77 B</i>	<i>19,61 A</i>		<i>12,10 C</i>	<i>13,77 B</i>	<i>17,11 A</i>	
Karotenoid (µg g⁻¹)								
-NaCl	20,90 c	23,40 b	27,90 a	24,06 A	26,80 c	32,20 b	42,50 a	33,83 A
+NaCl	15,40 e	17,90 d	18,50 d	17,26 B	21,30 f	21,80 e	22,90 d	22,00 B
<i>Ortalama</i>	<i>18,15 C</i>	<i>20,65 B</i>	<i>23,20 A</i>		<i>24,05 C</i>	<i>27,00 B</i>	<i>32,70 A</i>	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

NO uygulamalarının ortalaması olarak, NaCl uygulanmayan kontrol grubunda 69,84 µg g⁻¹ olan çarliston çeşidinin toplam klorofil içeriği 50 mM NaCl uygulaması ile %14,4 oranında azalma göstererek 59,73 µg g⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin toplam klorofil içeriği 61,21 µg g⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %5,5 ve %11,9 oranında artış göstererek 64,62 ve 68,53 µg g⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6).

Tuz uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde de toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve NaCl uygulanmamış kontrol grubunda toplam klorofil miktarı 61,28 µg g⁻¹ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %10,9 oranında azalarak 54,59 µg g⁻¹ olarak bulunmuştur.

50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO bitkilerde toplam klorofil içeriğinde %9,9 ve %16,1 oranlarında artışa neden olmuş toplam klorofil miktarları sırasıyla 59,97 ve 63,38 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama toplam klorofil miktarı 64,88 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile %8,58 oranında azalma göstererek 59,31 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama toplam klorofil miktarı 57,93 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %6,4 ve %15,1 oranında artış göstererek 61,67 ve 66,68 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Tuz uygulaması çarliston çeşidi biber bitkilerinde klorofil *a* miktarı üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *a* miktarı 46,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %7,7 oranında azalarak 42,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde klorofil *a* içeriğinde %3,03 ve 9,79 oranlarında artışa neden olmuş klorofil *a* miktarları sırasıyla 44,20 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 47,10 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama klorofil *a* içeriği 46,36 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile %3,5 oranında azalma göstererek 44,73 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama klorofil *a* miktarı 44,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %0,2 ve %5,2 oranında artış göstererek 44,80 ve 47,15 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6). 0 ve 25 μM NO uygulamalarının klorofil *a* miktarında meydana gelen değişim üzerine etkileri istatistiksel olarak aynı grupta yer alırken 50 μM NO uygulaması farklı grupta yer almıştır.

NO ve NaCl uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde klorofil *a* miktarı 45,10 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %2,2 oranında azalarak 44,10 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidine ait bitkilerde klorofil *a* içeriğinde %2,35 ve %5,76 oranlarında artışa neden olmuş klorofil *a* miktarları sırasıyla 46,16 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 47,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama klorofil *a* miktarı 46,36 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile %0,8 oranında azalma göstererek 45,98 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama klorofil *a* miktarı 44,60 mg kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %1,63 ve %8,96 oranında artış göstererek 45,33 ve 48,60 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (izelge 4.6).0 ve 25 μM NO uygulamalarının klorofil *a* miktarında meydana gelen değişim üzerine etkileri aynı istatistiksel grupta yer alırken 50 μM NO uygulaması farklı grupta yer almıştır.

Tuz uygulaması arliston çeşidi biber bitkilerinde klorofil *b* miktarı üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *b* miktarı 18,91 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %42,5 oranında azalarak 10,87 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO arliston çeşidi biber bitkilerinde klorofil *b* içeriğinde %23,32 ve %21,20 oranlarında artışa neden olmuş klorofil *b* miktarları sırasıyla 14,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 14,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen arliston çeşidinin ortalama klorofil *b* miktarı 21,43 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile %37,8 oranında azalma göstererek 13,42 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen arliston çeşidinin ortalama klorofil *b* içeriği 14,89 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %19,27 ve %32,14 oranında artış göstererek 17,77 ve 19,61 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (izelge 4.6).

Tuz uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde klorofil *b* miktarı üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *b* miktarı 14,77 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %36,1 oranında azalarak 9,44 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidine ait bitkilerde klorofil *b* içeriğinde %24,5 ve %36,1 oranlarında artışa neden olmuş klorofil *b* miktarları sırasıyla 12,51 ve 14,47 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama klorofil *b* miktarı 16,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ olan dolmalık çeşidinin klorofil *b* miktarı tuz (50 mM) uygulaması ile %26,4 oranında azalma göstererek 12,14 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama klorofil *b* içeriği 12,10 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %13,80 ve %41,40 oranında artış göstererek 13,77 ve 17,11 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (izelge 4.6). arliston ve dolmalık biber çeşitlerinin ikisinde de NaCl uygulaması bitkilerin klorofil *a* ve *b* içeriklerine önemli derecede azaltıcı etkide bulunmuştur. NaCl ile birlikte uygulanan NO yine her iki çeşitte de bitkilerin klorofil *a* ve *b* içerikleri zerine NaCl uygulamasından kaynaklanan negatif etkileri önemli derecede azaltmıştır.

Tuz uygulaması arliston çeşidi bitkilerde karotenoid miktarı üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde karotenoid miktarı 20,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %26,3 oranında azalarak 15,40 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO arliston çeşidine ait bitkilerde karotenoid içeriğinde %3,03 ve 9,79 oranlarında artışa neden olmuş karotenoid miktarları sırasıyla 17,90 ve 18,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (izelge 4.6). Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen arliston çeşidinin ortalama karotenoid miktarı 24,06 mg kg^{-1} olarak belirlenirken tuz (50 mM NaCl) uygulaması ile %28,3 oranında azalma göstererek 17,26 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen arliston çeşidinin ortalama karotenoid miktarı 18,15 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %13,77 ve %27,82 oranında artış göstererek 20,65 ve 23,20 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (izelge 4.6). Tuz uygulaması dolmalık çeşidinde karotenoid miktarı üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur (izelge 4.6). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde karotenoid miktarı 26,80 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %20,5 oranında azalarak 21,30 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μ M NO dolmalık çeşidine ait bitkilerde karotenoid içeriğinde %2,34 ve %7,51 oranlarında artışa neden olmuş karotenoid miktarları sırasıyla 21,80 ve 22,90 μ g g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama karotenoid miktarı 33,83 μ g g^{-1} olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile %35,0 oranında azalma göstererek 22,00 μ g g^{-1} olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μ M) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama karotenoid miktarı 24,05 μ g g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μ M NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %12,26 ve %35,96 oranında artış göstererek 27,00 ve 32,70 μ g g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Tuz uygulaması çarliston ve dolmalık çeşidi biber bitkilerinde fotosentetik pigment miktarlarında önemli azalmalara neden olmuştur. Bitkilerde en düşük fotosentetik pigment miktarları +NaCl ve -NO uygulaması altında yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir (Çizelge 4.6). 25 ve 50 μ M NO uygulamaları bitkilerde fotosentetik pigment miktarlarında tuz stresinden kaynaklı negatif etkilerin azaltılmasına neden olmuş ve bitkilerin fotosentetik pigment miktarları önemli miktarda artmıştır. Her iki çeşitte de en yüksek fotosentetik pigment miktarları 50 μ M NO ve -NaCl uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 4.6). Bitkilerde tuz stresinin tipik belirtisinin hücre uzamasının inhibasyonuna bağlı büyüme geriliği olduğunu bildiren araştırmacılar, bunun yanında bitkilerde tuz stresine bağlı olarak fotosentetik pigment miktarlarında meydana gelen azalmanın, tuz miktarına bağlı olarak aktivasyonu artan klorofilaz enziminden kaynaklı olabileceğini rapor etmişlerdir (Rao ve Rao, 1981, Yaşar ve ark. 2008, Noreen ve Ashraf, 2009, Sevgör ve ark 2011). Bitkilerde klorofil miktarı ve fotosentetik aktivitenin artan tuz miktarı ile ters orantılı olduğu bilinmektedir (Ota ve Yasue, 1962).

Tuz stresi altındaki bitkilerde klorofil degradasyonu yansira klorofil sentezinde meydana gelen azalma bitkilerde fotosentetik aktivite kaybına yol açarak (Rasool ve ark. 2013), hücre ve dokularda yaşlanmaya ve bitkilerde büyümede gerilemeye neden olmaktadır (Garg ve Manchanda, 2009). Tuz stresi, bahsedilen negatif etkilerin yanı sıra reaktif oksijen türlerinin artmasına sebep olarak oksidatif stresi uyarıcı etki yapar (Parida ve Das 2005) bu durum bitki dokularında ve hücrelerde zararlanmalara neden olur (Gao ve ark 2008).

Çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz verilere benzer olarak, birçok araştırmacı yaptıkları çalışmalarda tuz stresinin bitkilerde klorofil miktarında önemli azalmalara neden olduğunu rapor etmişlerdir (Turan ve ark. 2007, Colla ve ark. 2008, Dhanapackiam ve Muhammad İlyas 2010, Molazem ve ark. 2010, Sevengör ve ark. 2011, Akça ve Samsunlu 2012, Kaouther ve ark. 2012). Yarsi ve ark. (2017) kavun bitkisiyle yaptıkları çalışmada tuz stesi altında yetiştirilen bitkilerde toplam klorofil, klorofil *a*, klorofil *b* ve karotenoid miktarlarında önemli derecede azalmalar olduğunu saptamışlardır. Simillie ve Nott (1982) tuz stresine bağlı fotosentetik pigmentlerdeki azalmanın fotosistem II aktivitesinde meydana gelen gerileme olarak düşünüldüğünü belirtmişlerdir. Benzer bir çalışma da tuz stresi altındaki bitkilerde fotosistem I'in fotosistem II'ye göre daha stabil kaldığını belirten araştırmacılar; tuzun fotosentetik pigmentler üzerinde meydana getirdiği hasarı, tuzun tillakoid membranlarında ve ışık toplama komplekslerindeki azalmaya neden olarak fotosistemler arasında bozulmaya neden olması olarak açıklamışlardır.

Najar ve ark (2019) yaptıkları çalışmada tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerde fotosentetik pigment miktarlarında önemli ölçüde azalma olduğunu belirterek, Na iyonunun bitki yapraklarında aşırı birikiminin klorofil pigmentlerinin değişimine veya biyosentezinin kısıtlanmasına neden olarak bitkilerde yaprak klorozu meydana gelmesine sebep olduğunu rapor etmişlerdir. Benzer şekilde; çalışmamız sonuçlarına paralel sonuçlar elde edilen birçok araştırmada tuz fazlalığında yapraklarda Na birikiminin artması nedeniyle fotosentetik pigmentlerin biyosentezinin azaldığı rapor edilmiştir (Degl'Innocenti ve ark. 2009, Tavakkoli ve ark. 2010, Ben Salah ve ark. 2010, Najar ve ark. 2019).

NO hücre ve fotosentetik pigmentlerin de arasında bulunduğu hücre organellerinin membranlarını tuz stresine bağlı toksisiteden koruyarak, fotosentetik pigmentlerde meydana gelen azalmanın engellenmesine neden olur (Kausar ve ark. 2013). Tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerde NO uygulamasının bitkilerin fotosentetik pigment içeriklerinde artış meydana getirdiği yapılan birçok çalışmada rapor edilmiştir (Ruan ve ark. 2004, Wu ve ark. 2011, Habib ve ark. 2016, Kong ve ark 2016, Turfan 2016, Yordanova ve ark. 2017).

NO'in bitkilerde klorofil ve mitokondrinin sentez bileşenlerini ve protein moleküllerini artırabileceği yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Simontacchi ve ark. 2015). Shi ve ark (2016) brokoli bitkisinde yaptıkları çalışma sonucunda NO vericisi olarak uyguladıkları SNP'in bitkilerde klorofil degradasyonuna sebep olan klorofilaz I, klorofilaz II, klorofilaz III, peroksidaz, Mg-şeletaz enzimlerinin aktivasyonunu azaltarak klorofilin yapısal bozunmalarını engellediğini rapor etmişlerdir. Yapılan benzer çalışmalarda NO vericisi olarak kullanılan SNP'in bitkilerde strese bağlı fotosentetik pigment zararlanmalarının ve rubisco başta olmak üzere çözünebilir proteinlerin degradasyonunu önlediği bildirilmiştir (Tian ve Lei., 2007, Shalan ve ark 2012).

4.1.4. Bitkilerin Çözünabilir Protein Miktarları

Tuzlu ortamda yetiştirilen (50 mM) çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinde artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin çözünabilir protein miktarları üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.7'de ve çözünabilir protein miktarlarına ait ortalamalar Çizelge 4.8'de verilmiştir. Çizelge 4.7 ve 4.8'in birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin çözünabilir protein miktarları üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının ve NaCl uygulamasının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Çarliston çeşidi biber bitkisinde NO x NaCl interaksiyonunun etkisi $P<0,05$ olasılık düzeyinde önemli bulunurken, dolmalık çeşidinde NO x NaCl interaksiyonunun etkisi $P<0,01$ olasılık düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünabilir protein miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Genel	5	3985,244		3007,102	
Nitrik Oksit (NO)	2	52,053	40,632**	104,350	45,184**
Tuz (NaCl)	1	3926,161	612,930**	2869,283	248,480**
NO x NaCl	2	7,030	5,487*	33,467	14,491**
Hata	12	7,686		12,856	

*** $P<0,001$; ** $P<0,010$; * $P<0,050$; öd: önemli değil

Tuz uygulaması çarliston çeşidinde çözünebilir protein miktarları üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.8). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde çözünebilir protein miktarları 54,04 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %53,6 oranında azalarak 25,09 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO çarliston çeşidinde çözünebilir protein miktarlarında %7,61 ve 16,94 oranlarında artışa neden olmuş ve çözünebilir protein miktarları sırasıyla 27,00 mg prot g⁻¹ YA ve 29,34 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünebilir protein miktarları (mg prot g⁻¹ YA) üzerine etkisi

NaCl Uygulaması (50 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
-NaCl	54,04 b	58,28 a	57,73 a	56,58 A	55,98 b	56,73 ab	58,51 a	57,07 A
+NaCl	25,09 e	27,00 d	29,34 c	27,14 B	27,38 e	31,50 d	36,59 c	31,82 B
Ortalama	39,56 C	42,64 B	43,53 A		41,68 C	44,12 B	47,55 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama çözünebilir protein miktarları 56,58 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile %52,0 oranında azalma göstererek 27,14 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin çözünebilir protein miktarları 39,56 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenirken, 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %7,79 ve %10,04 oranında artış göstererek 42,64 ve 43,53 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8).

Tuz uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde çözünebilir protein miktarları üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.8). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde çözünebilir protein miktarları 55,98 mg prot g⁻¹ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %51,1 oranında azalarak 27,38 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur.

50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μ M NO dolmalık çeşidine ait bitkilerde çözünebilir protein içeriğinde %15,04 ve %33,64 oranlarında artışa neden olmuş ve çözünebilir protein miktarları sırasıyla 31,50 ve 36,59 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin çözünebilir protein miktarları 57,07 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenirken, tuz (50 mM) uygulaması ile %44,2 oranında azalma göstererek 31,82 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μ M) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama çözünebilir protein miktarları 41,68 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenirken, 25 ve 50 μ M NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %5,85 ve %14,08 oranında artış göstererek 44,12 ve 47,55 mg prot g^{-1} YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8).

Tuz uygulaması altında yetiştirilen biber bitkilerinde çözünebilir protein miktarları önemli miktarda azalmıştır. Bitkilerde en düşük çözünebilir protein içeriği +NaCl ve +NO uygulamalarından elde edilmiştir. 25 ve 50 μ M NO uygulaması ile bitkilerde çözünebilir protein miktarı önemli miktarda artış göstermiş ve en yüksek çözünebilir protein miktarı -NaCl ve +NO uygulamasından elde edilmiştir. Tuz uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde de en yüksek çözünebilir protein miktarı 50 μ M NO uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.8). Tuz stresi bitkilerde büyük miktarda ROT oluşumuna neden olarak, proteinlerin, lipidlerin ve nükleik asitlerin oksidasyonu nedeniyle hücresel düzeyde anormalliklere yol açar (Schützendübel ve Polle 2002, Ahmad ve ark. 2008, 2010, Hayat ve ark. 2012). Yapılan birçok çalışmada tuz uygulamasının bitkilerde çözünebilir protein miktarında önemli azalmalara neden olduğu bildirilmiştir (El-Shintinawy ve Shourbagy 2001, Sekmen ve ark. 2005, Kara ve ark. 2011, Çulha ve Çakırlar 2011). Kara ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada; tuz stresi altındaki bitkilerde çözünebilir protein miktarının azalmasını, bitki dokularında aşırı miktarda biriken sodyum (Na^{+}) iyonunun bitkilerin potasyum (K^{+}) alımını, klor (Cl^{-}) iyonunun ise nitrat (NO_3) alımını engellediği ve bitkinin iyon dengesinin bozulmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Tuz stresi bitkilerde reaktif oksijen türlerinin artmasına sebep olarak oksidatif stresi uyarıcı etki yapar (Parida ve Das 2005) ve bu durum bitki dokularında ve hücrelerde zararlanmalara neden olur (Gao ve ark 2008).

Tuzluluğa bağlı ROT üretimini bitkilerde protein, lipid ve deoksi ribonükleik asit (DNA) gibi hayati hücrel fonksiyonları olan bileşiklerin oksidatif hasarına yol açtığı bilinmektedir (Gupta ve Huang 2014). Tuz stresine tepki olarak bitkilerde prolin miktarındaki artış sistein, arjinin ve metiyonin gibi amino asitlerin miktarında önemli azalmalara neden olur (Ben Ahmed ve ark. 2010). Prolin bitkilerde tuz stresine karşı korumada önemli role sahip bir bileşik olmasının yanında, bitkilerde konsantrasyonunun artması azot metabolizma dengesinin bozulmasına ve protein zincir mekanizmasının bozulmasına neden olmaktadır (El-Shintinawy ve ark. 2001, Matysik ve ark, 2002, Saxena ve ark. 2013).

4.1.5. Bitkilerin Kimi Stres Parametresi (H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA) İçerikleri

Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda NO uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin hidrojen peroksit (H₂O₂), lipid peroksidasyon (MDA), prolin ve askorbik asit (AsA) miktarları üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.9'da ve MDA, H₂O₂ prolin ve AsA miktarlarına ait ortalamalar Çizelge 4.10'da verilmiştir. Çizelge 4.9 ve 4.10'un birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, prolin ve AsA miktarları üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının ve NaCl uygulamasının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). NO x NaCl interaksiyonunun çarliston çeşidi biber bitkisinde MDA üzerine olan etkisi ($P<0,05$) hariç diğer tüm parametreler ve çeşitlerde NO x NaCl interaksiyonunun etkisi $P<0,01$ olasılık düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.9).

Tuz uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde H₂O₂ miktarları üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.10). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde H₂O₂ miktarları 14,90 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %57,05 oranında artarak 23,40 $\mu\text{mol g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde H₂O₂ miktarlarında %17,8 ve %33,1 oranlarında azalmaya neden olmuş ve H₂O₂ miktarları sırasıyla 19,24 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA ve 15,65 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.9. Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, prolin ve AsA miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
H₂O₂					
Genel	5	198,300		106,9102	
Nitrik Oksit (NO)	2	36,902	415,341**	54,772	49,016**
Tuz (NaCl)	1	86,286	382,189**	38,866	69,563**
NO x NaCl	2	75,111	970,310**	13,270	21,875*
Hata	12	6,10		6,704	
MDA					
Genel	5	42,616		54,587	
Nitrik Oksit (NO)	2	24,128	138,032**	4,272	24,950**
Tuz (NaCl)	1	15,096	43,183**	46,496	543,118**
NO x NaCl	2	3,391	9,700*	2,818	22,303**
Hata	12	2,097		1,027	
Prolin					
Genel	5	8,876		1,704	
Nitrik Oksit (NO)	2	0,940	92,009**	0,827	200,139**
Tuz (NaCl)	1	7,774	1521,184**	10,427	5045,430**
NO x NaCl	2	0,161	15,751**	0,449	108,784**
Hata	12	0,061		0,024	
AsA					
Genel	5	24581,621		52924,667	
Nitrik Oksit (NO)	2	16519,414	1728,779**	27110,333	2346,087**
Tuz (NaCl)	1	7240,056	1515,360**	24938,889	4316,346**
NO x NaCl	2	822,111	86,0349**	875,444	1958,7596**
Hata	12	57,333		69,333	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,010$; * $P < 0,050$; öd: önemli değil

Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin H₂O₂ miktarı 14,80 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile %29,59 oranında artış göstererek 19,18 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama MDA miktarları 6,37 nmol g^{-1} YA olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile sırasıyla %22,3 ve %34,9 oranında azalma göstererek 4,95 ve 4,15 nmol g^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10). NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin H₂O₂ miktarları 18,78 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %9,9 ve %18,6 oranında azama göstererek 16,92 ve 15,28 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, prolin ve AsA miktarları üzerine etkisi

NaCl Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
H₂O₂ (µmol g⁻¹ YA)								
-NaCl	14,90cd	14,60cd	14,16 d	14,80 B	12,19 cd	11,92 cd	10,88 d	11,97 B
+NaCl	23,40 a	19,24 b	15,65 c	19,18 A	18,41 a	14,12 b	13,09 bc	14,90 A
Ortalama	18,78 A	16,92 B	15,28 C		15,75 A	13,02 B	11,54 C	
MDA (nmol g⁻¹ YA)								
-NaCl	4,65 c	3,87 d	3,49 d	4,00 B	2,30 d	2,23 d	2,24 d	2,26 B
+NaCl	8,09 a	6,04 b	4,82 c	6,32 A	6,73 a	5,23 b	4,45 c	5,47 A
Ortalama	6,37A	4,95 B	4,15 C		4,52 A	3,73 B	3,35 C	
Prolin (mg g⁻¹)								
-NaCl	0,57 d	0,48 d	0,25 e	0,43 B	0,31 d	0,33 d	0,18 e	0,27 B
+NaCl	2,12 a	1,79 b	1,33 c	1,75 A	2,23 a	1,83 b	1,33 c	1,79 A
Ortalama	1,35 A	1,13 B	0,79 C		1,27 A	1,08 B	0,75 C	
AsA (nmol g⁻¹)								
-NaCl	244,66d	240,66e	214,66 f	233,32 A	250,33 d	225,33 e	189,33 f	221,66 B
+NaCl	331,00a	280,66b	272,66c	294,77 B	361,33 a	294,00b	267,66 c	307,66 A
Ortalama	287,83A	260,66B	243,66C		305,83 A	259,66B	228,49 C	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Tuz uygulaması (50 mM) dolmalık çeşidine ait bitkilerde de H₂O₂ miktarları üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.10). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde H₂O₂ miktarları 12,19 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %51,03 oranında artarak 18,41 µmol g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO dolmalık çeşidinde H₂O₂ miktarlarında %23,3 ve %28,9 oranlarında azalmaya neden olmuş H₂O₂ miktarları sırasıyla 14,12 ve 13,09 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama H₂O₂ miktarları 11,97 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile %24,48 oranında artış göstererek 14,90 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama H₂O₂ miktarları 15,75 µmol g⁻¹ YA olarak bulunurken, 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %17,3 ve %26,7 oranında azama göstererek 13,02 ve 11,54 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10).

Tuz uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde MDA miktarları üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.10). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde MDA miktarları 4,65 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %73,98 oranında artarak 8,09 nmol g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO çarliston çeşidine ait bitkilerde MDA miktarlarında %25,3 ve %40,4 oranlarında azalmaya neden olmuş ve MDA miktarları sırasıyla 6,04 ve 4,82 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama MDA miktarları 4,00 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile %58,00 oranında artış göstererek 6,32 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10). NO uygulanmayan (0 µM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama MDA miktarları 6,37 nmol g⁻¹ YA olarak bulunurken, 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile sırasıyla %22,3 ve %34,9 oranında azalma göstererek 4,95 ve 4,15 nmol g⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10).

Tuz uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde MDA miktarları üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.10). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde MDA miktarları 2,30 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer 2,93 kat artarak 6,73 nmol g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO dolmalık çeşidine ait bitkilerde MDA miktarları %22,3 ve %33,9 oranlarında azalmaya neden olmuş ve MDA miktarları sırasıyla 5,23 ve 4,45 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Tuz uygulaması yapılmayan (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama MDA miktarları 2,26 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken, tuz (50 mM) uygulaması ile 2,42 kat artış göstererek 5,47 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama MDA miktarları 4,52 nmol g⁻¹ YA olarak bulunurken, 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %17,5 ve 25,9 oranlarında önemli azalma göstererek 3,73 ve 3,35 nmol g⁻¹ YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10).

Tuz uygulaması çarliston çeşidinde prolin miktarları üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.10).

NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde prolin miktarları $0,57 \text{ mg g}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer 3,72 kat oranında artarak $2,12 \text{ mg g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde prolin miktarında %15,6 ve %37,3 oranlarında artışa neden olmuş ve prolin miktarları sırasıyla $1,79$ ve $1,33 \text{ mg g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan ($0 \mu\text{M}$) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama prolin miktarları $1,35 \text{ mg g}^{-1}$ olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %16,3 ve %41,5 oranında azalma göstererek $1,13$ ve $0,79 \text{ mg g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10).

Tuz uygulaması dolmalık çeşidinde prolin miktarları üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.10). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde prolin miktarları $0,31 \text{ mg g}^{-1}$ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer 7,19 kat artarak $2,23 \text{ mg g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidinde prolin miktarında %17,9 ve %40,4 oranlarında azalmaya neden olmuş prolin miktarları sırasıyla $1,83$ ve $1,33 \text{ mg g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama prolin miktarı $0,27 \text{ mg g}^{-1}$ olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile 6,63 kat artış göstererek $1,79 \text{ mg g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10). NO uygulanmayan ($0 \mu\text{M}$) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık biber bitkilerinin ortalama prolin miktarı $1,27 \text{ mg g}^{-1}$ olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %15,0 ve %40,9 oranında azalma göstererek $1,08$ ve $0,75 \text{ mg g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10).

Tuz uygulaması çarliston çeşidinde AsA miktarları üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.10). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde AsA miktarı $244,7 \text{ nmol g}^{-1}$ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %35,3 oranında artarak $331,0 \text{ nmol g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO AsA miktarlarında %15,2 ve %17,6 oranlarında azalmaya neden olmuş ve AsA miktarları sırasıyla $280,7$ ve $272,7 \text{ nmol g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10).

Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen arliston biber bitkilerinin ortalama AsA miktarları 233,3 nmol g⁻¹ olarak belirlenirken, tuz (50 mM) uygulaması ile %26,36 oranında artış göstererek 294,8 nmol g⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen arliston çeşidinde ortalama AsA miktarları 287,8 nmol g⁻¹ olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %9,4 ve %15,3 oranında azalma göstererek 260,7 ve 243,7 nmol g⁻¹ olarak belirlenmiştir (izelge 4.10).

Tuz uygulaması dolmalık eşidinde AsA miktarları üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (izelge 4.10). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde AsA miktarları 250,3 nmol g⁻¹ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %44,35 oranında artarak 361,3 nmol g⁻¹ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık eşidinde AsA miktarında %18,6 ve %25,9 oranlarında azalmaya ve neden olmuş AsA miktarları sırasıyla 294,0 nmol g⁻¹ ve 267,7 nmol g⁻¹ olarak belirlenmiştir (izelge 4.10). Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama AsA miktarları 221,7 nmol g⁻¹ olarak belirlenirken tuz (50 mM) uygulaması ile %38,79 oranında artış göstererek 307,7 nmol g⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinde ortalama AsA miktarı 305,8 nmol g⁻¹ olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %151 ve %25,3 oranında azalma göstererek 259,7 ve 228,5 nmol g⁻¹ olarak bulunmuştur (izelge 4.10).

Tuz stresi altında bitkilerde iyon dengesi bozulmasından kaynaklanan metabolik işlevler aksamakta ve buna bağlı olarak bitkilerde büyüme ve gelişme gerilemektedir. Bitkilerin osmotik ve iyonik streslere karşı verdiği yanıtların çoklu gen ağı ile sağlandığı ve bu nedenle çok karmaşık metabolik olaylar gerçekleştiği bilinmektedir (Abogadallah 2010). Oksidatif stres koşulları altında bitkilerde üretilen H₂O₂ bitkilerde hücre yıkımına yol açan reaktif oksijen türlerinin alt molekülüdür. Bitkilerde H₂O₂ enzimatik olmayan yollarla üretildiği gibi, SOD enzimi tarafından katalizlenen dismutasyon reaksiyonu sonucu süperoksit radikalının H₂O₂'ye dönüşmesi sonucu oluşur.

Yaptığımız çalışmada her iki biber çeşidinde de en yüksek H₂O₂ miktarı -NO +NaCl uygulamalarında yetiştirilen bitkilerden elde edilmiş, tuz uygulamasının H₂O₂ miktarını önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Tuz stresine maruz kalan bitkilerde H₂O₂ ve MDA üretiminin arttığı ve dolayısıyla hücre zarı geçirgenliğinin bozularak oksidatif hasarlanmayı arttırdığı bilinmektedir (Hernandez ve ark. 2000, Jain ve ark. 2001, Desikan ve ark. 2004, Demiral ve Turkan 2005, Mandhania ve ark. 2006, Mazid ve ark. 2011, Çulha ve Çakırlar 2011). Bitki hücrelerinde, kloroplastlarda, mitokondrilerde ve peroksizomlarda sözkonusu oksidatif hasarlanma sonucu üretilen hidrojen peroksit (H₂O₂), süperoksit radikali (O₂^{•-}) ve hidroksil radikali (OH[•]) gibi aktif radikaller; lipidlerin degradasyonuna, protein ve nükleik asitlerde oksidatif zararlanmaya yol açarlar (Demiral 2003). Lipid peroksidasyon oksidatif hasarın belirlenmesinde en çok kullanılan parametrelerden biridir. Lipid peroksidasyonun belirlenmesinde bir ara ürün olan malondehaldehit (MDA) kullanılır (Hernandez ve ark, 2000, Khan ve Panda, 2008). MDA bitkilerde, stres koşulları altında hücre zarındaki doymamış yağ asitlerinin ROT'ların birikmesi ile oksidasyona uğraması sonucu oluşur (Hernandez ve ark 2000). Yaptığımız çalışmada her iki çeşit biber bitkisinde de tuz stresi altında MDA miktarlarında önemli artışlar olduğu belirlenmiştir. Bitkilerde en yüksek MDA miktarı +NaCl ve -NO koşullarında yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir (Çizelge 4.10). Tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerde MDA miktarında meydana gelen artış yapılan birçok çalışmada bildirilmiştir (Nagesh ve Devaraj 2008, Kaymakanova ve Stoeva 2008, Taïbi ve ark. 2016).

Tuz stresi altında bitkiler ozmotik zararlanmaya karşı koruyucu etkileri olan bileşikler biriktirirler. Bu bileşiklerin en önemlileri prolin ve çözünebilir şekerlerdir. Bu metabolitlerin birikimi bitkilerde tuz stresi koşullarında bitkilerin dış ozmotik strese karşı verdikleri ortak tepkilerden biridir (Munns ve Tester 2008, Chelli-Chaabouni ve ark. 2010). Yaptığımız çalışmada her iki biber çeşidinde de en yüksek prolin birikimi -NO +NaCl uygulamalarında yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir (Çizelge 4.10).

Prolinin bitkide bir ozmolit olarak hareket etmesinin yanında; hücre altı yapıları ve hücre içi redoks dengeleyici, enzim koruyucu, serbest radikal temizleyici ve hücre içi pH tampon stabilizatörü olarak görev aldığını belirten Rahneshan ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada tuz stresi altında yetiştirdikleri fıstık çeşitlerinde prolin miktarının önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir.

Çalışmamız sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilen birçok çalışmada tuz stresi koşullarında bitkilerde prolin miktarında artış olduğu rapor edilmiştir (Hokmabadi ve ark. 2005, Hasegawa ve ark. 2000, Chelli-Chaabouni ve ark. 2010, Karimi ve Maleki Kuhbanani 2014). Tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerde NO uygulaması prolin birikimini önemli ölçüde azaltmıştır. 50 mM NaCl uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde en düşük prolin miktarı 50 µM NO uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.10). López-Carrión ve ark. (2008) tuz stresi altında yetiştirdikleri bitkilerde NO uygulaması ile prolin birikiminde azalma meydana geldiğini bildirmiş ve prolin miktarındaki bu azalmayı NO uygulamaları ile prolin dehidrojenaz enzim aktivitesinin artması ile açıklamışlardır.

Askorbik asit [C Vitamini (AsA)], bir antioksidan molekülü olup, reaktif oksijen türlerinin detoksifikasyonu için önemli bir substrattır (Foyer ve Noctor 2011, Qian ve ark. 2014). Bitki askorbik asit (AsA) seviyesi dış faktörlere, gelişim evresine, günlük ritim ve ışığa bağlı olarak değişmekle birlikte, redoks durumu hücredeki redoks homeostazı ile ilişkilidir. AsA'nın fizyolojik olarak aktif formu, askorbat olarak adlandırılan anyonik formdur ve askorbat bitki bünyesinde suda çözünebilen bir antioksidan molekülüdür. Askorbatın bitkilerde stres sinyal mekanizmasıyla doğrudan ilişkili olduğu ve stres mekanizmasındaki akışı düzenleyerek bitkilerin strese karşı verdikleri moleküler cevaplara katıldığı bilinmektedir (Zechmann, 2011, Shapiguzov ve ark. 2012). Hücrelerin redoks tamponlama kapasiteleri bitkilerdeki AsA miktarına bağlıdır. Bitkilerde AsA'in en önemli rolü, lipid ve proteinlerin yapılarını oksidatif zararlanmaya karşı korumaktır (Naz ve ark. 2016).

Çalışmamızda en yüksek AsA miktarı 50mM NaCl uygulaması altında yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir ve NO uygulamasıyla her iki biber çeşidine ait bitkilerde de AsA miktarları önemli miktarda artış göstermiştir (Çizelge 4.10). Yapılan çalışmalarda eksojen uygulanan NO'nin bitkilerde AsA üretimini arttırdığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar bu artışı stres koşullarında bitkilerde NO ve AsA moleküllerinin üretiminin doğrusal korelasyon gösterdiği şeklinde açıklamışlardır. Habib ve ark 2016 yaptıkları çalışmada tuz stesi koşullarında bitkilerin AsA miktarlarında artış meydana geldiğini belirterek, NO vericisi olarak uygulanan SNP'in bitkilerde AsA miktarını arttırdığını rapor etmişlerdir. NO uygulaması sonucunda bitkilerde AsA miktarında meydana gelen artış NO uygulamasıyla bitkilerde NO₂'nin hücrel antioksidatif savunma mekanizmasının aktivasyonuna dahil olması şeklinde açıklanmıştır (Zeng ve ark. 2011, Habib ve ark. 2016).

Bunun yanında kuraklık stresi ile yapılan çalışmalarda da NO'nin eksojen uygulanması sonucunda bitkilerde AsA içeriğinin arttığı belirlenmiştir (Shehab ve ark. 2010). Benzer şekilde, olumsuz çevresel koşulları altında eksojen NO uygulamasının toplam fenolik içeriğinin de önemli ölçüde arttığı rapor edilmiştir (Shehab ve ark. 2010, Buss ve ark. 2011).

4.1.6. Bitkilerin Kimi Antioksidatif Enzim (SOD, APX, GR, CAT, POD) Aktivitelerine Etkisi

Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1), askorbat peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11), glutatyon redüktaz (GR; EC 1.6.4.2), katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) ve peroksidaz (POD EC 1.11.1.7) enzim aktiviteleri üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.11'de ve SOD, APX, GR, CAT, POD enzim aktivitelerine ait ortalamalar Çizelge 4.12'de verilmiştir. Çizelge 4.11 ve 4.12'nin birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; çarliston çeşidinde SOD enzim aktivitesine NO x NaCl interaksyonunun etkisi ($P<0,05$) hariç, biber çeşitleri ve bahsi geçen tüm enzim aktiviteleri üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamaları, NaCl uygulamaları ve NO x NaCl interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.11. Tuz stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT, POD miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
SOD					
Genel	5	625,286		610,363	
Nitrik Oksit (NO)	2	509,381	79,086**	395,843	58,355**
Tuz (NaCl)	1	73,658	22,872**	100,242	29,555**
NO x NaCl	2	42,247	6,559*	114,278	16,847**
Hata	12	77,289		81,399	
APX					
Genel	5	699,123		758,359	
Nitrik Oksit (NO)	2	71,377	17,223**	67,744	38,937**
Tuz (NaCl)	1	619,110	74,697**	680,641	195,604**
NO x NaCl	2	8,635	21,041 **	9,973	20,866 **
Hata	12	49,729		20,87	
GR					
Genel	5	704,769		593,218	
Nitrik Oksit (NO)	2	589,361	3929,074**	438,760	5893,791**
Tuz (NaCl)	1	96,605	1288,067**	146,205	3927,896**
NO x NaCl	2	18,803	125,355**	8,2533	110,865**
Hata	12	0,900		0,446	
CAT					
Genel	5	753,769		675,864	
Nitrik Oksit (NO)	2	660,345	147,108**	585,700	68,796**
Tuz (NaCl)	1	85,499	38,094**	77,211	18,185**
NO x NaCl	2	7,924	11,765 **	12,952	19,525 **
Hata	12	26,932		50,948	
POD					
Genel	5	31,396		27,478	
Nitrik Oksit (NO)	2	0,497	13,796**	1,243	20,345**
Tuz (NaCl)	1	1,333	20,347**	0,933	30,563**
NO x NaCl	2	29,534	225,491**	25,301	414,018**
Hata	12	0,786		0,366	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,010$; * $P < 0,050$; öd: önemli değil

Tuz uygulaması çarliston çeşidi biber bitkilerinde SOD enzim aktivitesi üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.12). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde SOD enzim aktivitesi $9,87 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %22,49 oranında artarak $12,09 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesinde %32,67 ve %100,06 oranlarında artışa neden olmuş ve SOD enzim aktivitesi sırasıyla $16,04 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ ve $24,26 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Tuz stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT, POD enzim aktivite miktarları

NaCl Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
SOD (Umin⁻¹ mg prot⁻¹)								
- NaCl	9,87 d	15,24 c	17,87 b	14,33 B	10,44 d	17,06 b	16,39 b	14,63 B
+ NaCl	12,09 d	16,04bc	24,26 a	17,46 A	13,34 c	16,36 b	25,17 a	18,29 A
Ortalama	10,95 C	15,64 B	21,06 A		11,89 C	16,71 B	20,78 A	
APX (nmol min⁻¹ mg prot⁻¹)								
- NaCl	12,73 e	14,39 d	24,44 b	17,19 B	8,42 e	12,17 d	21,54 b	13,91 B
+ NaCl	15,42 d	17,75 c	30,35 a	21,17 A	11,77 d	13,90 c	27,30 a	17,79 A
Ortalama	14,08 C	16,07 B	27,39 A		10,29 C	12,83 B	24,42 A	
GR (nmol min⁻¹ mg prot⁻¹)								
- NaCl	8,10 f	16,03 d	21,13 b	15,08 B	7,16 f	11,06 d	18,10 b	11,83 B
+ NaCl	13,10 e	18,00 c	28,06 a	19,72 A	10,23 e	17,40 c	24,13 a	17,53 A
Ortalama	10,60 C	17,01 B	24,60 A		9,11 C	13,81 B	21,11 A	
CAT (µmol min⁻¹ mg prot⁻¹)								
- NaCl	12,80 e	15,81 d	25,45 b	18,02 B	13,91 f	15,71 e	25,01 b	18,21 B
+ NaCl	15,81 d	19,72 c	31,61a	22,38 A	16,25 d	19,38 c	31,43 a	22,35 A
Ortalama	14,31 C	17,76 B	28,35 A		15,05 C	17,54 B	28,22 A	
POD (mg prot⁻¹)								
- NaCl	2,50 e	4,03 c	6,03 a	4,18 B	3,50 e	4,50 d	5,04 c	4,34 B
+ NaCl	3,33 d	4,80 b	6,06 a	4,73 A	5,66 c	6,76 b	7,03 a	6,48 A
Ortalama	2,92 C	4,42 B	6,04 A		4,58 C	5,63 B	6,03 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama SOD enzim aktivitesi 14,33 U min⁻¹ mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, tuz (50 mM) uygulaması ile %21,84 oranında artış göstererek 17,46 U min⁻¹ mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin SOD enzim aktivitesi 10,95 U min⁻¹ mg prot⁻¹ olarak bulunurken, 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %43,83 ve %92,33 oranında artış göstererek 15,64 ve 21,06 U min⁻¹ mg prot⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Tuz uygulaması dolmalık çeşidinde SOD enzim aktivitesi üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.12).

NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde SOD enzim aktivitesi $10,44 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %27,78 oranında artarak $13,34 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidinde SOD enzim aktivitesinde %22,64 ve %88,68 oranlarında artışa neden olmuş SOD enzim aktivitesi sırasıyla $16,36$ ve $25,17 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.12). Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama SOD enzim aktivitesi $14,63 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, tuz (50 mM) uygulaması ile %25,02 oranında artış göstererek $18,29 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama SOD enzim aktivitesi $11,89 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %40,54 ve %74,77 oranında artış göstererek $16,71$ ve $20,78 \text{ U min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Tuz uygulaması çarliston çeşidinde APX enzim aktivitesi üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.12). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde APX enzim aktivitesi $12,73 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %21,13 oranında artarak $15,42 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidinde APX enzim aktivitesinde %15,11 ve 96,82 oranlarında azalmaya neden olmuş ve APX enzim aktivitesi sırasıyla $17,75$ ve $30,35 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin APX enzim aktivitesi $17,19 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken tuz (50 mM NaCl) uygulaması ile %76,55 oranında artış göstererek $21,17 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin APX enzim aktivitesi 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile sırasıyla %14,13 ve %94,53 oranında artış göstererek $16,07$ ve $27,39 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Tuz uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde APX enzim aktivitesi üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.12).

NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde APX enzim aktivitesi $8,42 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer $11,77 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidine ait bitkilerde APX enzim aktivitesinde artışa neden olmuş ve APX enzim aktivitesi sırasıyla $13,90$ ve $27,39 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Tuzsuz (0 mM NaCl) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama APX enzim aktivitesi $13,91 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, tuz (50 mM NaCl) uygulaması ile %27,89 oranında artış göstererek $17,79 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama APX enzim aktivitesi $10,29 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile sırasıyla %24,68 ve %137,32 oranında artış göstererek $12,83$ ve $24,42 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Tuz uygulaması çarliston çeşidinde GR enzim aktivitesi üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.12). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde GR enzim aktivitesi $8,10 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %61,73 oranında artarak $13,10 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesinde %37,40 ve %114,20 oranlarında artışa neden olmuş ve GR enzim aktivitesi sırasıyla $18,00$ ve $28,06 \text{ nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Tuzsuz (0 mM NaCl) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama GR enzim aktivitesi $15,08 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ belirlenirken, tuz (50 mM) uygulaması ile %30,77 oranında artış göstererek $19,72 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen bitkilerde GR enzim aktivitesi $10,60 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %60,47 ve %132,08 oranında artış göstererek $17,01$ ve $24,60 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Tuz uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde GR enzim aktivitesi üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.12).

NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde GR enzim aktivitesi $7,16 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken NaCl uygulaması ile bu değer %42,88 oranında artarak $10,23 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidine ait bitkilerde GR enzim aktivitesinde %70,09 ve %135,87 oranlarında artışa neden olmuş ve GR enzim aktivitesi sırasıyla $17,40$ ve $24,13 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.12). Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama GR enzim aktivitesi $11,83 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, tuz (50 mM) uygulaması ile %48,18 oranında artış göstererek $17,53 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama GR enzim aktivitesi $9,11 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %51,59 ve %131,72 oranında artış göstererek $13,81$ ve $21,11 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Tuz uygulaması çarliston çeşidinde CAT enzim aktivitesi üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.12). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde CAT enzim aktivitesi $12,80 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %23,52 oranında artarak $15,81 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidinde CAT enzim aktivitesinde %24,73 ve %99,94 oranlarında artışa neden olmuş ve CAT enzim aktivitesi sırasıyla $19,72$ ve $31,61 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Tuzsuz (0 mM) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama CAT enzim aktivitesi $18,02 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, tuz (50 mM) uygulaması ile %24,19 oranında artış göstererek $22,38 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin CAT enzim aktivitesi $14,31 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile sırasıyla %24,11 ve %98,11 oranında artış göstererek $17,76$ ve $28,35 \mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur Çizelge (4.12).

Tuz uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde CAT enzim aktivitesi üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.12).

NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde CAT enzim aktivitesi $13,91 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %16,82 oranında artarak $16,25 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO CAT enzim aktivitesinde %19,26 ve %93,42 oranlarında artışa neden olmuş ve CAT enzim aktivitesi sırasıyla $19,38$ ve $31,43 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Tuzsuz (0 mM NaCl) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama CAT enzim aktivitesi $18,21 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, tuz (50 mM NaCl) uygulaması ile %22,73 oranında artış göstererek $22,35 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama CAT enzim aktivitesi $15,05 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %16,54 ve %87,51 oranında artış göstererek $17,54$ ve $28,22 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Tuz uygulaması çarliston çeşidinde POD enzim aktivitesi üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.12). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde POD enzim aktivitesi $2,50 \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %33,20 artarak $3,33 \text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO POD enzim aktivitesinde %44,14 ve %81,98 oranlarında artışa neden olmuş ve POD enzim aktivitesi sırasıyla $4,80$ ve $6,06 \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin POD enzim aktivitesi $2,92 \text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %51,37 ve %106,85 oranında artış göstererek $4,42$ ve $6,04 \text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Tuz uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde POD enzim aktivitesi üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur (Çizelge 4.12). NO ve NaCl uygulaması yapılmamış bitkilerde POD enzim aktivitesi $3,50 \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, NaCl uygulaması ile bu değer %61,71 artarak $5,66 \text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

50 mM NaCl ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μ M NO POD enzim aktivitesinde %19,43 ve %24,20 oranlarında artışa neden olmuş ve POD enzim aktivitesi sırasıyla 6,76 ve 7,03 mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir. Tuzsuz (0 mM NaCl) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama POD enzim aktivitesi 4,34 mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, tuz (50 mM) uygulaması ile %49,31 oranında artış göstererek 6,48 mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μ M) ortamda tuzlu ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama POD enzim aktivitesi 4,58 mg prot⁻¹ olarak bulunurken, 25 ve 50 μ M NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %22,93 ve %31,66 oranında artış göstererek 5,63 ve 6,03 mg prot⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Tuz (NaCl) yetiştirme ortamında fazla bulunması durumunda ozmotik ve iyonik dengeyi bozarak bitkilerin osmotik strese girmesine neden olur, bu osmotik stres bitkilerin su ve besin elementlerini yeterli miktarda almasını engeller (Khan ve ark. 2012, Rasool ve ark. 2013). Bunun yanında bitki hücrelerinde Na iyonunun aşırı birikimi bitkide toksik etki yapar ve bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal aktivitelerinin kısıtlanmasına neden olur (Ahmad ve ark. 2014, Hashem ve ark. 2014). Bitkilerde stres koşullarında oksidatif strese neden olan reaktif oksijen türleri (ROT) üretilir. Serbest radikaller ve radikal olmayan ROT'lar olarak sınıflandırılan bu moleküller arasında; serbest radikaller, süperoksit (O₂⁻), hidroperoksil (HO₂), hidroksil (OH⁻), peroksil (ROO⁻), alkoksil (RO⁻) iken; radikal olmayan ROT'lar hidrojen peroksit (H₂O₂), singlet oksijen ([•]O₂), ozon (O₃), hipokloröz asit (HOCl) olarak tanımlanmaktadır (Öcal Özdamar 2016). ROT'ların hücrede aşırı birimi bitkilerde membran lipidlerinin, proteinlerin ve nükleik asitlerin oksidatif zararlanmaya uğramasına neden olur.

Bitkiler stres koşullarında hücrede biriken bu ROT'ların detoksifikasyonu için enzimatik ve enzimatik olmayan birçok mekanizma geliştirmişlerdir. Enzimatik antioksidanlar arasında süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD), katalaz (CAT) ve askorbat (ASC) –glutasyon redüktaz (GR), askorbat peroksidaz (APX), monodehidroaskorbat enzimleri bulunur (Schützendübel ve Polle 2002, Ahmad ve ark. 2008, 2014, Hayat ve ark., 2012, Evelin ve Kapoor 2014). SOD enzimi, süperoksit radikalının hidrojen peroksit ve oksijene dönüşümünü katalizleme görevi yapar (Alscher ve ark. 2002).

Katalaz (CAT), elektron yakalayıcı olarak H_2O_2 'i kullanarak substratı okside etmekte ve H_2O_2 'yi O_2 'e ve H_2O 'ya dönüştürmektedir. Bu enzim yüksek bitkilerde yoğunlukla peroksizomda bulunur (Jamei ve ark. 2009). Katalaz stres koşulları altında oluşan zararlı H_2O_2 'nin H_2O ve O_2 'ye direkt olarak dönüşümünü sağlayarak hücreleri, strese karşı korumada görevli en önemli enzimatik antioksidanlardan biridir. Katalaz büyük çoğunlukta peroksizomlarda, çok az miktarda da mitokondri matriksinde bulunmaktadır (Foyer ve ark. 1994). Askorbat peroksidaz (APX); tillakoyite bağlı (tAPX), glioksizom membranında (gmAPX), çözünebilir (sAPX), sitosolik (cAPX) gibi 4 farklı izoformu olan enzimatik bir antioksidandır.

Strese karşı CAT ile aynı mekanizmayla çalışan APX, hücrede askorbat-glutasyon döngüsünde askorbatı elektron verici olarak kullanır ve H_2O_2 'nin detoksifikasyonu ve hücre dışına atılması konusunda CAT'dan daha yüksek aktiviteye sahiptir (Bowler ve ark. 1992, Mittler ve Zilinkas 1992).

Glutasyon redüktaz (GR); sitozol ve mitokondrielerde bulunan bu enzim Halliwell-Asada döngüsünün son enzimidir. APX tarafından kullanılan askorbatın yeniden üretimi ve metabolik işlevlere katılmasını sağlar. Askorbatın yeniden üretilmesi için gerekli (glutasyon) GSH/okside glutasyon (GSSG) oranının korunmasından sorumludur (Sudhakar ve ark. 2001). Proksidaz (POD); SOD enzimi varlığında H_2O_2 ye dönüştürülen H_2O 'nun kloroplastlardan uzaklaştırılmasında görevlidir. Bunun yanında POD lignin ve etilen biyosentezi, indol asetik asitin (IAA) bozulması ve protein metabolizmasında görev alır (Radić ve ark. 2006). Çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz verilere göre her iki çeşitte de tuz ve NO uygulamalarının bitkilerde antioksidatif enzim aktivitelerini arttırdığı belirlenmiştir. Nitrik oksit (NO) bitkilerde ROT süpürücü işlev gören ve antioksidatif enzimlerin kodlanmasında görev yapan bir moleküldür (Groß ve ark. 2013).

NO bitkilerde stres koşullarında antioksidatif enzim aktivitelerini düzenleyerek ve arttırarak ROT süpürücü olarak görev yapar (Hao ve ark. 2008, Xu ve ark. 2010, Fan ve Liu 2012). Yapılan çalışmalarda NO'in tuz stresine karşı oksidatif hasarlanmayı azalttığı (Uchida ve ark. 2002, Wu ve ark. 2011) ve ikincil metabolitlerin birikiminin artmasını sağladığı belirtilmiştir (Bellin ve ark 2013). Eksojen olarak uygulanan NO'in hücrelerde

glutasyon (GSH) ile reaksiyona girerek NO'nun ana rezervuarı olarak kabul edilen S-nitrosoglutasyonu (GSNO) oluşumunu tetiklediği bilinmektedir (Silveira ve ark. 2016). NO, bitkilerde ROT birikiminden kaynaklanan oksidatif stresin azaltılmasında bitkilerde stresten korunmadan sorumlu genlerin düzenlenmesini sağlar (Fatma ve ark. 2014, Ahmad ve ark 2016).

Elde ettiğimiz sonuçlara paralel olarak; Hayat ve ark. (2012) ve Manai ve ark. (2014) domates bitkisinde (*Solanum lycopersicum*) ve Kausar ve ark. (2013) buğday bitkisinde (*T. aestivum*) yaptıkları çalışmalarda tuz stresi koşullarında yetiştirilen bitkilerde antioksidatif enzim aktivitelerinde önemli artışlar olduğunu rapor etmişlerdir.

4.2. Nitrik Oksit (NO) Uygulamasının Ağır Metal (Zn, Cu, Cd) Stresi Üzerine etkisi

4.2.1. Bitkilerin kuru madde verimleri

Ağır metal (Zn, Cu, Cd) stresi altında yetiştirilen çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin kuru madde verimi üzerine olan etkilerine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.13'te ve biber çeşitlerinin kuru madde verimine ait ortalamalar Çizelge 4.14'te verilmiştir. Çizelge 4.13 ve 4.14'ün birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin kuru madde verimi üzerine artan konsantrasyonlarda NO ve ağır metal uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken ($P<0,01$, $P<0,05$), NO x Zn, NO x Cu, NO x Cd interaksiyonlarının etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.13. Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde verimlerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Zn Uygulaması					
Genel	5	1,793		2,234	
Nitrik Oksit (NO)	2	1,206	5,191*	1,075	4,397 *
Çinko (Zn)	1	0,541	4,659*	0,115	9,448**
NO x Zn	2	0,045	0,823 öd	0,003	0,986 öd
Hata	12	2,787		2,934	
Cu Uygulaması					
Genel	5	2,089		3,120	
Nitrik Oksit (NO)	2	0,889	5,879*	1,219	9,733**
Bakır (Cu)	1	1,276	16,875**	1,879	30,005**
NO x Cu	2	0,028	0,831 öd	0,110	0,879 öd
Hata	12	1,815		1,503	
Cd Uygulaması					
Genel	5	14,449		18,002	
Nitrik Oksit (NO)	2	0,922	7,404*	0,622	4,555*
Kadmiyum (Cd)	1	13,468	216,288**	17,601	257,652**
NO x Cd	2	0,325	2,610 öd	0,025	0,186 öd
Hata	12	1,494		18,002	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,010$; * $P < 0,050$; öd: önemli değil

Çizelge 4.14. Ağır metal (Zn, Cu, Cd) stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit (NO) uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde miktarı (g saksı⁻¹) üzerine etkileri

Ağır Metal Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
-Zn	1,46	1,73	1,90	1,70 A	1,90	2,12	2,37	2,13 A
+Zn	1,19	1,37	1,73	1,43 B	1,53	1,70	1,99	1,74 B
Ortalama	1,32 C	1,55 B	1,81 A		1,74 C	1,97 B	2,18 A	
-Cu	1,51	1,77	1,97	1,75 A	1,88	2,12	2,49	2,16 A
+Cu	1,17	1,28	1,55	1,34 B	1,53	1,55	1,89	1,66 B
Ortalama	1,34 C	1,53 B	1,77 A		1,71 C	1,83 B	2,19 A	
-Cd	1,51	1,73	2,19	1,81 A	1,88	2,04	2,29	2,07 A
+Cd	0,34	0,45	0,55	0,46 B	0,42	0,45	0,70	0,53 B
Ortalama	0,94 C	1,09 B	1,37 A		1,15 C	1,25 B	1,49 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Çinko (Zn) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının kuru madde verimine etkisi

Zn uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde kuru madde verimi üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. Çarliston çeşidinin kuru madde verimi üzerine NO x Zn interaksiyonunun etkisi önemli bulunmamakla birlikte; 0 µM NO ve 0 mM Zn uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde kuru madde verimleri 1,46 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, 25 ve 50 µM NO uygulamalarında artışlar göstererek 1,73 ve 1,90 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. Çinko uygulanan koşullarda ise; 0 µM NO uygulamasında 1,19 g saksı⁻¹ olarak belirlenen çarliston çeşidinin kuru madde verimi 25 ve 50 µM NO uygulamalarıyla artış göstererek 1,37 ve 1,73 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur. Zn uygulanmayan ortamda (0 mM Zn) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde ortalama kuru madde verimi 1,70 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, Zn (1 mM Zn) uygulanan ortamda bu değer %15,9 oranında önemli bir azalma göstererek 1,43 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin olan kuru madde verimi 1,32 g saksı⁻¹ olarak bulunurken 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %16,6 ve %37,1 oranında önemli artışlar göstererek 1,54 ve 1,81 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14).

Dolmalık çeşidinin kuru madde verimleri üzerine NO x Zn interaksiyonunun etkisi önemli bulunmamakla birlikte; Zn uygulanmayan (0 mM Zn) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin kuru madde verimleri 0 µM NO uygulamasında 1,90 g saksı⁻¹ iken 25 ve 50 µM NO uygulamalarında artışlar göstererek 2,11 ve 2,36 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14). Zn uygulanmayan ortamda (0 mM Zn) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde ortalama kuru madde verimi 2,13 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, Zn (1 mM Zn) uygulanan ortamda bu değer %22,41 oranında önemli bir azalma göstererek 1,74 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin olan kuru madde verimi 1,74 g saksı⁻¹ olarak bulunurken 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %13,21 ve %25,28 oranında önemli artışlar göstererek 1,97 ve 2,18 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14).

Bakır (Cu) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının kuru madde verimine etkisi

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde kuru madde verimi üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. Çarliston çeşidinin kuru madde verimleri üzerine NO x Cu interaksiyonunun etkisi önemli bulunmamakla birlikte; 0 µM NO ve 0 mM Cu uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde kuru madde verimleri 1,51 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, 25 ve 50 µM NO uygulamalarında bu değer artış göstererek 1,77 ve 1,97 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. Cu uygulanan koşullarda ise; 0 µM NO uygulamasında 1,17 g saksı⁻¹ olarak belirlenen çarliston çeşidinin kuru madde verimi 25 ve 50 µM NO uygulamalarıyla artış göstererek 1,28 ve 1,55 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur. Cu uygulanmayan ortamda (0 mM Cu) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde ortalama kuru madde verimi 1,75 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, Cu (1 mM Cu) uygulanan ortamda bu değer %23,42 oranında önemli bir azalma göstererek 1,34 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin olan kuru madde verimi 1,34 g saksı⁻¹ olarak bulunurken 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %14,17 ve %32,08 oranında önemli artışlar göstererek 1,53 ve 1,77 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14).

Dolmalık çeşidinin kuru madde verimleri üzerine NO x Cu interaksiyonunun etkisi önemli bulunmamakla birlikte; Cu uygulanmayan (0 mM Cu) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin kuru madde verimleri 0 µM NO uygulamasında 1,88 g saksı⁻¹ iken 25 ve 50 µM NO uygulamalarında artışlar göstererek 2,12 ve 2,49 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14). Cu uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde ise; 0 µM NO uygulamasında 1,53 g saksı⁻¹ dolmalık çeşidinin kuru madde verimleri 25 ve 50 µM NO uygulamalarıyla artış göstererek 1,55 ve 1,89 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur. Cu uygulanmayan ortamda (0 mM Cu) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde ortalama kuru madde verimi 2,16 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, Cu (1 mM Cu) uygulanan ortamda bu değer %23,1 oranında önemli bir azalma göstererek 1,66 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin olan kuru madde verimi 1,71 g saksı⁻¹ olarak bulunurken 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %7,01 ve %28,07 oranında önemli artışlar göstererek 1,83 ve 2,19 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14).

Kadmiyum (Cd) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının kuru madde verimine etkisi

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde kuru madde verimi üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. Çarliston çeşidinin kuru madde verimleri üzerine NO x Cd interaksiyonunun etkisi önemli bulunmamakla birlikte; 0 μM NO ve 0 mM Cd uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde kuru madde verimleri 1,51 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, 25 ve 50 μM NO uygulamalarında bu değer artış göstererek 1,73 ve 2,19 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. Cd uygulanan koşullarda ise; 0 μM NO uygulamasında 0,34 g saksı⁻¹ olarak belirlenen çarliston çeşidinin kuru madde verimi 25 ve 50 μM NO uygulamalarıyla artış göstererek 0,45 ve 0,55 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur. Cd uygulanmayan ortamda (0 mM Cd) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde ortalama kuru madde verimi 1,81 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, Cd (1 mM Cd) uygulanan ortamda bu değer %293,47 oranında önemli bir azalma göstererek 0,46 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin olan kuru madde verimi 0,94 g saksı⁻¹ olarak bulunurken 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %15,95 ve %45,74 oranında önemli artışlar göstererek 1,09 ve 1,37 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14).

Dolmalık çeşidinin kuru madde verimleri üzerine NO x Cd interaksiyonunun etkisi önemli bulunmamakla birlikte; Cd uygulanmayan (0 mM Cd) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin kuru madde verimleri 0 μM NO uygulamasında 1,88 g saksı⁻¹ iken 25 ve 50 μM NO uygulamalarında artışlar göstererek 2,04 ve 2,29 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14).

Cd uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde ise; 0 μM NO uygulamasında 0,42 g saksı⁻¹ olan dolmalık çeşidinin kuru madde verimi 25 ve 50 μM NO uygulamaların sırasıyla %7,14 ve %66,66 oranında artış göstererek 0,45 ve 0,70 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur. Cd uygulanmayan ortamda (0 mM Cd) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde ortalama kuru madde verimi 2,07 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, Cd (1 mM Cd) uygulanan ortamda bu değer 3,9 kat önemli bir azalma göstererek 0,53 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin olan kuru madde verimi 1,15 g saksı⁻¹ olarak bulunurken 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %8,69 ve %29,56 oranında önemli artışlar göstererek 1,25 ve 1,49 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14).

4.2.2. Bitkilerin Ağır Metal (Zn, Cu ve Cd) İçerikleri

Ağır metal stresi altında yetiştirilen çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin toprak üstü aksam ve kök ağır metal (Zn, Cu, Cd) içeriği üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.15'te ve biber çeşitlerinin toprak üstü aksam Zn içeriğine ait ortalamalar Çizelge 4.16'da verilmiştir. Çizelge 4.15. ve 4.16'nın birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin toprak üstü aksam ve kök Zn Cu, Cd içerikleri üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, ağır metal uygulamalarının ve NO x Ağır Metal interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$).

Çizelge 4.15. Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit (NO) uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam Zn, Cu ve Cd konsantrasyonlarına etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Zn Uygulaması					
Genel	5	63153,145		63093,225	
Nitrik Oksit (NO)	2	3366,370	57,603**	1874,010	35,499**
Çinko (Zn)	1	56750,805	1942,190**	59478,005	2253,382**
NO x Zn	2	3035,970	51,9502**	1741,210	32,983**
Hata	12	350,604		360,740	
Cu Uygulaması					
Genel	5	5692,225		2988,00	
Nitrik Oksit (NO)	2	2051,410	2385,360**	1953,00	2581,057**
Bakır (Cu)	1	3621,005	8420,942**	648,00	1712,775**
NO x Cu	2	19,810	23,0349**	387,00	511,453**
Hata	12	5,1600		4,5400	
Cd Uygulaması					
Genel	5	1238,504		9573,797	
Nitrik Oksit (NO)	2	2023,408	2507,977**	1954,537	4716,043**
Kadmiyum (Cd)	1	8445,234	2093,542**	5796,055	2797,024**
NO x Cd	2	1916,407	2375,352**	1823,204	4399,153**
Hata	12	4,841		2,4867	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; öd: önemli değil

Çinko (Zn) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin toprak üstü aksam ve kök Zn içeriğine etkisi

Zn uygulanmayan (0 mM Zn) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin toprak üstü aksam Zn içeriği üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 μM) ile kontrole göre azalmalar belirlenmiş ancak istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Zn stresi altında (1 mM Zn) yetiştirilen bitkilerde 0 μM NO uygulamasında 150,0 mg Zn kg^{-1} olan çarliston çeşidi biber bitkilerinin toprak üstü aksam Zn içeriği artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 μM) uygulaması ile sırasıyla %33,92 ve %76,47 oranlarında azalma göstererek 112,0 ve 85,0 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Ağır metal (Zn, Cu, Cd) stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit (NO) uygulamasının biber çeşitlerinin Zn, Cu, Cd konsantrasyonları üzerine etkileri

Ağır Metal Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
Toprak Üstü Aksam (mg kg⁻¹)								
-Zn	4,20 d	3,40 d	2,50 d	3,36 B	3,80 d	3,40 d	2,90 d	3,33 B
+Zn	150,0 a	112,0 b	85,0 c	115,66 A	142,0 a	120,0 b	93,0 b	118,33 A
Ortalama	77,10 A	57,70 B	43,75 C		72,90 A	61,70 B	47,95 C	
-Cu	45,50 d	36,00 d	22,00 d	36,50 B	42,00 c	39,00 d	27,00 f	36,00 B
+Cu	76,60 a	64,00 b	48,00 c	62,86 A	67,00 a	46,00 b	31,00 e	48,00 A
Ortalama	61,05 A	50,00 B	35,00 C		54,50 A	42,50 B	29,00 C	
-Cd	2,53 d	2,16 d	1,83 d	2,17 B	2,26 d	1,73 de	1,40 e	1,80 B
+Cd	72,26 a	43,03 b	21,20 c	45,50 A	65,13 a	32,00 b	15,93 c	37,68 A
Ortalama	37,40 A	22,60 B	11,51 C		33,70 A	16,86 B	8,66 C	
Kök (mg kg⁻¹)								
-Zn	26,00 d	21,00 d	15,00 d	20,60 B	22,00 d	16,00 d	10,00d	16,00 B
+Zn	172,00 a	143,00 b	110,00 c	141,60 A	158,00 a	119,0 b	98,00 c	125,00 A
Ortalama	99,00 A	82,00 B	62,50 C		90,00 A	67,50 B	54,00 C	
-Cu	8,20 c	6,50 c	4,30 d	6,30 B	7,60 c	4,90 d	3,80 e	5,40 B
+Cu	15,00 a	11,60 b	8,70 c	11,70 A	13,80 a	9,70 b	6,90 c	10,10 A
Ortalama	11,60 A	9,10 B	6,50 C		10,70 A	7,30 B	5,30 C	
-Cd	4,50 d	3,80 d	2,60 d	3,60 B	4,20 d	3,10 d	2,00 d	3,10 B
+Cd	1612,0 a	973,00 b	662,00 c	1082,30 A	1584,00 a	826,00b	509,00c	973,00 A
Ortalama	808,02 A	488,40 B	332,30 C		794,10 A	414,50B	255,50C	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Zn uygulanmayan (0 mM Zn) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin toprak üstü aksam Zn içeriği üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 µM) ile kontrole göre azalmalar belirlenmiş ancak istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Zn stresi altında (1 mM Zn) yetiştirilen bitkilerde 0 µM NO uygulamasında 150,0 mg Zn kg⁻¹ olan çarliston çeşidi biber bitkilerinin toprak üstü aksam Zn içeriği artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 µM) uygulaması ile sırasıyla %33,92 ve %76,47 oranlarında azalma göstererek 112,0 ve 85,0 mg Zn kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Zn içeriği 3,36 mg Zn kg⁻¹ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer 34,42 kat artış göstererek 115,66 mg Zn kg⁻¹ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin toprak üstü aksam ortalama Zn içeriği 77,10 g Zn kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %33,62 ve %76,22 oranında önemli azalma göstererek 57,70 ve 43,75 Zn kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Zn uygulanmayan (0 mM Zn) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin kök Zn içeriği üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 μM) ile kontrole göre azalmalar belirlenmiş ancak istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Zn stresi altında (1 mM Zn) yetiştirilen bitkilerde 0 μM NO uygulamasında 172,0 mg Zn kg^{-1} olan çarliston çeşidi biber bitkilerinin kök Zn içeriği artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 μM) uygulaması ile sırasıyla %16,9 ve %36,0 oranlarında azalma göstererek 143,0 ve 110,0 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde kök ortalama Zn içeriği 20,60 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer 6,87 kat artış göstererek 141,60 mg Zn kg^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin kök ortalama Zn içeriği 99,00 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %20,73 ve %58,40 oranında önemli azalma göstererek 82,00 ve 62,50 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Zn uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde Zn içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Zn içeriği 3,80 g kg^{-1} olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer 37,36 kat artış göstererek 142,00 mg Zn kg^{-1} olmuştur. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde Zn içeriği 3,80 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer 37,36 kat artarak 142,00 mg Zn kg^{-1} olarak bulunmuştur. Zn uygulanmayan (0 mM Zn) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin toprak üstü aksam Zn içeriğinde artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları ile görülen azalmalar istatistiksel olarak aynı grupta yer alırken; 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile bu değer %15,49 ve 34,50 oranlarında azalarak çarliston çeşidinin toprak üstü aksam Zn konsantrasyonları sırasıyla 120,00 ve 93,00 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Zn içeriği 3,33 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer 35,53 kat artış göstererek 118,33 mg Zn kg^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin toprak üstü aksam ortalama Zn içeriği 72,90 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %18,15 ve %69,73 oranında önemli azalma göstererek 61,70 ve 47,95 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Zn uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde Zn içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur. Zn uygulanmayan (0 mM Zn) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin kök Zn içeriğinde artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları ile görülen azalmalar istatistiksel olarak aynı grupta yer alırken; 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile bu değer %32,77 ve 61,22 oranlarında azalarak çarliston çeşidinin kök Zn konsantrasyonları sırasıyla 119,00 ve 98,00 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Zn içeriği 16,00 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer 7,81 kat artış göstererek 125,00 mg Zn kg^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin kök ortalama Zn içeriği 90,00 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %33,33 ve %66,66 oranında önemli azalma göstererek 67,50 ve 54,00 mg Zn kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Bakır (Cu) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin Cu içeriğine etkisi

Cu uygulanmayan (0 mM Cu) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin toprak üstü aksam Cu içeriği üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 μM) ile kontrole göre azalmalar belirlenmiş ancak istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Cu stresi altında (1 mM Cu) yetiştirilen bitkilerde 0 μM NO uygulamasında 76,60 mg Cu kg^{-1} olan çarliston çeşidi biber bitkilerinin toprak üstü aksam Cu içeriği artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 μM) uygulaması ile sırasıyla %19,68 ve %59,58 oranlarında azalma göstererek 64,00 ve 48,00 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Cu içeriği 36,50 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %72,21 oranında artış göstererek 62,86 mg Cu kg^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin toprak üstü aksam ortalama Cu içeriği 61,05 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %22,10 ve %74,42 oranında önemli azalma göstererek 50,00 ve 35,00 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Cu uygulanmayan (0 mM Cu) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin kök Cu içeriği üzerine, 25 μM NO uygulaması ile kontrole göre azalma belirlenmiş ancak istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. 50 μM NO uygulaması ile kontrole göre %90,69 oranında azalma meydana gelmiş ve kök Cu içeriği 4,30 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Cu stresi altında (1 mM Cu) yetiştirilen bitkilerde 0 μM NO uygulamasında 15,00 mg Cu kg^{-1} olan çarliston çeşidi biber bitkilerinin kök Cu içeriği artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 μM) uygulaması ile sırasıyla %29,31 ve %69,23 oranlarında azalma göstererek 11,60 ve 8,70 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Cu içeriği 6,30 g kg^{-1} olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %85,71 oranında artış göstererek 11,70 mg Cu kg^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin kök ortalama Cu içeriği 11,60 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %27,47 ve %78,46 oranında önemli azalma göstererek 9,10 ve 6,50 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Cu uygulanmayan (0 mM Cu) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin toprak üstü aksam Cu içeriği üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 μM) ile kontrole göre önemli azalmalar belirlenmiştir. 0 mM Cu ve 0 μM NO uygulamasında yetiştirilen bitkilerde toprak üstü aksam Cu içeriği 42,00 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %7,69 ve %55,55 oranında önemli azalma göstererek 39,00 ve 27,00 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Cu uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde Cu içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda %59,52, %17,94, %14,81 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Cu içeriği 36,00 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %33,33 oranında artış göstererek 48,00 mg Cu kg^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin toprak üstü aksam ortalama Cu içeriği 54,50 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %28,57 ve %87,93 oranında önemli azalma göstererek 42,50 ve 29,00 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Cu uygulanmayan (0 mM Cu) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin kök Cu içeriği üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 μM) ile kontrole göre önemli azalmalar belirlenmiştir. 0 mM Cu ve 0 μM NO uygulamasında yetiştirilen bitkilerde kök Cu içeriği 7,60 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %55,10 ve %26,31 oranında önemli azalma göstererek 4,90 ve 3,80 Cu kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda %81,57, %97,95, %81,57 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Cu içeriği 5,40 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %87,03 oranında artış göstererek 10,10 mg Cu kg^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin kök ortalama Cu içeriği 10,70 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %46,57 ve %101,88 oranında önemli azalma göstererek 7,30 ve 5,30 mg Cu kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Kadmiyum (Cd) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin Cd içeriğine etkisi

Cd uygulanmayan (0 mM Cd) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin toprak üstü aksam Cd içeriği üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 µM) ile kontrole göre azalmalar belirlenmiş ancak istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Cd stresi altında (1 mM Cd) yetiştirilen bitkilerde 0 µM NO uygulamasında 72,26 mg Cd kg⁻¹ olan çarliston çeşidi biber bitkilerinin toprak üstü aksam Cd içeriği artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 µM) uygulaması ile sırasıyla %66,88 ve %240,84 oranlarında azalma göstererek 43,30 ve 21,20 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Cd içeriği 2,17 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer 20,96 kat artış göstererek 45,50 mg Cd kg⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin toprak üstü aksam ortalama Cd içeriği 37,40 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %65,48 ve %224,93 oranında önemli azalma göstererek 22,60 ve 11,51 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Cd uygulanmayan (0 mM Cd) koşullarda yetiştirilen çarliston çeşidinin kök Cd içeriği üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 µM) ile kontrole göre azalmalar belirlenmiş ancak istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. 0 mM Cd ve 0 µM NO uygulamalarında kök Cd içeriği 4,50 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenirken, 1 mM Cd uygulaması ile bu değer 358,22 kat artış göstererek 1612,00 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu değer artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 µM) uygulaması ile sırasıyla %65,67 ve %143,50 oranlarında azalma göstererek 973,0 ve 662,0 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Cd içeriği 3,60 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer 300,63 kat artış göstererek 1082,30 mg Cd kg⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin kök ortalama Cd içeriği 808,20 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %65,47 ve %143,21 oranında önemli azalma göstererek 488,40 ve 332,30 mg Cd kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Cd uygulanmayan (0 mM Cd) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin toprak üstü aksam Cd içeriği üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 μM) ile kontrole göre önemli azalmalar belirlenmiştir. 0 mM Cd ve 0 μM NO uygulamasında yetiştirilen bitkilerde toprak üstü aksam Cd içeriği 2,26 mg Cd kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %30,63 ve %61,42 oranında önemli azalma göstererek 1,73 ve 1,40 mg Cd kg^{-1} olarak belirlenmiştir (izelge 4.16). Cd uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde Cd içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla 28,81, 18,49, 11,37 katlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Cd içeriği 1,80 mg Cd kg^{-1} olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer 20,93 kat artış göstererek 37,68 mg Cd kg^{-1} olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin toprak üstü aksam ortalama Cd içeriği 33,70 mg Cd kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %99,88 ve %289,14 oranında önemli azalma göstererek 16,86 ve 8,66 mg Cd kg^{-1} olarak belirlenmiştir (izelge 4.16). Cd uygulanmayan (0 mM Cd) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin kök Cd içeriği üzerine, artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 μM) ile kontrole göre önemli azalmalar belirlenmiştir. 0 mM Cd ve 0 μM NO uygulamasında yetiştirilen bitkilerde kök Cd içeriği 4,20 mg Cd kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer azalma göstererek 3,10 ve 2,00 mg Cd kg^{-1} olarak belirlenmiştir (izelge 4.16). Cd uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde Cd içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla 377,14, 266,45, 254,50, katlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama Cd içeriği 3,10 mg Cd kg^{-1} olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer 313,87 kat artış göstererek 973,0 mg Cd kg^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin kök ortalama Cd içeriği 794,10 mg Cd kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %91,58 ve %210,80 oranında önemli azalma göstererek 414,50 ve 255,50 mg Cd kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

4.2.3. Bitkilerin Fotosentetik Pigment İçerikleri

Çinko (Zn) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin fotosentetik pigment içeriğine etkisi

Çinko stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 μM) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içeriği üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.17’de ve fotosentetik pigment içeriğine ait ortalamalar Çizelge 4.18’de verilmiştir. Çizelge 4.17 ve 4.18’in birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin toplam klorofil, klorofil *a*, klorofil *b* ve karotenoid içeriği üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, Zn uygulamasının ve NO x Zn interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken ($P<0,01$); Her iki çeşitte de bitkilerin klorofil *a* içeriği üzerine Zn uygulamasının etkisi ve dolmalık çeşidi bitkilerde Zn uygulamasının klorofil *b* içeriğine etkisi önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.17. Çinko stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içeriğine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Toplam Klorofil					
Genel	5	4390,832		1370,338	
Nitrik Oksit (NO)	2	2329,981	7886,362**	6031,048	7809,991**
Çinko (Zn)	1	1649,293	1116,483**	7147,296	1851,098**
NO x NaCl	2	411,556	1393,008**	525,039	6799,075**
Hata	12	0,177		0,106	
Klorofil a					
Genel	5	28,045		46,180	
Nitrik Oksit (NO)	2	13,810	106,230**	27,190	271,900**
Çinko (Zn)	1	0,245	3,769 öd	0,0800	1,600 öd
NO x NaCl	2	13,990	107,615**	18,910	189,100**
Hata	12	0,780		0,600	
Klorofil b					
Genel	5	42,156		160,051	
Nitrik Oksit (NO)	2	13,488	712,422**	86,727	494,548**
Çinko (Zn)	1	9,842	1039,648**	0,142	1,622 öd
NO x NaCl	2	18,825	994,326**	73,182	417,310**
Hata	12	0,113		1,052	
Karotenoid					
Genel	5	198,460		1209,760	
Nitrik Oksit (NO)	2	3,670	11,967*	282,280	1512,214**
Çinko (Zn)	1	87,120	568,173**	564,480	6048,000**
NO x NaCl	2	107,670	351,097**	363,000	1944,643**
Hata	12	1,840		1,120	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; öd: önemli değil

Çizelge 4.18. Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin yaprak fotosentetik pigment içeriklerine etkisi

Ağır Metal Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
Toplam klorofil (µg g⁻¹)								
-Zn	66,80d	67,38c	73,82a	69,33 A	60,56d	62,24b	71,88a	64,89 A
+Zn	64,14e	66,14e	71,74b	67,34 B	55,82f	60,39e	63,91c	60,04 B
Ortalama	65,47C	66,76B	72,78A		58,19C	61,31B	67,89A	
-Cu	63,89c	65,09b	67,74a	65,57 A	63,56c	65,24b	70,88a	66,56 A
+Cu	59,81d	63,48c	65,89b	63,06 B	55,20f	60,66e	64,18d	60,01 B
Ortalama	61,85C	64,28B	66,81A		59,38C	62,95B	67,53A	
-Cd	64,89c	66,38b	67,74a	66,33 A	62,56c	67,24b	71,88a	67,22 A
+Cd	58,40f	63,89e	65,64d	62,64 B	55,60f	61,89e	64,83d	60,77 B
Ortalama	61,64C	65,13	66,69A		59,08C	64,56B	68,35A	
Klorofil a (µg g⁻¹)								
-Zn	46,50c	47,20b	49,50a	47,73	45,10e	44,50d	49,50a	46,36
+Zn	46,50c	45,40d	47,00b	46,30	44,10d	46,16c	47,70b	45,98
Ortalama	46,50B	46,30B	48,25A		44,60C	45,33B	48,60A	
-Cu	45,40c	46,50b	47,20a	46,36 A	47,70b	49,50a	49,60a	48,90 A
+Cu	45,70c	46,20 c	46,30c	46,06 B	43,90d	44,10d	44,60c	44,20 B
Ortalama	45,55C	46,40B	46,70A		45,80C	46,80B	47,10A	
-Cd	46,30c	46,60b	47,20a	46,70	46,80c	47,70b	49,50a	48,00 A
+Cd	45,40d	46,50b	46,70b	46,20	44,10f	45,10e	46,30d	45,16 B
Ortalama	45,85B	46,55A	46,95A		45,45B	46,40B	47,90A	
Klorofil b (µg g⁻¹)								
-Zn	14,90b	15,06a	15,49a	15,15 A	14,45b	15,01b	19,73a	16,50
+Zn	10,87d	14,15c	14,50b	13,17 B	9,44d	14,29c	14,91b	12,14
Ortalama	12,88C	14,60B	14,99A		12,10C	13,77B	17,11A	
-Cu	14,90c	15,59b	16,46a	15,65 A	13,96c	15,01b	19,73a	16,23 A
+Cu	10,87e	14,50d	14,50d	13,29 B	9,44c	13,97b	14,69a	12,70 B
Ortalama	12,88C	15,04B	15,48A		11,70C	14,49B	17,21A	
-Cd	14,86bc	14,93b	19,20a	16,33 A	14,30c	15,01b	19,73a	16,34 A
+Cd	10,64d	14,55c	14,59c	13,26 B	9,44f	14,36e	15,25d	13,01 B
Ortalama	12,75B	12,74B	16,89A		11,87C	14,68B	17,49A	
Karotenoid (µg g⁻¹)								
-Zn	20,90d	23,40b	27,90a	24,06 A	21,80b	32,20c	42,50a	32,16 A
+Zn	17,00e	20,90d	21,80c	19,66 B	20,30d	21,00c	21,60e	20,96 B
Ortalama	18,95C	22,15B	24,85A		21,05C	26,60B	32,05A	
-Cu	20,90c	23,40b	27,90a	24,06 A	21,80e	32,20b	42,50a	32,16 A
+Cu	18,80e	19,00e	20,00d	19,26 B	19,40f	25,10d	29,40c	24,63 B
Ortalama	19,85C	21,20B	23,35A		20,60C	28,65B	35,90A	
-Cd	20,90c	23,40b	27,90a	24,06 A	21,80d	32,20b	42,50a	32,16 A
+Cd	15,83e	19,00d	20,90c	18,57 B	21,30e	21,60de	22,30c	21,73 B
Ortalama	18,36B	21,20B	24,40A		21,55C	26,90B	31,90A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde toplam klorofil içeriği $66,80 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %4,14 oranında azalış göstererek $64,14 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde toplam klorofil içeriğinde sırasıyla %3,11 ve %11,84 oranında artış göstererek $66,14$ ve $71,74 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Çinko uygulaması çarliston çeşidinde toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %4,14, %1,87, %2,89 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toplam klorofil içeriği $69,33 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %2,95 azalma göstererek $67,34 \mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin toplam klorofil içeriği $65,47 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %1,97 ve %11,16 oranında önemli artış göstererek $66,76$ ve $72,78 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Dolmalık çeşidinde Zn uygulaması toplam klorofil içeriği üzerine de istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde toplam klorofil içeriği $60,56 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %8,49 oranında azalış göstererek $55,82 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidi bitkilerde toplam klorofil içeriğinde sırasıyla %8,18 ve %14,49 oranında artış göstererek $60,39 \text{mg g}^{-1}$ ve $63,91 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %4,14, %1,87, %2,89 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toplam klorofil içeriği $64,89 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %8,07 azalma göstererek $60,04 \mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin toplam klorofil içeriği 58,19 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %5,36 ve %16,66 oranında önemli artış göstererek 61,31 ve 67,89 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği sırasıyla 46,50 ve 14,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Zn uygulaması ile bitkilerin klorofil *a* içeriğinde değişim belirlenmezken, klorofil *b* içeriğinde %37,07 oranında önemli bir azalma meydana gelmiş ve bitkilerin klorofil *b* içeriği Zn uygulaması ile 10,87 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde klorofil *a* içeriği %3,52 oranında artış göstererek 47,00 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Klorofil *b* içeriğinde 25 ve 50 μM NO uygulaması ile meydana gelen artış %30,17 ve %33,39 oranlarında bulunmuş ve klorofil *b* içeriği sırasıyla 14,15 ve 14,50 olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde klorofil *a* içeriğinde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %1,50 ve %5,31 oranlarında önemli azalmalar meydana gelirken, klorofil *b* içeriğinde 1 mM Zn uygulaması sonucunda meydana gelen azalma oranları %6,43 ve %6,82 olarak belirlenmiştir.

Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde klorofil *a* içeriği 47,73 $\mu\text{g g}^{-1}$ klorofil *b* içeriği 15,15 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değerler sırasıyla %3,08 ve %15,03 azalma göstererek 46,30 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 13,17 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin klorofil *a* içeriği 46,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 μM NO uygulamasında bu değer 46,30 olarak belirlenmiştir ve istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. 50 μM NO uygulanan ortamda ise bu değer sırasıyla %4,21 oranında önemli artış göstererek 48,25 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin klorofil *b* içeriği 12,88 µg g⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %13,43 ve %16,38 oranında önemli artış göstererek 14,60 ve 14,99 µg g⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Çinko uygulaması dolmalık çeşidinde klorofil *a* ve *b* içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği sırasıyla 45,10 ve 14,45 µg g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Zn uygulaması ile bitkilerin klorofil *a* ve klorofil *b* içeriğinde sırasıyla %2,26 ve %53,07 oranlarında önemli bir azalma meydana gelmiş ve bitkilerin klorofil *a* ve *b* içeriği 44,10 ve 9,44 µg g⁻¹ olarak belirlenmiştir. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO ile dolmalık çeşidinde klorofil *a* içeriği sırasıyla %4,67 ve %8,16 oranında artış göstererek 46,16 ve 47,70 µg g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Klorofil *b* içeriğinde 25 ve 50 µM NO uygulaması ile meydana gelen artış %51,37 ile artış %57,94 oranlarında bulunmuş ve klorofil *b* içeriği sırasıyla 14,29 ve 14,91 olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde klorofil *a* içeriğinde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %3,73 ve %3,77 oranlarında önemli azalmalar meydana gelirken, klorofil *b* içeriğinde 1 mM Zn uygulaması sonucunda meydana gelen azalma oranları %5,66 ve 32,32 olarak belirlenmiştir. Çinko uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde klorofil *a* içeriği 46,36 µg g⁻¹ klorofil *b* içeriği 16,50 µg g⁻¹ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değerler sırasıyla %0,82 ve %35,91 azalma göstererek 45,98 µg g⁻¹ ve 12,14 µg g⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin klorofil *a* içeriği 44,60 µg g⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %1,63 ve %8,96 oranında önemli artış göstererek 45,33 ve 48,60 µg g⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4). NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin klorofil *b* içeriği 12,10 µg g⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %13,80 ve %41,40 oranında önemli artış göstererek 13,77 ve 17,11 µg g⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde karotenoid içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde karotenoid içeriği $20,90 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %22,94 oranında azalış göstererek $17,00 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde karotenoid içeriğinde sırasıyla %22,94 ve %44,30 oranında azalış göstererek $20,90 \text{ mg g}^{-1}$ ve $24,53 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %4,30 ve %13,73 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde karotenoid içeriği $24,06 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %22,38 azalma göstererek $19,66 \mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin karotenoid içeriği $18,95 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %16,88 ve %31,13 oranında önemli artış göstererek $22,15$ ve $24,85 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Dolmalık çeşidinde Zn uygulaması karotenoid içeriği üzerine de istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde karotenoid içeriği $21,80 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %7,38 oranında azalış göstererek $20,30 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde karotenoid içeriğinde sırasıyla %3,44 ve %6,40 oranında artış göstererek $21,00 \text{ mg g}^{-1}$ ve $21,60 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %53,33 ve %96,75 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde karotenoid içeriği $32,16 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %53,43 azalma göstererek $20,96 \mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin karotenoid içeriği 21,05 µg g⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %26,36 ve %52,25 oranında önemli artış göstererek 26,60 ve 32,05 µg g⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Bakır (Cu) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin fotosentetik pigment içeriğine etkisi

Bakır stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 µM) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içeriği üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.19’da ve fotosentetik pigment içeriğine ait ortalamalar Çizelge 4.18’de verilmiştir. Çizelge 4.17 ve 4.18’in birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin toplam klorofil, klorofil *a*, klorofil *b* ve karotenoid içeriği üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, Cu uygulamasının ve NO x Cu interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$, $P<0,05$).

Çizelge 4.19. Cu stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit (NO) uygulamasının biber çeşitlerinin fotosentetik pigment miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Toplam Klorofil (µg g⁻¹ YA)					
Genel	5	6392,837		52885,448	
Nitrik Oksit (NO)	2	2232,230	2159,0680**	8319,411	106,0548**
Cu	1	3360,360	6500,4280**	4429,1808	1129,2529**
NO x Cu	2	800,240	7740,107**	274,229	3495,840**
Hata	12	0,62030		0,047	
Klorofil <i>a</i> (µg g⁻¹ YA)					
Genel	5	5,965		108,460	
Nitrik Oksit (NO)	2	4,270	37,676**	55,630	521,5312**
Cu	1	0,405	7,147*	5,1200	96,000**
NO x Cu	2	1,290	11,382*	47,710	447,2812**
Hata	12	0,680		0,6400	
Klorofil <i>b</i> (µg g⁻¹ YA)					
Genel	5	55,001		161,566	
Nitrik Oksit (NO)	2	7,464	488,946**	80,897	464,365**
Cu	1	17,719	2583,301**	1,12	13,969*
NO x Cu	2	27,818	1822,148**	79,4516	456,065**
Hata	12	0,091		1,045	
Karotenoid (µg g⁻¹ YA)					
Genel	5	181,660		1049,100	
Nitrik Oksit (NO)	2	27,190	76,952**	529,590	4814,455**
Cu	1	103,680	586,867**	255,380	4643,273**
NO x Cu	2	50,790	143,745**	264,130	2401,182**
Hata	12	2,120		0,660	

*** $P<0,001$; ** $P<0,010$; * $P<0,050$; öd: önemli değil

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde toplam klorofil içeriği $63,89 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %6,82 oranında azalış göstererek $59,81 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde toplam klorofil içeriğinde sırasıyla %6,13 ve %10,16 oranında artış göstererek $63,48 \mu\text{g g}^{-1}$ ve $65,89 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %2,53 ve %2,80 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toplam klorofil içeriği $65,57 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %3,98 azalma göstererek $63,06 \mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin toplam klorofil içeriği $61,85 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %3,92 ve %8,01 oranında önemli artış göstererek $64,28$ ve $66,81 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Dolmalık çeşidinde Cu uygulaması toplam klorofil içeriği üzerine de istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde toplam klorofil içeriği $63,56 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %15,14 oranında azalış göstererek $55,20 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidinde toplam klorofil içeriğinde sırasıyla %9,89 ve %16,26 oranında artış göstererek $60,66 \mu\text{g g}^{-1}$ ve $64,18 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Cu uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %7,55 ve %10,43 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toplam klorofil içeriği $66,56 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %10,91 azalma göstererek $60,01 \mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin toplam klorofil içeriği 59,38 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %5,17 ve %13,72 oranında önemli artış göstererek 62,95 ve 67,53 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği sırasıyla 45,40 ve 14,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Cu uygulaması ile bitkilerin klorofil *a* içeriğinde belirlenen değişim istatistiksel olarak aynı grupta yer alırken, klorofil *b* içeriğinde %37,07 oranında önemli bir azalma meydana gelmiş ve bitkilerin klorofil *b* içeriği Cu uygulaması ile 10,87 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde klorofil *a* içeriği 46,20 ve 46,30 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Klorofil *b* içeriğinde 25 ve 50 μM NO uygulaması ile meydana gelen artış %33,39 oranlarında bulunmuş ve klorofil *b* içeriği 14,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 50 μM NO uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde klorofil *a* içeriğinde 1 mM Cu uygulaması sonucunda %1,94 oranında önemli azalma meydana gelirken, klorofil *b* içeriğinde 1 mM Cu uygulaması sonucunda meydana gelen azalma oranları %7,51 ve %13,51 olarak belirlenmiştir.

Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde klorofil *a* içeriği 46,36 $\mu\text{g g}^{-1}$ klorofil *b* içeriği 15,65 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değerler sırasıyla %0,65 ve %17,75 azalma göstererek 46,06 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 13,29 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM d) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin klorofil *a* içeriği 45,55 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamalarında bu değer %1,86 ve %2,52 oranında artış göstererek 46,40 ve 46,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18). NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin klorofil *b* içeriği 12,88 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %16,77 ve %20,18 oranında önemli artış göstererek 15,04 ve 15,48 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Bakır uygulaması dolmalık çeşidinde klorofil *a* ve *b* içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği sırasıyla 47,70 ve 13,96 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Cu uygulaması ile bitkilerin klorofil *a* ve klorofil *b* içeriğinde sırasıyla %8,65 ve %47,88 oranlarında önemli bir azalma meydana gelmiş ve bitkilerin klorofil *a* ve *b* içeriği 43,90 ve 9,44 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 μM NO dolmalık çeşidine ait bitkilerde klorofil *a* içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkide bulunmamıştır. 50 μM NO uygulaması ile klorofil *a* içeriği %7,28 oranında artış göstererek 47,10 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Klorofil *b* içeriğinde 25 ve 50 μM NO uygulaması ile meydana gelen artış %47,98 ve %55,61 oranlarında bulunmuş ve klorofil *b* içeriği sırasıyla 13,97 ve 14,69 olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde klorofil *a* içeriğinde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %12,24 ve %11,21 oranlarında önemli azalmalar meydana gelirken, klorofil *b* içeriğinde 1 mM Cu uygulaması sonucunda meydana gelen azalma oranları %7,44 ve %34,30 olarak belirlenmiştir.

Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde klorofil *a* içeriği 48,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ klorofil *b* içeriği 16,23 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değerler sırasıyla %10,63 ve %27,79 azalma göstererek 44,20 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 12,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin klorofil *a* içeriği 45,80 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %2,18 ve %2,83 oranında önemli artış göstererek 46,80 ve 47,10 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4). NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin klorofil *b* içeriği 11,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %23,84 ve %47,09 oranında önemli artış göstererek 14,49 ve 17,21 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde karotenoid içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur.

NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde karotenoid içeriği $20,90 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %11,17 oranında azalış göstererek $18,80 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan $50 \mu\text{M}$ NO; çarliston çeşidi bitkilerde karotenoid içeriğinde sırasıyla %6,38 oranında artış göstererek ve $20,00 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %23,15 ve %39,50 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde karotenoid içeriği $24,06 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %24,92 azalma göstererek $19,26 \mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin karotenoid içeriği $19,85 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %6,80 ve %17,63 oranında önemli artış göstererek $21,20$ ve $23,35 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Dolmalık çeşidinde Cu uygulaması karotenoid içeriği üzerine de istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde karotenoid içeriği $25,10 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %29,38 oranında azalış göstererek $19,40 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidinde karotenoid içeriğinde sırasıyla %12,37 ve %51,54 oranında artış göstererek $21,80$ ve $29,40 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %47,70 ve %44,55 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde karotenoid içeriği $33,26 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %30,27 azalma göstererek $25,53 \mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin karotenoid içeriği $22,25 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %21,34 ve %61,57 oranında önemli artış göstererek $27,00$ ve $35,95 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Kadmiyum (Cd) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin fotosentetik pigment içeriğine etkisi

Kadmiyum stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 µM) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içeriği üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.20’de ve fotosentetik pigment içeriğine ait ortalamalar Çizelge 4.18’de verilmiştir. Çizelge 4.20 ve 4.18’in birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin toplam klorofil, klorofil *a*, klorofil *b* ve karotenoid içeriği üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, Cd uygulamasının ve NO x Cd interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$, $P<0,05$).

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde toplam klorofil içeriği 64,89 µg g⁻¹ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %11,11 oranında azalma göstererek 58,40 µg g⁻¹ olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.20. Cd stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin fotosentetik pigment miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Toplam Klorofil					
Genel	5	1916,597		22723,776	
Nitrik Oksit (NO)	2	4858,990	3961,8500**	1049,061	2242,648**
Kadmiyum (Cd)	1	1842,184	3004,106**	2167,123	9265,611**
NO x Cd	2	2582,350	2105,554**	34,790	7436,245**
Hata	12	0,740		0,028	
Klorofil a					
Genel	5	5,325		54,745	
Nitrik Oksit (NO)	2	2,730	14,625**	26,410	304,738**
Kadmiyum (Cd)	1	0,125	1,339 öd	4,805	110,884**
NO x Cd	2	2,470	13,232**	23,530	271,500**
Hata	12	1,120		0,520	
Klorofil b					
Genel	5	105,067		161,030	
Nitrik Oksit (NO)	2	52,531	469,685**	80,410	445,512**
Kadmiyum (Cd)	1	35,028	626,378**	0,033	560,374 **
NO x Cd	2	17,477	156,266**	80,586	446,492**
Hata	12	0,6710		1,0829	
Karotenoid					
Genel	5	250,384		1134,165	
Nitrik Oksit (NO)	2	109,337	270,340**	312,930	2470,500**
Kadmiyum (Cd)	1	135,575	670,428**	489,845	7734,395**
NO x Cd	2	5,471	13,527**	331,390	2616,273**
Hata	12	252,811		0,760	

*** $P<0,001$; ** $P<0,01$; * $P<0,05$; öd: önemli değil

1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde toplam klorofil içeriğinde sırasıyla %9,40 ve %12,39 oranında artış göstererek 63,89 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 65,64 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Cd uygulaması çarliston çeşidinde toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %3,89 ve %3,19 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toplam klorofil içeriği 66,33 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %5,89 azalma göstererek 62,64 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin toplam klorofil içeriği 61,64 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %5,66 ve %8,19 oranında önemli artış göstererek 65,13 ve 66,69 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Dolmalık çeşidinde Cd uygulaması toplam klorofil içeriği üzerine de istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde toplam klorofil içeriği 62,56 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %12,51 oranında azalış göstererek 55,60 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidinde toplam klorofil içeriğinde sırasıyla %11,31 ve %16,60 oranında artış göstererek 61,89 ve 64,83 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Cd uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %8,64 ve %10,87 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde toplam klorofil içeriği 67,22 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %10,61 azalma göstererek 60,77 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin toplam klorofil içeriği 59,08 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %9,27 ve %15,69 oranında önemli artış göstererek 64,56 ve 68,35 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği sırasıyla 46,30 ve 14,86 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Cd uygulaması ile bitkilerin klorofil *a* ve *b* içeriklerinde %1,98 ve %39,66 oranlarında önemli azalma meydana gelmiş ve bitkilerin klorofil *a* ve *b* içeriği sırasıyla 45,40 ve 10,64 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde klorofil *a* içeriği 46,50 ve 46,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde klorofil *b* içeriği 14,55 ve 14,59 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. 50 μM NO uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde klorofil *a* içeriğinde 1 mM Cu uygulaması sonucunda %1,07 oranında önemli azalma meydana gelirken, klorofil *b* içeriğinde 1 mM Cd uygulaması sonucunda meydana gelen azalma oranı %31,59 olarak belirlenmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde klorofil *a* içeriği 46,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ klorofil *b* içeriği 16,33 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değerler sırasıyla %1,08 ve %23,15 azalma göstererek 46,20 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 13,26 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin klorofil *a* içeriği 45,85 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamalarında bu değer %1,52 ve %2,39 oranında artış göstererek 46,55 ve 46,95 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiş, 25 ve 50 μM NO uygulamaları aynı istatistiksel grupta yer almıştır (Çizelge 4.18). NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin klorofil *b* içeriği 12,75 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer %32,47 oranında önemli artış göstererek 16,89 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Kadmiyum uygulaması dolmalık çeşidinde klorofil *a* ve *b* içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği sırasıyla 46,80 ve 14,30 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Cd uygulaması ile bitkilerin klorofil *a* ve *b* içeriklerinde %6,12 ve %51,48 oranlarında önemli bir azalma meydana gelmiş ve bitkilerin klorofil *a* ve *b* içeriği 44,10 ve 9,44 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulaması ile dolmalık çeşidine ait bitkilerde klorofil *a* içeriği %2,26 ve %4,98 oranında artış göstererek 45,10 ve 46,30 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Klorofil *b* içeriğinde 25 ve 50 μM NO uygulaması ile meydana gelen artış %52,11 ve %61,54 oranlarında bulunmuş ve klorofil *b* içeriği sırasıyla 14,36 ve 15,25 olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde klorofil *a* içeriğinde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %5,76 ve %6,91 oranlarında önemli azalmalar meydana gelirken, klorofil *b* içeriğinde 1 mM Cd uygulaması sonucunda meydana gelen azalma oranları %5,15 ve %29,37 olarak belirlenmiştir.

Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde klorofil *a* içeriği 48,00 $\mu\text{g g}^{-1}$ klorofil *b* içeriği 16,34 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değerler sırasıyla %6,28 ve %25,59 azalma göstererek 45,16 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 13,01 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin klorofil *a* içeriği 45,45 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer %5,39 oranında önemli artış göstererek 47,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4). NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin klorofil *b* içeriği 11,87 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %23,67 ve %47,34 oranında önemli artış göstererek 14,68 ve 17,49 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde karotenoid içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde karotenoid içeriği 20,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %32,02 oranında azalış göstererek 15,83 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde karotenoid içeriğinde sırasıyla %20,02 ve %32,02 oranında artış göstererek 19,00 ve 20,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %10 ve %33,49 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde karotenoid içeriği 24,06 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %29,56 azalma göstererek 18,57 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin karotenoid içeriği 18,36 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %15,46 ve %32,89 oranında önemli artış göstererek 21,20 ve 24,40 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Dolmalık çeşidinde Cd uygulaması karotenoid içeriği üzerine de istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde karotenoid içeriği 21,80 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %2,34 oranında azalış göstererek 21,30 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde karotenoid içeriğinde sırasıyla %1,40 ve %4,69 oranında artış göstererek 21,60 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 22,30 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %2,34 ve %90,58 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde karotenoid içeriği 32,16 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %47,99 azalma göstererek 21,73 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin karotenoid içeriği 21,55 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %24,82 ve %48,02 oranında önemli artış göstererek 26,90 ve 31,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

4.2.4. Bitkilerin Çözünabilir Protein Miktarları

Ağır metal (Zn, Cu, Cd) stresi altında yetiştirilen çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin çözünabilir protein miktarları üzerine olan etkilerine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.21’de ve biber çeşitlerinin çözünabilir protein miktarlarına ait ortalamalar Çizelge 4.22’de verilmiştir. Çizelge 4.21 ve 4.22’nin birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin çözünabilir protein miktarları üzerine artan konsantrasyonlarda NO ve ağır metal uygulamalarının etkisi ile NO x Zn ($P<0,01$), NO x Cu ($P<0,01$) ve NO x Cd ($P<0,01$) etkileşimlerinin etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.21. Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünabilir protein miktarlarına etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Zn Uygulaması					
Genel	5	696,410		529,275	
Nitrik Oksit (NO)	2	69,679	55,554**	96,275	52,796**
Çinko (Zn)	1	612,966	977,410**	404,416	443,553**
NO x Zn	2	13,764	10,973*	29,104	15,960**
Hata	12	7,525		10,941	
Cu Uygulaması					
Genel	5	1319,417		992,277	
Nitrik Oksit (NO)	2	82,752	29,910**	84,515	54,569**
Bakır (Cu)	1	1227,766	887,539**	884,381	1142,046**
NO x Cu	2	8,898	30,216 **	23,380	15,096**
Hata	12	16,600		3,292	
Cd Uygulaması					
Genel	5	3388,195		2509,721	
Nitrik Oksit (NO)	2	44,390	20,550**	76,275	32,911**
Kadmiyum (Cd)	1	3336,083	3088,966**	2415,356	2084,360**
NO x Cd	2	7,721	39,574 **	18,088	97,805**
Hata	12	12,960		13,905	

*** $P<0,001$; ** $P<0,010$; * $P<0,050$; öd: önemli değil

Çizelge 4.22. Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünebilir protein miktarları (mg prot g⁻¹ YA) üzerine etkileri

Ağır Metal Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
-Zn	54,04b	58,28a	57,73a	56,68 A	55,98 b	56,73 b	58,51 a	57,07 A
+Zn	42,41e	44,44d	48,18c	45,01 B	43,33 e	47,36 d	52,09 c	47,59 B
<i>Ortalama</i>	48,22C	51,63B	52,96A		49,65 C	52,05 B	55,30 A	
-Cu	54,04	58,28	57,73	56,68 A	55,98 b	56,73 b	58,51 a	57,07 A
+Cu	36,88	40,45	43,17	40,16 B	38,99 e	43,10 d	47,07 c	43,05 B
<i>Ortalama</i>	45,45B	49,36A	50,45A		47,48 C	49,92 B	52,79 A	
-Cd	54,04	57,73	58,28	56,68 A	55,98 b	56,73ab	58,51 a	57,07 A
+Cd	27,76	29,20	31,40	29,45 B	20,51 e	33,28 d	37,92 c	33,90 B
<i>Ortalama</i>	40,90B	43,74A	44,57A		43,24 C	45,01 B	48,21 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Çinko (Zn) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının çözünebilir protein miktarına etkisi

Zn uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde çözünebilir protein miktarı üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. 0 µM NO ve 0 mM Zn uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde çözünebilir protein miktarı 54,04 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenirken, 1mM Zn uygulaması ile bu değer %27,42 oranında önemli bir azalma göstererek 42,41 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. 1 mM Zn uygulaması ile birlikte 25 ve 50 µM NO uygulamalarında %4,78 ve %13,60 oranlarında önemli artışlar gösteren çarliston çeşidi bitkilerde çözünebilir protein miktarı 44,44 mg prot g⁻¹ YA ve 48,18 g saksı⁻¹ mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. Zn uygulanmayan ortamda (0 mM Zn) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde ortalama protein içeriği 56,68 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenirken, Zn (1 mM Zn) uygulanan ortamda bu değer %25,92 oranında önemli bir azalma göstererek 45,01 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama protein miktarı 48,22 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunurken 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %7,07 ve %9,82 oranında önemli artışlar göstererek 51,63 ve 52,96 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.22).

Çinko uygulanmayan (0 mM Zn) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin çözünebilir protein miktarı 0 µM NO uygulamasında 55,98 mg prot g⁻¹ YA iken 50 µM NO uygulamasında %4,51 oranında önemli artış göstererek 58,51 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.22). Zn uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde ise; 0 µM NO uygulamasında 43,33 mg prot g⁻¹ YA dolmalık çeşidinin çözünebilir protein miktarı 25 ve 50 µM NO uygulamalarıyla %9,30 ve %20,21 oranlarında önemli artış göstererek 47,36 ve 52,09 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. Zn uygulanmayan ortamda (0 mM Zn) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde ortalama protein içeriği 57,07 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenirken, Zn (1 mM Zn) uygulanan ortamda bu değer %19,92 oranında önemli bir azalma göstererek 47,59 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir.

NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama protein miktarı 49,65 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunurken 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %4,83 ve %11,37 oranında önemli artışlar göstererek 52,05 ve 55,30 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.22).

Bakır (Cu) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının çözünebilir protein miktarına etkisi

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde çözünebilir protein miktarı üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. 0 µM NO uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması bitkilerin çözünebilir protein miktarının %46,52 oranında azalmasına neden olmuştur. 0 µM NO ve 0 mM Cu uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde çözünebilir protein miktarı 54,04 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenirken, 25 ve 50 µM NO uygulamalarında bu değer %7,84 ve %6,82 oranlarında önemli artış göstererek 58,28 ve 57,73 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenmiş, 25 ve 50 µM NO uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Cu uygulanan koşullarda ise; 0 µM NO uygulamasında 36,38 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenen çarliston çeşidinin protein miktarı 25 ve 50 µM NO uygulamalarıyla %11,18 ve %18,66 oranlarında önemli artış göstererek 40,45 ve 43,17 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur.

Cu uygulanmayan ortamda (0 mM Cu) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde ortalama protein miktarı 56,68 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenirken, Cu (1 mM Cu) uygulanan ortamda bu değer %41,13 oranında önemli bir azalma göstererek 40,16 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin olan protein içerikleri 45,45 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunurken 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %8,60 ve %11,00 oranında önemli artışlar göstererek 49,36 ve 50,45 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14). 25 ve 50 µM NO uygulamaların bitkilerin protein miktarına etkisi aynı istatistiksel grupta yer almıştır.

Dolmalık çeşidine ait bitkilerde 0 µM NO ve 1mM Cu uygulaması bitkilerin çözünebilir protein miktarının %43,57 oranında azalmasına neden olmuştur. Cu uygulanmayan (0 mM Cu) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin çözünebilir protein miktarı 0 µM NO uygulamasında 55,98 mg prot g⁻¹ YA iken 50 µM NO uygulamasında %4,51 oranında önemli artış göstererek 58,51 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.22). Cu uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde ise; 0 µM NO uygulamasında 38,99 mg prot g⁻¹ YA dolmalık çeşidinin çözünebilir protein miktarı 25 ve 50 µM NO uygulamalarıyla %10,54 ve %20,72 oranında önemli artış göstererek 43,10 ve 47,07 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. Cu uygulanmayan ortamda (0 mM Cu) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde ortalama protein miktarı 57,07 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenirken, Cu (1 mM Cu) uygulanan ortamda bu değer %32,56 oranında önemli bir azalma göstererek 43,05 mg prot g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin protein miktarı 47,48 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunurken 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %5,13 ve %11,18 oranında önemli artışlar göstererek 49,92 ve 52,79 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.22).

Kadmiyum (Cd) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının çözünebilir protein miktarına etkisi

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde çözünebilir protein miktarı üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur.

0 μM NO uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde 1mM Cu uygulaması bitkilerin çözünebilir protein miktarının %94,66 oranında azalmasına neden olmuştur. 0 μM NO ve 0 mM Cd uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde çözünebilir protein miktarı 54,04 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenirken, 25 ve 50 μM NO uygulamalarında bu değer %6,82 ve %7,84 oranlarında önemli artış göstererek 57,73 ve 58,28 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenmiş, 25 ve 50 μM NO uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Cd uygulanan koşullarda ise; 0 μM NO uygulamasında 27,76 mg prot g^{-1} YA¹ olarak belirlenen çarliston çeşidinin protein miktarı 25 ve 50 μM NO uygulamalarıyla %5,18 ve %13,11 oranlarında önemli artış göstererek 29,20 ve 31,40 mg prot g^{-1} YA¹ olarak bulunmuştur.

Cd uygulanmayan ortamda (0 mM Cd) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde ortalama protein miktarı 56,68 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenirken, Cd (1 mM Cd) uygulanan ortamda bu değer %92,46 oranında önemli bir azalma göstererek 29,45 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama protein miktarı 40,90 mg prot g^{-1} YA¹ olarak bulunurken 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %6,94 ve %8,97 oranında önemli artışlar göstererek 43,74 ve 44,57 mg prot g^{-1} YA olarak bulunmuştur. 25 ve 50 μM NO uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır (Çizelge 4.22).

Dolmalık çeşidine ait bitkilerde 0 μM NO ve 1mM Cd uygulaması bitkilerin çözünebilir protein miktarının %172,94 oranında azalmasına neden olmuştur. Cd uygulanmayan (0 mM Cd) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin çözünebilir protein miktarı 0 μM NO uygulamasında 54,04 mg prot g^{-1} YA iken 25 ve 50 μM NO uygulamasında %6,82 ve %7,80 oranında önemli artış göstererek 57,73 ve 58,26 mg prot g^{-1} YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.22). Cd uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde ise; 0 μM NO uygulamasında dolmalık çeşidinin çözünebilir protein miktarı 27,76 g saksı⁻¹ olarak bulunurken 25 ve 50 μM NO uygulamalarında sırasıyla %5,18 ve %13,11 oranında artış göstererek 29,20 ve 31,40 mg prot g^{-1} YA olarak bulunmuştur.

Cd uygulanmayan ortamda (0 mM Cd) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde ortalama çözünebilir protein miktarı 56,68 mg prot g⁻¹ YA⁻¹ olarak belirlenirken, Cd (1 mM Cd) uygulanan ortamda bu değer %92,46 oranında önemli bir azalma göstererek 29,45 mg prot g⁻¹ YA⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin olan protein miktarı 40,90 mg prot g⁻¹ YA⁻¹ olarak bulunurken 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %6,94 ve %8,97 oranında önemli artışlar göstererek 43,74 ve 44,57 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.22).

4.2.5. Bitkilerin Kimi Stres Parametresi (H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA) İçerikleri

Çinko (Zn) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA miktarına etkisi

Çinko stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 µM) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA miktarı üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.23'te ve fotosentetik pigment miktarına ait ortalamalar Çizelge 4.24'te verilmiştir. Çizelge 4.23 ve 4.24'ün birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA miktarı üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, Zn uygulamasının ve NO x Zn interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$, $P<0,05$)

Çizelge 4.23. Çinko stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA miktarına etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
H₂O₂					
Genel	5	129,282		81,833	
Nitrik Oksit (NO)	2	5,004	4,391*	24,952	29,415**
Çinko (Zn)	1	100,300	175,995**	54,253	127,916**
NO x Zn	2	23,977	21,036**	2,627	36,097 **
Hata	12	6,838		5,089	
MDA					
Genel	5	153,958		160,198	
Nitrik Oksit (NO)	2	37,639	83,860**	15,768	69,871**
Çinko (Zn)	1	99,217	442,111**	129,444	1147,158**
NO x NaCl	2	17,102	38,103**	14,986	66,405**
Hata	12	2,693		1,354	
Prolin					
Genel	5	11,823		10,237	
Nitrik Oksit (NO)	2	0,965	57,170**	0,428	24,877**
Çinko (Zn)	1	10,687	1265,637**	9,665	1120,980**
NO x Zn	2	0,170	10,094**	0,143	8,3164*
Hata	12	0,101		0,103	
AsA					
Genel	5	86216,444		8375,583	
Nitrik Oksit (NO)	2	17981,444	1903,918**	2764,233	2056,041**
Çinko (Zn)	1	67712,000	1433,901**	5522,272	8214,950**
NO x Zn	2	523,000	55,376**	890,778	66,256**
Hata	12	56,667		80,667	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; öd: önemli değil

Çizelge 4.24. Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, prolin ve AsA miktarları üzerine etkisi

Ağır Metal Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
H₂O₂ (µmol g⁻¹ YA)								
-Zn	15,65 c	14,60cd	14,16 d	11,97 B	13,09b	11,92c	10,88d	11,97 B
+Zn	21,23 a	20,11 a	17,24 b	14,90 A	16,75a	16,22a	13,34b	15,44 A
Ortalama	18,44 A	17,35AB	16,44 B		14,92 A	14,07 B	12,11 C	
-Cu	15,65cd	14,60 d	14,16 d	14,80 B	13,09 c	11,92 d	10,88 e	11,96 B
+Cu	23,74 a	20,31 b	17,08 c	20,37 A	20,19 a	16,84 b	13,15 c	16,72 A
Ortalama	18,95 A	17,45 B	16,36 B		16,64 A	14,38 B	12,02 C	
-Cd	15,65cd	14,60 d	14,16 d	14,80 B	10,88 e	11,92 d	13,09 c	11,97 B
+Cd	30,64 a	25,49 b	20,51 c	25,55 A	26,16 a	16,84 b	13,15 c	21,66 B
Ortalama	22,40 A	20,04 B	18,08 C		18,52 A	14,38 B	13,12 C	
MDA (nmol g⁻¹ YA)								
-Zn	4,65 d	3,87 de	3,49 e	2,26 B	2,30 d	2,24 d	2,23 d	2,26 B
+Zn	11,63 a	8,76 b	5,70 c	5,47 A	9,91 a	7,57 b	5,38 c	7,62 A
Ortalama	8,14 A	6,32 B	4,59 C		6,10 A	4,90 B	3,81 C	
-Cu	4,65 d	3,87 d	3,49 d	4,00 B	2,30 d	2,24 d	2,23 d	2,25 B
+Cu	14,40 a	11,31 b	7,21 c	10,97 A	11,17 a	8,90 b	6,03 c	8,7 A
Ortalama	9,52 A	7,59 B	5,35 C		6,74 A	5,56 B	4,14 C	
-Cd	4,65 d	3,87 d	3,49 d	4,00 B	2,30 d	2,24 d	2,23 d	2,26 B
+Cd	18,77 a	14,94 b	11,38 c	15,03 A	15,85 a	13,59 b	10,25 c	13,23 A
Ortalama	11,71 A	9,41 B	7,43 C		9,08 A	7,91 B	6,25 C	
Prolin (mg g⁻¹)								
-Zn	0,57 d	0,48 d	0,25 e	0,43 B	0,33 c	0,31 c	0,18 c	0,43 B
+Zn	2,35 a	2,02 b	1,55 c	1,97 A	1,94 a	1,88 a	1,40 b	1,97 A
Ortalama	1,46 A	1,25 B	0,90 C		1,13 A	1,10 A	0,79 B	
-Cu	0,57 d	0,48 d	0,25 e	0,43 d	0,33 c	0,31 c	0,18 c	0,27 B
+Cu	2,82 a	2,41 b	1,76 c	2,82 a	2,85 a	2,46 a	1,76 b	2,35 A
Ortalama	1,46 A	1,44 B	1,00 C		1,59 A	1,39 A	0,97 B	
-Cd	0,57 d	0,48 d	0,25 e	0,43 B	0,33 c	0,31 c	0,18 c	0,27 B
+Cd	2,92 a	2,74 b	2,03 c	2,56 A	2,77a	2,57 b	1,74 c	2,36 A
Ortalama	1,75 A	1,61 B	1,14 C		0,55 B	1,29 A	0,96 A	
AsA (nmol g⁻¹)								
-Zn	129,66 f	160,66e	194,00d	161,44 B	150,00 f	192,66 e	230,66 d	191,11 B
+Zn	240,66c	280,66b	331,00a	284,10 A	250,33c	294,00b	361,33 c	301,88 A
Ortalama	185,16C	220,66B	262,50A		200,16C	243,33B	296,00 A	
-Cu	144,33 f	174,66e	220,33d	179,77 B	223,66 f	245,33 e	250,33 d	239,77 B
+Cu	240,66c	280,66b	331,00a	284,11 A	256,37 c	289,93b	391,76 a	312,68 A
Ortalama	192,50C	227,66B	275,66A		240,15C	267,63B	321,04 A	
-Cd	105,00 f	121,66e	147,66d	124,77 B	122,00 f	146,00e	185,00 d	151,00 B
+Cd	240,66c	280,66b	331,00a	284,10 A	250,33 c	294,00b	361,33 a	301,88 A
Ortalama	172,83C	201,16B	239,33A		186,16C	220,00	273,16 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde H₂O₂ miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde H₂O₂ miktarı 15,65 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %35,65 oranında artış göstererek 21,23 µmol g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 50 µM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde H₂O₂ miktarı %23,14 oranında önemli azalma göstererek 17,24 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda H₂O₂ miktarında %37,73 ve %21,75 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde H₂O₂ miktarı 11,97 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %24,47 artış göstererek 14,90 µmol g⁻¹ YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin H₂O₂ miktarı 18,44 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %6,28 ve %12,16 oranında önemli azalma göstererek 17,35 ve 16,44 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Dolmalık çeşidinde Zn uygulaması H₂O₂ miktarı üzerine de istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde H₂O₂ miktarı 13,09 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer artış göstererek 16,75 µmol g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO dolmalık çeşidinde H₂O₂ miktarında azalmaya neden olmuş 50 µM NO uygulaması ile bu değer %25,56 oranında önemli azalma göstererek 13,34 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %36,07 ve %22,61 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde H₂O₂ miktarı 11,97 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %28,98 artış göstererek 15,44 µmol g⁻¹ YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin H₂O₂ miktarı 14,92 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %6,04 ve %23,20 oranında önemli azalma göstererek 14,07 ve 12,11 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde MDA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde MDA miktarı sırasıyla 4,65 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken 1 mM Zn uygulaması ile bu değer %150,10 oranında önemli artış göstererek 11,63 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde MDA miktarı sırasıyla %32,76 ve %104,03 oranında azalma göstererek 8,76 ve 5,70 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde MDA miktarında 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %126,35 ve %63,32 oranlarında önemli artışlar meydana belirlenmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde MDA miktarı 2,26 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değerler %152,21 oranında önemli artış göstererek 5,70 olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin MDA miktarı 8,14 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulamasında bu değer sırasıyla %28,79 ve %77,34 oranlarında önemli azalma göstererek 6,32 ve 4,59 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Çinko uygulaması dolmalık çeşidinde MDA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde MDA miktarı 2,30 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bitkilerin MDA miktarı %330,86 oranında önemli bir artış meydana gelmiş ve bitkilerin MDA miktarı 9,91 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO ile dolmalık çeşidinde MDA miktarı sırasıyla %30,91 ve %84,20 oranında önemli azalma göstererek 7,57 ve 5,38 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde MDA miktarında 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %237,94 ve %141,25 oranlarında önemli artışlar belirlenmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde MDA miktarı 2,26 nmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %237,16 oranında önemli artış göstererek 7,62 nmol g⁻¹ YA olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin MDA miktarı 6,10 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %24,48 ve %60,10 oranında önemli azalma göstererek 4,90 ve 3,81 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde prolin miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde prolin miktarı 0,57 mg g^{-1} olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %312,28 oranında artış göstererek 2,35 mg g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde prolin miktarı sırasıyla %16,33 ve %51,61 oranında azalma göstererek 2,02 ve 1,55 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %320,83 ve %520,0 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde prolin miktarı 0,43 mg g^{-1} olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %358,13 oranında önemli artış göstererek 1,97 mg g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin prolin miktarı 1,46 mg g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %16,80 ve %62,22 oranında önemli azalma göstererek 1,25 ve 0,90 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24). Dolmalık çeşidinde Zn uygulaması prolin miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır.

NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde prolin miktarı 0,33 mg g^{-1} olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %487,87 oranında artış göstererek 1,94 mg g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile dolmalık çeşidinde prolin miktarı sırasıyla %3,19 ve %38,57 oranında azalma göstererek 1,88 ve 1,40 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %506,45 ve %677,77 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde prolin miktarı 0,43 mg g^{-1} olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %358,13 oranında önemli artış göstererek 1,97 mg g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin prolin miktarı 1,13 mg g^{-1} olarak belirlenirken 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %43,03 oranında önemli azalma göstererek 0,79 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde AsA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde AsA miktarı 129,66 nmol g^{-1} olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %85,60 oranında artış göstererek 240,66 nmol g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde AsA miktarı sırasıyla %16,62 ve %37,75 oranında artış göstererek 280,6 ve 331,0 nmol g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde AsA miktarında 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %74,69 ve %70,61 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde AsA miktarı 161,44 nmol g^{-1} olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %75,97 oranında önemli artış göstererek 284,10 nmol g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin AsA miktarı 185,2 nmol g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %19,17 ve %41,76 oranında önemli artış göstererek 220,6 ve 262,50 nmol g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Dolmalık çeşidinde de Zn uygulaması AsA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde AsA miktarı 150,0 nmol g^{-1} olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %66,88 oranında artış göstererek 250,3 nmol g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde AsA miktarı sırasıyla %17,44 ve %44,34 oranında artış göstererek 294,0 ve 361,3 nmol g^{-1} olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %52,60 ve %65,60 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde AsA miktarı 191,1 nmol g^{-1} olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %57,96 oranında önemli artış göstererek 301,88 nmol g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin AsA miktarı 200,2 nmol g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %21,56 ve %47,88 oranında önemli artış göstererek 243,33 ve 294,0 nmol g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Bakır (Cu) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin H_2O_2 , MDA, Prolin ve AsA miktarına etkisi

Bakır stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 μM) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin H_2O_2 , MDA, Prolin ve AsA miktarı üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.25'te ve fotosentetik pigment miktarına ait ortalamalar Çizelge 4.24'te verilmiştir. Çizelge 4.24 ve 4.25'in birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin H_2O_2 , MDA, Prolin ve AsA miktarı üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, Cu uygulamasının ve NO x Cu interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$).

Bakır uygulaması çarliston ve dolmalık çeşidi bitkilerde H_2O_2 miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde H_2O_2 miktarı 15,65 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %51,69 oranında artış göstererek 23,74 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde H_2O_2 miktarında sırasıyla %16,88 ve %38,99 oranında azalma göstererek 20,31 mg g^{-1} ve 17,08 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %39,10 ve %20,62 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde H_2O_2 miktarı 14,80 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %37,63 artış göstererek 20,37 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olmuştur.

Çizelge 4.25. Bakır stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA miktarına etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
H₂O₂					
Genel	5	209,757		183,577	
Nitrik Oksit (NO)	2	20,186	11,212*	64,137	51,005**
Bakır (Cu)	1	139,667	155,151**	101,911	162,091**
NO x Cd	2	49,903	27,717**	17,528	13,939**
Hata	12	10,802		7,544	
MDA					
Genel	5	298,698		226,836	
Nitrik Oksit (NO)	2	218,544	443,209**	20,319	73,084**
Bakır (Cu)	1	52,391	53,124**	187,017	1345,344**
NO x NaCl	2	27,763	28,151**	19,499	70,135**
Hata	12	5,917		1,668	
Prolin					
Genel	5	18,0675		21,347	
Nitrik Oksit (NO)	2	1,4694	93,6608**	1,170	158,924**
Bakır (Cu)	1	116,1888	2063,632**	19,489	5291,296**
NO x Cd	2	0,4100	26,1353**	0,687	93,259**
Hata	12	0,0961		0,044	
AsA					
Genel	5	7005,9611		35821,778	
Nitrik Oksit (NO)	2	2091,4778	1863,693**	20449,778	1878,041**
Bakır (Cu)	1	4898,4500	8729,911**	1280,000	2351,020**
NO x Cd	2	160,333	14,2871**	2572,00	236,204**
Hata	12	67,333		65,333	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,010$; * $P < 0,050$; öd: önemli değil

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin H₂O₂ miktarı 18,95 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %8,59 ve %15,83 oranında önemli azalma göstererek 17,45 ve 16,36 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24). NO ve Cu uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde H₂O₂ miktarı 13,09 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %54,57 oranında artış göstererek 20,19 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidinde H₂O₂ miktarı sırasıyla %19,89 ve %53,53 oranında azalma göstererek 16,84 ve 13,15 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %39,10 ve %17,51 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde H_2O_2 miktarı 11,96 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %39,79 artış göstererek 16,72 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin H_2O_2 miktarı 16,64 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %15,71 ve %38,43 oranında önemli azalma göstererek 14,38 ve 12,02 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Bakır uygulaması çarliston ve dolmalık çeşidi bitkilerde MDA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cu uygulaması yapılmamış çarliston çeşidi bitkilerde MDA miktarı 4,65 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %209,67 oranında artış göstererek 14,40 nmol g^{-1} YA olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde MDA miktarı %27,32 ve %99,72 oranlarında önemli azalma göstermiş ve 11,31 ve 7,21 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde MDA miktarı 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %192,24 ve %106,59 oranlarında önemli artışlar belirlenmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde MDA miktarı 4,00 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %174,25 artış göstererek 10,97 nmol g^{-1} YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin MDA miktarı 9,52 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamalarında bu değer %25,42 ve %77,94 oranında azalma göstererek 7,59 ve 5,35 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

NO ve Cu uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidinde MDA miktarı 2,30 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %385,65 oranında artış göstererek 11,17 nmol g^{-1} YA olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidinde MDA miktarı sırasıyla %25,50 ve %85,24 oranında azalma göstererek 8,90 ve 6,03 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %297,32 ve %170,40 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde MDA miktarı 2,25 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %286,66 artış göstererek 8,70 nmol g^{-1} YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin MDA miktarı 6,74 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %21,22 ve %62,80 oranında önemli azalma göstererek 5,56 ve 4,14 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde prolin miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde prolin miktarı 0,57 mg g^{-1} olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %394,73 oranında artış göstererek 2,82 mg g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde prolin miktarı sırasıyla %17,01 ve %60,22 oranında azalma göstererek 2,41 ve 1,76 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %402,08 ve %604,00 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde prolin miktarı 0,43 mg g^{-1} olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %555,81 oranında önemli artış göstererek 2,82 mg g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin prolin miktarı 1,46 mg g^{-1} olarak belirlenirken 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer %46,00 oranında önemli azalma göstererek 1,00 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Dolmalık çeşidinde Cu uygulaması prolin miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde prolin miktarı 0,33 mg g^{-1} olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %763,63 oranında artış göstererek 2,85 mg g^{-1} olarak bulunmuştur.

1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μ M NO uygulamaları ile dolmalık çeşidinde prolin miktarı sırasıyla %15,85 ve %61,93 oranında azalma göstererek 2,46 ve 1,76 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μ M) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %693,54 ve %877,77 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μ M) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde prolin miktarı 0,27 mg g^{-1} olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %770,37 oranında önemli artış göstererek 2,35 mg g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μ M) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin prolin miktarı 1,59 mg g^{-1} olarak belirlenirken 50 μ M NO uygulanan ortamda bu değer %14,38 ve %63,91 oranında önemli azalma göstererek 1,39 ve 0,97 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde AsA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde AsA miktarı 144,33 nmol g^{-1} olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %66,74 oranında artış göstererek 240,66 nmol g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μ M NO ile çarliston çeşidi bitkilerde AsA miktarı sırasıyla %16,62 ve %37,53 oranında artış göstererek ve 280,66 ve 331,00 nmol g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μ M) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %60,68 ve %50,22 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μ M) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde AsA miktarı 179,77 mg prot g^{-1} olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %58,04 artış göstererek 284,11 nmol g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μ M) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin AsA miktarı 192,50 nmol g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μ M NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %17,98 ve %43,20 oranında önemli artış göstererek 227,66 ve 275,66 nmol g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24). NO ve Cu uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde AsA miktarı 223,66 nmol g^{-1} olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %14,62 oranında artış göstererek 256,37 nmol g^{-1} olarak bulunmuştur.

1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO dolmalık çeşidinde AsA miktarı sırasıyla %13,09 ve %58,81 oranında artış göstererek 289,93 ve 391,76 nmol g⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %18,17 ve %56,49 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde AsA miktarı 239,77 nmol g⁻¹ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %30,40 artış göstererek 312,68 nmol g⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin AsA miktarı 240,15 nmol g⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %11,44 ve %33,68 oranında önemli artış göstererek 267,63 ve 321,04 nmol g⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Kadmiyum (Cd) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA miktarına etkisi

Kadmiyum stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 µM) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA miktarı üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.25'te ve fotosentetik pigment miktarına ait ortalamalar Çizelge 4.24'te verilmiştir. Çizelge 4.24 ve 4.25'in birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA miktarı üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, Cd uygulamasının ve NO x Cd interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0,001$).

Çizelge 4.26. Kadmiyum stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA miktarına etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
H₂O₂					
Genel	5	676,763		531,870	
Nitrik Oksit (NO)	2	56,060	47,432**	81,547	104,967**
Kadmiyum (Cd)	1	519,386	878,892**	422,726	1088,254**
NO x Cd	2	101,316	85,722**	27,596	35,522**
Hata	12	7,091		4,441	
MDA					
Genel	5	631,523		589,824	
Nitrik Oksit (NO)	2	547,474	3957,962**	24,243	172,646**
Kadmiyum (Cd)	1	54,936	198,5830**	542,192	7722,317**
NO x NaCl	2	29,112	105,235**	23,388	166,559**
Hata	12	1,659		0,842	
Prolin					
Genel	5	21,920		21,3689	
Nitrik Oksit (NO)	2	1,205	65,935**	1,1639	137,469**
Kadmiyum (Cd)	1	20,437	2234,948**	19,552	4618,604**
NO x Cd	2	0,277	15,164**	0,652	77,123**
Hata	12	0,109		0,050	
AsA					
Genel	5	1293,097		1272,811	
Nitrik Oksit (NO)	2	1336,344	1414,953**	2308,078	2257,902**
Kadmiyum (Cd)	1	1142,420	2419,242**	1024,535	2004,526**
NO x Cd	2	1704,330	180,458**	1746,78	170,880**
Hata	12	56,670		61,33	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; öd: önemli değil

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde H₂O₂ miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde H₂O₂ miktarı 15,65 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %95,78 oranında artış göstererek 30,64 µmol g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO çarliston çeşidi bitkilerde H₂O₂ miktarında sırasıyla %20,20 ve %49,39 oranında azalma göstererek 25,49 µmol g⁻¹ YA ve 20,51 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %75,58 ve %44,84 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde H_2O_2 miktarı 14,80 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %72,63 artış göstererek 25,55 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin H_2O_2 miktarı 22,40 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %11,77 ve %23,89 oranında önemli azalma göstererek 20,04 ve 18,08 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

NO ve Cd uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde H_2O_2 miktarı 10,88 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %140,44 oranında artış göstererek 26,16 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidinde H_2O_2 miktarı sırasıyla %55,34 ve %98,93 oranında azalma göstererek 16,84 ve 13,15 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir. 25 μM NO uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %41,27 oranında önemli artış meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde H_2O_2 miktarı 11,97 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %80,95 artış göstererek 21,66 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin H_2O_2 miktarı 18,52 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %28,78 ve %41,15 oranında önemli azalma göstererek 14,38 ve 13,12 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Kadmiyum uygulaması çarliston ve dolmalık çeşidi bitkilerde MDA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cd uygulaması yapılmamış çarliston çeşidi bitkilerde MDA miktarı 4,65 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %303,65 oranında artış göstererek 18,77 nmol g^{-1} YA olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde MDA miktarı %25,63 ve %64,93 oranlarında önemli azalma göstermiş ve 14,94 ve 11,38 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde MDA miktarı 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %286,04 ve %226,07 oranlarında önemli artışlar belirlenmiştir.

Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde MDA miktarı 4,00 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %275,75 artış göstererek 15,03 nmol g^{-1} YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin MDA miktarı 11,71 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamalarında bu değer %24,44 ve %57,60 oranında azalma göstererek 9,41 ve 7,43 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

NO ve Cd uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidinde MDA miktarı 2,30 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %589,13 oranında artış göstererek 15,85 nmol g^{-1} YA olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidinde MDA miktarı sırasıyla %16,62 ve %54,63 oranında azalma göstererek 13,59 ve 10,25 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %506,69 ve %359,64 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde MDA miktarı 2,26 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %485,39 artış göstererek 13,23 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin MDA miktarı 9,08 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %14,79 ve %45,28 oranında önemli azalma göstererek 7,91 ve 6,25 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde prolin miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde prolin miktarı 0,57 mg g^{-1} olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %412,28 oranında artış göstererek 2,92 mg g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde prolin miktarı sırasıyla %6,56 ve %43,84 oranında azalma göstererek 2,74 ve 2,03 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda prolin miktarında sırasıyla %470,83 ve %712,00 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde prolin miktarı 0,43 mg g^{-1} olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %495,34 oranında önemli artış göstererek 2,56 mg g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin prolin miktarı 1,75 mg g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer %8,69 ve %53,50 oranında önemli azalma göstererek 1,61 ve 1,14 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Dolmalık çeşidinde Cd uygulaması prolin miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde prolin miktarı 0,33 mg g^{-1} olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %739,39 oranında artış göstererek 2,77 mg g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile dolmalık çeşidinde prolin miktarı sırasıyla %7,78 ve %59,19 oranında azalma göstererek 2,57 ve 1,74 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %729,03 ve %866,66 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde prolin miktarı 0,27 mg g^{-1} olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %737,03 oranında önemli artış göstererek 2,26 mg g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin prolin miktarı 1,55 mg g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %20,15 ve %61,45 oranında önemli azalma göstererek 1,29 ve 0,96 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde AsA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde AsA miktarı 105,0 mg prot g^{-1} olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %129,20 oranında artış göstererek 240,66 mg prot g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde AsA miktarı sırasıyla %16,62 ve %37,53 oranında artış göstererek 280,66 ve 331,00 mg prot g^{-1} olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %130,69 ve %124,16 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde AsA miktarı 124,77 mg prot g^{-1} olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %127,69 artış göstererek 284,10 mg prot g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM Na) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin AsA miktarı 172,83 mg prot g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %16,39 ve %38,47 oranında önemli artış göstererek 201,16 ve 239,33 mg prot g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

NO ve Cd uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde AsA miktarı 122,0 mg prot g^{-1} olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %105,18 oranında artış göstererek 250,33 mg prot g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO dolmalık çeşidinde AsA miktarı sırasıyla %17,44 ve %44,34 oranında artış göstererek 294,00 ve 361,33 mg prot g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %101,36 ve %95,31 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde AsA miktarı 151,00 mg prot g^{-1} olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %99,92 artış göstererek 301,88 mg prot g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin AsA miktarı 186,16 mg prot g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %18,17 ve %46,73 oranında önemli artış göstererek 220,00 ve 273,16 mg prot g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

4.2.6. Bitkilerin Kimi Antioksidatif Enzim (SOD, APX, GR, CAT, POD) Aktivitelerine Etkisi

Çinko (Zn) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktivitesi miktarına etkisi

Çinko stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 µM) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktiviteleri üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.27 ve 4.28'de ve enzim aktivitelerine ait ortalamalar Çizelge 4.29'da verilmiştir. Çizelge 4.27, 4.28 ve 4.29'un birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktiviteleri üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, Zn uygulamasının ve NO x Zn interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,001$, $P<0,05$).

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde SOD enzim aktivitesi $9,27 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %49,08 oranında önemli artış göstererek $13,82 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 50 µM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesi %14,10 oranında önemli artış göstererek $15,77 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesinde %36,53 ve %28,85 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde SOD enzim aktivitesi $12,02 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %36,60 artış göstererek $16,42 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin SOD enzim aktivitesi $11,54 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %18,37 ve %52,94 oranında önemli artış göstererek $13,66$ ve $17,65 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.27. Çinko stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktivitelerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
SOD					
Genel	5	294,987		230,214	
Nitrik Oksit (NO)	2	174,984	4,562**	159,131	5,415*
Çinko (Zn)	1	142,753	7,444**	86,799	5,907*
NO x Zn	2	0,141	0,453*	2,640	10,089**
Hata	12	460,199		352,641	
APX					
Genel	5	227,758		225,246	
Nitrik Oksit (NO)	2	122,044	37,214**	118,313	92,013**
Çinko (Zn)	1	105,303	64,220**	106,828	166,163**
NO x NaCl	2	0,410	1,125 **	0,104	1,081 **
Hata	12	19,676		7,714	
GR					
Genel	5	1409,704		1353,380	
Nitrik Oksit (NO)	2	997,854	8164,264**	881,230	6448,024**
Çinko (Zn)	1	332,820	5446,145**	357,335	5229,301**
NO x Zn	2	79,030	646,609**	114,814	840,105**
Hata	12	0,733		0,820	
CAT					
Genel	5	805,537		747,459	
Nitrik Oksit (NO)	2	720,825	85,724**	687,417	159,079**
Çinko (Zn)	1	82,261	19,564**	45,888	21,238**
NO x Zn	2	2,400	4,285 **	14,153	54,275 **
Hata	12	50,455		25,927	
POD					
Genel	5	134,191		77,318	
Nitrik Oksit (NO)	2	1,747	19,182**	2,730	72,264**
Çinko (Zn)	1	92,480	2030,049**	49,005	2594,382**
NO x Zn	2	39,960	438,622**	25,583	677,205**
Hata	12	0,546		0,226	

***P<0,001; **P<0,010; *P<0,050; öd: önemli değil

NO ve Zn uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesi 11,77 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %33,22 oranında artış göstererek 15,68 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO dolmalık çeşidinde SOD enzim aktivitesinde %10,52 ve %35,77 oranında artışa neden olmuş 17,33 ve 21,29 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesinde sırasıyla %17,49 ve %21,58 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Çizelge 4.28. Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR enzim aktivite miktarları

Ağır Metal Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
SOD (Umin⁻¹ mg prot⁻¹)								
-Zn	9,27e	11,55d	15,25b	12,02 B	11,77e	14,75d	17,51b	14,68 B
+Zn	13,82c	15,77b	19,65a	16,42 A	15,68c	17,33b	21,29a	18,10 A
Ortalama	11,54 C	13,66 B	17,45 A		13,73 C	16,04 B	19,40 A	
-Cu	8,44f	12,27d	15,57b	12,10 B	10,13 e	16,36 c	17,77 b	14,75 B
+Cu	10,87e	14,28c	21,63a	15,59 A	12,40 d	17,06 b	25,38 a	18,28 A
Ortalama	9,66 C	13,28 B	18,60 A		11,20 C	16,71 B	21,58 A	
-Cd	11,47	15,94	20,04	15,82 B	11,44	18,46	21,33	17,08 B
+Cd	13,23	17,93	25,41	18,86 A	16,74	21,79	28,26	22,26 A
Ortalama	12,35 C	16,94 B	22,73 A		14,09 C	20,12 B	24,79 A	
APX (µmol min⁻¹ mg prot⁻¹)								
-Zn	2,32f	4,97e	8,57c	5,29 B	0,68f	2,41e	6,67c	3,26 B
+Zn	7,31d	9,39b	13,68a	10,12 A	5,34d	7,42b	11,62a	8,13 A
Ortalama	4,81 C	7,18 B	11,13 A		3,01 C	4,92 B	9,15 A	
-Cu	1,60 e	4,52 d	14,57 b	6,90 B	3,76 e	6,26 de	16,56 b	8,86 B
+Cu	4,77 d	7,67 c	20,93 a	11,13 A	6,73 d	13,63 c	22,73 a	14,36 A
Ortalama	3,18 C	6,10 B	17,50 A		5,24 C	9,95 B	19,65 A	
-Cd	5,26e	7,53d	17,26b	10,02 A	4,73e	6,14d	16,56b	9,14 B
+Cd	8,31d	10,79c	23,00a	14,20 A	7,44d	9,32c	21,93a	12,90 A
Ortalama	6,79 C	9,16 B	20,38 A		6,09 C	7,73 B	19,25 A	
GR (nmol min⁻¹ mg prot⁻¹)								
-Zn	8,03 f	16,10 d	21,13 c	15,08 B	7,13 f	10,20 d	18,30 c	11,87 B
+Zn	11,86 e	24,03 b	35,16 a	23,68 A	9,10 e	21,13 b	32,13 a	20,78 A
Ortalama	9,95 B	20,06 B	28,15 A		8,11 C	15,66 B	25,21 A	
-Cu	8,20 f	16,26 d	21,13 c	15,20 B	7,10 f	10,16 e	18,16 c	11,81 B
+Cu	15,10 e	28,03 b	37,10 a	26,74 A	12,13 d	25,03 b	34,16 a	23,77 A
Ortalama	11,65 C	22,15 B	29,11 A		9,61 C	17,60 B	26,16 A	
-Cd	8,16 f	21,06 d	36,33 b	21,85 B	7,00 e	10,13 d	18,16 c	11,76 B
+Cd	16,06 e	23,20 c	42,03 a	27,09 A	17,96 c	29,20 b	38,23 a	28,46 A
Ortalama	12,11 C	22,13 B	39,18 A		12,48 C	19,66 B	28,20 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Çizelge 4.29. Ağır metal stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin CAT ve POD enzim aktivite miktarları

Ağır Metal Uygulaması (1 mM)	çarliston				dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
CAT (nmol min⁻¹/mg prot⁻¹)								
-Zn	8,45e	12,48d	22,74b	14,55 B	6,95e	9,78d	19,32b	12,02 B
+Zn	12,47d	16,02c	28,01a	18,83 A	8,58d	12,15c	24,98a	15,21 A
Ortalama	10,46 C	14,25 B	25,37 A		7,73 C	10,96 B	22,15 A	
-Cu	5,47 e	7,81 d	18,45 b	10,58 B	4,21e	5,78d	16,66b	8,88 B
+Cu	8,00 d	11,43 c	24,18 a	14,53 A	6,86d	9,31c	22,83a	13,00 A
Ortalama	6,73 C	9,62 B	21,31 A		5,54 C	7,54 B	19,74 A	
-Cd	12,89e	16,48d	27,12b	18,80 B	10,62f	14,78d	25,32b	16,91 B
+Cd	17,16d	20,68c	31,59a	23,14 A	15,62e	18,44c	28,00a	20,68 A
Ortalama	14,98 C	18,58 B	29,35 A		13,12 C	16,61 B	26,66 A	
POD (mg prot⁻¹)								
-Zn	2,60 f	4,10 e	6,03 d	4,24 B	3,43 f	5,06 e	7,20 d	5,23 B
+Zn	7,23 c	8,06 b	11,03 a	8,77 A	7,66 c	8,20 b	9,73 a	8,53 A
Ortalama	4,91 C	6,06 B	8,53 A		5,55 C	6,63 B	8,46 A	
-Cu	2,56 f	4,06 e	5,40 d	4,00 B	3,60 f	4,20 e	5,10 d	4,30 B
+Cu	6,03 c	8,70 b	12,20 a	8,91 A	7,03 c	9,46 b	13,00 a	9,83 A
Ortalama	4,28 C	6,38 B	8,80 A		5,31 C	6,83 B	9,05 A	
-Cd	2,50 f	4,06 e	6,00 d	4,18 B	3,50 f	5,03 e	7,11 d	5,21 B
+Cd	6,80 c	9,03 b	13,03 a	9,62 A	9,00 c	12,50 b	15,03 a	12,17 A
Ortalama	4,65 C	6,54 B	9,51 A		6,25 C	8,76 B	11,07 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde SOD enzim aktivitesi 14,68 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %23,29 artış göstererek 18,10 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin SOD enzim aktivitesi 13,73 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %16,82 ve %41,29 oranında önemli artış göstererek 16,04 ve 19,40 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde APX enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde APX enzim aktivitesi sırasıyla 2,32 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 1 mM Zn uygulaması ile bu değer %215,08 oranında önemli artış göstererek 7,31 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde APX enzim aktivitesi sırasıyla %28,45 ve %87,14 oranında artış göstererek 9,39 ve 13,68 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde APX enzim aktivitesinde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %114,87 ve %59,62 oranlarında önemli artışlar meydana belirlenmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde APX enzim aktivitesi 5,29 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değerler %91,30 oranında önemli artış göstererek 10,12 olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin APX enzim aktivitesi 4,81 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamasında bu değer sırasıyla %49,27 ve %131,39 oranlarında önemli artış göstererek 7,18 ve 11,13 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

NO ve Zn uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde APX enzim aktivitesi 0,68 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bitkilerin APX enzim aktivitesi %685,29 oranında önemli bir artış meydana gelmiş ve bitkilerin APX enzim aktivitesi 5,34 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile dolmalık çeşidinde APX enzim aktivitesi sırasıyla %38,95 ve %117,60 oranında önemli artış göstererek 7,42 ve 11,62 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde APX enzim aktivitesinde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %207,88 ve %74,21 oranlarında önemli artışlar belirlenmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde APX enzim aktivitesi 3,26 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %149,38 oranında önemli artış göstererek 8,13 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin APX enzim aktivitesi 3,01 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %63,45 ve %203,98 oranında önemli artış göstererek 4,92 ve 9,15 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde GR enzim aktivitesi 8,03 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %47,69 oranında artış göstererek 11,86 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesi sırasıyla %102,61 ve %196,45 oranında artış göstererek 24,03 ve 35,16 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %49,25 ve %66,39 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde GR enzim aktivitesi 15,08 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %57,02 oranında önemli artış göstererek 23,68 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin GR enzim aktivitesi 9,95 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %101,60 ve %182,91 oranında önemli artış göstererek 20,06 ve 28,15 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28). Dolmalık çeşidinde Zn uygulaması GR enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde GR enzim aktivitesi 7,13 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %27,62 oranında artış göstererek 9,10 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesi sırasıyla %132,19 ve %253,07 oranında artış göstererek 21,13 ve 32,13 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde GR enzim aktivitesi 11,87 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %75,06 oranında önemli artış göstererek 20,78 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin GR enzim aktivitesi 8,11 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %93,09 ve %210,85 oranında önemli artış göstererek 15,66 ve 25,21 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde CAT enzim aktivitesi 8,45 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %47,57 oranında artış göstererek 12,47 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesi sırasıyla %28,46 ve %124,61 oranında artış göstererek 16,02 ve 28,01 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde CAT enzim aktivitesinde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %28,36 ve %23,17 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde CAT enzim aktivitesi 14,55 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %29,41 oranında önemli artış göstererek 18,83 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin CAT enzim aktivitesi 10,46 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %36,23 ve %142,54 oranında önemli artış göstererek 14,25 ve 25,37 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29). NO ve Zn uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesi 6,95 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %23,45 oranında artış göstererek 8,58 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ YA olarak bulunmuştur.

1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesi sırasıyla %41,60 ve %191,14 oranında artış göstererek 12,15 ve 24,98 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %24,23 ve %29,29 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde CAT enzim aktivitesi 12,02 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %26,53 oranında önemli artış göstererek 15,21 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin CAT enzim aktivitesi 7,73 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %41,78 ve %186,54 oranında önemli artış göstererek 10,96 ve 22,15 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

Çinko uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde POD enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Zn uygulaması yapılmamış bitkilerde POD enzim aktivitesi 2,60 mg prot^{-1} olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %178,07 oranında artış göstererek 7,23 mg prot^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde POD enzim aktivitesi sırasıyla %11,47 ve %52,55 oranında artış göstererek 8,06 ve 11,03 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde POD enzim aktivitesinde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %96,58 ve %82,91 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde POD enzim aktivitesi 4,24 mg prot^{-1} olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %106,83 oranında önemli artış göstererek 8,77 mg prot^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin POD enzim aktivitesi 4,91 mg prot^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %23,42 ve %73,72 oranında önemli artış göstererek 6,06 ve 8,53 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

NO ve Zn uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde POD enzim aktivitesi 3,43 mg prot⁻¹ olarak belirlenirken Zn uygulaması ile bu değer %123,32 oranında artış göstererek 7,66 mg prot⁻¹ olarak bulunmuştur. 1 mM Zn ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile dolmalık çeşidinde POD enzim aktivitesi sırasıyla %7,04 ve %27,02 oranında artış göstererek 8,20 ve 9,73 mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Zn uygulaması sonucunda sırasıyla %62,05 ve %35,13 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Zn uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde POD enzim aktivitesi 5,23 mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, Zn uygulanan ortamda bu değer %63,09 oranında önemli artış göstererek 8,53 mg prot⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Zn (0 mM Zn) ve +Zn (1 mM Zn) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin POD enzim aktivitesi 5,55 mg prot⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamda bu değer %19,45 ve %52,43 oranında önemli artış göstererek 6,63 ve 8,46 mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

Bakır (Cu) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktivitesi miktarına etkisi

Bakır stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 µM) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktiviteleri üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.30 ve enzim aktivitelerine ait ortalamalar Çizelge 4.28 ve 4.29'da verilmiştir. Çizelge 4.30, 4.31 ve 4.29'un birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktiviteleri üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, Cu uygulamasının ve NO x Cu interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0,001$, $P < 0,05$)

Çizelge 4.30. Bakır stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktivitelerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
SOD					
Genel	5	521,378		690,773	
Nitrik Oksit (NO)	2	404,689	45,056**	531,875	103,840**
Bakır (Cu)	1	91,780	20,437**	93,248	36,410**
NO x Cu	2	24,977	42,773 **	65,648	12,816**
Hata	12	107,78		61,464	
APX					
Genel	5	803,782		798,882	
Nitrik Oksit (NO)	2	80,547	84,121**	136,180	66,822**
Bakır (Cu)	1	712,991	372,313**	647,207	158,788**
NO x NaCl	2	10,242	25,348*	15,494	63,801 **
Hata	12	11,490		24,454	
GR					
Genel	5	1589,236		1575,576	
Nitrik Oksit (NO)	2	927,737	4489,054**	822,047	8602,826**
Bakır (Cu)	1	599,733	5803,876**	644,405	13487,550**
NO x Cu	2	61,764	298,860**	109,123	1141,988**
Hata	12	1,240		0,573	
CAT					
Genel	5	793,87143		795,401	
Nitrik Oksit (NO)	2	715,46174	322,9622**	709,108	160,695**
Bakır (Cu)	1	70,44845	63,6014**	76,220	34,545**
NO x Cu	2	7,96123	9,5937 *	10,073	42,282 **
Hata	12	13,29187		26,466	
POD					
Genel	5	180,4494		180,4494	
Nitrik Oksit (NO)	2	8,4444	281,4815**	8,4444	281,4815**
Bakır (Cu)	1	92,9338	6195,593**	92,9338	6195,593**
NO x Cu	2	79,0711	2635,704**	79,0711	2635,704**
Hata	12	0,18		0,18	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,010$; * $P < 0,050$; öd: önemli değil

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde SOD enzim aktivitesi $8,44 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %28,79 oranında önemli artış göstererek $10,87 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesi %31,37 ve %98,98 oranında önemli artış göstererek 14,28 ve 21,63 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesinde %16,38 ve %38,92 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde SOD enzim aktivitesi 12,10 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %28,84 artış göstererek 15,59 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin SOD enzim aktivitesi 9,66 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %37,47 ve %92,54 oranında önemli artış göstererek 13,28 ve 18,60 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28). NO ve Cu uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesi 10,13 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %22,40 oranında artış göstererek 12,40 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesinde %37,58 ve %104,67 oranında artışa neden olmuş 17,06 ve 25,38 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesinde sırasıyla %4,27 ve %42,82 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde SOD enzim aktivitesi 14,75 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %23,93 artış göstererek 18,28 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin SOD enzim aktivitesi 11,20 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %49,19 ve %121,33 oranında önemli artış göstererek 16,71 ve 24,79 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde APX enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde APX enzim aktivitesi 1,60 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 1 mM Cu uygulaması ile bu değer %198,12 oranında önemli artış göstererek 4,77 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde APX enzim aktivitesi sırasıyla %60,79 ve %338,78 oranında artış göstererek 7,67 ve 20,93 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde APX enzim aktivitesinde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %69,69 ve %43,65 oranlarında önemli artışlar meydana belirlenmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde APX enzim aktivitesi 6,90 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değerler %61,30 oranında önemli artış göstererek 11,13 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin APX enzim aktivitesi 3,18 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamasında bu değer sırasıyla %91,82 ve %450,31 oranlarında önemli artış göstererek 6,10 ve 17,50 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

NO ve Cu uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde APX enzim aktivitesi 3,76 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bitkilerin APX enzim aktivitesi %78,98 oranında önemli bir artış meydana gelmiş ve bitkilerin APX enzim aktivitesi 6,73 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile dolmalık çeşidinde APX enzim aktivitesi sırasıyla %102,52 ve %237,74 oranında önemli artış göstererek 13,63 ve 22,73 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde APX enzim aktivitesinde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %117,73 ve %37,25 oranlarında önemli artışlar belirlenmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde APX enzim aktivitesi 8,86 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %62,07 oranında önemli artış göstererek 14,36 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin APX enzim aktivitesi 5,24 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %89,88 ve %275,00 oranında önemli artış göstererek 9,95 ve 19,65 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde GR enzim aktivitesi $8,20 \text{ nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %84,14 oranında artış göstererek $15,10 \text{ nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesi sırasıyla %85,62 ve %145,69 oranında artış göstererek 28,03 ve 37,10 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %72,38 ve %75,57 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde GR enzim aktivitesi $15,20 \text{ nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %75,92 oranında önemli artış göstererek $26,74 \text{ nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin GR enzim aktivitesi $11,65 \text{ nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %90,12 ve %149,87 oranında önemli artış göstererek 22,15 ve 29,11 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

NO ve Cu uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidinde GR enzim aktivitesi $7,10 \text{ nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %70,84 oranında artış göstererek $12,13 \text{ nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesi sırasıyla %106,34 ve %181,61 oranında artış göstererek 25,03 ve 34,16 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %146,35 ve %88,10 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde GR enzim aktivitesi $11,81 \text{ nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %101,27 oranında önemli artış göstererek $23,77 \text{ nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin GR enzim aktivitesi 9,61 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %83,14 ve 172,21 oranında önemli artış göstererek 17,60 ve 26,16 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde CAT enzim aktivitesi 5,57 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %43,62 oranında artış göstererek 8,00 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesi sırasıyla %42,87 ve %202,25 oranında artış göstererek 11,43 ve 24,18 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde CAT enzim aktivitesinde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %46,35 ve %31,05 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde CAT enzim aktivitesi 10,58 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %37,33 oranında önemli artış göstererek 14,53 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin CAT enzim aktivitesi 6,73 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %42,94 ve %216,64 oranında önemli artış göstererek 9,62 ve 21,31 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29). NO ve Cu uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesi 4,21 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %62,94 oranında artış göstererek 6,86 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesi sırasıyla %35,71 ve %232,79 oranında artış göstererek 9,31 ve 22,83 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %61,07 ve %37,03 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde CAT enzim aktivitesi 8,88 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %46,39 oranında önemli artış göstererek 13,00 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin CAT enzim aktivitesi 5,54 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %36,10 ve %256,31 oranında önemli artış göstererek 7,54 ve 19,74 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

Bakır uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde POD enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cu uygulaması yapılmamış bitkilerde POD enzim aktivitesi 2,56 mg prot^{-1} olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %135,54 oranında artış göstererek 6,03 mg prot^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde POD enzim aktivitesi sırasıyla %44,27 ve %102,32 oranında artış göstererek 8,70 ve 12,20 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde POD enzim aktivitesinde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %114,28 ve %125,92 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde POD enzim aktivitesi 4,00 mg prot^{-1} olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %122,75 oranında önemli artış göstererek 8,91 mg prot^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin POD enzim aktivitesi 4,28 mg prot^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %49,06 ve %105,60 oranında önemli artış göstererek 6,38 ve 8,80 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29). NO ve Cu uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde POD enzim aktivitesi 3,60 mg prot^{-1} olarak belirlenirken Cu uygulaması ile bu değer %95,27 oranında artış göstererek 7,03 mg prot^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Cu ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile dolmalık çeşidinde POD enzim aktivitesi sırasıyla %34,56 ve %84,92 oranında artış göstererek 9,46 ve 13,00 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μ M) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cu uygulaması sonucunda sırasıyla %128,57 ve %154,90 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cu uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μ M) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde POD enzim aktivitesi 4,30 mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, Cu uygulanan ortamda bu değer %128,60 oranında önemli artış göstererek 9,83 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μ M) ortamda -Cu (0 mM Cu) ve +Cu (1 mM Cu) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin POD enzim aktivitesi 5,31 mg prot⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 μ M NO uygulanan ortamda bu değer %64,97 ve %108,47 oranında önemli artış göstererek 8,76 ve 11,07 mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

Kadmiyum (Cd) ve nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktivitesi miktarına etkisi

Kadmiyum stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 μ M) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktiviteleri üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.30 ve 4.31’de ve enzim aktivitelerine ait ortalamalar Çizelge 4.29’da verilmiştir. Çizelge 4.30, 4.31 ve 4.29’un birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktiviteleri üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, Cd uygulamasının ve NO x Cd interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,001$, $P<0,05$).

Çizelge 4.31. Kadmiyum stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktivitelerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
SOD					
Genel	5	630,342		793,663	
Nitrik Oksit (NO)	2	540,627	55,238**	575,964	46,8762**
Kadmiyum (Cd)	1	69,220	14,145**	201,491	32,7977**
NO x Cd	2	20,494	82,034 **	16,206	17,3190 **
Hata	12	111,445		147,443	
APX					
Genel	5	720,675		686,350	
Nitrik Oksit (NO)	2	78,625	54,318**	63,405	81,7224**
Kadmiyum (Cd)	1	632,530	218,491**	616,927	397,5773**
NO x NaCl	2	9,518	13,287 *	6,018	93,8783 **
Hata	12	17,369		9,310	
GR					
Genel	5	2396,457		2072,578	
Nitrik Oksit (NO)	2	781,947	14973,47 **	742,863	9158,589**
Kadmiyum (Cd)	1	1582,968	60624,34 **	1255,005	30945,33**
NO x Cd	2	31,541	603,978**	74,710	921,0822**
Hata	12	0,313		0,486	
CAT					
Genel	5	756,268		661,760	
Nitrik Oksit (NO)	2	671,234	145,212**	593,456	57,9353**
Kadmiyum (Cd)	1	84,977	36,767**	64,222	12,5392**
NO x Cd	2	0,056	0,412 *	4,081	9,3984 **
Hata	12	27,734		61,460	
POD					
Genel	5	211,129		293,056	
Nitrik Oksit (NO)	2	6,7411	59,480**	4,487	26,5724**
Kadmiyum (Cd)	1	132,845	2344,324**	218,405	2586,375**
NO x Cd	2	71,543	631,264**	70,163	415,4408**
Hata	12	0,680		1,013	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,010$; * $P < 0,050$; öd: önemli değil

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde SOD enzim aktivitesi $11,47 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %15,34 oranında önemli artış göstererek $13,23 \text{ Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesi %35,52 ve %92,06 oranında önemli artış göstererek 17,93 ve 25,41 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesinde %12,48 ve %26,79 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde SOD enzim aktivitesi 15,82 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %19,21 artış göstererek 18,86 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin SOD enzim aktivitesi 12,35 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %37,16 ve %84,04 oranında önemli artış göstererek 16,94 ve 22,73 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

NO ve Cd uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesi 11,44 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %46,32 oranında artış göstererek 16,74 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesinde %30,16 ve %68,81 oranında artışa neden olmuş 21,79 ve 28,26 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesinde sırasıyla %18,03 ve %32,48 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde SOD enzim aktivitesi 17,08 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %30,32 artış göstererek 22,26 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin SOD enzim aktivitesi 14,09 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %42,79 ve %75,94 oranında önemli artış göstererek 20,12 ve 24,79 $\text{Umin}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde APX enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde APX enzim aktivitesi 5,26 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 1 mM Cd uygulaması ile bu değer %57,98 oranında önemli artış göstererek 8,31 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidi bitkilerde APX enzim aktivitesi sırasıyla %29,84 ve %176,77 oranında artış göstererek 10,79 ve 23,00 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde APX enzim aktivitesinde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %43,29 ve %33,25 oranlarında önemli artışlar meydana belirlenmiştir.

Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde APX enzim aktivitesi 10,02 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değerler %41,71 oranında önemli artış göstererek 14,20 olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin APX enzim aktivitesi 6,79 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamasında bu değer sırasıyla %34,90 ve %200,14 oranlarında önemli artış göstererek 9,16 ve 20,38 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28). NO ve Cd uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde APX enzim aktivitesi 4,73 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bitkilerin APX enzim aktivitesi %57,29 oranında önemli bir artış meydana gelmiş ve bitkilerin APX enzim aktivitesi 7,44 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile dolmalık çeşidinde APX enzim aktivitesi sırasıyla %25,26 ve %194,75 oranında önemli artış göstererek 9,32 ve 21,93 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde APX enzim aktivitesinde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %51,79 ve %32,42 oranlarında önemli artışlar belirlenmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde APX enzim aktivitesi 9,14 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %41,13 oranında önemli artış göstererek 12,90 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin APX enzim aktivitesi 6,09 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %26,92 ve %216,09 oranında önemli artış göstererek 7,73 ve 19,25 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde GR enzim aktivitesi 8,16 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %96,81 oranında artış göstererek 16,06 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesi sırasıyla %44,45 ve %161,70 oranında artış göstererek 23,20 ve 42,03 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %10,16 ve %15,68 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde GR enzim aktivitesi 21,85 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %23,98 oranında önemli artış göstererek 27,09 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin GR enzim aktivitesi 12,11 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %82,74 ve %223,53 oranında önemli artış göstererek 22,13 ve 39,18 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28). NO ve Cd uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidinde GR enzim aktivitesi 7,00 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %156,57 oranında artış göstererek 17,96 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesi sırasıyla %62,58 ve %112,86 oranında artış göstererek 29,20 ve 38,23 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %188,25 ve %110,51 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde GR enzim aktivitesi 11,76 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %142,00 oranında önemli artış göstererek 28,46 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin GR enzim aktivitesi 12,48 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %57,53 ve %125,96 oranında önemli artış göstererek 19,66 ve 28,20 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde CAT enzim aktivitesi 12,80 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %34,06 oranında artış göstererek 17,16 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesi sırasıyla %20,51 ve %84,09 oranında artış göstererek 20,68 ve 31,59 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde CAT enzim aktivitesinde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %25,48 ve %16,48 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde CAT enzim aktivitesi 18,80 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %23,08 oranında önemli artış göstererek 23,14 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin CAT enzim aktivitesi 14,98 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %24,03 ve %95,92 oranında önemli artış göstererek 18,58 ve 29,35 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

NO ve Cd uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesi 10,62 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %47,08 oranında artış göstererek 15,62 $\text{nmol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile dolmalık çeşidinde CAT enzim aktivitesi sırasıyla %18,05 ve %79,25 oranında artış göstererek 18,44 ve 28,00 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %24,76 ve %10,58 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde CAT enzim aktivitesi 16,91 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %22,29 oranında önemli artış göstererek 20,68 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin CAT enzim aktivitesi 13,12 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %26,60 ve %103,20 oranında önemli artış göstererek 16,61 ve 26,66 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

Kadmiyum uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde POD enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve Cd uygulaması yapılmamış bitkilerde POD enzim aktivitesi 2,50 mg prot^{-1} olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %172,00 oranında artış göstererek 6,80 mg prot^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidi bitkilerde POD enzim aktivitesi sırasıyla %32,79 ve %91,61 oranında artış göstererek 9,03 ve 13,03 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde POD enzim aktivitesinde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %122,41 ve %117,16 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde POD enzim aktivitesi 4,18 mg prot^{-1} olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %130,14 oranında önemli artış göstererek 9,62 mg prot^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin POD enzim aktivitesi 4,65 mg prot^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %40,64 ve %104,51 oranında önemli artış göstererek 6,54 ve 9,51 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29). NO ve Cd uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde POD enzim aktivitesi 3,50 mg prot^{-1} olarak belirlenirken Cd uygulaması ile bu değer %157,14 oranında artış göstererek 9,00 mg prot^{-1} olarak bulunmuştur.

1 mM Cd ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile dolmalık çeşidinde POD enzim aktivitesi sırasıyla %38,88 ve %67,00 oranında artış göstererek 12,50 ve 15,03 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μ M) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM Cd uygulaması sonucunda sırasıyla %148,50 ve %111,39 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μ M) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde POD enzim aktivitesi 5,21 mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, Cd uygulanan ortamda bu değer %133,58 oranında önemli artış göstererek 12,17 mg prot⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μ) ortamda -Cd (0 mM Cd) ve +Cd (1 mM Cd) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin POD enzim aktivitesi 6,25 mg prot⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 μ M NO uygulanan ortamda bu değer %40,16 ve %77,12 oranında önemli artış göstererek 8,76 ve 11,07 mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

Ağır metaller bitkilerin yaşamlarının devamı için gerekli besin elementleri arasında olup, ortamda yüksek konsantrasyonda bulunmaları durumunda bitkilerde toksik etki yaratırlar. Ağır metallerin hücresel düzeyde birikimi birçok metabolik mekanizmayı etkileyerek bitkilerde hasara yol açar (Tchounwou ve ark. 2012). Bu mekanizmalardan en önemlisi bitkilerde oksidatif hasarlanmaya neden olan ROT'ların üretimidir. Bunun yanında bitkilerde temel işlevlere sahip metal iyonlarının yer değiştirmesi ve metabolik fonksiyonel grupların işlevlerinin engellenmesi yoluyla gerekli biyomoleküllerin inaktif olmalarına neden olurlar. As, Cd, Cr, Pb, Hg gibi metaller, bitkilerde temel metal iyonlarını değiştirerek veya fonksiyonel grupları engelleyerek hasar oluştururken, Fe ve Cu gibi metaller ROT üretimine doğrudan, Al, Mn ve Zn gibi diğer metaller ise ROT üretimine dolaylı yoldan etki ederler. Bu ağır metallerin ROT üretimindeki dolaylı etki mekanizması NADPH oksidaz gibi ROT üreten enzimlerin uyarılması ya da aktivitelerinin inhibe edilmesi şeklinde gerçekleşir (Cuypers ve ark. 2009, Jalmi ve ark. 2018). Yetiştirme ortamında ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarda bulunması durumunda bitkilerde büyüme geriliği, klorofil miktarında azalma ve biyokimyasal mekanizmalarda bozulmalara neden olur (Khan ve ark. 2000, Gall ve Rajakaruna 2013, Seneviratne ve ark. 2017).

Ağır metal toksisitesinin en önemli sonuçları, lipitlerin peroksidasyonu, proteinlerin oksidasyonu, enzimlerin inaktivasyonu, DNA hasarı ve ROT'ların kontrolsüz ve aşırı birikmesidir (Xiong ve ark. 2010).

Örneğin yüksek konsantrasyonlarda bakır (Cu) bitkilerin potasyum (K) alımını kısıtlayarak, hücrelerde şeker birikimine neden olur ve böylece bitkilerde fotosentez kısıtlanır (Alaoui-Sossé ve ark. 2004). Benzer şekilde, Cu ve Cd uygulaması yapılmış bitkilerde fotosentezde gerileme, karbonhidrat miktarında azalma ve sonuç olarak büyüme ve gelişmede gerileme olduğu rapor edilmiştir (Moya ve ark. 1993, Skórzyńska-Polit ve ark. 1998, Maksymiec ve Baszyński 1996).

Çinko; Zn bağlı transkripsiyon faktörleri, karbonik anhidraz, Cu / Zn süperoksit dismutaz ve Zn metaloproteazları gibi birçok proteinin bileşeninde yer alması nedeniyle bitkiler için önemli bir besin elementidir (Broadley ve ark. 2007). Söz konusu bu proteinlerin Zn alınımı ve taşınımında önemli işlevlerinin olmasının yanında, bitkilerde RNA bağlanması, programlı hücre ölümü ve protein-protein etkileşimlerinin düzenlenmesi metabolizmalarında önemli işlevlere sahiptir (Çiftçi Yılmaz ve Mittler 2008). Çinko toksisitesi bitkilerde besin elementi dengesinin bozulmasına ve hücre ve dokularda aşırı miktarda ROT birikimine neden olur (Wang ve ark. 2009).

Kadmiyum, bitki beslenmesi için gerekli bir besin elementi olmamakla beraber, köklerden kolayca alınabilir ve köklerden toprak üstü organlara kadar tüm bitki dokularında birikebilir (Tezotto ve ark. 2012). Yaptığımız çalışmada kadmiyum uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde toprak üstü aksam ve köklerde önemli ölçüde Cd biriktiği belirlenmiştir. 1mM Cd uygulaması ile toprak üstü aksamda Cd içeriği 20,96 kat artış gösterirken köklerde bu artış 300,63 kat olarak belirlenmiştir Cd uygulaması ile birlikte eksojen NO uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde toprak üstü aksam ve köklerde Cd birikiminde önemli azalmalar olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Yapılan çalışmalarda Cd uygulaması ile bitki dokularında Cd'un köklerde toprak üstü aksamdan daha çok biriktiği rapor edilmiştir (He ve ark. 2013, Dai ve ark. 2013, Çıkılı ve ark. 2019). Bunun yanında yapılan birçok çalışmada NO uygulamalarının bitki dokularında Cd birikimini engellediği belirtilmiş ve Cd konsantrasyonlarındaki bu azalma, hücresel metabolizmada NO'nun pozitif sinyalleme etkilerinden kaynaklanabileceği şeklinde açıklanmıştır (Besson-Bard ve ark. 2009, De Michele ve ark. 2009, Gill ve ark. 2013, Çıkılı ve ark. 2019).

Kadmiyumun yetiştirme ortamında yüksek konsantrasyonlarda bulunması durumunda bitkilerde toksik etki yaptığı bilinmektedir. Araştırmacılar, bitkilerde Cd kaynaklı toksisitenin ana belirtilerini bodur büyüme, kloroz, kloroplast alt yapısının değişmesi, fotosentez inhibisyonu, CO₂ fiksasyonunda gerekli enzimlerin inaktivasyonu, lipit peroksidasyonu ve azot (N) ve kükürt (S) metabolizmasında bozulma şeklinde açıklamışlardır (Gill ve Tuteja 2011, Xu ve ark. 2011, Retamal-Salgado ve ark. 2017). Kadmiyum stresi altında bitkilerde kuru madde ağırlıklarında ciddi miktarda düşmeler görülürken yapılan çalışmalar kadmiyum stresinin sadece kuru madde ağırlığına değil bitki boyu, bitki kök/ gövde oranı, kök uzunluğu gibi morfolojik özelliklere de negatif etki ettiği rapor edilmiştir (Chen ve ark. 2010, Wang ve ark. 2013, Xu ve ark. 2014, Chen ve ark. 2018). Bitkilerde hücresele düzeyde biriken Cd, hidroksil gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) seviyelerini artırarak oksidatif stresi arttırmaktadır. Bunun yanında, Cd'um neden olduğu artan ROT üretimi, lipit peroksidasyonunu, DNA hasarını ve proteinlerin oksidatif modifikasyonlarını tetikleyebilir ve bu da sonunda hücresele işlev bozukluğuna ve nekrotik hücre ölümüne yol açabilir (Valko ve ark. 2007).

Bakır CO₂ ve ATP sentezinde önemli rol oynamaktadır. Cu ayrıca fotosentetik sistemin plastosiyanın ve solunum elektronu taşıma zincirinin sitokrom oksidazı gibi çeşitli proteinlerin önemli bir bileşenidir. (Demirevska-Kepova ve ark. 2004) Toprakta Cu fazlası, sitotoksik bir rol oynar, stresi indükler ve bitkilerde yaralanmaya neden olur. Bu durumun bitkide büyüme geriliğine ve yaprak klorozuna yol açtığı araştırmacılarca bildirilmiştir (Lewis ve ark. 2001). Çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz verilere göre her iki biber çeşidinde de Zn, Cu ve Cd uygulamaları bitkilerde kuru madde ve fotosentetik pigment içeriğinde önemli azalmalara neden olmuştur (Çizelge 4.14, 4.18). Söz konusu ağır metallerle birlikte uygulanan NO bitkilerde ağır metal zararlanmasının hafifletilmesinde önemli rol oynamış ve kuru madde ve fotosentetik pigment miktarlarında önemli artışlara neden olmuştur. En düşük kuru madde verimi ağır metal uygulanmış bitkilerde NO uygulamasının yapılmadığı koşullarda elde edilmiştir. Ağır metal uygulamaları ile birlikte eksojen NO uygulamasının bitkilerde kuru madde miktarında önemli artışa neden olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.14).

Zn uygulamasının bitkilerde kuru madde miktarında önemli azalmalara neden olduğu yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir. Zn uygulaması sonucunda kuru madde miktarında meydana gelen bu azalmanın Zn'nun oksidatif hasara neden olmasının yanında besin elementi alımını olumsuz etkilediği ve fotosentezi inhibe ettiği şeklinde açıklanmıştır (Branch ve ark. 2017).

Araştırmacılar, Zn uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde fotosentetik pigment miktarındaki azalmanın klorofil biyosentezi ile ilişkili enzimlerin inhibisyonu (John ve ark. 2009) ile Mn ve Fe gibi diğer metal elementlerin alımının ve taşınmasının engellenmesinden kaynaklandığını rapor etmişlerdir (Jayakumar ve ark. 2009; John ve ark. 2009, Brahim ve Mohamed 2011, Khairy ve ark. 2016). Bakır uygulamalarının bitki kuru madde miktarı ve fotosentetik pigment içeriğinde benzer önemli azalmalara neden olduğunu belirten araştırmacılar; bakır uygulaması ile bitkilerde toplam klorofil, klorofil *a* ve klorofil *b* miktarlarında önemli azalmalar meydana geldiğini rapor etmiştir (Brahim ve Mohamed 2011, Yuanjie ve ark. 2013, Khairy ve ark. 2016). Çıkılı ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada Cd uygulaması ile bitkilerin kuru madde veriminde önemli bir azalma meydana geldiğini belirterek, Cd ile birlikte uygulanan NO'nun bitkilerde kuru madde veriminde artışa neden olduğunu bildirmişler ve NO uygulamasından kaynaklanan bu artışın fotosentezi destekleyen klorofil içeriğinin artışı ile ilgili olabileceğini rapor etmişlerdir.

Benzer bir etki ile, Cd uygulamasının bitkilerde klorofil içeriğinde azalmaya neden olduğu yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Belkhadi ve ark. 2010, Çıkılı ve ark. 2019). Araştırmacılar Cd toksitesinden etkilenen bitkilerdeki klorofil içeriğindeki azalmanın, klorofilin olası oksidasyonuna ve kloroplastların hücresel düzeyde biriken ROT'lar sebebiyle hasara uğramasına bağlı olabileceğini bildirmişlerdir (Chen ve ark. 2010). Bunun yanında araştırmacılar Cd stresi altında bitkilerde fotosentetik pigment miktarında meydana gelen azalmanın, fotosentetik pigmentler için mutlak gerekli bir element olan magnezyumun (Mg) alınımının Cd tarafından kısıtlanabileceği şeklinde açıklamışlardır (Ekmekçi ve ark. 2008). He ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada klorofil *a*, *b*, *a + b* ve karotenoid miktarlarının Cd uygulaması ile önemli miktarda azalışını bildirmişleridir.

Çıkılı ve ark (2019) Cd stresi altında bitkilerde fotosentetik pigment miktarında önemli azalma meydana geldiğini ve NO uygulamaları ile fotosentetik pigment miktarlarında artış meydana geldiğini belirterek, NO uygulaması ile fotosentetik pigmentlerin geri kazanımının bitkilerdeki abiyotik stres tepkileri ile ilgili genlerin NO tarafından uyarılması şeklinde açıklamışlardır.

Cd stresi altında yetiştirilen bitkilerde NO uygulamasının bitkilerde fotosentezi koruyabilen bir bileşik olan fitoşelatin miktarında önemli bir artışa neden olduğu ve bu sayede Cd toksitesinden kaynaklanan negatif etkileri hafifletebileceği (Belkhadi ve ark. 2010), bunun yanında NO'nun, Cd stresi altında ROT üretimi seviyesini etkili bir şekilde azalttığı ve böylece ROT'un büyüme ve klorofil içeriği üzerindeki olumsuz oksidatif etkilerinin hafifletilmesine yardımcı olduğu, bunun sonrasında bitkilerde Cd stresine toleransının arttığı belirtilmiştir (Xiong ve ark. 2009, Chen ve ark. 2018). Wang ve ark. (2013,2016) NO uygulamasının Cd stresi altındaki bitkilerde fotosentetik pigment miktarlarında meydana getirdiği artışı, NO uygulamasının bitkilerde Fe ve Mg alımının dengelenmesine neden olarak klorofil sentezini düzenlediği şeklinde açıklamışlardır. Dong ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada Cu toksitesi uygulanan bitkilerde kuru madde ağırlığında önemli azalmalar olduğunu bildirmişlerdir. Bazı araştırmacılar Cu toksitesi altında yetiştirilen bitkilerde toplam klorofil miktarında azalmalar olduğunu rapor etmişlerdir (Zhang ve ark. 2007, Brahim ve Mohamed 2011, Khairy ve ark. 2016). Dong ve ark. (2014) yaptıkları bir başka çalışmada Cu toksitesi altında yetiştirilen bitkilerde toplam klorofil, klorofil *a* ve klorofil *b* içeriklerini kontrol dozları ile karşılaştırdıklarında önemli azalmalar olduğunu belirtmişlerdir.

Organizmalarda çözünür protein içeriği, metabolizmada geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz değişikliklerin önemli bir göstergesidir ve çok çeşitli stres faktörlerine yanıt verdiği bilinmektedir (Singh ve Tewari 2003). Çalışmamız sonucunda ağır metal uygulamalarının bitkilerde çözünebilir protein miktarında önemli azalmaya neden olduğu ve NO uygulamalarının ağır metal stresinden kaynaklı protein miktarındaki bu azalmayı hafiflettiği belirlenmiştir (Çizelge 4.22). Wang ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada Cd stresinin izole mitokondride çözünen protein içeriğinde bir azalmaya neden olduğunu bildirmişleridir.

Ağır metal toksisitesi kaynaklı oksidatif stres sonucu oluşan H₂O₂ ve diğer ROT'ların üretimini proteinlere verilen hasar ile doğrudan ilişkili olabileceği ve özellikle Cd'un proteinlerde disülfür membran iyon kanallarına ve iyon sızıntısına yol açan disülfid köprüleri oluşturma yoluyla proteinlerin degradasyonuna neden olduğu rapor edilmiştir (Verma ve ark. 2013).

Aktif bir redoks metali olan çinko, bitkilerde oksidatif stres ve lipid peroksidasyona eden olan ROT'lar arasında özellikle H₂O₂ üretimini önemli miktarda arttırmaktadır. Çalışma sonuçlarımız Zn uygulaması yapılan bitkilerde H₂O₂ ve MDA miktarında önemli artış olduğunu göstermektedir. En yüksek H₂O₂ ve MDA miktarı Zn uygulaması altında yetiştirilen ve NO uygulaması yapılmamış bitkilerden elde edilmiştir (Çizelge 4.24). 25 ve 50 µM NO uygulaması Zn uygulaması yapılmış bitkilerde H₂O₂ ve MDA miktarında önemli azalmalara neden olmuştur. Branch ve ark. (2017) çinko metali ile ve Kotapati ve ark. (2017) nikel metaliyle yaptıkları çalışmalarda çalışmamızı destekler sonuçlar elde etmiş ve metal uygulamaları altında bitkilerde H₂O₂ ve MDA miktarlarında önemli artışlar belirlendiğini bildirmişlerdir. Ağır metal uygulamalarının oksidatif zararlanmaya neden olduğunu (Panda ve ark. 2003, Zhang ve ark. 2014); Zn uygulamaları (Chao ve ark. 2008) ve Cd uygulamalarının (Chen ve ark. 2018) bitkilerde H₂O₂ üretimini hızlandırdığını rapor eden araştışıcılar ile çalışma sonuçlarımız uyum içerisindedir.

Bitkilerde lipid peroksidasyon MDA miktarının ölçülmesi ile belirlenir ve MDA miktarının fazlalığı bitkilerde ROT'ların aşırı birikiminin ve oksidatif stresin varlığının bir kanıtıdır. ROT'lar hücrelerde doymamış yağ asitlerinden H⁺ alır ve lipidlerin ikili yapı tabakasının bozulmasına neden olarak reaktif aldehitlerin üretilmesine neden olur (Mishra ve ark. 2006). Yang ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, 4 gün süre ile Cd stresine maruz bıraktıkları bitkilerde MDA miktarında önemli bir artış belirlenmediğini ancak 12 gün süren Cd uygulamaları ile bitkilerde MDA miktarında önemli artışlar gözlemlediklerini rapor etmişlerdir. Cd toksisitesinin MDA miktarı üzerine etkilerinin araştırıldığı benzer çalışmalarda, kadmiyumun MDA miktarı üzerine etkilerinin bitki tür ve çeşidine bağlı olarak değiştiği ortaya konmuştur (He ve ark. 2013).

Araştırmacılar bu bilgilerin ışığında, oksidatif strese yanıt olarak genotipik varyasyonların ve NO'nun iyileştirici etkisinin MDA miktarlarının azalmasına neden olabileceğini bildirmişlerdir (Çıkılı ve ark. 2019)

Bitkilerin stres koşullarında, ROT'ların hücre dışına süpürülmesi görevini üstlenen enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar ürettiği bilinmektedir (Puthur 2016). SOD enziminin bitkilerde süperoksit radikalının su ve oksijene parçalanmasında rol oynayan önemli bir antioksidatif enzim olduğu bilinmektedir (Magdy ve Azooz 2013). Çinko stresi altındaki bitkilerde SOD enzim aktivitesinde önemli artış meydana geldiğini bildiren Erdei ve ark. (2002), SOD aktivitesindeki bu artışın enzim proteinlerinin yeniden sentezlenmesinden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Magdy ve Azooz (2013) yaptıkları çalışmada, Zn uygulamasının bitkilerde CAT ve APX enzim aktivitelerini önemli miktarda arttığını belirlemişlerdir. CAT, H₂O₂'nin suya dönüştürülmesinde ve singlet oksijen ile peroksitlerin süpürülmesinde en önemli enzimlerden biridir. APX ve SOD ile birlikte CAT, H₂O₂'nin hücre sel konsantrasyonunu doğrudan belirleyen antioksidan savunma mekanizması içinde hayati enzimler olarak kabul edilir (El-Shora 2004). Çalışmamız kapsamında belirlediğimiz tüm antioksidatif enzim aktivitelerinin ağır metal uygulamaları ile önemli derecede artış göstermiştir. Ağır metal uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde NO uygulaması antioksidatif enzim aktivitelerinde artışa neden olmuştur (Çizelge 4.28). Araştırmacılar Zn stresinden kaynaklanan antioksidatif enzim aktivitelerindeki bu artışın; Zn'nun hücre içinde mikro besin elementi olarak translokasyonundan kaynaklanabileceğini ve bunun da enzim konsantrasyonlarında artışa yol açabileceğini belirtmişlerdir (Xiong ve ark. 2010, Shi ve ark. 2016). Kováčik ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, Cd uygulamalarının bitkilerde antioksidatif enzim aktivitelerinde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Benzer bir çalışmada; 4, 8 ve 12 gün süre ile Cd stresine maruz bırakılan bitkilerde APX, CAT ve SOD enzim aktivitelerinde önemli artışlar meydana geldiği rapor edilmiştir (Yang ve ark. 2015). Bitkilerin Cd toksisitesini hafifletmek/ortadan kaldırmak için, transkripsiyon faktörlerinin modülasyonu, metal taşıyıcıların aktivasyonu ve şelatlama bileşiklerinin biyosentezi dahil olmak üzere birçok düzenleyici metabolizmalara sahip olduğu bilinmektedir (Dal Corso ve ark. 2010).

Son zamanlarda, artan sayıda makale eksojen NO'nun bitkilerde ağır metal toksisitesini hafifletme üzerindeki etkilerini bildirmiştir, ancak NO'nun ağır metal toksisitesini hafifletme fizyolojik mekanizmalarına ilişkin bilgi oldukça sınırlıdır ve bazı sonuçlar birbiriyle çelişmektedir.

NO, bitki hücrelerindeki NO konsantrasyonuna ve konumuna bağlı olan hem faydalı hem de zararlı etkileri provoke edebilir. NO, ROT'nin zararlılığını hafifletir, diğer hedef moleküller ile reaksiyona girer ve çeşitli stres koşulları altında strese duyarlı genlerin ekspresyonunu düzenler. Bazı araştırmacılarca NO'in Cu stresi altında H₂O₂ ve O₂'nin azaltılması, hücre zarının peroksidasyona karşı korunması ve MDA birikiminin azaltılması yolu ile bitkileri oksidatif zararlanmadan koruduğu belirtilmiştir (Dong ve ark. 2014). Benzer şekilde çalışmalarda, Cu toksisitesi altındaki bitkilerde NO'nun, hücrel redoks homeostazı için genel mekanizmaları düzenleyerek O₂• - H₂O ve O₂'ye dönüşümünü teşvik ettiği ve ayrıca H₂O₂ tutucu enzim aktivitelerini artırarak bitkinin oksidasyon hasarından korunmasını sağladığı bildirmiştir (Lamattina ve ark. 2003).

NO'in, ağır metal uygulamalarından kaynaklanan oksidatif hasarın giderilmesindeki rolü iki mekanizma ile açıklanmıştır. Birincisi, NO'in süperoksit anyonunun perokinitrite dönüştürülmesinde olduğu gibi ROT'ların doğrudan uzaklaştırılması (Martinez ve ark. 2000) ve ikincisi ise NO'in hücrel antioksidan sistemi aktive eden bir sinyal molekülü görevi görmesidir (Lamattina ve ark. 2003). Antioksidatif enzim aktivitelerinde NO uygulaması ile meydana gelen bu artış bitkilerin antioksidan savunma sistemlerine önemli katkıda bulunmuştur. NO'in bitkilerde oksidatif zararlanmaya karşı bu koruyucu işlevinin antioksidan sistemi düzenleyebilme yeteneğine bağlı olduğu düşünülmektedir. Birçok araştırmacının ortak vardığı kanağe göre NO; S-nitrosilasyon yolu ile protein aktivasyonunun tanınmış bir regülatörü olarak, fito-şelatinlerin veya SH-grubu içeren diğer bazı merkez metallerin aktivitesinin modifikasyonu ile ağır metalleri inaktif edebilir (Fecht-Christoffers ve ark. 2003, Procházková ve ark. 2012).

4.3. Nitrik Oksit (NO) Uygulamasının Bor (B) Stresine Etkisi

4.3.1. Bitkilerin kuru madde verimleri

Bor uygulanmış ortamda yetiştirilen (1 mM B) çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin kuru madde verimi üzerine olan etkilerine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.32’de ve biber çeşitlerinin kuru madde verimine ait ortalamalar Çizelge 4.33’ te verilmiştir. Çizelge 4.32 ve 4.33’ün birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin kuru madde verimi üzerine artan düzeylerde NO uygulamalarının ve B uygulamasının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken ($P<0,05$) NO x B interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.32. Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde verimlerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Genel	5	2,7868		3,901	
Nitrik Oksit (NO)	2	1,9700	8,3305*	2,729	8,948*
Bor (B)	1	0,6099	5,1587*	0,863	5,661*
NO x B	2	0,0100	0,0427 öd	0,088	0,289 öd
Hata	12	2,8378		3,660	

*** $P<0,001$; ** $P<0,010$; * $P<0,050$; öd: önemli değil

Çizelge 4.33. Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin kuru madde miktarı (g saksı^{-1}) üzerine etkileri

B Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (μM)				NO Uygulaması (μM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
-B	1,76	2,00	2,36	2,04 A	2,38	2,48	2,80	2,41 A
+B	1,47	1,66	2,12	1,75 B	1,76	1,94	2,07	1,92 B
Ortalama	1,62 B	1,83 B	2,24 A		1,85 B	2,28 A	2,59 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

B uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde kuru madde verimi üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur.

Çarliston çeşidinin kuru madde verimleri üzerine NO x B interaksyonunun etkisi önemli bulunmamakla birlikte; 0 µM NO ve 0 mM B uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde kuru madde verimleri 1,76 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, 25 ve 50 µM NO uygulamalarında artışlar göstererek 2,00 ve 2,36 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bor uygulanan koşullarda ise; 0 µM NO uygulamasında 1,47 g saksı⁻¹ olarak belirlenen çarliston çeşidinin kuru madde verimi 25 ve 50 µM NO uygulamalarıyla artış göstererek 1,66 ve 2,12 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur.

B uygulanmayan ortamda (0 mM B) NO uygulamaları ortalaması olarak, çarliston çeşidinde ortalama kuru madde verimi 2,04 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, B (1 mM B) uygulanan ortamda bu değer %16,57 oranında önemli bir azalma göstererek 1,75 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin kuru madde verimi 1,62 g saksı⁻¹ olarak bulunurken 50 µM NO uygulaması ile bu değer sırasıyla %38,27 oranında önemli artış göstererek 2,24 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.33).

Dolmalık çeşidinin kuru madde verimleri üzerine de NO x NaCl interaksyonunun etkisi önemli bulunmamakla birlikte; B uygulanmayan (0 mM B) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin kuru madde verimleri 0 µM NO uygulamasında 2,38 g saksı⁻¹ iken 25 ve 50 µM NO uygulamalarında artışlar göstererek 2,48 ve 2,80 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14). B uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde ise; 0 µM NO uygulamasında 1,76 g saksı⁻¹ dolmalık çeşidinin kuru madde verimleri 25 ve 50 µM NO uygulamalarıyla artış göstererek 1,94 ve 2,07 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur. B uygulanmayan ortamda (0 mM B) NO uygulamaları ortalaması olarak, dolmalık çeşidinde ortalama kuru madde verimi 2,41 g saksı⁻¹ olarak belirlenirken, B (1 mM B) uygulanan ortamda bu değer %25,52 oranında önemli bir azalma göstererek 1,92 g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin kuru madde verimi 1,85 g saksı⁻¹ olarak bulunurken 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %23,24 ve %40,00 oranında önemli artış göstererek 2,28 ve 2,59 g saksı⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.33). 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile meydana gelen farklılık istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

Bor bitkilerin gelişimi için mutlak gerekli bir bitki besin elementi olmasına yanında yetiştirme ortamında yüksek konsantrasyonda bulunması durumunda toksik etki yaptığı bilinmektedir (Kot 2009, Kayıhan ve ark. 2017). Yaptığımız çalışma sonuçlarına göre, B uygulamasının bitkilerin kuru madde miktarında önemli azalmalara neden olduğu belirlenmiştir. çarliston ve dolmalık çeşidi biber bitkilerinde en düşük kuru madde miktarı -NO ve +B uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 4.33). Bor toksisitesi altında kuru madde veriminde meydana gelen bu azalmanın, borun bitkilerde özellikle meristematik hücre bölünmesi için gerekli mekanizmaları inhibe etmesi olarak düşünülmektedir (Martinez-Cuenca ve ark. 2015). Bor uygulamalarının bitkilerin kuru madde miktarında meydana getirdiği azalma yapılan birçok çalışmada rapor edilmiştir. (Ayvaz ve ark. 2012, Ashagre ve ark. 2014). Ashagre ve ark. (2014), aspir bitkisinde bor içeriğindeki artışla sürgün kök uzunlukları, sürgün ile kökün taze ve kuru ağırlığını önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda, bitkilerdeki B içeriğinde artış olması beraberinde kök ve gövde yaş ağırlığı, kuru ağırlığı ve uzunluğu yanı sıra yaprak alanı gibi büyüme parametrelerinde azalmalara neden olduğu ortaya konmuştur. (Surgun ve ark. 2016, Mukhopadhyay ve ark. 2013). Yapmış olduğumuz bu çalışma, B toksisite tolerans araştırmasının temelini oluşturan önemli bitki mekanizmalarının tepkilerini ölçmede de yardımcı olmuştur. Bitkilerde B toksitesine bağlı olarak ortaya çıkan büyüme ve gelişmedeki olumsuz etkinin NO uygulaması ile önlediği ve kuru madde miktarında önemli artış sağlandığı gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalarda bor toksisitesi nedeniyle negatif etkilenen gelişim parametrelerinin (kuru ağırlık, yaş ağırlık vb.) NO uygulamaları ile düştüğü belirtilmiştir (Wang ve ark. 2011, Esim ve ark. 2013). Yüksek düzeyde Bor varlığı bitki gelişimini baskılandığı, kök hücre bölünmesi, hücre duvarı genişlemesi gibi etkilere neden olduğu rapor edilmiştir (Herrera-Rodriguez ve ark., 2010, Siddiqui ve ark. 2012, Esim ve ark. 2013). Bordan kaynaklanan toksik etkinin NO uygulamaları ile azalması ROT'ların temizleme yeteneği dışında elektrolit sızıntısı, MDA ve H₂O₂ içeriğini artması ile açıklanabilmektedir. (Esim ve ark. 2013) Kaya ve ark. (2020) yapmış oldukları çalışmada, B toksitesi altında yetiştirmiş oldukları bitkilerde kuru madde ağırlığında düşüş meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Bor toksitesi altında yetiştirilen bitkilerde bitki kuru ağırlığındaki önemli azalma, borun bitkide fizyolojik metabolizmalar ve bitki besin elementi alınımı üzerindeki inhibe edici özelliğinden kaynaklandığı rapor edilmiştir (Metwally ve ark. 2018).

4.3.2. Bitkilerin Toprak Üstü Aksamlarının B İçerikleri

Bor uygulanmış ortamda yetiştirilen (1 mM B) çarliston ve dolmalık çeşidi biber bitkilerinde artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin toprak üstü aksamlarının B içerikleri üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.34'te ve toprak üstü aksamlarının B içeriklerine ait ortalamalar Çizelge 4.35'te verilmiştir. Çizelge 4.34 ve 4.35'in birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin toprak üstü aksamlarının B içerikleri üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, B uygulamasının ve NO x B interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$).

Çizelge 4.34. Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam B içeriklerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Genel	5	5487,4217		3894,7683	
Nitrik Oksit (NO)	2	4828,965	811,716**	5379,7810	863,235**
Bor (B)	1	4726,058	1588,8380**	3027,7168	9716,505**
NO x B	2	2784,6660	468,083**	3290,7340	528,028**
Hata	12	356,940		373,930	

*** $P<0,001$; ** $P<0,010$; * $P<0,050$; öd: önemli değil

Çizelge 4.35. Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin toprak üstü aksam B içeriklerine (mg B kg^{-1}) etkisi

B Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (μM)				NO Uygulaması (μM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
-B	50,34 d	31,33 e	19,43 f	33,70 B	46,66d	29,56 e	17,60 f	31,27 B
+B	484,33a	315,33b	273,66c	357,77 A	413,33a	283,66b	175,00c	290,66 A
Ortalama	267,34A	173,33B	146,55C		230,00A	156,61B	96,30C	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

B uygulanmayan (0 mM B) koşullarda yetiştirilen arliston çeşidinin toprak üstü aksam B içeriği üzerine artan konsantrasyonlarda uygulanan NO (25, 50 μM) ile kontrole göre önemli azalmalar belirlenmiştir. B stresi altında (1 mM B) yetiştirilen bitkilerde 0 μM NO uygulamasında 50,34 mg B kg^{-1} olan arliston çeşidi biber bitkilerinin toprak üstü aksam B içeriği artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 μM) uygulaması ile sırasıyla %37,76 ve %61,40 oranlarında azalma göstererek 31,33 ve 19,43 mg B kg^{-1} olarak belirlenmiştir (izelge 4.35). B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda arliston çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama B içeriği 33,70 mg B kg^{-1} olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer 10,61 kat artış göstererek 357,77 mg B kg^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen arliston çeşidinin toprak üstü aksam ortalama B içeriği 267,34 mg B kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %54,23 ve %82,42 oranında önemli azalma göstererek 173,33 ve 146,55 mg B kg^{-1} olarak belirlenmiştir (izelge 4.35).

B uygulaması dolmalık çeşidine ait bitkilerde B içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda arliston çeşidinde toprak üstü aksamda ortalama B içeriği 31,27 mg B kg^{-1} olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer 9,3 kat artış göstererek 290,66 mg B kg^{-1} olmuştur. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde B içeriği 46,66 mg B kg^{-1} olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer 8,9 kat artarak 413,33 mg B kg^{-1} olarak bulunmuştur. B uygulanmayan (0 mM B) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin toprak üstü aksam B içeriğinde artan konsantrasyonlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları ile %57,84 ve %165,11 oranlarında azalma belirlenirken; 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile bu azalma %45,71 ve 136,18 oranlarında belirlenmiş ve arliston çeşidinin toprak üstü aksam B konsantrasyonları sırasıyla 283,66 ve 175,00 mg B kg^{-1} olarak belirlenmiştir (izelge 4.35). NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin toprak üstü aksam ortalama B içeriği 230,00 mg B kg^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %46,86 ve %138,83 oranında önemli azalma göstererek 156,61 ve 96,30 mg B kg^{-1} olarak belirlenmiştir (izelge 4.35).

İki biber çeşidinde de bor uygulaması bitkilerin toprak üstü aksam B içeriklerinde önemli artış meydana getirmiştir. 1 mM bor uygulaması çarliston çeşidi bitkilerde toprak üstü aksam B içeriğini 9,6 kat arttırırken dolmalık çeşidi bitkilerde bu artış 8,9 kat olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.35). Goldberg ve ark. (2003) kavun bitkisi ile yaptıkları çalışmada, bor uygulamalarının bitkilerde yaprak, gövde ve meyve içeriklerinde önemli artış meydana getirdiğini bildirmişlerdir. Bitkilere bor vericisi olarak uygulanan borik asidin bitki toprak üstü aksamlarında bor birikimine neden olduğu farklı çalışmalarda rapor edilmiştir (Samet ve ark. 2017, Kamboj ve Malik 2018, Hegazi ve ark. 2018, Samet ve Çıkılı 2019). Bor toksisitesi altında yetiştirilen bitkilerde NO uygulaması bitkilerin toprak üstü aksam B içeriklerinde önemli azalmaya neden olmuştur. Bor uygulamaları ile bitki toprak üstü aksamlarında B birikiminin önemli derecede arttığı ve artan B içeriği ile tilakoid membranların zarar gördüğü, karbon asimilasyonunun inhibe edildiği ve araştırmacılar B birikiminin bu negatif etkilerinin bitkilerde kuru madde azalması ile ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir (Yang ve ark. 2012).

4.3.3. Bitkilerin Fotosentetik Pigment İçerikleri

Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (25, 50 μ M) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içerikleri üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.36'da ve fotosentetik pigment içeriklerine ait ortalamalar Çizelge 4.37'de verilmiştir. Çizelge 4.36 ve 4.37'nin birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içerikleri üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, B uygulamasının ve NO x B interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$).

Çizelge 4.36. Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin fotosentetik pigment içerikleri üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Toplam Klorofil					
Genel	5	3450,1593		2738,5543	
Nitrik Oksit (NO)	2	1332,8902	8266,271**	1180,4840	9295,1540**
Bor (B)	1	1153,3261	1430,531**	1548,3890	2438,4080**
NO x B	2	9693,430	5978,147**	96,804	7622,379**
Hata	12	0,967		0,076	
Klorofil a					
Genel	5	8,305		106,945	
Nitrik Oksit (NO)	2	2,590	18,500**	60,970	653,250**
Bor (B)	1	2,640	38,785**	8,405	180,107**
NO x B	2	3,070	21,928**	37,570	402,535**
Hata	12	0,840		0,560	
Klorofil b					
Genel	5	110,646		351,694	
Nitrik Oksit (NO)	2	20,776	862,142**	291,709	1677,671**
Bor (B)	1	3,440	285,555**	38,252	493,988**
NO x B	2	86,427	3586,202**	21,732	124,988**
Hata	12	3,440		1,043	
Karotenoid					
Genel	5	693,700		2064,280	
Nitrik Oksit (NO)	2	144,310	455,715**	1033,510	8159,289**
Bor (B)	1	64,980	410,400**	27,380	432,315**
NO x B	2	484,410	1529,716**	1003,390	7921,500**
Hata	12	1,900		0,760	

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,010$; * $P < 0,050$; öd: önemli değil

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde toplam klorofil içeriği $66,80 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer %13,62 oranında azalma göstererek $58,79 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO çarliston çeşidine ait bitkilerde toplam klorofil içeriğinde sırasıyla %4,96 ve %11,48 oranında artış göstererek $61,71 \mu\text{g g}^{-1}$ ve $65,54 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %12,42 ve %10,98 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir.

Çizelge 4.37. Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin yaprak fotosentetik pigment içerikleri üzerine etkileri

B Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
Toplam klorofil (µg g⁻¹)								
-B	66,80 c	69,38b	72,74a	69,64 A	66,56 d	70,24 b	74,88 a	70,56 A
+B	58,79 f	61,71e	65,54d	62,01 B	51,35 f	59,57 e	68,78 c	59,90 B
<i>Ortalama</i>	62,79C	65,54 B	69,14A		58,95 C	64,90 B	71,83 A	
Klorofil a (µg g⁻¹)								
-B	45,40c	45,80 c	47,20 a	46,13 A	47,70 c	49,50 b	51,90 a	49,70 A
+B	45,20 c	45,80 c	46,50 b	45,83 B	44,10 e	46,60 d	46,90 d	45,86 B
<i>Ortalama</i>	45,30B	45,80 B	46,85 A		45,90 C	48,05 B	49,40 A	
Klorofil b (µg g⁻¹)								
-B	14,50 c	14,90 b	15,11 a	14,83 A	15,01 b	15,02 b	19,73 a	16,58 A
+B	8,43 f	10,87 e	14,10 d	11,13 B	5,97 e	9,44 b	14,44 c	9,95 B
<i>Ortalama</i>	11,46 C	12,88 B	14,60 A		10,49 C	12,23 B	17,08 A	
Karotenoid (µg g⁻¹)								
-B	23,40 c	27,90 b	38,90 a	30,06 A	32,20 c	42,50 b	47,30 a	39,33 A
+B	20,90 d	21,40 d	23,30 c	21,86 B	20,70 e	21,10 e	21,80 d	21,20 B
<i>Ortalama</i>	22,15 C	24,65 B	31,10 A		26,45 C	31,80 B	34,55 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde toplam klorofil içeriği 69,64 µg g⁻¹ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %12,30 azalma göstererek 62,01 µg g⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin toplam klorofil içeriği 62,79 µg g⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %4,37 ve %10,11 oranında önemli artış göstererek 65,54 ve 69,14 µg g⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.37).

B uygulaması dolmalık çeşidinde de toplam klorofil içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde toplam klorofil içeriği 66,56 µg g⁻¹ olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer %29,62 oranında azalma göstererek 51,35 µg g⁻¹ olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO dolmalık çeşidinde toplam klorofil içeriğinde sırasıyla

%16,00 ve %33,94 oranında artış göstererek 59,57 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 68,78 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %17,91 ve %8,86 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde ortalama toplam klorofil içeriği 70,56 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %17,79 oranında azalma göstererek 59,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin toplam klorofil içeriği 58,95 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %10,09 ve %21,84 oranında önemli artış göstererek 64,90 ve 71,83 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.37).

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği sırasıyla 45,40 ve 14,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. B uygulaması ile bitkilerin klorofil *a* içeriğinde önemli değişim belirlenmezken, klorofil *b* içeriğinde %72,00 oranında önemli bir azalma meydana gelmiş ve B uygulaması ile bitkilerin klorofil *b* içeriği 8,43 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

1 mM B ile birlikte uygulanan 50 μM NO uygulaması ile çarliston çeşidi bitkilerde klorofil *a* içeriği %2,9 oranında önemli artış göstererek 46,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Klorofil *b* içeriğinde 25 ve 50 μM NO uygulaması ile meydana gelen artış %24,19 ve %67,25 oranlarında bulunmuş ve klorofil *b* içeriği sırasıyla 10,87 ve 14,10 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 50 μM NO uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde klorofil *a* içeriğinde 1 mM B uygulaması sonucunda %1,50 oranında önemli azalma meydana gelirken, klorofil *b* içeriğinde 1 mM B uygulaması sonucunda meydana gelen azalma oranları %37,07 ve %7,16 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.37).

B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde klorofil *a* içeriği 46,13 $\mu\text{g g}^{-1}$, klorofil *b* içeriği 14,83 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değerler sırasıyla %0,65 ve %33,24 oranlarında önemli azalma göstererek 45,83 ve 11,13 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin klorofil *a* içeriği 45,30 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 50 μM NO uygulamasında bu değer %3,42 oranında artarak 46,85 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.37). NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin klorofil *b* içeriği 11,46 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %12,39 ve %27,39 oranında önemli artış göstererek 12,88 ve 14,60 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.37).

Bor uygulaması dolmalık çeşidinde klorofil *a* ve *b* içeriğini istatistiksel açıdan önemli oranda azaltmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde klorofil *a* ve *b* içeriği sırasıyla 47,70 ve 15,01 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. B uygulaması ile bitkilerin klorofil *a* ve klorofil *b* içeriğinde sırasıyla %8,16 ve %51,42 oranlarında önemli bir azalma meydana gelmiş ve bitkilerin klorofil *a* ve *b* içeriği sırasıyla 44,10 ve 5,97 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile dolmalık çeşidine ait bitkilerde klorofil *a* içeriği sırasıyla %4,67 ve %8,16 oranında artış göstererek 46,16 ve 47,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Klorofil *b* içeriğinde 25 ve 50 μM NO uygulaması ile meydana gelen artış %58,12 ve %141,87 oranlarında bulunmuş ve klorofil *b* içeriği sırasıyla 9,44 ve 14,44 olarak belirlenmiştir.

1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulaması ile klorofil *b* içeriğinde meydana gelen farklılık istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde klorofil *a* içeriğinde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %6,22 ve %10,66 oranlarında önemli azalmalar meydana gelirken, klorofil *b* içeriğinde 1 mM B uygulaması sonucunda meydana gelen azalma oranları %59,11 ve %36,63 olarak belirlenmiştir.

Bor uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık biber çeşidinde ortalama klorofil *a* içeriği 49,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ klorofil *b* içeriği 16,58 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değerler sırasıyla %8,37 ve %66,63 azalma göstererek 45,86 ve 9,95 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin klorofil *a* içeriği 45,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %4,68 ve %7,08 oranında önemli artış göstererek 48,05 ve 49,40 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.36). NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin klorofil *b* içeriği 10,49 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %16,58 ve %62,82 oranında önemli artış göstererek 12,23 ve 17,08 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.37).

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde karotenoid içeriği üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde karotenoid içeriği 23,40 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer %11,96 oranında azalış göstererek 20,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 50 μM NO çarliston Çeşidine ait bitkilerde karotenoid içeriğinde %11,48 oranında artış göstererek 23,30 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %30,37 ve %66,95 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde karotenoid içeriği 30,06 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %37,51 azalma göstererek 21,86 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin karotenoid içeriği 22,15 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %11,28 ve %40,40 oranında önemli artış göstererek 24,65 ve 31,10 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.37).

Dolmalık çeşidinde B uygulaması karotenoid içeriği üzerine de istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkide bulunmuştur. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde karotenoid içeriği 32,20 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer %55,55 oranında azalış göstererek 20,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

1 mM B ile birlikte uygulanan 50 μM NO çarliston çeşidine ait bitkilerde karotenoid içeriğinde %0,48 oranında artış göstererek 20,80 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %101,42 ve %116,97 oranlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık biber çeşidinde karotenoid içeriği 39,33 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %46,09 azalma göstererek 21,20 $\mu\text{g g}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin karotenoid içeriği 26,45 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %20,22 ve %30,62 oranında önemli artış göstererek 31,80 ve 34,55 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.37).

Bor uygulaması her iki çeşit biber bitkisinde de fotosentetik pigment miktarında önemli düşüşe neden olmuştur. Bor toksisitesi altında yetiştirilen bitkilerde NO uygulaması borun fotosentetik pigment içerikleri üzerine olan negatif etkisini azaltmış ve fotosentetik pigment içeriklerinde artış meydana gelmiştir (Çizelge 4.37).

Farag ve ark. (2017) karpuz bitkisi ile yaptıkları çalışmada, B toksisitesi altında bitkilerde toplam klorofil, klorofil *a* ve klorofil *b* içeriklerinde önemli azalmalar belirlendiğini ve bitki toprak üstü aksamalarında B birikiminin lipid peroksidasyonun ana nedenlerinden biri olabileceğini belirterek, B toksisitesi altında fotosentetik pigment miktarlarındaki azalmanın buna bağlı olabileceğini rapor etmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada, B toksisitesinin bitki yapraklarında fazla miktarda nişasta birikimine neden olduğu ve fazla miktarda nişasta birikiminin kloroplastların yapısının bozulmasına ve dolayısıyla fotosentetik pigment üretiminin azalmasına neden olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark. 2011). Benzer bir çalışmada, B toksisitesi altında yapraklarda aşırı biriken heksozun fotosentez mekanizmasında görevli enzimlerin inhibisyonuna neden olduğu rapor edilmiştir (Schaffer ve ark. 1986). Bor toksisitesi altında yetiştirilen bitkilerde klorofil *a*, klorofil *b*, toplam klorofil ve karotenoid içeren fotosentetik pigmentlerin ciddi düzeyde azaldığını belirten birçok araştırma mevcuttur (Papadakis ve ark. 2004a, b, , Han ve ark. 2009, Genisel ve ark. 2017, Hegazi ve ark. 2018).

Tewari ve Tripathy (1998), bor toksisitesi altında fotosentetik pigment miktarlarındaki düşüşün, klorofil sentezinin bir öncüsü olan aminolevulinik asit (ALA)'in yapısındaki yıkımdan kaynaklandığını bildirmiştir.

4.3.4. Bitkilerin Çözünabilir Protein Miktarları

Bor uygulanmış ortamda yetiştirilen (1 mM B) çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinde artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının bitkilerin çözünabilir protein miktarları üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.38'de ve çözünabilir protein miktarlarına ait ortalamalar Çizelge 4.39'da verilmiştir. Çizelge 4.38 ve 4.39'un birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin çözünabilir protein miktarları üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının ve B uygulamasının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). çarliston ve dolmalık çeşidi biber bitkilerinde NO x B interaksiyonunun etkisi $P<0,05$ olasılık düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.38).

Çizelge 4.38. Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünabilir protein miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
Genel	5	779,607		480,185	
Nitrik Oksit (NO)	2	44,662	37,791**	101,190	25,648**
Bor (B)	1	728,347	1232,607**	347,776	176,299**
NO x B	2	6,597	5,582*	31,218	7,912*
Hata	12	7,090		23,671	

*** $P<0,001$; ** $P<0,010$; * $P<0,050$; öd: önemli değil

Çizelge 4.39. Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin çözünabilir protein miktarları (mg prot g⁻¹ YA) üzerine etkisi

B Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
-B	54,04 b	58,28 a	57,73 a	56,68 A	55,98 b	56,73 ab	58,51 a	57,07 A
+B	42,23 e	43,84 d	45,81 c	43,96 B	44,12 e	47,64 d	53,08 c	48,28 B
Ortalama	48,13 B	51,06 A	51,77 A		50,05 C	52,18 B	55,79 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

B uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde çözünebilir protein miktarı üzerine istatistiksel açıdan önemli azaltıcı etkiye bulunmuştur. 0 μM NO ve 0 mM B uygulaması altında yetiştirilen bitkilerde çözünebilir protein miktarı 54,04 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenirken, 1 mM B uygulaması ile bu değer %27,96 oranında önemli bir azalma göstererek 42,23 mg prot g^{-1} YA olarak bulunmuştur. 1 mM B uygulaması ile birlikte 25 ve 50 μM NO uygulamalarında %3,81 ve %8,47 oranlarında önemli artışlar gösteren çarliston çeşidine ait bitkilerde çözünebilir protein miktarı 43,84 ve 45,81 g saksı⁻¹ mg prot g^{-1} YA olarak belirlenmiştir. B uygulanmayan ortamda (0 mM B) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde ortalama çözünebilir protein içeriği 56,68 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenirken, B (1 mM B) uygulanan ortamda bu değer %28,93 oranında önemli bir azalma göstererek 43,96 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenmiştir. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin ortalama çözünebilir protein miktarı 48,13 mg prot g^{-1} YA olarak bulunurken, 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %6,08 ve %7,56 oranında önemli artışlar göstererek 51,06 ve 51,77 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.39). 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile meydana gelen değişim istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

0 μM NO ve 0 mM B uygulaması altında yetiştirilen dolmalık çeşidine ait bitkilerde çözünebilir protein miktarı 55,98 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenirken, 1 mM B uygulaması ile bu değer %26,88 oranında önemli bir azalma göstererek 44,12 mg prot g^{-1} YA olarak bulunmuştur. Bor uygulanmayan (0 mM B) koşullarda yetiştirilen dolmalık çeşidinin çözünebilir protein miktarı 25 ve 50 μM NO uygulamasında %29,03 ve %32,61 oranında önemli artış göstererek 56,93 ve 58,51 mg prot g^{-1} YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.38). B uygulaması altında yetiştirilen dolmalık çeşidine ait bitkilerde ise; 0 μM NO uygulamasında 44,12 mg prot g^{-1} YA çözünebilir protein miktarı 25 ve 50 μM NO uygulamalarıyla %7,97 ve %20,30 oranlarında önemli artış göstererek 47,64 ve 53,08 mg prot g^{-1} YA olarak bulunmuştur. B uygulanmayan ortamda (0 mM B) artan dozlarda NO uygulamaları sonucunda dolmalık biber çeşidinde ortalama çözünebilir protein içeriği 57,07 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenirken, B (1 mM B) uygulanan ortamda bu değer %18,20 oranında önemli bir azalma göstererek 48,28 mg prot g^{-1} YA olarak belirlenmiştir.

NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin ortalama çözünebilir protein içeriği 50,05 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunurken, 25 ve 50 µM NO uygulamaları ile bu değer sırasıyla %4,25 ve %11,46 oranında önemli artışlar göstererek 52,18 ve 55,79 mg prot g⁻¹ YA olarak bulunmuştur (Çizelge 4.39).

Bor toksisitesi, kontrol bitkilerine kıyasla çözünebilir protein içeriğinde önemli bir azalmaya neden olmuştur. Bor ile birlikte uygulanan NO bitkilerin çözünebilir protein miktarlarında bordan kaynaklanan negatif etkilerin azaltılmasında önemli rol oynamıştır. Bor toksisitesi altındaki börülce bitkilerinde çözünebilir protein miktarlarında meydana gelen azalmalar yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Chatterjee ve ark. 2005, Han ve ark. 2009, Inbaraj ve Muthuchelian 2011). Çözünebilir protein içeriğindeki söz konusu bu düşüş, mRNA ekleme reaksiyonlarındaki inhibisyon ile ilişkilendirilmiş, yüksek B seviyelerinin mRNA ekleme reaksiyonlarının ilk basamağını inhibe ettiği bildirilmiştir (Shomron ve Ast 2003).

4.3.5. Bitkilerin Kimi Stres Parametresi (H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA) İçerikleri

Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin lipid peroksidasyon (MDA), hidrojen peroksit (H₂O₂) prolin ve askorbik asit (AsA) miktarları üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.40'ta ve MDA, H₂O₂ prolin ve AsA miktarlarına ait ortalamalar Çizelge 4.41'de verilmiştir. Çizelge 4.40 ve 4.41'in birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin MDA, H₂O₂ prolin ve AsA miktarları üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, B uygulamasının ve NO x B interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$, $P<0,05$).

Çizelge 4.40. Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, prolin ve AsA miktarları üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
H₂O₂					
Genel	5	123,295		61,363	
Nitrik Oksit (NO)	2	22,224	26,736**	38,960	43,815**
Bor (B)	1	48,708	117,192**	16,531	37,182**
NO x B	2	52,362	62,992**	5,872	6,604*
Hata	12	0,415		0,444	
MDA					
Genel	5	214,656		182,417	
Nitrik Oksit (NO)	2	28,156	38,900**	20,906	58,992**
Bor (B)	1	175,531	485,019**	141,456	792,310**
NO x B	2	10,968	15,153**	20,055	56,590**
Hata	12	0,361		0,177	
Prolin					
Genel	5	14,111		17,900	
Nitrik Oksit (NO)	2	0,737	62,528**	0,890	194,580**
Bor (B)	1	13,244	2246,877**	16,550	7230,76**
NO x B	2	0,130	11,050*	0,459	100,269**
Hata	12	0,010		0,002	
AsA					
Genel	5	5870,1778		7498,8944	
Nitrik Oksit (NO)	2	1505,6778	1594,247**	2348,4778	2248,543**
Bor (B)	1	4243,7556	8986,776**	4982,2722	9540,521**
NO x B	2	1207,444	127,847**	1681,444	160,989**
Hata	12	56,667		62,667	

***P<0,001; **P<0,010; *P<0,050; öd: önemli değil

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde H₂O₂ miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde H₂O₂ miktarı 14,82 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken, B uygulaması ile bu değer %46,28 oranında artış göstererek 21,68 µmol g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO uygulaması ile çarliston çeşidine ait bitkilerde H₂O₂ miktarı %22,00 ve %38,53 oranında önemli azalma göstererek 17,77 ve 15,65 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda H₂O₂ miktarında %21,71 ve %10,52 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde H₂O₂ miktarı 14,80 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %22,22 artış göstererek 18,09 µmol g⁻¹ YA olmuştur.

Çizelge 4.41. Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin H₂O₂, MDA, prolin ve AsA miktarları üzerine etkisi

B Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
H₂O₂ (µmol g⁻¹ YA)								
-B	14,82cd	14,60cd	14,16 d	14,80 B	10,88 d	11,92 cd	11,33 d	11,97 B
+B	21,68 a	17,77 b	15,65 c	18,09 A	16,33 a	13,99 b	13,09 c	13,88 A
Ortalama	17,92 A	16,18 B	15,24 C		14,71 A	12,95 B	11,11 C	
MDA (nmol g⁻¹ YA)								
-B	4,65 d	3,87 de	3,49 e	4,00 B	2,30 d	2,24 d	2,23 d	2,26 B
+B	12,69 a	10,33 b	7,72 c	10,25 A	10,41 a	8,00 b	5,19 c	7,86 A
Ortalama	8,67 A	7,10 B	5,60 C		6,35 A	5,11 B	3,71 C	
Prolin (mg g⁻¹)								
-B	0,33 d	0,31 d	0,18 e	0,27 B	0,45 d	0,43 d	0,25 e	0,37 B
+B	2,77 a	2,57 b	1,74 c	2,36 A	2,56 a	2,34 b	1,67 c	2,19 A
Ortalama	1,55 A	1,44 B	0,96 C		1,50 A	1,38 B	0,96 C	
AsA (nmol g⁻¹)								
-B	105,00 f	121,66e	147,66d	124,77 B	122,00 f	146,00 e	185,00 d	151,00B
+B	183,66c	232,33b	296,00a	237,33 A	276,33 c	311,33 b	386,66 a	324,77A
Ortalama	144,33C	176,99B	221,83A		199,16 C	228,66B	285,83 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin H₂O₂ miktarı 17,92 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %10,63 ve %17,45 oranında önemli azalma göstererek 16,18 ve 15,24 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

Dolmalık çeşidinde B uygulaması H₂O₂ miktarı üzerine istatistiksel açıdan önemli arttırıcı etkide bulunmuştur. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde H₂O₂ miktarı 10,88 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenirken, B uygulaması ile bu değer %50,09 artış göstererek 16,33 µmol g⁻¹ YA olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO dolmalık çeşidinde H₂O₂ miktarında %16,72 ve %24,75 oranında azalmaya neden olmuş ve bu değerler 13,99 ve 13,09 µmol g⁻¹ YA olarak belirlenmiştir.

Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %17,36 ve %15,53 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde H_2O_2 miktarı 11,97 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %15,95 artış göstererek 13,88 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin H_2O_2 miktarı 14,71 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %13,59 ve %32,40 oranında önemli azalma göstererek 12,95 ve 11,11 $\mu\text{mol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde MDA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde MDA miktarı sırasıyla 4,65 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken 1 mM B uygulaması ile bu değer %172,90 oranında önemli artış göstererek 12,69 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston Çeşidine ait bitkilerde MDA miktarı sırasıyla %22,84 ve %64,37 oranında azalma göstererek 10,33 ve 7,72 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde MDA miktarında 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %166,92 ve %121,20 oranlarında önemli artışlar meydana belirlenmiştir.

B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde MDA miktarı 4,00 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değerler %156,25 oranında önemli artış göstererek 10,25 nmol g^{-1} YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin MDA miktarı 8,67 nmol g^{-1} YA olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamasında bu değer sırasıyla %22,11 ve %54,82 oranlarında önemli azalma göstererek 7,10 ve 5,60 nmol g^{-1} YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

Bor uygulaması dolmalık çeşidinde MDA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde MDA miktarı $2,30 \text{ nmol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, B uygulaması ile bitkilerin MDA miktarı %352,60 oranında önemli bir artış meydana gelmiş ve bitkilerin MDA miktarı $10,41 \text{ nmol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile dolmalık çeşidinde MDA miktarı sırasıyla %30,12 ve %100,57 oranında önemli azalma göstererek 8,00 ve $5,19 \text{ nmol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde MDA miktarında 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %25,71 ve %132,73 oranlarında önemli artışlar belirlenmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık biber çeşidinde MDA miktarı $2,26 \text{ nmol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %247,78 oranında önemli artış göstererek $7,86 \text{ nmol g}^{-1}$ YA olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin MDA miktarı $6,35 \text{ nmol g}^{-1}$ YA olarak belirlenirken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %24,26 ve %71,15 oranında önemli azalma göstererek 5,11 ve $3,71 \text{ nmol g}^{-1}$ YA olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde prolin miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde prolin miktarı $0,33 \text{ mg g}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulaması ile bu değer 7,3 kat artış göstererek $2,77 \text{ mg g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidine ait bitkilerde prolin miktarı sırasıyla %7,78 ve %59,19 oranında azalma göstererek 2,57 ve $1,74 \text{ mg g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla 7,2 ve 8,6 kat önemli artışlar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde prolin miktarı $0,27 \text{ mg g}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer 7,7 kat önemli artış göstererek $2,36 \text{ mg g}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin prolin miktarı 1,55 mg g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %7,63 ve %61,45 oranında önemli azalma göstererek 1,44 ve 0,96 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

Dolmalık çeşidinde B uygulaması prolin miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde prolin miktarı 0,45 mg g^{-1} olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer 4,6 kat artış göstererek 2,56 mg g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile dolmalık çeşidinde prolin miktarı sırasıyla %9,40 ve %53,29 oranında azalma göstererek 2,34 ve 1,67 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla 4,4 ve 5,6 kat önemli artışlar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde prolin miktarı 0,37 mg g^{-1} olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer 4,9 kat önemli artış göstererek 2,19 mg g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin prolin miktarı 1,50 mg g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %8,69 ve %56,25 oranında önemli azalma göstererek 1,38 ve 0,96 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde AsA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde AsA miktarı 105,00 nmol g^{-1} olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer %74,91 oranında artış göstererek 183,66 mg prot g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidine ait bitkilerde AsA miktarı sırasıyla %26,50 ve %61,16 oranında artış göstererek 232,33 ve 296,00 nmol g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde AsA miktarında 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %90,96 ve %100,46 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde AsA miktarı 124,77 nmol g^{-1} olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %90,21 oranında önemli artış göstererek 237,33 nmol g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin AsA miktarı 144,33 nmol g^{-1} olarak belirlenirken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %22,62 ve %53,69 oranında önemli artış göstererek 176,99 ve 221,83 nmol g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

dolmalık çeşidinde de B uygulaması AsA miktarını istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde AsA miktarı 122,00 nmol g^{-1} olarak belirlenirken, B uygulaması ile bu değer %126,5 oranında artış göstererek 276,33 nmol g^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidine ait bitkilerde AsA miktarı sırasıyla %12,66 ve %39,92 oranında artış göstererek 311,33 ve 386,66 nmol g^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla 1,1 ve 1,0 kat önemli artışlar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık biber çeşidinde AsA miktarı 151,00 nmol g^{-1} olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer 1,1 kat önemli artış göstererek 324,77 nmol g^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin AsA miktarı 199,16 nmol g^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %14,81 ve %43,51 oranında önemli artış göstererek 228,66 ve 285,83 nmol g^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

Bor toksisitesinin bitkilerde oksidatif strese neden olduğu yapılan birçok çalışmada ortaya konmuştur (Cervilla ve ark. 2007, Ardic ve ark. 2009, Herrera-Rodriguez ve ark. 2010, Siddiqui ve ark. 2012, Esim ve Atici 2013). Çalışma sonuçlarımızda, bor toksisitesi altındaki bitkilerde H_2O_2 ve MDA içeriklerinde önemli artışlar meydana geldiği belirlenmiştir. Bunun yanında bor ile birlikte uygulanan NO bor toksisitesinden kaynaklanan oksidatif zararlanmayı azaltmış, H_2O_2 ve MDA içeriklerinin artmasını sağlamıştır (Çizelge 4.40).

B toksisitesi, MDA, elektrolit sızıntısı ve H₂O₂ içeriğini artırarak bitkilerde hücrel işlev bozukluğuna neden olmuş olabilir. Çalışma sonuçlarımız, bor toksitesi altındaki bitkilerde MDA, H₂O₂ içeriğinin artış gösterdiğini bildiren birçok çalışma ile uyum içerisindedir (Cervilla ve ark. 2007, Ardic ve ark. 2009, Herrera-Rodriguez ve ark. 2010, Esim ve ark. 2013). NO, bor stresi altında yetiştirilen bitkilerde söz konusu bu oksidatif hasarlanmayı neredeyse tamamen engellemiş ve etkili bir ROT temizleyici veya bir membran stabilizatörü olarak görev yapmıştır. Bazı araştırmacılar, membran hasarının Haber-Weiss reaksiyonunu tetikleyebilen ve hidroksil radikaliyle sonuçlanabilen ve dolayısıyla lipid peroksidasyonuna neden olabilecek yüksek H₂O₂ seviyelerinden kaynaklanabileceğini bildirilmiştir (Mittler 2002, Aftab ve ark. 2012). Çalışmamız sonuçları, NO uygulamasının B stresinden kaynaklı ROT üretimini ve lipid peroksidasyonunu inhibe ettiğini göstermektedir. Elde ettiğimiz sonuçlar, her iki biber türünde de NO uygulaması ile antioksidan aktivitenin artış gösterdiği ve NO'nun stres koşullarında bitkilerin büyüme ve gelişmelerinin desteklendiği şeklinde açıklanabilir. Askorbik asitin (AsA) bitkilerde B stresinden kaynaklanan oksidatif hasarın azaltılmasında H₂O₂ gibi ROT'ları hücre dışına süpüren ve enzimatik olmayan bir antioksidan olduğu bilinmektedir (Metwally ve ark. 2018). Benzer şekilde, çalışmamız sonuçlarında B stresi altındaki bitkilerde H₂O₂ içeriğinin artmasına bağlı olarak yaprak AsA ve prolin seviyelerinin arttığı belirlenmiştir (Çizelge 4.40). Yapılan çalışmalarda, bitki H₂O₂ içeriği ve AsA miktarındaki artış arasında doğrusal korelasyon belirlenmiştir (Kaya 2020). Prolin, enzimlerin denatürasyondan korunmasını sağlayan ve hidroksil radikal süpürücü olarak ROT'u temizleyen enzim olmayan bir antioksidan ve osmoregülatördür. B toksitesi altındaki yapraklarda prolin birikiminin bitkilerdeki stres toleransı ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir (Kayıhan ve ark. 2016).

NO uygulamasının bitkilerde H₂O₂, MDA ve prolin seviyelerinde meydana getirdiği düşüş, NO'in bitkilerde B birikimini engellediği şeklinde açıklanabilir (Han ve ark. 2009). Bitkilerde SOD enzimi süperoksit anyonunun H₂O₂'ye ve sonrasında H₂O'ya dönüşümünü sağlayarak hücreleri oksidatif zararlanmada korumada görevlidir. Bu nedenle NO varlığında H₂O₂ seviyesinde meydana gelen azalma NO'in SOD enzim aktivitesini arttırması ile ilişkilendirilmiştir (Aftab ve ark. 2012).

4.3.6. Bitkilerin Kimi Antioksidatif Enzim (SOD, APX, GR, CAT, POD) Aktivitelerine Etkisi

Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit (NO) uygulamasının çarliston ve dolmalık biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT ve POD enzim aktiviteleri üzerine etkisine ait varyans analizi tablosu Çizelge 4.42’de ve SOD, APX, GR, CAT, POD enzim aktivitelerine ait ortalamalar Çizelge 4.43’de verilmiştir. Çizelge 4.42 ve 4.43’ün birlikte incelenmesinden görüleceği gibi; biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT, POD enzim aktiviteleri üzerine artan konsantrasyonlarda NO uygulamalarının, B uygulamasının ve NO x B interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$, $P<0,05$).

Çizelge 4.42. Bor stresi altında artan konsantrasyonlarda nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT, POD enzim aktiviteleri üzerine etkilerine ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Çarliston		Dolmalık	
		Kareler Ortalaması	F Değeri	Kareler Ortalaması	F Değeri
SOD					
Genel	5	460,842		358,0817	
Nitrik Oksit (NO)	2	108,474	12,031**	192,2344	10,9484**
Bor (B)	1	334,073	74,106**	128,6670	14,6561**
NO x B	2	18,293	52,029**	37,1802	92,1175**
Hata	12	108,182		210,6981	
APX					
Genel	5	683,850		714,1465	
Nitrik Oksit (NO)	2	71,043	49,560**	61,3093	45,4063**
Bor (B)	1	608,546	212,263**	642,3928	237,8812**
NO x B	2	4,257	17,484**	11,4443	14,2379*
Hata	12	17,201		16,2028	
GR					
Genel	5	994,409		715,3977	
Nitrik Oksit (NO)	2	855,921	17507,48**	597,5511	3869,036**
Bor (B)	1	84,067	3439,114**	86,2422	1116,806**
NO x B	2	54,421	1113,159**	31,6044	204,6331**
Hata	12	0,293		0,9266	
CAT					
Genel	5	748,544		799,2711	
Nitrik Oksit (NO)	2	670,394	84,167**	705,6256	74,6339**
Bor (B)	1	66,278	16,642**	89,9140	19,0204**
NO x B	2	11,870	21,490*	3,7314	9,3947*
Hata	12	47,790		56,7269	
POD					
Genel	5	65,931		68,4094	
Nitrik Oksit (NO)	2	2,447	22,947**	0,2177	12,3902**
Bor (B)	1	42,320	793,500**	36,6938	805,4756**
NO x B	2	21,633	198,406**	31,4977	345,7073**
Hata	12	0,640		0,546667	

*** $P<0,001$; ** $P<0,010$; * $P<0,050$; öd: önemli değil

Çizelge 4.43. Bor stresi altında farklı düzeylerde nitrik oksit uygulamasının biber çeşitlerinin SOD, APX, GR, CAT, POD enzim aktivite miktarları

B Uygulaması (1 mM)	Çarliston				Dolmalık			
	NO Uygulaması (µM)				NO Uygulaması (µM)			
	0	25	50	Ortalama	0	25	50	Ortalama
SOD (Umin⁻¹/mg prot⁻¹)								
- B	10,87e	11,24d	16,47c	12,86 B	12,44e	15,06d	16,39c	14,63 B
+ B	17,75c	19,72b	21,14a	19,54 A	15,34d	17,32b	23,66a	18,77 A
Ortalama	14,31 C	15,48 B	18,80 A		13,89 C	16,19 B	20,03 A	
APX (µmol min⁻¹/mg prot⁻¹)								
- B	8,38e	10,76d	20,73b	13,29 B	4,82 e	6,61 de	16,63 b	9,35 B
+ B	11,83d	13,90c	26,07a	17,26 A	7,60 cd	8,97 c	22,56 a	13,04 A
Ortalama	10,10 C	12,23 B	23,40 A		6,21 C	7,79 B	19,60 A	
GR (nmol min⁻¹/mg prot⁻¹)								
- B	8,13 f	16,13 d	20,96 b	15,07 B	7,40 f	10,03 d	18,13 b	11,85 B
+ B	9,16 e	18,93 c	30,10 a	19,40 A	8,20 e	15,23 c	25,26 a	16,23 A
Ortalama	8,65 C	17,53 B	25,53 A		7,80 C	12,63 B	21,70 A	
CAT (µmol min⁻¹/mg prot⁻¹)								
- B	4,47e	7,81d	17,12b	9,80 B	2,28f	4,78e	15,66b	7,57 B
+ B	7,48d	10,21c	23,22a	13,64 A	5,95d	8,78c	21,40a	12,04 A
Ortalama	5,98 C	9,01 B	20,17 A		4,12 C	6,78 B	18,53 A	
POD (mg prot⁻¹)								
- B	2,50 f	4,03 e	6,03 d	4,18 B	3,50 f	5,10 e	6,50 d	5,03 B
+ B	6,26 c	7,50 b	8,00 a	7,25 A	7,00 c	8,20 b	9,46 a	8,22 A
Ortalama	4,38 C	5,76 B	7,01 A		5,25 C	6,65 B	7,98 A	

*Satırlar ve sütunlarda aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemli değildir.

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde SOD enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır (Çizelge 4.43). NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde SOD enzim aktivitesi 10,87 U min⁻¹ mg prot⁻¹ olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer %63,29 oranında önemli artış göstererek 17,75 U min⁻¹ mg prot⁻¹ olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO ile çarliston çeşidine ait bitkilerde SOD enzim aktivitesi %11,09 ve %19,09 oranında önemli artış göstererek 19,72 ve 21,14 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesinde %75,44 ve %28,35 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde SOD enzim aktivitesi 12,86 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %51,94 artış göstererek 19,54 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin SOD enzim aktivitesi 14,31 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %8,17 ve %31,37 oranında önemli artış göstererek 15,48 ve 18,80 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43).

NO ve B uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde SOD enzim aktivitesi 12,44 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer %23,31 oranında artış göstererek 15,34 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 µM NO dolmalık çeşidinde SOD enzim aktivitesinde %12,90 ve %54,23 oranında artışa neden olmuş ve 17,32 ve 23,66 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 µM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesinde sırasıyla %15,00 ve %44,35 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 µM) uygulamaları sonucunda dolmalık biber çeşidinde SOD enzim aktivitesi 14,63 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %28,29 artış göstererek 18,77 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 µM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin SOD enzim aktivitesi 13,89 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 µM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %16,55 ve %44,20 oranında önemli artış göstererek 16,19 ve 20,03 Umin⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43).

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde APX enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır (Çizelge 4.43). NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde APX enzim aktivitesi sırasıyla 8,38 nmol min⁻¹ mg prot⁻¹ olarak belirlenirken 1 mM B uygulaması ile bu değer %41,16 oranında önemli artış göstererek 11,83 nmol min⁻¹/mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir.

1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile çarliston çeşidine ait bitkilerde APX enzim aktivitesi sırasıyla %17,49 ve %120,37 oranında artış göstererek 13,90 ve 26,07 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde APX enzim aktivitesinde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %29,18 ve %25,75 oranlarında önemli artışlar meydana belirlenmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde APX enzim aktivitesi 13,29 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %29,87 oranında önemli artış göstererek 17,26 $\text{nmol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin APX enzim aktivitesi 10,10 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulamasında bu değer sırasıyla %21,08 ve %131,68 oranlarında önemli artış göstererek 12,23 ve 23,40 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43). NO ve B uygulaması yapılmamış çarliston çeşidi bitkilerde APX enzim aktivitesi 4,82 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulaması ile bitkilerin APX enzim aktivitesi %57,67 oranında önemli bir artış meydana gelmiş ve bitkilerin APX enzim aktivitesi 7,60 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO ile dolmalık çeşidinde APX enzim aktivitesi sırasıyla %18,02 ve %196,84 oranında önemli artış göstererek 8,97 ve 22,56 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde APX enzim aktivitesinde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %35,70 ve %35,65 oranlarında önemli artışlar belirlenmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık biber çeşidinde APX enzim aktivitesi 9,35 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %39,46 oranında önemli artış göstererek 13,04 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin APX enzim aktivitesi 6,21 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %25,44 ve %215,61 oranında önemli artış göstererek 7,79 ve 19,60 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43).

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde GR enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde GR enzim aktivitesi $8,13 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer %12,66 oranında artış göstererek $9,16 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidine ait bitkilerde GR enzim aktivitesi sırasıyla 1,01 ve 2,3 kat artış göstererek 18,43 ve 30,10 $\text{nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %17,35 ve %43,60 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde GR enzim aktivitesi $15,07 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %28,73 oranında önemli artış göstererek $19,40 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin GR enzim aktivitesi $7,80 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %61,92 ve %178,20 oranında önemli artış göstererek $12,63$ ve $21,70 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43).

NO ve B uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde GR enzim aktivitesi $7,40 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer %10,81 oranında artış göstererek $8,20 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile dolmalık çeşidinde GR enzim aktivitesi sırasıyla %85,73 ve %208,04 oranında artış göstererek $15,23$ ve $25,26 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %51,84 ve %39,32 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde GR enzim aktivitesi $11,85 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %36,96 oranında önemli artış göstererek $16,23 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin GR enzim aktivitesi $7,80 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %61,92 ve %178,20 oranında önemli artış göstererek $12,63$ ve $21,70 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43).

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde CAT enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde CAT enzim aktivitesi $4,47 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulaması ile bu değer %67,33 oranında artış göstererek $7,48 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston Çeşidine ait bitkilerde CAT enzim aktivitesi sırasıyla %36,49 ve %210,42 oranında artış göstererek 10,21 ve $23,22 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde CAT enzim aktivitesinde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %30,72 ve %35,63 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde CAT enzim aktivitesi $9,80 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %39,18 oranında önemli artış göstererek $13,64 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin CAT enzim aktivitesi $5,98 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %50,66 ve %237,29 oranında önemli artış göstererek 9,01 ve $20,17 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43).

NO ve B uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde CAT enzim aktivitesi $2,28 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken B uygulaması ile bu değer 1,6 kat artış göstererek $5,95 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidine ait bitkilerde CAT enzim aktivitesi sırasıyla %47,56 ve %259,66 oranında artış göstererek 8,78 ve $21,40 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %30,72 ve %35,63 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir. B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık biber çeşidinde CAT enzim aktivitesi $7,57 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %59,04 oranında önemli artış göstererek $12,04 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olmuştur.

NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin CAT enzim aktivitesi 4,12 $\mu\text{mol min}^{-1}/\text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %64,56 ve %349,75 oranında önemli artış göstererek 6,78 ve 18,53 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prot}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43).

Bor uygulaması çarliston çeşidine ait bitkilerde POD enzim aktivitesini istatistiksel açıdan önemli oranda arttırmıştır. NO ve B uygulaması yapılmamış bitkilerde POD enzim aktivitesi 2,50 mg prot^{-1} olarak belirlenirken, B uygulaması ile bu değer 1,5 kat artış göstererek 6,26 mg prot^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile çarliston çeşidine ait bitkilerde POD enzim aktivitesi sırasıyla %19,80 ve %27,79 oranında artış göstererek 7,50 ve 8,00 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde POD enzim aktivitesinde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %86,10 ve %32,50 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda çarliston çeşidinde POD enzim aktivitesi 4,18 mg prot^{-1} olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %87,79 oranında önemli artış göstererek 7,85 mg prot^{-1} olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen çarliston çeşidinin POD enzim aktivitesi 4,38 mg prot^{-1} olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamlarda bu değer sırasıyla %31,50 ve %60,04 oranında önemli artış göstererek 5,76 ve 7,01 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43).

NO ve B uygulaması yapılmamış dolmalık çeşidi bitkilerde POD enzim aktivitesi 3,50 mg prot^{-1} olarak belirlenirken, B uygulaması ile bu değer 1 kat artış göstererek 7,00 mg prot^{-1} olarak bulunmuştur. 1 mM B ile birlikte uygulanan 25 ve 50 μM NO uygulamaları ile dolmalık çeşidinde POD enzim aktivitesi sırasıyla %17,14 ve %35,14 oranında artış göstererek 8,20 ve 9,46 mg prot^{-1} olarak belirlenmiştir. Artan dozlarda NO (25, 50 μM) uygulamaları altında yetiştirilen bitkilerde 1 mM B uygulaması sonucunda sırasıyla %60,78 ve %45,53 oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

B uygulanmayan ortamda artan dozlarda NO (25 ve 50 μM) uygulamaları sonucunda dolmalık çeşidinde POD enzim aktivitesi 5,03 mg prot⁻¹ olarak belirlenirken, B uygulanan ortamda bu değer %63,41 oranında önemli artış göstererek 8,22 mg prot⁻¹ olmuştur. NO uygulanmayan (0 μM) ortamda -B (0 mM B) ve +B (1 mM B) uygulamalarında yetiştirilen dolmalık çeşidinin POD enzim aktivitesi 5,25 mg prot⁻¹ olarak belirlenirken 25 ve 50 μM NO uygulanan ortamda bu değer %26,66 ve %52,00 oranında önemli artış göstererek 6,65 ve 7,98 mg prot⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43).

CAT, POX, APX, GR ve SOD gibi antioksidatif enzimler bitkilerde lipid peroksidasyonun ve oksidatif zararın önlenmesinde görevli enzimlerdir. Süperoksit radikalleri, hidroksil radikalleri ve singlet oksijen gibi ROT'ların bitkide meydana getirdikleri oksidatif zararlanma ile mücadele etmek ve etkilerini en aza indirmek için bitkilerde antioksidan enzim aktivitelerinin arttığı bilinmektedir (Surgun ve ark. 2016). Yaptığımız çalışma sonucunda bitkilerde B uygulaması sonucunda antioksidatif enzim aktivitelerinde önemli artışlar belirlenmiştir.

B ile birlikte uygulanan NO bitkilerde antioksidatif enzim aktivitelerinde önemli artışa neden olmuştur (Çizelge 4.43). SOD, bitki stres toleransı mekanizmasında önemli bir rol oynar ve stres koşulları altında artan SOD seviyesi, bitki hücrelerinde O₂^{-•}'yi H₂O₂'ye dönüşümünden sorumlu olduğu için oksidatif stres toleransının bir göstergesi olarak kabul edilir (Ardıç ve ark. 2009, Thounaojam ve ark. 2013).

CAT, APX ve POX gibi enzimler, hücrede SOD ile birlikte çalışarak ROT süpürme işleminde önemli bir koruyucu rol oynarlar (Noctor ve Foyer 1998, Aftab ve ark. 2012). Bitkilerde, birçok enzim hücre içi H₂O₂ seviyelerini düzenmesinde rol oynar, ancak CAT ve POX en önemli olanlar olarak kabul edilir (Noctor ve Foyer, 1998, Aftab ve ark. 2012). Bor toksisitesi altında bitkilerde SOD enzim aktivitesinde meydana gelen artış önceki çalışmalarda ortaya konmuştur (Karabal ve ark. 2003, Aftab ve ark. 2010, Esim ve Atici 2013, Tassi ve ark. 2017, Farag ve ark. 2017).

Bitki yapraklarında aşırı bor birikimi CAT enzim aktivasyonunu farklı şekilde etkiler. CAT; peroksizomda üretilen H₂O₂'in suya dönüştürülmesinde ve glikolat döngüsü boyunca oksijen ve yağ asitlerinin β-oksidasyonun sağlanmasında görev alarak bitkileri oksidatif hasarlanmaya karşı korur (Ardıç ve ark. 2009, Wang ve ark. 2009). GR, GSH, askorbat (AsA) içeriği ve H₂O₂ yıkımı arasındaki metabolik dengenin korunmasında önemli bir rol oynar (Alves Flores ve ark. 2018). Bu nedenle, bir dizi abiyotik strese karşı bitki koruması sağlayan anahtar bir enzimdir (Romero-Puertas ve ark. 2007; Sharma ve ark. 2012, Noctor ve ark. 2012). Oksitlenmiş glutatyonun glutatyona NADPH'ye bağlı azalmasını katalizleyen GR aktivitesi, ağır metal gibi diğer abiyotik stresler altında da artmaktadır (Dixit ve ark. 2001, Laspina ve ark. 2005).

B toksisitesinin GR seviyelerini farklı şekilde etkileyebileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur ve GR aktivitesinde meydana gelen değişim mekanizmaları net olarak açıklanmamıştır (Doğan 2012, Mohamed ve ark. 2015). Birçok çalışmada, NO uygulaması ile oksidatif hasarın hafifletilmesi, çeşitli ROT süpürücü antioksidatif enzimlerinin aktivitesini indüklemesi olarak açıklanmıştır (Hsu ve Kao, 2004, Hu ve ark. 2007, Han ve ark. 2009).

Neill ve ark. (2003), NO'in antioksidatif sisteme etkisini; B toksisitesi koşullarında NO'in ROT süpürücü enzimlerin aktivasyonunu arttırması ve süperoksit radikalinin doğrudan detoksifikasyonu ile singlet oksijeni peroksinitrite dönüştürmesi olarak açıklamıştır. Çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz verilere göre, B stresi altında bitkilerde meydana gelen oksidatif hasarlanmanın hafifletilmesi amacıyla eksojen NO uygulamaları etkili olmaktadır. Birlikte uygulanan B ve NO üzerine çalışmalar çok azdır ve mekanizmaların açıklanabilmesi için daha çok araştırma yapılmasına ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

5. SONUÇ

Yaptığımız araştırma sonucunda her iki biber çeşidinde de (Çarliston Yalova 341, dolmalık (Doru 16) tuz, ağır metal ve bor uygulamaları bitkilerde toksik etki göstermiştir. Uygulamalara bağlı olarak bitkilerin kuru madde verimlerinde önemli azalmalar gözlemlenmiş ve bitki gelişimlerinin olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Uygulanan stres faktörlerine bağlı olarak bitkilerin H₂O₂, MDA, Prolin ve AsA içeriklerinde önemli derecede artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Nitrik oksitin stres koşulları altında bitki bünyesinde üretilen ve bitkilerde stresin azaltılmasında rol oynayan bir molekül olduğu bilinmektedir. Tohumların çimlenmesinde, birincil ve ikincil kök büyümesinde, çiçeklenmede, meyve tutumu ve meyvenin olgunlaşması aşamalarında bitkinin savunma mekanizmalarının kontrolünde rol alır. NO uygulaması yapılmış bitkilerde tuz, ağır metal ve bor uygulamalarından kaynaklanan toksik etkilerin azaldığı bitkilerin kuru madde miktarının arttığı, fotosentetik pigment içeriklerinin (Klorofil *a*, *b*,) arttığı, stres stres faktörlerinden kaynaklanan negatif etkinin NO uygulaması ile azaldığı belirlenmiştir.

Ortaklanmamış elektrona sahip olan serbest radikaller doğaları gereği lipid, protein ve nükleik asitlere saldırarak hücrede zararlanmalara sebep olurlar. Bitkide antioksidan savunma sistemlerinin yeterli çalışmaması veya O² ve H₂O₂'nin artması oksidatif dengede radikallere doğru bir kayma gerçekleşerek bitkilerde oksidatif stresin oluşmasına sebep olmaktadır. H₂O₂ arttıran bir başka etken Süperoksit Dismutaz enziminin katalizlediği dismutasyon tepkimesidir. Bitkilerde genellikle strese bağlı olarak üretilen O₂ ve H₂O₂'nin artması, strese karşı geliştirilen SOD, CAT, GR ve AsA gibi enzimatik olan ve enzimatik olmayan antioksidanları içeren mekanizmalarda artış gözlenmesine neden olur. Enzimatik olan mekanizmalardan SOD, O² radikalinin hücrelerden uzaklaştırılmasında, CAT, APX ve GR ise H₂O₂'nin hücrelerden uzaklaştırılmasında görev alırlar.

Mitokondrilerde lipid peroksidasyonun ürünlerinden biri olan 4-hidroksi-2-noneali molekülünün hücrelerden uzaklaştırılmasından sorumlu olan enzimlerden birinin APX olduğu bilinmektedir. Askorbat-glutasyon döngüsünün bir parçası olan APX, monodehidroaskorbat redüktaz, dehidroaskorbat redüktaz ve glutasyon redüktaz, hücre içi NADH^+ oksidasyonunu hücre dışına sızabilecek H_2O_2 'nin inaktif hale gelmesini sağlar.

Elektron kaynağı olarak AsA'yi kullanan APX H_2O_2 'nin inaktif hale getirilmesinde katalizör görevi görür. Kloroplast ve sitosolde sentezlenen AsA oksidatif stresten kaynaklı hasarın azaltılmasında ROT'ların indirgeyicisi olarak görev alır. AsA, direkt olarak ya da E vitamininin yükseltgenmesini engelleyerek H_2O_2 , O_2^- ve OH^- radikallerinin hücreler için zararsız moleküllere dönüştürülmesini sağlar. Bitkilerde stres koşullarına bağlı olarak H_2O_2 , MDA, Prolin ve AsA miktarlarında artış olduğu belirlenmiştir. Yaptığımız çalışma sonuçlarına bağlı olarak, NO uygulaması bitkilerde antioksidatif strese destek olarak stres koşulları altında artan H_2O_2 , MDA, miktarında önemli derecede azalmaya neden olurken, güçlü antioksidanlar olan Prolin ve AsA'in artmasına sebep olmuştur. NO uygulaması, özellikle H_2O_2 , MDA, Prolin ve AsA bitkilerin strese karşı geliştirdiği savunma sisteminin uyarılmasını sağlayan sinyal görevini indükleyerek bitki gelişiminin düzenlenmesini sağlamıştır.

Hücrelerde stres koşullarında meydana gelen ve yıkıcı etkileri olan ROT'ların bitki sisteminden uzaklaştırılmasında rol oynayan antioksidatif stres enzimlerinin aktiviteleri çalışma kapsamında uygulanan tuz, ağır metal ve bor streslerine paralel olarak arttığı belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan NO uygulaması antioksidatif enzim aktivitelerinde önemli artışa neden olmuştur. NO, ROT'un zararlılığını hafifletir, diğer hedef moleküller ile reaksiyona girer ve çeşitli stres koşulları altında strese duyarlı genlerin ekspresyonunu düzenler.

Çalışmamız sonucunda eksojen olarak uygulanan NO'in antioksidatif enzim aktivitelerini arttırmak yoluyla antioksidan mekanizmayı düzenlediği oksidatif zararlanmaya karşı bitkilerin toleransını arttırdığı belirlenmiştir. Sonuçlarımız NO'in ağır metal stresinde ROT süpürücü ve membran stabilizatörü olarak görev aldığını göstermektedir. Çalışmamız sonuçları ve daha önce yapılmış olan çalışmalar ışığında, bitkilerin oksidatif stres kaynaklı zararlanmadan korunmasında NO'nun ROT dengesi ve protein veya protein olmayan antioksidanlar dahil olmak üzere farklı temizleyicileri indükleyebileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak NO'nun biber bitkilerinde stres koşullarından kaynaklanan negatif etkilerin azaltılmasında bitki antioksidatif sistemine destek olduğu, bu nedenle bitkilerde tuz, bor ve ağır metal toksisitesine bağlı oluşan zararların azaltılmasında etkili olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abogadallah, G. M., Serag, M. M., Quick, W. P. 2010.** Fine and coarse regulation of reactive oxygen species in the salt tolerant mutants of barnyard grass and their wild-type parents under salt stress. *Physiologia Plantarum*, 138(1): 60-73.
- Ábrahám, E., Hourton-Cabassa, C., Erdei, L., Szabados, L. 2010.** Methods for determination of proline in plants. In *Plant Stress Tolerance*, 317-33.
- Aftab, T., Khan, M. M. A., Idrees, M., Naeem, M., Ram, M. 2010.** Boron induced oxidative stress, antioxidant defence response and changes in artemisinin content in *Artemisia annua* L. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(6) :423-430.
- Aftab, T., Khan, M. M. A., Naeem, M., Idrees, M., da Silva, J. A. T., Ram, M. 2012.** Exogenous nitric oxide donor protects *Artemisia annua* from oxidative stress generated by boron and aluminium toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 80:60-68.
- Ahmad P., Sarwat M., Sharma S. 2008.** Reactive oxygen species, antioxidants and signaling in plants. *J. Plant Biol.*, 51 167–173.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S. Ok, Y. S. 2014.** Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, 99: 19-33.
- Ahmad, P., Abass Ahanger, M., Nasser Alyemeni, M., Wijaya, L., Alam, P., Ashraf, M. 2018.** Mitigation of sodium chloride toxicity in *Solanum lycopersicum* L. by supplementation of jasmonic acid and nitric oxide. *Journal of plant interactions*, 13(1):64-72.
- Ahmad, P., Abdel Latef, A. A., Hashem, A., Abd Allah, E. F., Gucel, S., Tran, L. S. P. 2016.** Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. *Frontiers in Plant Science*, 7: 347.
- Ak, A., Yücel, E. 2011.** Ecotoxicological effects of heavy metal stress on antioxidant enzyme levels of *Triticum aestivum* *Biological Diversity and Conservation* 4(3): 19-24.
- Akça, Y., Samsunlu, E. 2012.** The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, proline and nutrient accumulation, and K/Na ratio in walnut. *Pak. J. Bot*, 44(5), 1513-1520.
- Aksoy, E. 2008.** Effect of drought and salt stresses on the gene expression levels of antioxidant enzymes in lentil (*Lens culinaris* M.) seedlings Doctoral dissertation, *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Alaoui-Sossé, B., Genet, P., Vinit-Dunand, F., Toussaint, M. L., Epron, D., Badot, P. M. 2004.** Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*, 166(5): 1213-1218.
- Alpaslan, M., Ali, İ., Güneş, A., Çıkkılı, Y., Özcan, H. 1999.** Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill. cv. Lale) grown under salinity. *Turkish Journal of Botany*, 23(1), 1-6.
- Alpaslan, M., Gunes, A. 2001.** Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, membrane permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. *Plant and Soil*, 236(1): 123-128.
- Alscher, R. G., Erturk, N., Heath, L. S. 2002.** Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of experimental botany*, 53(372): 1331-1341.
- Alves Flores, R., Alves Rodrigues, R., Pinheiro da Cunha, P., Damin, V., Martins Arruda, E., de Oliveira Abdala, K., Cardoso Donegá, M. 2018.** Grain yield of *Phaseolus vulgaris* in a function of application of boron in soil. *Journal of soil science and plant nutrition*, 18(1): 144-156.
- Anderson, D.F., Day, E.A. 1965.** Quantitative analysis of the major free fatty acids of cheddar cheese. *J. Dairy Sci.*, 47: 733-738.
- Angelini, R., Bragaloni, M., Federico, R., Infantino, A., Portapuglia, A. 1993.** Involvement of polyamines, diamine oxidase and peroxidase in resistance of chickpea to *Ascochyta rabiei*. *J. Plant Physiol.* 142: 704-709,
- Ardıç, M., Sekmen, A. H., Tokur, S., Ozdemir, F., Turkan, I. 2009.** Antioxidant responses of chickpea plants subjected to boron toxicity. *Plant Biology*, 11(3) :328-338.
- Ashagre, H., Hamza, I. A., Fita, U., Nedesa, W. 2014.** Influence of boron on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Plant Science*, 8(2):133-139.
- Aytamka, E. 2005.** The Relationship Between Salt Stress and Nitric Oxide in *Glycine max* L. Seedlings, *Science Graduate School for Higher Studies, Istanbul University, Istanbul*.
- Ayvaz, M., Koyuncu, M., Güven, A., Fagerstedt, K. V. 2012.** Does boron affect hormone levels of barley cultivars?. *EurAsian Journal of BioSciences*, 6(1):113-120.
- Bañón, S., Miralles, J., Ochoa, J., Sánchez-Blanco, M. J. 2012.** The effect of salinity and high boron on growth, photosynthetic activity and mineral contents of two ornamental shrubs. *Horticultural Science*, 39(4): 188-194.

Bavita, A., Shashi, B., Navtej, S. B. 2012. Nitric oxide alleviates oxidative damage induced by high temperature stress in wheat. *Indian Journal of Experimental Biology*, 50: 372-378.

Baykal, Ş., Öncel, I. 2006. Buğday fidelerinin bor toksisitesine toleransında çözümler fenolik ve çözümler protein miktarındaki değişimler. *Fen Bilimleri Dergisi*, 27(1).

Belkhadi, A., Hediji, H., Abbes, Z., Nouairi, I., Barhoumi, Z., Zarrouk, M., Chabi, W., Djebali, W. 2010. Effects of exogenous salicylic acid pretreatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in *Linum usitatissimum* L. *Ecotoxicol Environ Saf.*, 73: 1004-1011.

Bellin, D., Asai, S., Delledonne, M., Yoshioka, H. 2013. Nitric oxide as a mediator for defense responses. *Molecular plant-microbe interactions*, 26(3): 271-277.

Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Sensoy, S., Boukhriss, M., Ben Abdullah, F. 2010. Exogenous proline effects on photosynthetic performance and antioxidant defense system of young olive tree. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7): 4216-4222.

Besson-Bard, A., Gravot, A., Richaud, P., Auroy, P., Duc, C., Gaymard, F., Tacconat, L., Renou, J.P., Pugin, A., Wendehenne, D. 2009. Nitric oxide contributes to cadmium toxicity in Arabidopsis by promoting cadmium accumulation in roots and by up-regulating genes related to iron uptake. *Plant Physiology*, 149(3) : 1302-1315.

Bowler, C., Montagu, M.v., Inze, D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 43(1): 83-116.

Boysan-Canal, S., Bozkurt, M. A., Kipcak, S. 2018. The effects of organic amendments on cadmium uptake of spinach (*Spinacia oleracea* L.) and plant growth under cadmium toxicity. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(5): 3174-3179.

Boşgelmez, A, Boşgelmez, İ. İ., Savaşçı, S., Paşlı, N. 2001. Ekoloji – II (Toprak), Başkent Klişe Matbaacılık, Kızılay-Ankara

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2):248-254.

Brahim, L., Mohamed, M. 2011. Effects of copper stress on antioxidative enzymes, chlorophyll and protein content in *Atriplex halimus*. *African Journal of Biotechnology*, 50: 10143-10148.

Branch, D., Damghan, I., Branch, Q., & Qaemshahr, I. 2017. Protective role of exogenous nitric oxide against zinc toxicity in *Plantago major* l. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(4): 511-524.

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., Lux, A. 2007. Zinc in plants. *New Phytologist*, 173: 677-702.

Brown, D. H., Wells, J. M. 1990. Physiological effects of heavy metals on the moss *Rhytidiadelphus squarrosus*. *Annals of Botany*, 66(6): 641-647.

Brugnoli, E., Lauteri, M. 1991. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3 non-halophytes. *Plant physiology*, 95(2): 628-635.

Burhan, K. A. R. A., Akgün, İ., Altındal, D. 2011. Tritikale genotiplerinde çimlenme ve fide gelişimi üzerine tuzluluğun (NaCl) etkisi. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(1): 1-9.

Buss, D.S., Dias, G.B., Santos, M.P., Ventura, J.A. and Fernandes, P.M.B. 2011. Oxidative stress defence response of *Carica papaya* challenged by nitric oxide, papaya meleira virus and *Saccharomyces cerevisiae*. *Open Nitric Oxide Journal* 3: 55-64.

Çakmak, I., Römheld, V. 1997. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant and Soil*, 193(1-2): 71-83.

Çakmak, I., Strbac, D., Marschner, H., 1993: Activities of hydro-gen peroxide-scavenging enzymes in germinated wheat seeds. *Journal of Experimental Botany*, 44:127-132

Cervilla, L. M., Blasco, B., Ríos, J. J., Romero, L., Ruiz, J. M. 2007. Oxidative stress and antioxidants in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants subjected to boron toxicity. *Annals of Botany*, 100(4): 747-756.

Chao, Y. E., Zhang, M., Tain, S. K., Lu, L. L., Yang, X. E. 2008. Differential generation of hydrogen peroxide upon exposure to zinc and cadmium in the hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii* Hance). *Journal of Zhejiang University Science B*, 9: 243-249.

Chatterjee, C., Sinha, P., Dube, B. K. 2005. Biochemical changes, yield, and quality of gram under boron stress. *Communications in soil science and plant analysis*, 36(13-14): 1763-1771.

Chelli-Chaabouni, A., Mosbah, A. B., Maalej, M., Gargouri, K., Gargouri-Bouزيد, R., Drira, N. (2010). In vitro salinity tolerance of two pistachio rootstocks: *Pistacia vera* L. and *P. atlantica* Desf. *Environmental and experimental botany*, 69(3): 302-312.

Chen, F., Wang, F., Sun, H.Y., Cai, Y., Miao, W.H., Zhang, G.P., Vincze, E., Wu, F.B. 2010. Genotype-dependent effect of exogenous nitric oxide on Cd-induced changes in antioxidative metabolism, ultrastructure, and photosynthetic performance in barley seedlings (*Hordeum vulgare*). *J Plant Growth Regul.*, 29: 394-408.

Chen, J., Xiao, Q., Wang, C., Wang, W. H., Wu, F. H., He, B. Y., Zhu, Z., Ru, Q. , Zhang, Ling. Zheng, H. L. 2014. Nitric oxide alleviates oxidative stress caused by salt in leaves of a mangrove species, *Aegiceras corniculatum*. *Aquatic botany*, 117: 41-47.

Chen, W., Dong, Y., Hu, G., & Bai, X. 2018. Effects of exogenous nitric oxide on cadmium toxicity and antioxidative system in perennial ryegrass. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(1): 129-143.

Colla, G., Roupael, Y., Cardarelli, M., Tullio, M., Rivera, C. M., Rea, E. 2008. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. *Biology and Fertility of Soils*, 44(3): 501-509.

Corpas, F. J., Barroso, J. B. 2013. Nitro-oxidative stress vs oxidative or nitrosative stress in higher plants. *New Phytologist*, 199(3): 633-635.

Cui, J. X., Zhou, Y. H., Ding, J. G., Xia, X. J., Shi, K. A. I., Chen, S. C., Asami, T., Chen, Z., Yu, J. Q. 2011. Role of nitric oxide in hydrogen peroxide-dependent induction of abiotic stress tolerance by brassinosteroids in cucumber. *Plant, Cell & Environment*, 34(2): 347-358.

Cui, X. M., Zhang, Y. K., Wu, X. B., Liu, C. S. 2010. The investigation of the alleviated effect of copper toxicity by exogenous nitric oxide in tomato plants. *Plant, Soil and Environment*, 56(6): 274-281.

Cuyper, A., Smeets, K., Vangronsveld, J. 2009. "Heavy metal stress in plants," in *Plant Stress Biology: From Genomics to Systems Biology*, Editors: H. Hirt (Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA), 161-178.

Çanakci Güleğül, S., Kireççi, O. A., Karabulut, F. 2019. Changes based on oxidative stress in metolachlor and atrazine treated maize seedlings. *Pak. J. Bot*, 51(2): 421-426.

Çelik, H., Turan, M. A., Aşık, B. B., Katkat, A. V. 2017. Evaluation of analytical methods for boron determination in maize shoots. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(21), 2573-2581.

Çelik, Ö., Atak, C. 2012. The effect of salt stress on antioxidative enzymes and proline content of two Turkish tobacco varieties. *Turkish Journal of Biology*, 36(3): 339-356.

Çıkkılı, Y., Kulac, S., Samet, H., Filiz, E. 2019. Effects of exogenous nitric oxide on cadmium toxicity in black poplar (*Populus nigra*): physiological approaches. *Acta Botanica Croatica*, 78(2): 116-124.

Çıkkılı, Y., Samet, H., & Dursun, S. 2016. Cadmium toxicity and its effects on growth and metal nutrient ion accumulation in Solanaceae plants. *Journal of Agricultural Sciences*, 22(2016): 576-587.

Çiftçi Yılmaz, S., Mittler, R. 2008. The zinc finger network of plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 65: 1150-1160.

Çulha, Ş., Çakırlar, H. 2011. Tuzluluğun bitkiler üzerine etkileri ve tuz tolerans mekanizmaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2): 11-34.

Dai, H., Shan, C., Jia, G., Lu, C., Yang, T., Wei, A. 2013. Cadmium detoxification in *Populus× canescens*. *Turkish Journal of Botany*, 37(5): 950-955.

Dal Corso, G., S. Farinati, and A. Furini. 2010. Regulatory networks of cadmium stress in plants. *Plant Signaling and Behaviour* 5:663–667

Day, S., Çıkkılı, Y., Kaya, M. D. 2018. Screening of Some Linseed (*Linum usitatissimum* L.) Genotypes Under Salinity Stress Based on Germination and Emergence Tests. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences (IJANS)* E-issn: 2651-3617, 1(2): 80-86.

Dazy, M., Masfaraud, J. F., Férard, J. F. 2009. Induction of oxidative stress biomarkers associated with heavy metal stress in *Fontinalis antipyretica* Hedw. *Chemosphere*, 75(3): 297-302.

De Michele, R., Vurro, E., Rigo, C., Costa, A., Elviri, L., Di Valentin, M., Careri, M., Zottini, M., Sanità di Toppi, L.S., Schiavo, F.L., 2009. Nitric oxide is involved in cadmium-induced programmed cell death in *Arabidopsis* suspension cultures. *Plant Physiology*, 150(1) :217-228.

Degl’Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L., Navari-Izzo, F. 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Journal of plant physiology*, 166(18): 1968-1981.

Demiral, T., 2003. Genç pirinç fidelerine dışarıdan glisinbetain uygulanmasıyla tuza (NaCl) toleransının artırılmasında antioksidan enzim aktivitesinin rolünün araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, İzmir,72s.

Demiral, T., Türkan, I. 2005. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 53(3): 247-257.

Demirevska-Kepova, K., Simova-Stoilova, L., Stoyanova, Z., Hölzer, R., Feller, U. 2004. Biochemical changes in barley plants after excessive supply of copper and manganese. *Environmental and Experimental Botany*, 52(3): 253-266.

Desikan R, Cheung MK, Bright J, Henson D, Hancock JT, Neill SJ 2004. ABA, hydrogen peroxide and nitric oxide signalling in stomatal guard cells. *J Exp Bot* 55: 205–212.

Dhanapackiam, S., Muhammad Ilyas, M. H. 2010. Leaf area and ion contents of *Sesbania grandiflora* under NaCl and Na₂SO₄ salinity. *Indian Journal of Science and Technology*, 3(5): 561-563.

Dixit, V., Pandey, V., Shyam, R. 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad). *Journal of Experimental Botany*, 52(358) :1101-1109.

Doğan, M. 2012. Investigation of the effect of salt stress on the antioxidant enzyme activities on the young and old leaves of salsola (*Stenoptera*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *African Journal of Plant Science*, 6(2) :62-72.

Dong, J., Sun, M., Purcell, J. E., Chai, Y., Zhao, Y., Wang, A. 2015. Effect of salinity and light intensity on somatic growth and podocyst production in polyps of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae). *Hydrobiologia*, 754(1):75-83.

Dong, Y., Xu, L., Wang, Q., Fan, Z., Kong, J., Bai, X. 2014. Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidative ability, and mineral element contents of perennial ryegrass under copper stress. *Journal of Plant Interactions*, 9(1): 402-411.

Donghua, L., Jiang, W., Zhang, L., Lufang, L. I. 2000. Effects of boron ions on root growth and cell division of broadbean (*Vicia faba* L.). *Israel Journal of Plant Sciences*, 48(1): 47-51.

Duman, Y. A., Acemi, A., Toygar, H. İ., Yüzügüllü, Y., Özen, F. 2016. Tuz stresi ve BAP varlığında *Amsonia orientalis*' in antioksidan enzimlerinin incelenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(3): 543-551.

Ekmekçi, Y., Tanyolac, D., Ayhan, B. 2008. Effects of cadmium on antioxidant enzyme and photosynthetic activities in leaves of two maize cultivars. *Journal of Plant Physiology*, 165(6) :600-611.

El-Shintinawy, F., El-Shourbagy, M. N. 2001. Alleviation of changes in protein metabolism in NaCl-stressed wheat seedlings by thiamine. *Biologia plantarum*, 44(4): 541-545.

El-Shora, H. M., Abo-Kassem, E. M., Youssef, M. M. 2004. The toxic effects of cadmium and copper on the antioxidative enzymes and lipid peroxidation in marrow roots. *Mans. Science Bull*, 30: 127-140.

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., Alpaslan, M. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia horticulturae*, 113(2):120-128.

Eraslan, F., Inal, A., Savasturk, O., Gunes, A. 2007. Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 114(1):5-10.

Erdei, S., Hegedús, A., Hauptmann, G., Szalai, J., Horváth, G. 2002. Heavy metal induced physiological Changes in the antioxidative response system. *Acta Biologica Szegediensis*, 46: 89-90.

Esim, N., Atici, O. 2013. Nitric oxide alleviates boron toxicity by reducing oxidative damage and growth inhibition in maize seedlings (*'Zea mays'* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 7(8):1085.

- Esim, N., Atici, O. 2014.** Nitric oxide improves chilling tolerance of maize by affecting apoplastic antioxidative enzymes in leaves. *Plant Growth Regulation*, 72(1):29-38.
- Esim, N., Tiryaki, D., Karadagoglu, O., Atici, O. 2013.** Toxic effects of boron on growth and antioxidant system parameters of maize (*Zea mays* L.) roots. *Toxicology and industrial health*, 29(9): 800-805.
- Evelin, H., Kapoor, R. 2014.** Arbuscular mycorrhizal symbiosis modulates antioxidant response in salt-stressed *Trigonella foenum-graecum* plants. *Mycorrhiza*, 24(3): 197–208.
- Fan, H. F., Du, C. X., Ding, L., Xu, Y. L. 2013.** Effects of nitric oxide on the germination of cucumber seeds and antioxidant enzymes under salinity stress. *Acta physiologiae plantarum*, 35(9): 2707-2719.
- Fan, H., Du, C., Xu, Y., & Wu, X. 2014.** Exogenous nitric oxide improves chilling tolerance of Chinese cabbage seedlings by affecting antioxidant enzymes in leaves. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(3): 159-165.
- Fan, Q. J., Liu, J. H. 2012.** Nitric oxide is involved in dehydration/drought tolerance in *Poncirus trifoliata* seedlings through regulation of antioxidant systems and stomatal response. *Plant cell reports*, 31(1): 145-154.
- Farag, M., Najeeb, U., Yang, J., Hu, Z., Fang, Z. M. 2017.** Nitric oxide protects carbon assimilation process of watermelon from boron-induced oxidative injury. *Plant Physiology and Biochemistry*, 111: 166-173.
- Fatma, M., Khan, N. A. 2014.** Nitric oxide protects photosynthetic capacity inhibition by salinity in Indian mustard. *Journal of Functional and Environmental Botany*, 4(2): 106-116.
- Fecht-Christoffers, M. M., Braun, H. P., Lemaitre-Guillier, C., Van Dorselaer, A., Horst, W. J. 2003.** Effect of manganese toxicity on the proteome of the leaf apoplast in cowpea. *Plant Physiology*, 133: 1935-1946.
- Flowers, T. J., Galal, H. K., Bromham, L. 2010.** Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, 37(7): 604-612.
- Foyer, C. H., Lelandais, M., Kunert, K. J. 1994.** Photooxidative stress in plants. *Physiologia plantarum*, 92(4): 696-717.
- Foyer, C. H., Noctor, G. (2011).** Ascorbate and glutathione: the heart of the redox hub. *Plant Physiol.* ,155: 2-18.
- Foyer, C.H., Halliwell, B., 1976.** The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. *Planta* 133: 21-25.

Gall, J. E., Rajakaruna, N. 2013. The physiology, functional genomics, and applied ecology of heavy metal-tolerant Brassicaceae. *Brassicaceae: characterization, functional genomics and health benefits*, 121-148.

Gao, S., Ouyang, C., Wang, S., Xu, Y., Tang, L., Chen, F. 2008. Effects of salt stress on growth, antioxidant enzyme and phenylalanine ammonia-lyase activities in *Jatropha curcas* L. seedlings. *Plant Soil Environ*, 54(9): 374-381.

Garg, N., Manchanda, G. 2009. Role of arbuscular mycorrhizae in the alleviation of ionic, osmotic and oxidative stresses induced by salinity in *Cajanus cajan* (L.) Millsp.(pigeonpea). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(2): 110-123.

Genişel, M., Turk, H., Dumlupinar, R. 2017. Exogenous aminolevulinic acid protects wheat seedlings against boron-induced oxidative stress. *Rom Biotechnol Lett*, 22(4): 12741-12750.

Giannopolitis, C. N., Ries, S. K. 1977. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant physiology*, 59(2):309-314.

Gill, S. S., & Tuteja, N. 2011. Cadmium stress tolerance in crop plants: probing the role of sulfur. *Plant Signaling & Behavior*, 6(2): 215-222.

Gill, S. S., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Macovei, A., Tuteja, N. 2013. Importance of nitric oxide in cadmium stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63:254-261.

Gill, S. S., Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, 48(12) :909-930.

Gouia, H., Gorbel, M. H., Meyer, C. 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiology and Biochemistry*. 38:629-638

Goldberg, S., Shouse, P. J., Lesch, S. M., Grieve, C. M., Poss, J. A., Forster, H. S., Suarez, D. L. 2003. Effect of high boron application on boron content and growth of melons. *Plant and Soil*, 256(2): 403-411.

Groß, F., Durner, J., Gaupels, F. 2013. Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses. *Frontiers in plant science*, 4, 419.

Guidi, L., Degl'Innocenti, E., Carmassi, G., Massa, D., Pardossi, A. 2011. Effects of boron on leaf chlorophyll fluorescence of greenhouse tomato grown with saline water. *Environmental and experimental botany*, 73: 57-63.

Guo, J., Li, Y., Han, G., Song, J., Wang, B. 2018. NaCl markedly improved the reproductive capacity of the euhalophyte *Suaeda salsa*. *Functional Plant Biology*, 45(3): 350-361.

Gupta, B., Huang, B. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International journal of genomics* <https://doi.org/10.1155/2014/701596>.

Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö ve Çobanoğlu, D., 2004. Ağır Metal İyonlarının (Cu+2, Pb+2, Hg+2, Cd+2) Clivia sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 177-182.

Habib, N., Akram, M., Javed, M., Azeem, M., Ali, Q., Shaheen, H., Ashraf, M. 2016. Nitric oxide regulated improvement in growth and yield of rice plants grown under salinity stress: antioxidant defense system. *Appl Ecol Environ Res.*, 14: 91-105.

Han, S., Tang, N., Jiang, H. X., Yang, L. T., Li, Y., Chen, L. S. 2009. CO₂ assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. *Plant Science*, 176(1): 143-153.

Hao, G. P., Xing, Y., Zhang, J. H. 2008. Role of nitric oxide dependence on nitric oxide synthase-like activity in the water stress signaling of maize seedling. *Journal of integrative plant biology*, 50(4): 435-442.

Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology*, 51(1): 463-499.

Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Al Huqail, A. A., Egamberdieva, D. 2014. Alleviation of abiotic salt stress in *Ochradenus baccatus* (Del.) by *Trichoderma hamatum* (Bonord.) Bainier. *Journal of Plant Interactions*, 9(1): 857-868.

Hayat S., Yadav S., Wani A. S., Irfan M., Alyemini M. N., Ahmad A. 2012. Impact of sodium nitroprusside on nitrate reductase, proline and antioxidant system in *Solanum lycopersicum* under salinity stress. *Hort. Environ. Biotechnol.*, 53: 362-367.

Hayat, S., Mori, M., Fariduddin, Q., Bajguz, A., Ahmad, A. 2010. Physiological role of brassinosteroids: an update. *Indian J Plant Physiol*, 15: 99-109.

He, J., Ma, C., Ma, Y., Li, H., Kang, J., Liu, T., Kang, J., Liu, T., Polle, A., Peng, C., Luo, Z. B. 2013. Cadmium tolerance in six poplar species. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(1) :163-174.

Hegazi, E. S., El-Motaium, R. A., Yehia, T. A., Hashim, M. E. 2018. Effect of foliar boron application on boron, chlorophyll, phenol, sugars and hormones concentration of olive (*Olea europaea* L.) buds, leaves, and fruits. *Journal of Plant Nutrition*, 41(6): 749-765.

Hernandez, J. A., Jiménez, A., Mullineaux, P., Sevilla, F. 2000. Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. *Plant, cell & environment*, 23(8): 853-862.

- Hernandez, J.A., Jimenez, A., Mullineaux, P., Sevilla, F., 2000.** Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. *Plant Cell Environ.*, 23: 853-862.
- Herrera-Rodríguez, M. B., González-Fontes, A., Rexach, J., Camacho-Cristobal, J. J., Maldonado, J. M., Navarro-Gochicoa, M. T. 2010.** Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. *Plant Stress*, 4(2):115-122.
- Hoagland, D. R., Arnon, D. I. 1950.** The water-culture method for growing plants without soil. *Circular. California agricultural experiment station*, 347(2nd edit).
- Hokmabadi, H., Arzani, K., Grierson, P. F. 2005.** Growth, chemical composition, and carbon isotope discrimination of pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstock seedlings in response to salinity. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(2): 135-144.
- Horneck, D. A., Hanson, D. 1998.** Handbook of reference methods for plant analysis. *CRC Pres. Washington, DC*, 157-164.
- Hsu, Y. T., Kao, C. H. 2004.** Cadmium toxicity is reduced by nitric oxide in rice leaves. *Plant Growth Regulation*, 42(3) :227-238.
- Hu, K. D., Hu, L. Y., Li, Y. H., Zhang, F. Q., Zhang, H. 2007.** Protective roles of nitric oxide on germination and antioxidant metabolism in wheat seeds under copper stress. *Plant Growth Regulation*, 53(3): 173-183.
- Inbaraj, M. P., Muthuchelian, K. 2011.** Effect of boron and high irradiance stresses on chlorophyll, protein and starch content in leaves of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp. P152). *J. Biosci. Res.*, 2: 55-61.
- Isaac, R. A., Johnson Jr, W. C. 1997.** Elemental determination by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. In *Handbook of reference methods for plant analysis* 169-174. CRC press.
- Jain, M., Mathur, G., Koul, S., Sarin, N. 2001.** Ameliorative effects of proline on salt stress-induced lipid peroxidation in cell lines of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Cell Reports*, 20(5): 463-468.
- Jalmi, S. K., Bhagat, P. K., Verma, D., Noryang, S., Tayyeba, S., Singh, K., Sharma, D., Sinha, A. K. 2018.** Traversing the links between heavy metal stress and plant signaling. *Frontiers in plant science*, 9, 12.
- Jamei, R., Heidari, R., Khara, J., Zare, S. 2009.** Hypoxia induced changes in the lipid peroxidation, membrane permeability, reactive oxygen species generation, and antioxidative response systems in Zea mays leaves. *Turkish Journal of Biology*, 33(1): 45-52.

- Jayakumar, K., Abdul Jaleel, C., Vijayarengan, P. 2009.** Effect of different concentrations of cobalt on pigment contents of soybean. *Botany Research International* 2 (3): 153-156.
- John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., Sharma, S. 2009.** Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. *International Journal of Plant Production* 3: 65-76.
- Kacar, B., İnal, A. 2008.** Bitki Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması. *Bitki Analizleri. Ankara. Nobel Yayınları*, 115-144.
- Kacar, B., Katkat, A. V. 2011.** Bitki besleme. *Nobel Yayınları (5. Baskı)*, 1-678.
- Kacar, B., Katkat, A. V., Öztürk, Ş. (2013).** *Bitki fizyolojisi*. Nobel.
- Kamboj, N., Malik, R. S. 2018.** Influence of Phosphorus and Boron Application on Yield, Quality, Nutrient Content and Their Uptake by Green Gram (*Vigna radiate* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(3), 1451-1458.
- Kantarci, M. D. 2000.** Toprak İlimi. İ.Ü. Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s
- Kaouther, Z., Mariem, B. F., Fardaous, M., Cherif, H. 2012.** Impact of salt stress (NaCl) on growth, chlorophyll content and fluorescence of Tunisian cultivars of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 8(4).
- Kaptan, M. A., Aydin, M., Küçük, S. 2015.** Effects of boron and humic substance treatments on the available boron distribution in the soil profile. *Scientific Papers-Series A, Agronomy*, 58 :67-72.
- Kara B., , Akgün, İ., Altındal, D. 2011.** Tritikale genotiplerinde çimlenme ve fide gelişimi üzerine tuzluluğun (NaCl) etkisi. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(1): 1-9.
- Karabal, E., Yücel, M., Öktem, H. A. 2003.** Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. *Plant Science*, 164(6): 925-933.
- Karimi, H. R., Maleki Kuhbanani, A. 2015.** The evaluation of inter-specific hybrid of *P. atlantica* × *P. vera* cv. 'Badami Zarand' as a pistachio rootstock to salinity stress. *Journal of Nuts*, 6(02): 113-122.
- Kausar, F., Shahbaz, M., Ashraf, M. 2013.** Protective role of foliar-applied nitric oxide in *Triticum aestivum* under saline stress. *Turkish Journal of Botany*, 37(6): 1155-1165.
- Kaya, C., Aslan, M., Uğurlar, F., ASHRAF, M. 2020.** Thiamine-induced nitric oxide improves tolerance to boron toxicity in pepper plants by enhancing antioxidants. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44.

Kayhan, C., Öz, M. T., Eyidoğan, F., Yücel, M., Öktem, H. A. 2017. Physiological, biochemical, and transcriptomic responses to boron toxicity in leaf and root tissues of contrasting wheat cultivars. *Plant molecular biology reporter*, 35(1):97-109.

Kayhan, D. S., Kayhan, C., Çiftçi, Y. Ö. 2016. Excess boron responsive regulations of antioxidative mechanism at physio-biochemical and molecular levels in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109: 337-345.

Kaymakanova, M., Stoeva, N. 2008. Physiological reaction of bean plants (*Phaseolus vulg.* L.) to salt stress. *Gen. Appl. Plant Physiology, Special*, (34): 3-4.

Kennedy, C. D., Gonsalves, F. A. N. 1987. The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and H⁺, efflux of excised roots. *Journal of Experimental Botany*, 38(5):800-817.

Khairy, A. I. H., Oh, M. J., Lee, S. M. 2016. Nitric oxide overcomes Cd and Cu toxicity in in vitro-grown tobacco plants through increasing contents and activities of rubisco and rubisco activase. *Biochimie Open*, 2: 41-51.

Khan, A., Kuek, C., Chaudhry, T., Khoo, C., Hayes, W. 2000. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, 41(1): 197-207.

Khan, M. H., & Panda, S. K. 2008. Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(1): 81.

Khan, M. N., Siddiqui, M. H., Mohammad, F., Naeem, M. 2012. Interactive role of nitric oxide and calcium chloride in enhancing tolerance to salt stress. *Nitric Oxide*, 27(4): 210-218.

Khurana, N., Chatterjee, C. 2001. Influence of Variable Zinc on Yield, Oil Content, and Physiology of Sunflower. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(19-20), 3023- 3030.

Kıran, S., Çağla, A. Kuşvuran, Ş., Ellialtıoğlu, Ş. Ş. 2017. Aşılı ve aşısız patlıcan bitkilerinin tuzlu koşullardaki bazı fizyolojik ve verime yönelik parametreleri üzerinde incelemeler. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 6(1):31-36.

Kireççi, O. A., Yürekli, F. 2019. Ayçiçeği Bitkisi Yapraklarında Tuz Stresi, Nitrik Oksit ve Hormon Uygulamalarının Antioksidan Savunma Sistemi Üzerine Etkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(3): 360-369.

Koç, E., Ergün, N., Üstün, A. S., Öncel, I. 2013. Kahramanmaraş-Acı Biber (*Capsicum annuum* L.) Fidelerinde Mineral İçerik Üzerine Kadmiyumun Etkisi. *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(2): 14-18.

Koç, E., İşlek, C. 2015. Kadmiyumun biber (*Capsicum annuum* L.) fidelerinde fenilalanin amonyum liyaz aktivitesi ve lipid peroksidasyonu üzerine etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(1): 50-54.

Kong, X., Luo, Z., Dong, H., Eneji, A. E., Li, W. 2016. H₂O₂ and ABA signaling are responsible for the increased Na⁺ efflux and water uptake in *Gossypium hirsutum* L. roots in the non-saline side under non-uniform root zone salinity. *Journal of Experimental Botany*, 67(8):2247-2261.

Kot, F. S. 2009. Boron sources, speciation and its potential impact on health. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 8(1):3-28.

Kotapati, K. V., Palaka, B. K., Ampasala, D. R. 2017. Alleviation of nickel toxicity in finger millet (*Eleusine coracana* L.) germinating seedlings by exogenous application of salicylic acid and nitric oxide. *The Crop Journal*, 5(3):240-250.

Kováčik, J., Babula, P., Hedbavny, J., Klejdus, B. 2014. Hexavalent chromium damages chamomile plants by alteration of antioxidants and its uptake is prevented by calcium. *Journal of Hazardous Materials*, 273:110-117.

Kumar, P., Gupta, R. C., Kumari, S., Singhal, V. K. 2010. Impact of Chromatin Transfer and Spindle Abnormalities on Pollen Fertility and Pollen Size in *Plantago lanceolata* L. *Cytologia*, 75(4): 421-426.

Kurt, S. 2012. Pleuruchaete squarrosa ve Timmiella barbuloides' in Ağır Metal Stresine Verdiği Cevapların Araştırılması. *Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın*.

Kuzu, İ. 2015. İki farklı biryofit türünün fotosentetik pigment içeriği ve antioksidan mekanizması üzerine ağır metallerin (bakır ve kurşun) etkisinin araştırılması *Master's thesis*, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Lamattina, L., Garcia-Mata, C., Graziano, M., Pagnussat, G. 2003. Nitric oxide: the versatility of an extensive signal molecule. *Annual Review Plant Biology*, 54: 109-136.

Laspina, N. V., Groppa, M. D., Tomaro, M. L., Benavides, M. P. 2005. Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stress. *Plant Science*, 169(2) :323-330.

Latef, A. A. H. A., Chaoxing, H. 2014. Does inoculation with *Glomus mosseae* improve salt tolerance in pepper plants? *Journal of Plant Growth Regulation*, 33(3): 644-653.

Leshem, Y. Y., Haramaty, E. 1996. Plant aging: the emission of NO and ethylene and effect of NO-releasing compounds on growth of pea (*Pisum sativum*) foliage. *J Plant Physiol*, 148(3-4): 258-263.

- Lewis, S., Donkin M.E., Depledge M.H. 2001.** Hsp 1407 70 expression in *Enteromorpha intestinalis* (Chlorophyta) exposed to environmental stressors. *Aquat Toxicol.*, 51:277–291.
- Lichtenthaler, H. K. 1987.** Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology*. 148:350-382. Academic Press.
- Lichtenthaler, H. K. 1996.** Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. *Journal of plant physiology*, 148(1-2): 4-14.
- Lin, Y., Liu, Z., Shi, Q., Wang, X., Wei, M., Yang, F. 2012.** Exogenous nitric oxide (NO) increased antioxidant capacity of cucumber hypocotyl and radicle under salt stress. *Scientia horticulturae*, 142: 118-127.
- López-Carrión, A. I., Castellano, R., Rosales, M. A., Ruiz, J. M., Romero, L. 2008.** Role of nitric oxide under saline stress: implications on proline metabolism. *Biologia Plantarum*, 52(3): 587.
- Magdy, M. Y., Azooz, M. M. 2013.** Biochemical studies on the effects of Zinc and Lead on oxidative stress, Antioxidant enzymes and Lipid peroxidation in Okra (*Hibiscus esculentus* cv. *Hassawi*). *Science International*, 1: 29-38.
- Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A., De Pascale, S. 2007.** Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany*, 59(3): 276-282.
- Maksymiec, W., Baszyński, T. 1996.** Chlorophyll fluorescence in primary leaves of excess Cu-treated runner bean plants depends on their growth stages and the duration of Cu-action. *Journal of Plant Physiology*, 149(1-2): 196-200.
- Manai, J., Kalai, T., Gouia, H., Corpas, F. J. 2014.** Exogenous nitric oxide (NO) ameliorates salinity-induced oxidative stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. *Journal of soil science and plant nutrition*, 14(2): 433-446.
- Mandhania, S., Madan, S., Sawhney, V. 2006.** Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, 50(2): 227-231.
- Martinez, G. R., Mascio, P. D., Bonini, M. G., Augusto, O., Briviba, K., Sies, H. 2000.** Peroxynitrite does not decompose to singlet oxygen (O₂) and nitroxyl (NO⁻). – *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97: 10307-10312.
- Martinez-Cuenca, M. R., Martinez-Alcantara, B., Quiñones, A., Ruiz, M., Iglesias, D. J., Primo-Millo, E., Forner-Giner, M. A. 2015.** Physiological and molecular responses to excess boron in *Citrus macrophylla* W. *PloS one*, 10(7).
- Masood, S., Saleh, L., Witzel, K., Plieth, C., Mühlhling, K. H. 2012.** Determination of oxidative stress in wheat leaves as influenced by boron toxicity and NaCl stress. *Plant physiology and Biochemistry*, 56: 56-61.

- Matysik, J., Alia, Bhalu, B., Mohanty, P. 2002.** Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science*, 525-532.
- Mazid, M., Khan, T. A., Mohammad, F. 2011.** Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. *Biology and medicine*, 3(2): 232-249.
- McCauley, A., Jones, C., Jacobsen, J. 2009.** Nutrient Management. Nutrient management module 9 Montana State University Extension Service. *Publication*, 4449-9, p.1-16.
- Meloni, D. A., Gulotta, M. R., Martínez, C. A., Oliva, M. A. 2004.** The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16(1):39-46.
- Metwally, A. M., Radi, A. A., El-Shazoly, R. M., Hamada, A. M. 2018.** The role of calcium, silicon and salicylic acid treatment in protection of canola plants against boron toxicity stress. *Journal of plant research*, 131(6):1015-1028
- Mickelbart, M. V., Hasegawa, P. M., Bailey-Serres, J. 2015.** Genetic mechanisms of abiotic stress tolerance that translate to crop yield stability. *Nature Reviews Genetics*, 16(4):237-251.
- Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R. D., Kumar, R., Seth, C. S., Gupta, D. K. 2006.** Lead detoxification by coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) involves induction of phytochelatins and antioxidant system in response to its accumulation. *Chemosphere*, 65(6): 1027-1039.
- Mittler, R. 2002.** Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7(9): 405-410.
- Mittler, R., Zilinskas B. 1992.** Molecular cloning and characterization of a gene encoding pea cytosolic ascorbateperoxidase. *Journal of Biological Chemistry*, 267(30): 21802-21807.
- Mohamed, H. E., Hemeida, A. E., Mohamed, A. G. 2015.** Role of hydrogen peroxide pretreatment on developing antioxidant capacity in the leaves of tomato plant (*Lycopersicon esculentum*) grown under saline stress. *Int. J. Adv. Res.*, 3:878-879.
- Molazem, D., Qurbanov, E. M., Dunyamaliyev, S. A. 2010.** Role of proline, Na and chlorophyll content in salt tolerance of corn (*Zea mays* L.). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, 9(3): 319-324.
- Mostofa, M. G., Rahman, A., Ansary, M. M. U., Watanabe, A., Fujita, M., Tran, L. S. P. 2015.** Hydrogen sulfide modulates cadmium-induced physiological and biochemical responses to alleviate cadmium toxicity in rice. *Scientific Reports*, 5(1):1-17.

- Moya, J. L., Ros, R., Picazo, I. 1993.** Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. *Photosynthesis Research*, 36(2): 75-80.
- Mukherjee, S. P., Choudhuri, M. A. 1983.** Implications of water stress-induced changes in the levels of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in *Vigna* seedlings. *Physiologia plantarum*, 58(2):166-170.
- Mukhopadhyay, M., Ghosh, P. D., Mondal, T. K. 2013.** Effect of boron deficiency on photosynthesis and antioxidant responses of young tea plantlets. *Russian journal of plant physiology*, 60(5): 633-639.
- Munns, R., Tester, M. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59: 651-681.
- Nagesh Babu, R., Devaraj, V. R. 2008.** High temperature and salt stress response in French bean (*Phaseolus vulgaris*). *Australian Journal of Crop Science*, 2(2): 40-48.
- Najar, R., Aydi, S., Sassi-Aydi, S., Zarai, A., Abdelly, C. 2019.** Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Medicago truncatula*. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 153(1):88-97.
- Nakano, Y., Asada, K. 1981.** Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, 22(5):867-880.
- Naz, H., Akram, N. A., Ashraf, M. 2016.** Impact of ascorbic acid on growth and some physiological attributes of cucumber (*Cucumis sativus*) plants under water-deficit conditions. *Pak. J. Bot.* 48: 877-883.
- Neill, S. J., Desikan, R., Hancock, J. T. 2003.** Nitric oxide signalling in plants. *New Phytologist*, 159(1) :11-35.
- Noctor, G., Foyer, C. H. 1998.** Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Biology*, 49(1) :249-279.
- Noctor, G., Mhamdi, A., Chaouch, S., Han, Y.I., Neukermans, J., Belen, M, G., Foyer, CH 2012.** Glutathione in plants: an integrated overview. *Plant, cell & environment*, 35(2) :454-484.
- Noman Habib, M. A., Shahbaz, M. 2013.** Effect of exogenously applied nitric oxide on some key physiological attributes of rice (*Oryza sativa* L.) plants under salt stress. *Pak. J. Bot.* 45(5): 1563-1569.
- Noreen, Z., Ashraf, M. 2009.** Assessment of variation in antioxidative defense system in salt-treated pea (*Pisum sativum*) cultivars and its putative use as salinity tolerance markers. *Journal of plant physiology*, 166(16): 1764-1774.

Oluk, E.A., Acar, O., Demirbaş, S., Duran, H., Atik, E. Görkem, H.N. 2012 Alterations in antioxidative enzyme activities caused by boron toxicity in two tomato culture varieties. *Fresen. Environ. Bull*, 21: 290-294.

Ota, K., Yasue, T. 1962. Studies on the salt injury in crops. XIV. The effect of NaCl solution upon photosynthesis of paddy. *Research Bulletin, Faculty of Agriculture, Gifu university*, 16:1-6.

Öcal Özdamar, F. 2016. Hidrojen peroksit ve nitrik oksit ilişkisinin bitkilerde abiyotik stres toleransındaki rolü. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*.

Özay, C. 2019. Endemik Alyssum discolor'un (Brassicaceae) Tohum Çimlenmesi ve Kök-Gövde Gelişimi Üzerine Nikel, Bakır ve Demir Etkisi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1): 87-94.

Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H., 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, Adana

Özkay, F., Kıran, S., Kuşvuran, Ş., Ellialtıoğlu, Ş. Ş. 2016. The effects of humic acid applications on heavy metal stress in lettuce. *Turkish Journal Of Agriculture-Food Science And Technology*, 4(6): 431-437.

Panda, S. K., Chaudhary, I., Khan, M. H. 2003. Heavy metals induced lipid peroxidation and affect antioxidants in wheat leaves. *Biologia Plantarum*, 46: 289-294.

Panda, S. K., Choudhury, S. 2005. Changes in nitrate reductase activity and oxidative stress response in the moss Polytrichum commune subjected to chromium, copper and zinc phytotoxicity. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(2): 191-197.

Papadakis, I. E., Dimassi, K. N., Bosabalidis, A. M., Therios, I. N., Patakas, A., Giannakoula, A. 2004a. Boron toxicity in 'Clementine' mandarin plants grafted on two rootstocks. *Plant Science*, 166(2): 539-547.

Papadakis, I. E., Dimassi, K. N., Bosabalidis, A. M., Therios, I. N., Patakas, A., Giannakoula, A. 2004b. Effects of B excess on some physiological and anatomical parameters of 'Navelina' orange plants grafted on two rootstocks. *Environmental and Experimental Botany*, 51(3): 247-257.

Parida, A. K., Das, A. B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3): 324-349.

Procházková, D., Haisel, D., Pavlikova, D., Schnablová, R., Száková, J., Vytášek, R., Wilhelmová, N. 2012. The effect of risk elements in soil to nitric oxide metabolism in tobacco plants. *Plant Soil and Environment* ,58: 435-440.

Puthur, J. T. 2016. Antioxidant and cellular antioxidation mechanism in plants. *South Indian Journal of Biological Sciences*, 2: 14-17.

Qian, H. F., Peng, X. F., Han, X., Ren, J., Zhan, K. Y., and Zhu, M. 2014. The stress factor, exogenous ascorbic acid, affects plant growth and the antioxidant system in *Arabidopsis thaliana*. *Russ. J. Plant Physiol.*, 61: 467–475.

Radic, S., Radic-Stojkovic, M., Pevalek-Kozlina, B. 2006. Influence of NaCl and mannitol on peroxidase activity and lipid peroxidation in *Centaurea ragusina* L. Roots and shoots. *Journal of plant physiology*, 163(12): 1284-1292.

Rahneshan, Z., Nasibi, F., Moghadam, A. A. 2018. Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of Plant Interactions*, 13(1): 73-82.

Rao, G. G., Rao, G. R. 1981. Pigment composition and chlorophyllase activity in pigeon pea (*Cajanus indicus* Spreng) and Gingelley (*Sesamum indicum* L.) under NaCl salinity. *Indian Journal of Experimental Biology*.

Rasool, S., Hameed, A., Azooz, M.M., Rehman, M., Siddiqi T.O., Ahmad P. 2013. Salt stress: causes, types and response of plants. In: *Ecophysiology and response of plants under salt stress*, (Editors: P. Ahmad, M.M. Azooz M.N.V. Prasad). Springer LLC, New York, USA, pp: 1-24.

Rendón, J. L., Pardo, J. P., Mendozahernandez, G., Rojodominguez, A., Hernandezarana, A. 1995. Denaturing behavior of glutathione reductase from cyanobacterium *Spirulina maxima* in guanidine hydrochloride. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 318(2) :264-270.

Retamal-Salgado, J., Matus, I., Walter, I., Hirzel, J. 2017. Absorption and distribution of cadmium of three maize hybrids in three environments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17 (2): 266-278.

Romero-Puertas, M. C., Corpas, F. J., Rodríguez-Serrano, M., Gómez, M., Luis, A., Sandalio, L. M. 2007. Differential expression and regulation of antioxidative enzymes by cadmium in pea plants. *Journal of Plant Physiology*, 164(10) :1346-1357.

Ruan, H. H., Shen, W. B., Xu, L. L. 2004. Nitric oxide involved in the abscisic acid induced proline accumulation in wheat seedling leaves under salt stress. *Acta Botanica Sinica-English Edition*, 46(11): 1307-1315.

Salah, I. B., Slatni, T., Albacete, A., Gandour, M., Andújar, C. M., Houmani, H., Hamed, K. B., Martinez, V., Pérez-Alfocea F., Abdelly, C. 2010. Salt tolerance of nitrogen fixation in *Medicago ciliaris* is related to nodule sucrose metabolism performance rather than antioxidant system. *Symbiosis*, 51(2): 187-195.

Salahuddin, M., Nawaz, F., Shahbaz, M., Naeem, M., Zulfiqar, B., Shabbir, R. N., Hussain, R. A. 2017. Effect of exogenous nitric oxide (NO) supply on germination and seedling growth of mungbean (cv. Nm-54) under salinity stress. *Legume Research*, 40(5): 846-852.

Samet, H., Çikili, Y. 2019. Response of purslane (*Portulaca oleracea* L.) to excess boron and salinity: Physiological approach. *Russian Journal of Plant Physiology*, 66(2): 316-325.

Samet, H., Çikili, Y., Dursun, S. 2017. Changes in Metallic Cation Accumulation in Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) Affected by Boron and Potassium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(8): 898-907.

Saxena, S. C., Kaur, H., Verma, P., Petla, B. P., Andugula, V. R., Majee, M. 2013. Osmoprotectants: potential for crop improvement under adverse conditions. In *Plant acclimation to environmental stress* 197-232 Springer, New York, NY.

Schaffer A.A., Liu K.C., Goldschmidt E.E., Boyer C.D., Goren R. 1986. Citrus leaf chlorosis induced by sink removal: starch, nitrogen, and chloroplast ultrastructure, *J. Plant Physiol.* 124: 111-121.

Schutzendubel, A., Polle, A. 2002. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of experimental botany*, 53(372): 1351-1365.

Sekmen, A. H., Demiral, T., Tosun, N., Türküsay, H., Türkan, İ. 2005. Tuz stresi uygulanan domates bitkilerinin bazı fizyolojik özellikleri ve toplam protein miktarı üzerine bitki aktivatörünün etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(1): 85-95.

Seneviratne, M., Rajakaruna, N., Rizwan, M., Madawala, H. M. S. P., Ok, Y. S., Vithanage, M. 2019. Heavy metal-induced oxidative stress on seed germination and seedling development: a critical review. *Environmental Geochemistry and Health*, 41(4): 1813-1831.

Seneviratne, M., Seneviratne, G., Madawala, H. M. S. P., Vithanage, M. 2017. Role of rhizospheric microbes in heavy metal uptake by plants. In *Agro-Environmental Sustainability*, 147-163.

Sevengör, S., Yasar, F., Kusvuran, S., Ellialtıoğlu, S., 2011. The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidative enzymes of pumpkin seedling. *African Journal of Agricultural Research* 6 (21):4920-4924.

Shallan, M. A., Hassan, H. M., Namich, A. A., Ibrahim, A. A. 2012. Effect of sodium nitroprusside, putrescine and glycine betaine on alleviation of drought stress in cotton plant. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, 12(9): 1252-1265.

Shapiguzov, A., Vainonen, J. P., Wrzaczek, M., Kangasjärvi, J. 2012. ROS-talk-how the apoplast, the chloroplast, and the nucleus get the message through. *Front. Plant Sci.*, 3: 292.

Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., Pessarakli, M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 1–26.

Shehab, G.G., Ahmed, O.K. and El-Beltagi, H.S. (2010). Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1): 139-148.

Sheokand, S., Bhankar, V., Sawhney, V. 2010. Ameliorative effect of exogenous nitric oxide on oxidative metabolism in NaCl treated chickpea plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 22(2): 81-90.

Shi, J., Gao, L., Zuo, J., Wang, Q., Wang, Q., Fan, L. 2016. Exogenous sodium nitroprusside treatment of broccoli florets extends shelf life, enhances antioxidant enzyme activity, and inhibits chlorophyll-degradation. *Postharvest Biology and Technology*, 116: 98- 104.

Shi, Q., Ding, F., Wang, X., Wei, M. 2007. Exogenous nitric oxide protect cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(8): 542-550.

Shomron, N., Ast, G. 2003. Boric acid reversibly inhibits the second step of pre-mRNA splicing. *FEBS letters*, 552(2-3) :219-224.

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Sakran, A. M., Ali, H. M., Basalah, M. O., Faisal, M., Al-Amri, A. A. 2013. Calcium-induced amelioration of boron toxicity in radish. *Journal of plant growth regulation*, 32(1):61-71.

Silveira, N. M., Frungillo, L., Marcos, F. C., Pelegriño, M. T., Miranda, M. T., Seabra, A. B., Salgado, I, Machado, E. C., Ribeiro, R. V. 2016. Exogenous nitric oxide improves sugarcane growth and photosynthesis under water deficit. *Planta*, 244(1): 181-190.

Simontacchi, M., Galatro, A., Ramos-Artuso, F., Santa-María, G. E. 2015. Plant survival in a changing environment: the role of nitric oxide in plant responses to abiotic stress. *Frontiers in plant science*, 6, 977.

Singh, P. K., Tewari, R. K. 2003. Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of *Brassica juncea* L. plants. *Journal of Environmental Biology*, 24(1) :107-112.

Skórzyńska-Polit, E., & Baszyński, T. 1998. The modifying effect of calcium on Cd-treated runner bean plants. The level of carbohydrates. In *Photosynthesis: Mechanisms and Effects Springer Dordrecht*, 2673-2676.

Smillie, R. M., Nott, R. 1982. Salt tolerance in crop plants monitored by chlorophyll fluorescence in vivo. *Plant Physiology*, 70(4): 1049-1054.

Stadtman, E.R., Oliver, C.N. 1991. Metal-catalyzed oxidation of proteins. Physiological consequences. *J Biol Chem.*, 266:2005-2008.

Stresty, TVS., Madhava KV. 1999. Rao ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cekks of Pigeonpea/, *Environ. Exp. Bot*, 41: 3-13.

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 Science*, 161(3): 613-619.

Surgun, Y., Çöl, B., Bürün, B. 2016. 24-Epibrassinolide ameliorates the effects of boron toxicity on *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh by activating an antioxidant system and decreasing boron accumulation. *Acta physiologiae plantarum*, 38(3): 71.

Taban, S., Ozguven, N., Celik, H., Katkat, V. 1999. Effects of potassium on macroelements distribution in maize plants grown under salt stress. *Nutrient management under salinity and water stress. Technion-Israel Institute of Technology, Haifa, Israel*, 215-222.

Taïbi, K., Taïbi, F., Abderrahim, L. A., Ennajah, A., Belkhodja, M., Mulet, J. M. 2016. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany*, 105: 306-312.

Tassi, E., Giorgetti, L., Morelli, E., Peralta-Videa, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., Barbafieri, M. 2017. Physiological and biochemical responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to nano-CeO₂ and excess boron: modulation of boron phytotoxicity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110: 50-58.

Tavakkoli, E., Rengasamy, P., McDonald, G. K. 2010. High concentrations of Na⁺ and Cl⁻ ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 61(15): 4449-4459.

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., Sutton, D. J. 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *Mol. Clin. Environ. Toxicol.*, 101: 133-164.

Tezotto, T., Favarin, J. L., Azevedo, R. A., Alleoni, L. R. F., Mazzafera, P. 2012. Coffee is highly tolerant to cadmium, nickel and zinc: plant and soil nutritional status, metal distribution and bean yield. *Field Crops Research*, 125, 25-34.

Tewari, A. K., Tripathy, B. C. 1998. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. *Plant physiology*, 117(3): 851-858.

Thounaojam, T. C., Panda, P., Mazumdar, P., Kumar, D., Sharma, G. D., Sahoo, L., Sanjib, P. 2012. Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice. *Plant Physiology and Biochemistry*, 53:33-39.

- Tian, X. R., Lei, Y. B. 2007.** Physiological responses of wheat seedlings to drought and UV-B radiation. Effect of exogenous sodium nitroprusside application. *Russian Journal of Plant Physiology*, 54(5): 676-682.
- Tremper, A. H., Agneta, M., Burton, S., Higgs, D. E. 2004.** Field and laboratory exposures of two moss species to low level metal pollution. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 49(1-3): 111-120.
- Tuna, A. L., Eroğlu, B. 2017.** Tuz stresi altındaki biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinde bazı organik ve inorganik bileşiklerin antioksidatif sisteme etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(1): 121-131.
- Turan, M. A., Turkmen, N., Taban, N. 2007.** Effect of NaCl on stomatal resistance and proline, chlorophyll, Na, Cl and K concentrations of lentil plants. *Journal of Agronomy*, 6(2): 378.
- Turfan, N. 2016.** Determining of resistance mechanism against abiotic stress factories in native walnut variety (*Juglans regia* L.). *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(3), 321-331.
- Turfan, N. 2017.** Effect of Some Abiotic Stress Factories on Savrun Spinach (*Spinacea oleracea* L.). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(6): 660-667.
- Turner, N. C., Begg, J. E. 1981.** Plant-water relations and adaptation to stress. *Plant and soil*, 58(1-3): 97-131.
- 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 Science*, 163(3), 515-523.
- Vainonen, J. P., Wrzaczek, M., Kangasjärvi, J. 2012.** 1418 ROS-talk-how the apoplast, the chloroplast and the nucleus get the 1419 message through. *Front. Plant Sci.*, 3, 292.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M.T., Mazur, M., Telser, J. 2007.** Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int. J. Biochem. Cell Biol.*, 39: 44-84.
- Verma, K., Mehta, S. K., Shekhawat, G. S. 2013.** Nitric oxide (NO) counteracts cadmium induced cytotoxic processes mediated by reactive oxygen species (ROS) in *Brassica juncea*: cross-talk between ROS, NO and antioxidant responses. *Biometals*, 26(2) :255-269.
- Wang, H., Liu, R. L., Jin, J. Y. 2009.** Effects of zinc and soil moisture on photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of maize. *Biologia plantarum*, 53(1): 191-194.

Wang, J. Z., Tao, S. T., Qi, K. J., Wu, J., Wu, H. Q., Zhang, S. L. 2011a. Changes in photosynthetic properties and antioxidative system of pear leaves to boron toxicity. *African Journal of Biotechnology*, 10(85):19693-19700.

Wang, Q., Liang, X., Dong, Y., Xu, L., Zhang, X., Kong, J., & Liu, S. 2013. Effects of exogenous salicylic acid and nitric oxide on physiological characteristics of perennial ryegrass under cadmium stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(4): 721-731.

Wang, W. W., Bai, X. Y., Dong, Y. J., Chen, W. F., Song, Y. L., Tian, X. Y. 2016. Effects of application of exogenous NO on the physiological characteristics of perennial ryegrass grown in Cd-contaminated soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(3) :731-744.

Wang, X. L., Wang, M. H., Quan, S. X., Yan, B., Xiao, X. M. 2016. Influence of thermal treatment on fixation rate and leaching behavior of heavy metals in soils from a typical e-waste processing site. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1):82-88.

Wimmer, M. A., Mühling, K. H., Läuchli, A., Brown, P. H., Goldbach, H. E. 2003. The interaction between salinity and boron toxicity affects the subcellular distribution of ions and proteins in wheat leaves. *Plant, Cell & Environment*, 26(8): 1267-1274.

Wu, X., Zhu, W., Zhang, H., Ding, H., Zhang, H. J. 2011. Exogenous nitric oxide protects against salt-induced oxidative stress in the leaves from two genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(4): 1199-1209.

Wu, Y. F., Keller, B. P., Keller, S., Kapolnek, D., Kozodoy, P., Denbaars, S. P., Mishra, U. K. 1997. High power AlGaIn/GaN HEMTs for microwave applications. *Solid-State Electronics*, 41(10): 1569-1574.

Xie, Y., Sun, G., Liao, H., Tang, Y. 2018. Effects of Exogenous Melatonin on Growth and Antioxidant System of Lettuce Seedlings under Salt Stress. In 2018 3rd International Conference on Advances in Materials, Mechatronics and Civil Engineering (ICAMMCE 2018). Atlantis Press.

Xiong, J., An, L.Y., Lu, H., Zhu, C.2009. Exogenous nitric oxide enhances cadmium tolerance of rice by increasing pectin and hemicellulose contents in root cell wall. *Planta*, 230:755–765.

Xiong, J., Fu, G., Tao, L., & Zhu, C. 2010. Roles of nitric oxide in alleviating heavy metal toxicity in plants. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 497(1-2): 13-20.

Xu, J., Wang, W., Yin, H., Liu, X., Sun, H., Mi, Q. 2010. Exogenous nitric oxide improves antioxidative capacity and reduces auxin degradation in roots of *Medicago truncatula* seedlings under cadmium stress. *Plant and Soil*, 326(1-2): 321.

- Xu, L.L., Dong, Y.J., Kong, J., Liu, S. 2014.** Effects of root and foliar applications of exogenous NO on alleviating cadmium toxicity in lettuce seedlings. *Plant Growth Regul.*, 72 (1) :39-50.
- Xu, W., Shi, W., Yan, F., Zhang, B., Liang, J. 2011.** Mechanisms of cadmium detoxification in cattail (*Typha angustifolia* L.). *Aquatic botany*, 94(1): 37-43.
- Yang, J., Li, K., Zheng, W., Zhang, H., Cao, X., Lan, Y., Yang, C., Li, C. 2015.** Characterization of early transcriptional responses to cadmium in the root and leaf of Cd-resistant *Salix matsudana* Koidz. *BMC Genomics*, 16(1):705.
- Yang, L. T., Chen, L. S., Peng, H. Y., Guo, P., Wang, P., Ma, C. L. 2012.** Organic acid metabolism in *Citrus grandis* leaves and roots is differently affected by nitric oxide and aluminum interactions. *Scientia horticulturae*, 133: 40-46.
- Yarsi, G., Sivaci, A., Dasgan, H. Y., Altuntas, O., Binzet, R., Akhoundnejad, Y. 2017.** Effects of salinity stress on chlorophyll and carotenoid contents and stomata size of grafted and ungrafted Galia C8 melon cultivar. *Pak. J. Bot.*, 49(2):421-426.
- Yaşar, F., Ellialtıoğlu, Ş., Özpáy, T., Uzal, Ö. 2008.** Tuz stresinin karpuzda (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) antioksidatif enzim (SOD, CAT, APX ve GR) aktivitesi üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(1): 61-65.
- Yıldırım, E., Ekinci, M., Turan, M., Dursun, A., Kul, R., Parlakova, F. 2015.** Roles of glycine betaine in mitigating deleterious effect of salt stress on lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(12):1673-1689.
- Yılmaz, H. Ş., Kökten, K. 2019** Kadmiyum (Cd) Uygulamasının Tane Sorgumda (*Sorghum bicolor* L.) Bazı Morfolojik Özellikler Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3): 447-456.
- Yildiztugay, E., Ozfidan-Konakci, C., Kucukoduk, M. 2014.** Exogenous nitric oxide (as sodium nitroprusside) ameliorates polyethylene glycol-induced osmotic stress in hydroponically grown maize roots. *Journal of plant growth regulation*, 33(3):683-696.
- Yordanova, R., Baydanova, V., Peeva, V. 2017.** Nitric oxide mediates the stress response induced by cadmium in maize plants. *Genetics and Plant Physiology*, 7(3-4): 121-134.
- Yuanjie, D., Linlin, X. U., Quanhui, W., Zhenyi, F., Jing, K., Xiaoying, B. 2013.** Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidative ability, and mineral element contents of perennial ryegrass under copper stress. *Journal of Plant Interactions*, 9: 402-411.
- Yurdakul, İ., Kalınbacak, K., Terzi, D., Peker, R. M. 2017.** Ağır Metallerin Tarla Şartlarında Buğday (*Triticum Aestivum* L.) Verimine Toksik Etkisinin Belirlenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2): 580-593.

- Yücel, M., Yücel, E. 2013.** On the ecotoxicological effects of heavy metal pollution of industrial origin determination of wheat varieties. *Biological Diversity and Conservation*, 6(3): 6-11
- Zechmann, B. 2011.** Subcellular distribution of ascorbate in plants. *Plant Signal. Behav.*, 6: 360–363.
- Zehra, A., Gul, B., Ansari, R., Alatar, A. R. A., Hegazy, A. K., Khan, M. A. 2013.** Action of plant growth regulators in alle Zehra iating salinity and temperature effects on the germination of Phragmites karka. *Pak. J. Bot.*, 45(6):1919-1924.
- Zeng, C.L., Liu, L., Wang, B.R., Wu, X.M., Zhu, Y. 2011.** Physiological effects of exogenous nitric oxide on Brassica juncea seedlings under NaCl stress. *Biologiae Plantarum* ,55(2): 345-348.
- Zengin, F. K., Munzuroglu, O. 2005.** Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 47(2): 157-164.
- Zhang J, Kaeseberg T, Krebs P, Hua P. 2014.** Comments on "Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran". *J Hazard Mater.*273:124-126.
- Zhang, F.Q., Wang, Y.S., Lou, Z.P., Dong, GD. 2007.** Effect of heavy metal stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of two mangrove plant seedlings (*Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza*). *Chemotherapy*, 67:44-50.
- Zhang, Y., Han, X., Chen, X., Jin, H., Cui, X. 2009.** Exogenous nitric oxide on antioxidative system and ATPase activities from tomato seedlings under copper stress. *Scientia Horticulturae*, 123: 217-223.
- Zhang, Y., Wang, L., Liu, Y., Zhang, Q., Wei, Q., Zhang, W. 2006.** Nitric oxide enhances salt tolerance in maize seedlings through increasing activities of proton-pump and Na⁺/H⁺ antiport in the tonoplast. *Planta*, 224(3): 545-555.
- Zhou, W., Leul, M. 1999.** Uniconazole-induced tolerance of rape plants to heat stress in relation to changes in hormonal levels, enzyme activities and lipid peroxidation. *Plant Growth Regulation*, 27(2):99-104.
- Zhu, G. L., Boyer, J. S. 1992.** Enlargement in Chara studied with a turgor clamp: growth rate is not determined by turgor. *Plant Physiology*, 100(4):2071-2080.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Günsu BARIŞIK KAYIN
Doğum Yeri ve Tarihi : Kıbrıs-Lefkoşa / 29.08.1986
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi / İstanbul
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bursa Uludağ Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü /
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü (2010-2019)

İletişim (e-posta) : gbarisik@uludag.edu.tr

Yayımları :

Barışık Kayın, G., Öztüfekçi, S., Ardiç, Y., Karaata, E. U., Turan M. A. 2014. Evaluation Of Bacillus Subtilis Ch-13 Effect On Yield And Quality Of Wheat. Balkan Agricultural Congress. P:884. Edirne / Türkiye

Barışık Kayın, G., Çakmak, İ., Katkat, A. V. 2017. Adverse Effects of Enhanced Carbon dioxide Applications on Antioxidative Enzyme Activities of Wheat and Soybean. 3rd International Conference On Engineering And Natural Sciences. P:39. Budapeşte / Macaristan

Barışık Kayın, G., Kayın, H., Turan M.A. 2017. High Row Spacing Diminish the Yield and some nutrient Uptake of Sunflower Cultivars. 3rd International Conference On Engineering And Natural Sciences. P:253. Budapeşte / Macaristan

Barışık Kayın, G., Öztüfekçi, S., Akın, H.F., Karaata, E.U., Katkat, A. V., Turan, M. A. 2015. Effect of Bacillus Suptilis Ch-13, Nitrogen and Phosphorus on Yield, Protein and Gluten Content of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 29-1, 18:19. 1301-3165

Barışık Kayın, G., Öztüfekçi, S., Çelik, H., Turan M .A. 2016. Effect of Different Sulphur Forms on Soil Reaction and Micronutrient Availability. 27th International Scientific-Expert Congress of Agriculture and Food Industry. P:108. Bursa/Türkiye

Barışık Kayın, G., Turan, M. A., Kayın H. 2015. Effect Of Elemental Sulphur And Rock Phosphate Application On Phosphorus Nutrition Of Maize. 26th International Scientific-Expert Conference Of Agriculture And Food Industry. 218-222. Sarajevo (Bosna Hersek).

Barışık Kayın, G., Turan, M. A., Kayın H. 2016. Effect of elemental sulphur and rock phosphate application on phosphorus nutrition of maize. *Radovi Poljoprivredno-Prehrambenog Fakulteta Univerzitetu U Sarajevu*. 66:1, 218. 0033-8583

Barışık, G., Katkat, A.V., Ardiç, Y. 2012. Karbondioksit Uygulamasının Soya Fasulyesinde (Glycine Max. L.) Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi. Uludağ Üniversitesi Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri. P:169. Bursa.

Barışık, G., Katkat, A.V., Çakmak, İ. 2012. Karbondioksit Uygulamasının Farklı Magnezyum Beslenme Koşullarında Mısır Bitkisi Gelişimi Üzerine Etkisi. Uludağ Üniversitesi Bilgilendirme ve AR-GE Günleri. P:169. Bursa.

Barışık, G., Katkat, A.V., Çakmak, İ. 2013. Effect of Carbondioxide on Plant Growth and Dry Matter Yield of Maize in Different Magnesium Nutrition Levels XVII. International Plant Nutrition Colloquium. 09-12 Ağustos 2013, s, 785. İstanbul.

Barışık, G., Katkat, A.V., Çakmak, İ. 2013. Karbondioksit Uygulamasının Farklı Magnezyum Beslenme Koşullarında Mısır Bitkisi Antioksidatif Enzim Aktivitesi Üzerine Etkisi. 6. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi. 03-7 Haziran 2013, s, 785. İstanbul.

Barışık, G., Katkat, A.V., Çakmak, İ. 2013. The Effect of Carbondioxide Application on Plant Growth and Antioxidant Enzyme Activities of Soybean in Different Magnesium Nutrition Levels. 1st Central Asia Congress on Modern Agricultural Techniques and Plant Nutrition, volume 2, s, 1475, Bişkek / Kırgızistan

Turan M. A., Katkat, A. V., Öztüfekçi, S., Barışık Kayın, G. 2014. Determination of Zinc Content for Three Great Soil Groups in Bursa Region. Balkan Agricultural Congress. P:284. Edirne / Türkiye

Turan, M. A., Taban, S., Barışık Kayın, G., Taban, N. 2018. Effect of Boron Application on Calcium and Boron Concentrations in Cell Wall of Durum (Triticum Durum) And Bread (*Triticum Aestivum*) Wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 11 / 1351-1357. 10.1080/01904167.2018.1450424.