



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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TUZ STRESİNİN BİBER (*Capsicum annum* L.) BİTKİSİNDE OKSİDATİF
STRES PARAMETRELERİYLE ANTIOKSİDANT ENZİM DÜZEYLERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

İBRAHİM BAŞAK

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

**Şanlıurfa
2024**



T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUZ STRESİNİN BİBER (*Capsicum annum* L.) BİTKİSİNDE OKSİDATİF
STRES PARAMETRELERİYLE ANTİOKSİDANT ENZİM DÜZEYLERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

İBRAHİM BAŞAK

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
Tez Danışmanı: Prof. Dr. CENGİZ KAYA

Şanlıurfa
2024

TEZ ONAY SAYFASI

d

Jüri

İmza

ONAY

d

.....

(İmza)

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME Müdürü

TEZ ÖNERİSİ VE TEZ YAZMA YÖNERGESİNE UYGUNLUK BEYANI

ewrwrew

..... / /.....

İmza

İBRAHİM BAŞAK

TEŐEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaőan, saygıdeğer danışman hocam; Prof. Dr. Cengiz KAYA'ya, çalıőmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Arő.Gör.Dr. Ferhat UęURLAR'a ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli Aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	2
3. GEREÇ VE YÖNTEM	6
3.1. Gereç	6
3.2. Yöntem	6
3.2.1. Bitki örneklerin yaş ağırlık, kuru ağırlıkların belirlenmesi	6
3.2.2. Yaprak bağıl su içeriği (YBSİ)	6
3.2.3. Klorofil ve karotenoid tayini	6
3.2.4. Prolin içeriği tayini	6
3.2.5. % ES (Elektrolit Sızıntısı) belirlenmesi	7
3.2.6. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Belirlenmesi	7
3.2.7. Malondialdehid (MDA) Belirlenmesi	7
3.2.8. Antioksidan enzim aktivitelerinin belirlenmesi	8
3.2.9. Verilerin Değerlendirilmesi	8
4. BULGULAR	9
5. TARTIŞMA	20
6. SONUÇLAR	22
7. ÖNERİLER	23
KAYNAKLAR	24
ÖZGEÇMİŞ	28

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUZ STRESİNİN BİBER (*Capsicum annuum* L.) BİTKİSİNDE OKSİDATİF STRES PARAMETRELERİYLE ANTIOKSİDANT ENZİM DÜZEYLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

İBRAHİM BAŞAK

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

Tez Danışman: Prof. Dr. CENGİZ KAYA

Yıl: 2024, Sayfa : 28

Tuzluluk, bitki büyümesini ve gelişimini olumsuz etkileyen önemli bir çevresel strestir. Bu çalışmanın amacı, farklı seviyelerde tuz stresine maruz kalan biber bitkilerinde oksidatif stres parametreleri ve antioksidan enzim aktivitelerindeki değişimleri araştırmaktır. Yüzey sterilizasyonu yapılan biber tohumları torf-perlit karışımında çimlendirildi ve çimlenmeden 10 gün sonra fideler perlit dolu saksılara transfer edilerek, farklı konsantrasyonlarda NaCl içeren sulama suyu ile sulandı (0, 50, 100, 150, 200 ve 250 mM NaCl). 8 haftalık gelişim süreci sonunda bitkiler analizler için hasat edildi. Araştırma bulguları, artan NaCl konsantrasyonuna bağlı olarak bitkilerin gövde boyu, kök boyu, üst aksam ve kök kuru ağırlığının önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Ayrıca, artan tuzluluk biber bitkilerinin fotosentetik pigment içeriği ve maksimum kuantum verimini (F_v/F_m) olumsuz etkilemiştir. Yaprak bağıl su içeriği azalmış, prolin birikimi ise artmıştır. Tuz stresi altında bitkilerde hidrojen peroksit (H_2O_2), malondialdehit (MDA) ve elektrolit sızıntısının (ES) arttığı gözlemlenmiştir. Antioksidan enzim aktiviteleri incelendiğinde, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve peroksidaz (POD) aktivitelerinin tuz stresi altında arttığı, ancak belirli konsantrasyonların üzerinde azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Sonuçlar, tuz stresinin biber bitkilerinin fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerini olumsuz etkilediğini ve bitkilerin bu stresle başa çıkmak için çeşitli savunma mekanizmaları geliştirdiğini ortaya koymaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Biber, tuz stresi, oksidatif stress,

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SALT STRESS ON OXIDATIVE STRESS PARAMETERS AND ANTIOXIDANT ENZYME LEVELS IN PEPPER (*Capsicum annuum* L.) PLANT.

İBRAHİM BAŞAK

HARRAN UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION

Thesis Supervisor: Prof. Dr. CENGİZ KAYA

Year: 2024, Page : 28

Salinity is an important environmental stress that negatively affects plant growth and development. The aim of this study is to investigate the changes in oxidative stress parameters and antioxidant enzyme activities in pepper plants exposed to different levels of salt stress. Surface sterilized pepper seeds were germinated in peat-perlite mixture, and 10 days after germination, the seedlings were transferred to perlite-filled pots and watered with irrigation water containing different concentrations of NaCl (0, 50, 100, 150, 200 and 250 mM NaCl). At the end of the 8-week development period, the plants were harvested for analysis. Research findings showed that stem length, root length, upper part and root dry weight of plants decreased significantly due to increasing NaCl concentration. Additionally, increased salinity negatively affected the photosynthetic pigment content and maximum quantum yield (F_v/F_m) of pepper plants. Leaf relative water content decreased and proline accumulation increased. It has been observed that hydrogen peroxide (H_2O_2), malondialdehyde (MDA) and electrolyte leakage (ES) increase in plants under salt stress. When antioxidant enzyme activities were examined, it was determined that superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and peroxidase (POD) activities increased under salt stress, but tended to decrease above certain concentrations. The results reveal that salt stress negatively affects the physiological and biochemical parameters of pepper plants and that plants have developed various defense mechanisms to cope with this stress.

KEYWORDS: Pepper, salt stress, oxidative stress,

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin gövde boyuna etkisi	10
Şekil 4.2.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin kök boyuna etkisi	10
Şekil 4.3.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin üst aksam kuru ağırlığına etkisi	11
Şekil 4.4.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin kök kuru ağırlığına etkisi	11
Şekil 4.5.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin klorofil a içeriğine etkisi	12
Şekil 4.6.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin klorofil b içeriğine etkisi	13
Şekil 4.7.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin toplam klorofil içeriğine etkisi	13
Şekil 4.8.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin maksimum kuantum verimine (Fv/Fm) etkisi	14
Şekil 4.9.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin yaprak bağıl su içeriğine (YBSİ) etkisi	15
Şekil 4.10.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin prolin içeriğine etkisi	15
Şekil 4.11.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) içeriğine etkisi	16
Şekil 4.12.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin malondialdehit (MDA) içeriğine etkisi	16
Şekil 4.13.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin elektrolit sızıntısı (ES) değerlerine etkisi	17
Şekil 4.14.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin süper oksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesine etkisi	18
Şekil 4.15.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin katalaz (CAT) enzim aktivitesine etkisi	18
Şekil 4.16.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesine etkisi	19
Şekil 4.17.	Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin peroksidaz (POD) enzim aktivitesine etkisi	19

1. GİRİŞ

Tuzluluk, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımı olumsuz etkileyen önemli bir sorundur. Birleşmiş Milletler Çevre Programı'na göre, dünya genelinde verimli toprakların yarısı ve tarım alanlarının beşte biri tuzluluk tehdidi altındadır (Flowers ve Yeo, 1995).

Tuzluluk, toprak çözeltisindeki tuz yoğunluğunun artmasıyla bitki hücrelerinde ozmotik potansiyel düşüşüne neden olarak bitki gelişimini etkileyebilir. Fotosentez, hücre bölünmesi, büyüme ve çimlenme gibi biyolojik süreçlerde azalmalara yol açabilir (Taiz and Zeiger 2008). Toprak çözeltisinde tuz yoğunluğunun artışı buna karşı su potansiyelinin azalması, bitki hücrelerinde ozmotik potansiyelin düşmesine sebep olur. Ayrıca, yüksek seviyede tuzluluk bitkilerde oksidatif stres oluşumuna neden olabilir. Oksidatif stres, hücrelerde reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesine yol açarak hücresel zarara sebep olabilir (Demiral, 2003). Bu durum, bitkilerin oksidatif stres altında yaşamlarını devam ettirebilmek ve stresle başa çıkabilmek için antioksidan sistemlerini devreye sokmalarına neden olur. Antioksidanlar, ROS'ların kontrolü ve detoksifikasyonunda önemli rol oynarlar. Enzimatik antioksidanlar (SOD, APX, GPX, CAT) ve enzimatik olmayan antioksidanlar (askorbik asit, tokoferoller, glutatyon, karotenoidler) bu süreçte etkinlik gösterirler .

Biber, zengin C vitamini kaynağı olmasıyla birlikte beslenme, baharat sanayisi ve sağlık açısından önemli bir bitki olarak değerlendirilmektedir. Biberde 100 gr 'da 160 mg C vitamini bulunmaktadır. Biber, insan sağlığı açısından da önemli bir bitkidir (Eroğlu, 2016). Bu araştırma, biber bitkisinin tuz stresine karşı mekanizmalarını anlamamıza ve tarımsal uygulamalarda verimliliği artırmak için stratejiler geliştirmemize yardımcı olabilir.

Bu bağlamda yapılan çalışmanın amacı, biber bitkilerinin farklı tuz stresi seviyelerine maruz kaldıklarında oksidatif stres parametrelerinde ve antioksidant enzim aktivitelerinde nasıl değişiklikler gösterdiklerini araştırmaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Cheng ve ark., (2022), Biberin (*Capsicum annuum* L.) çimlenme aşamasındaki tuz toleransını ve fizyolojik mekanizmasını belirlemek amacıyla tuz toleransı açısından büyük farklılıklar gösteren Hongtianhu 101 ve Xinxiang 8 çeşitlerini Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , MgSO_4 ve Na_2SO_4 'ün eşit molar oranları kullanılması ile elde edilen 0, 3, 5, 10, 15 ve 20 g/L olmak üzere altı karışık tuz konsantrasyonuna maruz bırakmıştır. Araştırmacılar, karışık tuz konsantrasyonu arttıkça, iki çeşidin çimlenme potansiyeli, çimlenme indeksi, çimlenme oranı, tohum çimlenme canlılık indeksi, kök uzunluğu ve kök taze ağırlığının önemli ölçüde azaldığını, buna karşın göreceli tuz oranının kademeli olarak arttığını bildirmiştir. Hipokotil uzunluğu ve yer üstü taze ağırlığının önce arttığı ve sonra azaldığı raporlanmıştır. Malondialdehit , prolin içeriği, katalaz, peroksidaz ve süperoksit dismutaz aktivitesinin ise önce azaldığını ve daha sonra önemli düzeyde arttığını raporlanmıştır.

Zamljen ve ark., (2022), dört *Capsicum annuum* L. genotipini (Caro F1, Berenyi F1, Somborka ve Novosadka) iki farklı yoğunlukta tuz stresine (20 ve 40 mM) maruz bırakmışlardır. Tüm tuz stresi uygulamalarında, Caro F1 çeşidinin sukroz içeriği hariç, şeker içeriğinde belirgin bir azalma bildirilmiştir. Tuz stresinin, toplam ve bireysel organik asit içeriği üzerinde büyük ölçüde olumsuz etki yaptığı, ancak bu etkinin çeşitler arasında farklılık gösterdiği raporlanmıştır. Araştırmacılar, tuz uygulamasının fenoliklerde önemli artışa yol açtığını ve en yüksek değerlerin 40 mM NaCl uygulamasında belirlendiğini raporlamıştır. Berenyi F1 çeşidinin, bireysel ve toplam fenol içeriği açısından diğer üç çeşitten daha az etkilendiği bildirilmiştir. Tuz stresinin, tüm çeşitlerde kapsaisinoid içeriğini arttırdığı raporlanmıştır. Novosadka çeşidinin, kontrol grubuna göre 20 mM ve 40 mM NaCl'de sırasıyla 17.5 ve 50 kat daha yüksek toplam kapsaisinoid içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, çeşitli metabolit gruplarının sonuçlarıyla *Capsicum* cinsinde tuz stresine verilen reaksiyon ve metabolik içeriğin genotip, meyve kısmı ve tuzluluk düzeyine bağlı olduğunu bildirmiştir.

Butt ve ark., (2021), Beş NaCl tuzluluk seviyesinin, (0,1.5, 3.0, 5.0 ve 7.0 dS m^{-1}) iki biber genotipinin ('Plahi' ve 'A-120) büyümesi, biyokimyasal özellikleri ve verimi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla bir saksı deneyi gerçekleştirmiştir. Tuzluluk stresinin, taze ve kuru ağırlığı, bağlı su içeriğini, su kullanım verimliliğini, yaprak ozmotik potansiyelini, glisin betain (GB) içeriğini, fotosentetik hızı, terleme oranını, stoma iletkenliğini ve klorofil içeriğini önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir.

Tuzluluk stresinin ayrıca malondialdehit içeriğini ve süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidaz gibi enzimatik antioksidanların aktivitelerini önemli ölçüde arttırdığı raporlanmıştır. Ayrıca artan tuzluluk seviyelerinin doku fosfor ve potasyum konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltırken, sodyum ve klorür konsantrasyonlarını arttırdığı raporlanmıştır. Sonuç olarak Plahi genotipinin, A-120'ye kıyasla daha iyi büyüme ve biyokimyasal özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir.

Hand ve ark., (2021), 2017 ve 2018 yıllarında dört farklı NaCl seviyesinin (0, 50, 100 ve 200 mM) üç biber çeşidinin ('Granada', 'Goliath' ve 'Nobili') olgunlaşmış meyvelerinin antioksidan, askorbik asit, organik ve inorganik bileşikler üzerine etkilerini incelemek amacıyla bir deney gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar tuzluluğun biber meyvesinin mineral içeriğini (Ca, K, Zn, Mg, Mn, Demir, S ve P), bağlı su içeriğini ve agromorfolojik parametrelerini azalttığını bildirmiştir. Ayrıca tuzluluğun Na, çözünen proteinler, prolin içeriği, çözünen şeker (fruktoz, glikoz), toplam fenoller ve flavonoidler dahil olmak üzere antioksidanlar ile askorbik asit ve β -karoten içeriğinde önemli bir artışa yol açtığı raporlanmıştır. Araştırmacılar sonuçta incelenen tuzluluk seviyeleri altında, biber meyvelerinde sağlığı destekleyen bileşiklerin (fenolik bileşikler, flavonoidler, β -karoten ve askorbik asit) sentezinde artış ve diğer kalite parametrelerinde önemli değişiklikler meydana geldiğini bildirmiştir.

Kacjan Maršić ve ark., (2021), aşılı dolmalık biber bitkilerinin (*Capsicum annum* L. var. *grossum* (L.) Sendtn.) tuz stresine tepkisini, bitkilerin fotosentetik özellikleri ve mineral içeriği ile meyvenin metabolik kompozisyonunu analiz ederek araştırmışlardır. Bu amaçla Vedrana dolmalık biber çeşidi, tuza dayanıklı "Rocal F1" anacına aşılanmış ve bahar-yaz döneminde iki farklı tuzluluk seviyesinde (20 mM ve 40 mM NaCl) ve kontrol koşulunda (0 mM NaCl) yetiştirilmiştir. Fizyolojik düzeyde, aşılı ve aşısız bitkilerde benzer stomatal fotosentez kısıtlaması, aşılama işleminin artan tuz maruziyeti altında su dengesizliği sorunlarını hafifletmediğini bildirilmiştir. Öğle saatlerinde yapılan su potansiyeli ölçümleri, aşılı bitkilerin su durumunda iyileşme göstermediği raporlanmıştır. Aşılı ve aşısız bitkilerde benzer metabolik değişiklikler, meyve verimindeki benzer azalmalarla da raporlanmıştır. Araştırmacılar bu sonuçlara göre bu aşılama işleminin, orta dereceli tuz uygulaması altında yetiştirilen biber bitkilerinde iyonik ve ozmotik dengesizlik riskini azaltmadığını bildirmiştir. Araştırmacılar tuz eklenen her iki tedavi için de biber meyvesinin biyokimyasal profillerinde değişiklikler gözlemlemiştir. Meyve fenolik bileşiklerinin, anaç aracılığından etkilendiği, ancak yalnızca Temmuz hasadında toplam fenolik içeriğin 40 mM NaCl uygulamasıyla arttığı raporlanmıştır. Meyve

askorbik asit içeriğinin, anaç etkisi olmaksızın, tuz stresi süresiyle birlikte artış gösterdiği raporlanmıştır. Araştırmacılar sonuçta biber meyvesindeki bu kalite özelliğinin tuzdan yüksek oranda etkilenmesinin, anaç etkilerinin daha sınırlı olmasına yol açtığını raporlamıştır.

Nouck ve ark., (2021), tuz stresinin beyaz biberin (*Piper nigrum* L.) büyümesi, kuru ağırlık dağılımı, klorofil içeriği, mineral alımı, biyokimyasal bileşenleri ve enzimatik olmayan antioksidan bileşiklerindeki etkisini araştırmıştır. Bu amaçla beyaz biber tohumları, polietilen torbalara ekilmiş ve altı hafta boyunca besin çözeltisi ile serada tamamen rastgele bir tasarımda yetiştirilmiştir ve bitkiler dört farklı NaCl konsantrasyonuna (0, 50, 100 ve 200 mM) maruz bırakılmıştır. Kültür ortamındaki alım dozlarında NaCl'nin sağlanması, sırasıyla kuru biyokütleyi, gövde yüksekliğini, yaprak alanını ve klorofil içeriğini 100 mM NaCl'den önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir. Ayrıca bitki organlarında mineral elementlerin (K, Ca ve Mg) önemli ölçüde azaldığı raporlanmıştır. Farklı biyokimyasal bileşenlerin (prolin, toplam çözünür karbonhidratlar, çözünür proteinler ve toplam serbest amino asitler), toplam fenolik ve flavonoid içeriklerinin, 50 mM NaCl'den itibaren önemli ölçüde arttığı raporlanmıştır. Araştırmacılar yapraklarda biyokimyasal bileşenlerin birikmesinin, beyaz biberin ozmotik potansiyelini arttırdığını ve tuza toleranslı bitkiler için erken seçim ve ozmotik uyum yeteneğinin biyokimyasal göstergeleri olarak değerlendirilebileceğini raporlamıştır. Sonuçta daha iyi gelişme için tuzdan etkilenen topraklara beyaz biber ekimi teşvik edilebileceği bildirilmiştir.

ALKahtani ve ark., (2020), 2019 ve 2020 yıllarında gerçekleştirdikleri iki saksı denemesi sonucunda, tuzluluk koşullarında Fv/Fm oranı, klorofil a ve b konsantrasyonlarının, bağıl su içeriğinin ve meyve verim özelliklerinin olumsuz etkilendiğini ve önemli ölçüde azaldığını bildirmiştir. Ayrıca, stres altındaki bitkilerde elektrolit sızıntısı, lipit peroksidasyonu, hidrojen peroksit (H₂O₂) ve süperoksit (O₂⁻) seviyelerinin önemli ölçüde arttığını raporlamıştır. Tuzluluğun bitkilerde prolin, katalaz, peroksidaz, süperoksit dismutaz ve glutatyon redüktaz aktivitelerinde önemli artışlara yol açarak bitkilerin strese karşı savunma mekanizmasını aktifleştirdiğini bildirmiştir. Araştırmacılar tuzluluğun ayrıca meyve sayısı, meyve taze ağırlığı ve toplam meyve verimini olumsuz etkilediğini bildirmiştir.

Qui ve ark., (2018), farklı sulama suyu tuzluluk seviyelerine (ECiw 0.9, 1.6, 2.7, 4.7 ve 7.0 dS·m⁻¹) maruz bırakılan acı biber bitkilerinin büyüme, gaz değişim

parametreleri ve iyon konsantrasyonlarına tepkileri incelenmiştir. Sonuçlar, nakilden 25 gün sonra tuz oranı arttıkça acı biber bitkilerinin boyunun azaldığını ve tuzluluğun kök uzunluğunu etkilemediğini bildirmiştir. Tuz konsantrasyonu artışının, gövde çapı, yaprak uzunluğu, yaprak alanı, yaprak klorofil içeriği, kuru madde miktarını, net fotosentez (Pn), stomatal iletkenlik (gS), terleme oranı (Tr), ve hücreler arası CO₂ konsantrasyonunu (Ci) baskıladığını bildirilmiştir. Genel olarak, tuz oranı artışının bitki büyümesi ve gaz değişimi üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu, kök ve gövdelerde Na⁺ konsantrasyonunun birikmesine yol açtığı bildirilmiştir. Araştırmacılar daha yüksek tuzluluk içeren sulamalarda, acı biber büyümesi için tatmin edici bir performans elde etmek amacıyla daha fazla su uygulanmasını önermektedir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

Bu çalışma Harran Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümüne ait olan cam serada gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Kıraç F1 biber çeşidi kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Yüzey sterilizasyonu yapılan biber tohumları torf perlit karışımında çimlendirildi. Çimlenmeden 10 gün sonra fideler perlit ile doldurulmuş plastik saksılara alınarak, 7 günlük büyümenin ardından farklı konsantrasyonlarda NaCl içeren sulama suyu ile sulandı. Uygulama dozları 0, 50, 100, 150, 200 ve 250 mM NaCl olarak belirlenmiştir. 8 haftalık bir gelişim ardından bitkiler planlanan analizlerin yapılması için hasat edilmiştir.

Araştırmanın amacına ulaşması amacıyla aşağıda verilen analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Bitki örneklerin yaş ağırlık, kuru ağırlıkların belirlenmesi

Denemenin sonunda bitkiler saksı yüzeyinden kesilerek üst aksam ve köklerin yaş ağırlıkları kaydedildikten sonra 70°C ayarlı etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

3.2.2. Yaprak bağıl su içeriği (YBSİ)

Her bitkiden gelişimini tamamlamış taze yapraklar kesilerek yaş ağırlıkları alındı. Yaş ağırlıkları belirlenen yapraklar saf su içerisinde 6 saat turgor haline gelmeleri için beklendi ve turgor ağırlıkları alındı. Daha sonra etüvde kurutularak kuru ağırlıkları saptanan yaprakların bağıl su içeriği Barrs ve Weatherley (1962) göre hesaplandı.

3.2.3. Klorofil ve karotenoid tayini

Taze yaprak örnekleri % 80 aseton içinde homojenize edildi. Elde edilen süpernatant santrifüj edildikten sonra optik yoğunluğu, 645 ve 663'te spektrofotometre ile okunarak, örneklerin klorofila, klorofilb ve karotenoid içerikleri Strain ve Svec (1966) tarafından bildirilen şekilde hesaplanmıştır.

3.2.4. Prolin içeriği tayini

Prolin içeriğini ölçümü için ninhidrin yöntemi takip edilmiştir (Bates ve ark., 1973). Taze yaprak örnekleri 10 ml %3' lük sülfosalisilik asit içerisinde homojenize edildikten filtre kağıdından süzölmüştür. Bitki parçacığı içermeyen 2 ml süzük üstüne 2 ml ninhydrin (1.25 g ninhydrin 30 ml glacial asetik asit ve 20 ml 6 M fosforik asit içerisinde çözülecek) 2 ml glacial asetik asit eklenerek 80 °C de sıcak su banyosunda bekletildi. İnkubasyon sonunda örnekler soğutulmuş ve üstüne 4 ml toluen eklenerek 15-20 sn çalkalandıktan sonra 520 nm dalga boyunda absorbansları belirlendi. Prolin konsantrasyonu, L-proline ile hazırlanan kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplandı, ve sonuçlar µmol prolin g⁻¹ taze ağırlık olarak ifade edilmiştir.

3.2.5. % ES (Elektrolit Sızıntısı) belirlenmesi

Bu ölçüm için Dionisio-Sese ve Tobita (1998) tarafından ortaya konan prosedürgöre uygulandı. Bitki örneklerinden 0.1 g alınarak 10 ml saf su içeren tüpe konuldu ve tüpler 2 saat süre ile 32°C' lik sıcak su banyosunda bekletildi. Bu süre sonunda EC metre ile EC1 değerleri ölçüldü. Daha sonra örnekler 20 dakika boyunca 121°C' de bekletildi ve oda sıcaklığına (25 °C) kadar soğutulduktan sonra EC2 değerleri ölçüldü. Alınan veriler ile % ES içeriği $EC1/EC2 \times 100$ formülü ile hesaplandı.

3.2.6. Hidrojen Peroksit (H2O2) Belirlenmesi

Yaprakların hidrojen peroksit içeriği Loreto ve Velikova (2000)' yöntemine göre belirlendi. 0.5 g yaprak örneği % 0.1 (w/v) TCA (Tri-kloro- asetik asit) ile homojenize edildi. Elde edilen çözelti 10 dakika süre ile 10.000 x g'de santrifüj edildi. 0.5 ml süzük üzerine 10 mM K-Fosfat tampon çözeltisi 1 ml 1M KI çözeltisi eklenerek 390 nm dalga boyunda spektrofotometrede okuması gerçekleştirildi. Bitki örneklerinden elde edilen H2O2 konsantrasyonu oranları, hazırlanan standart grafikten hesaplandı.

3.2.7. Malondialdehid (MDA) Belirlenmesi

Yapraklardaki Malondialdehid konsantrasyonu (Jebara ve ark. 2010) yöntemine göre belirlendi. Bunun için 0.5 g yaprak örneği % 0.1 (w/v) trikloroasetik asit içerisinde homojenize edilerek 10 dakika 12000 devirde +4°C de santrifüj edildi. Üst kısımdan alınan 1 ml süzüğe 4 mL %20 lik TCA içinde çözülmüş % 0.5 lik tiyobarbitirik asit (TBA) ilave edilerek 30 dakika boyunca 95 C' de su banyosunda bekletildi. Örnekler buz üzerinde soğutuldu ve 532 ve 600 nm' deki

absorbans değerleri spektrofotometrede ölçüldü. Malondialdehid konsantrasyonu nmol g^{-1} formülü ile taze ağırlık olarak ifade edildi.

3.2.8. Antioksidan enzim aktivitelerinin belirlenmesi

Süper Oksit Düşmütaz enzim aktivitesi Beauchamp and Fridovich (1971) tarafından belirlenen yönteme göre belirlenmiştir. Ekstraksiyon çözeltisinden 25 μl alınarak reaksiyona 50 mM K-fosfat (pH 7.8), 13 mM L-methionine, 33 μM p-NBT, 0.1 mM Na-EDTA ve 5 μM riboflavin eklendi. Bir kontrol çözeltisi hazırlandı. 560 nm dalga boyunda 10-15 dakika beyaz ışıkta bekletildikten sonra okuması yapıldı. Örneklerin 10-15 dk tutulması ile 24 °C ve 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık intensitesi altında NBT'in O_2 tarafından indirgenmesi sağlanmıştır.

Katalaz (CAT) enzim aktivitesi Bergmeyer (1970) tarafından belirlenen metoda göre belirlendi. Bu amaçla 10 mL süpernatant üzerine 50 mM potasyum fosfat buffer (pH 7.0), 10 mM H_2O_2 ve 4 mM Na_2EDTA eklenerek oluşturulan reaksiyon karışımının absorbansı 240 nm de 3 dakika boyunca ölçüldü.

Askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesi Nakano ve Asada (1981) tarafından belirlenen yönteme göre ölçüldü. Bu amaçla 10 mL süpernatant üzerine 50 mM potasyum fosfat buffer (pH 7.0), 0.5 mM askorbik asit, 0.5 mM H_2O_2 ve 1 mM EDTA çözeltisi eklenerek oluşturulan reaksiyon karışımının absorbansı 290 nm'de 3 dakika boyunca ölçüldü.

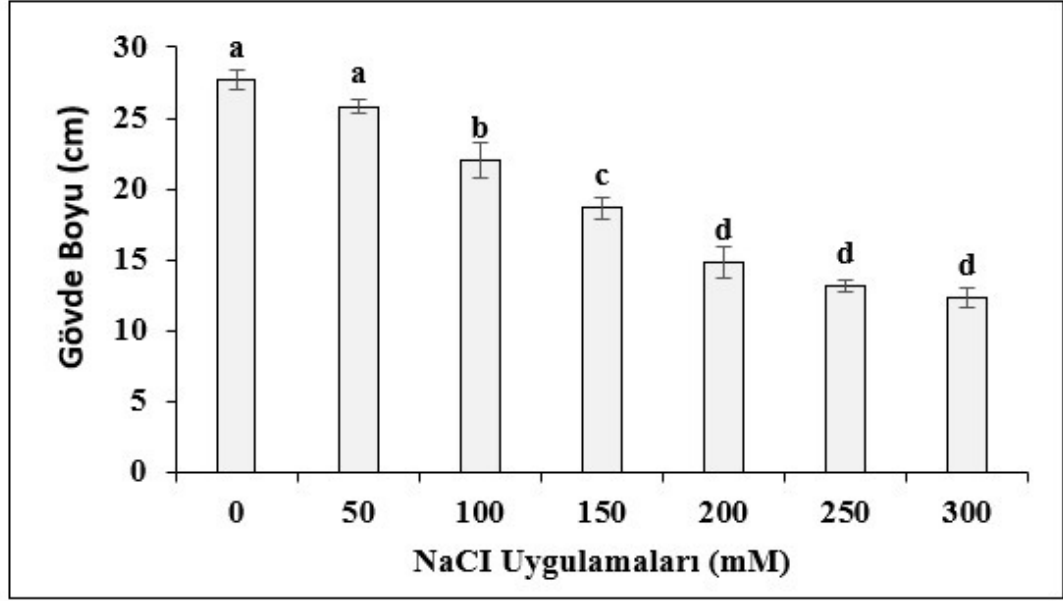
Peroksidaz (POD) enzim aktivitesi Cvikrova ve ark. (1994) tarafından bildirilen yönteme göre belirlenmiştir. Bu amaçla 10 mL yaprak ekstraktı üzerine 50 mM Na-fosfat (pH 6.5), 5 mM guaicol ve 5 mM H_2O_2 eklenerek oluşturulan reaksiyon çözeltisinin absorbans değişimi 470 nm'de 5 dakika süreyle izlendi.

3.2.9. Verilerin Değerlendirilmesi

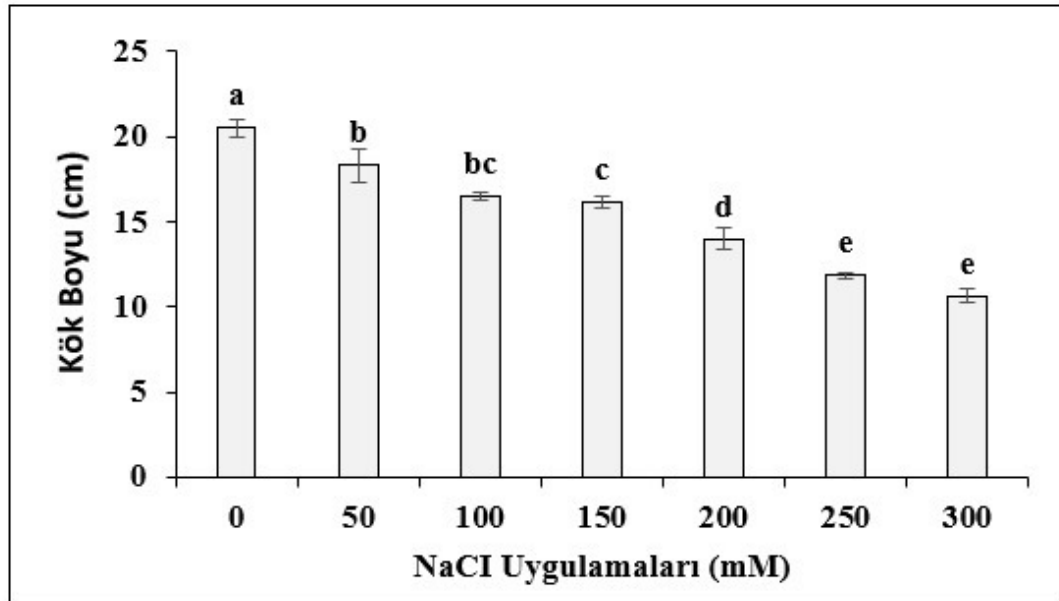
Çalışmada normal dağılım ve varyansların homojenliği varsayımını sağlayan gruplar arasındaki farklılık ANOVA ile analiz edilmiştir. Gruplar arasında farklılığında çıkması ($p < 0.05$) durumunda, farklılığın hangi iki grup arasında kaynaklandığını test etmek için Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Tüm testler $p < 0.05$ önem düzeyinde yapılmıştır. Sonuçlardaki gruplar harflendirilmiş, ortalamalar ve standart hata çubuklarıyla birlikte şekillerde gösterilmiştir.

4. BULGULAR

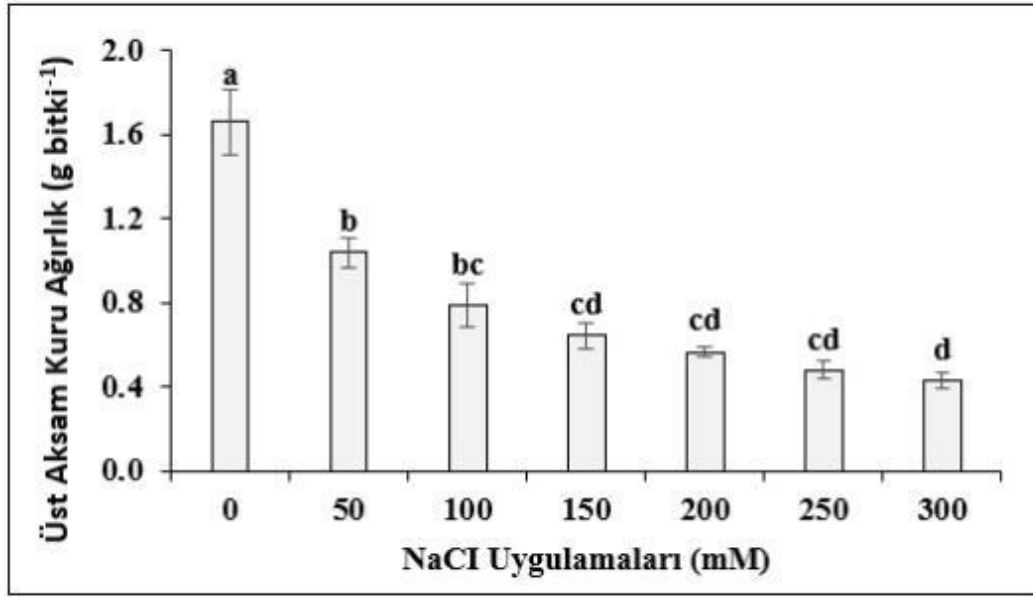
Tuzluluğun biber bitkilerinin fizyolojik gelişimi ve oksidatif stres üzerindeki etkilerinin incelemek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada bitkisi farklı konsantrasyonlarda (0, 50, 100, 200, 400 ve 600 mmol L⁻¹ NaCl) tuz stresine maruz bırakılarak bitkinin fizyolojik ve biyokimyasal etkileri incelenmiştir. Tuzluluğun biber bitkilerinin gövde boyu, kök boyu, üst aksam kuru ağırlığı ve kök kuru ağırlığına etkisini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.1., Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'te sunulmuştur. Yetiştirme ortamında artan tuzluluk fizyolojik ve biyokimyasal fonksiyonlarda değişikliklere neden olarak bitkilerin hem toprak üstü kısmının hem de kök sisteminin büyüme ve gelişmesini engeller (dos Santos ve ark., 2022). Araştırma sonuçlarımız elde edilen veriler tuzluluğun direkt olarak bitki büyüme parametrelerini önemli düzeyde engellediğini gösterdi. Artan NaCl konsantrasyonuna bağlı olarak biber bitkilerinin gövde boyu, kök boyu, üst aksam kuru ağırlığı ve kök kuru ağırlığının önemli düzeyde azaldı. Benzer bulgular OroscoAlcalá ve ark., (2021), Kabir ve ark., (2021) ve El-Beltagi ve ark., (2022) tarafından tuz stresi koşullarındaki biber bitkilerinde raporlanmıştır. Çalışmamızda gövde boyu 50 mM düzeyindeki tuzluluktan etkilenmedi ancak NaCl konsantrasyonu 100 mM düzeyine çıktığında bitki büyümesinin önemli düzeyde azaldı ve bu azalma istatistiksel açıdan önemli bulundu ($p \leq 0.05$). Gövde boyu bakımından en düşük değerler 200 mM ve üzerindeki NaCl konsantrasyonlarında elde edildi. Kök boyu ise en düşük NaCl konsantrasyonundan (50 mM) itibaren önemli düzeyde azaldı. Üst aksam ve kök kuru ağırlığıda benzer şekilde artan NaCl konsantrasyonuna bağlı olarak azaldı. NaCl'den kaynaklanan bu azalma istatistiki açıdan önemli bulundu.



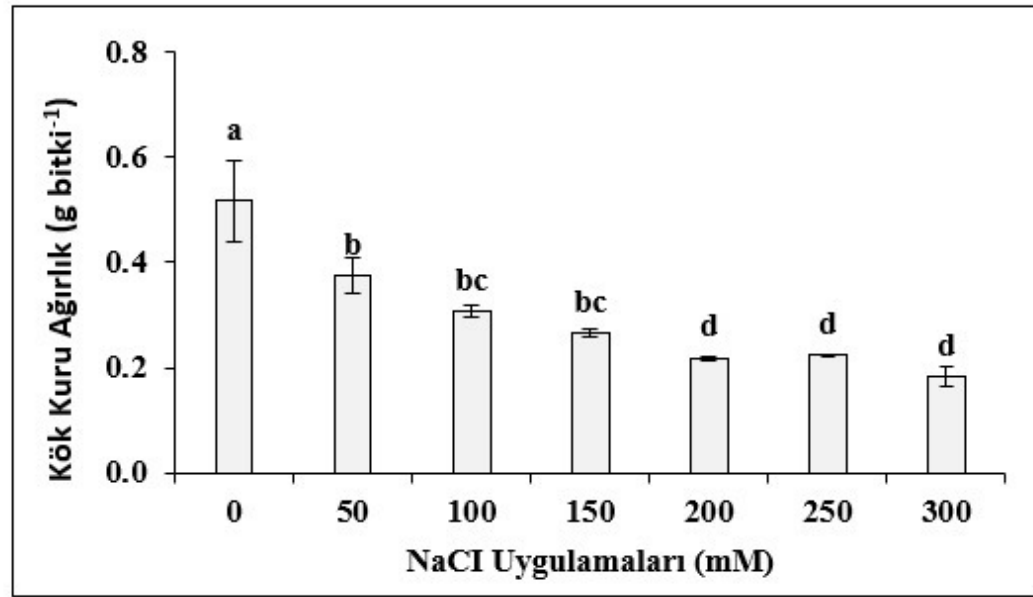
Şekil 4.1. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin gövde boyuna etkisi



Şekil 4.2. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin kök boyuna etkisi



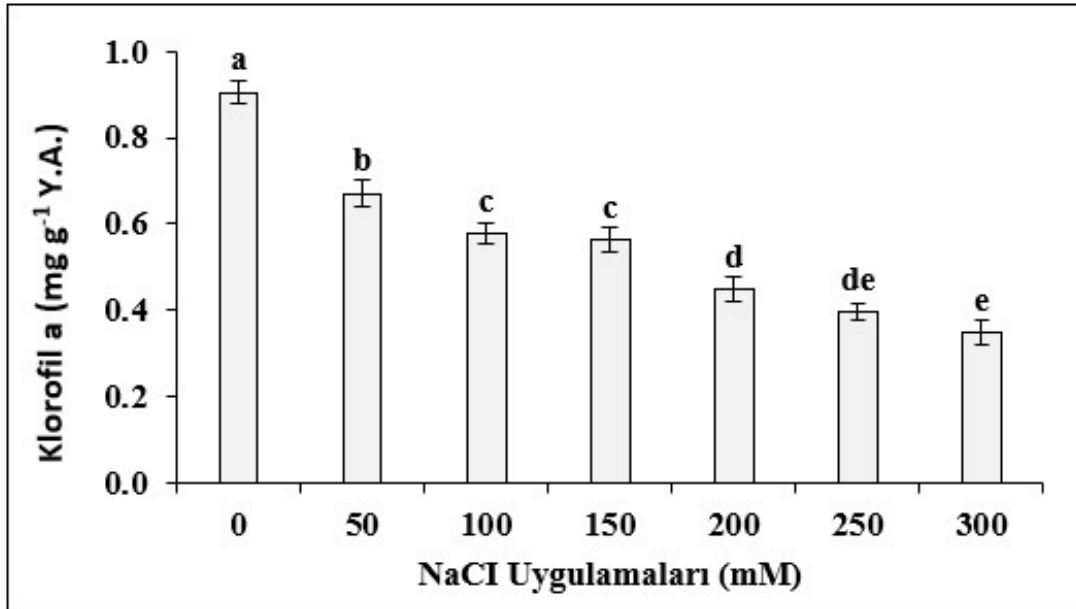
Şekil 4.3. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin üst aksam kuru ağırlığına etkisi



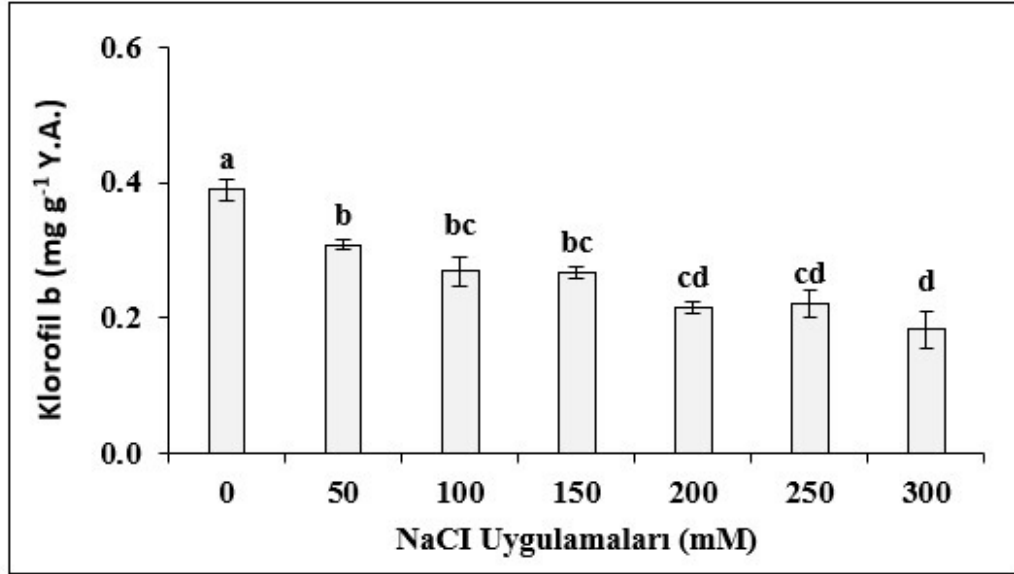
Şekil 4.4. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin kök kuru ağırlığına etkisi

Tuz stresinin biber bitkilerinin klorofil a, klorofil b, toplam klorofil içeriğine ve maksimum kuantum verimine (F_v/F_m) etkisini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.5., Şekil 4.6., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de sunulmuştur. Klorofil a ve b fotosentez sürecinde çok önemli pigmentlerdir, bu süreçte iki reaksiyon gerçekleşir. Böyle bir reaksiyon, NADPH ve ATP'nin üretildiği ışık reaksiyonudur ve ikincisi, karbondioksitin sabitlendiği karanlık reaksiyondur (Allakhverdiev ve ark., 2002).

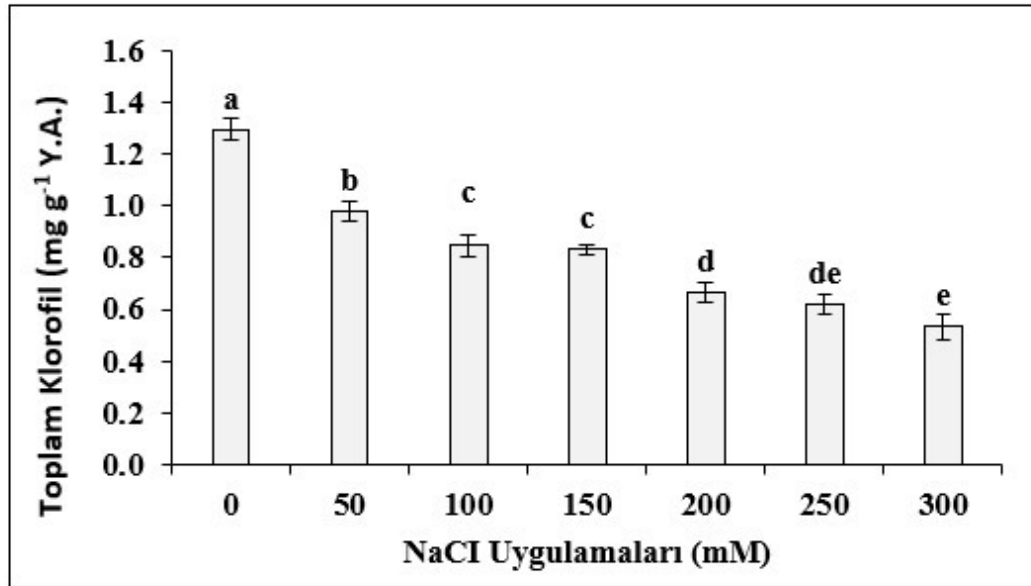
Daha önceki araştırmacılar tuzluluğun klorofil içeriği üzerindeki olumsuz etkilerini bildirmiştir (Hamani ve ark., 2020; ALKahtani ve ark., 2020; Kacjan Maršić). Bu durum tuzluluğun kloroplast yapısı üzerindeki zararlı etkisinden kaynaklanabilir (Khan ve ark., 2020), bu da PSII'den PSI'ya enerji taşınmasını azaltır (Wang ve ark., 2018) ve sonuç olarak stres altındaki tatlı biber bitkilerinde klorofil oluşumunu azaltır. Tuzluluğun klorofil içeriği üzerindeki zararlı etkisi aynı zamanda stoma iletkenliğindeki azalma ve biyokimyasal süreçlerin tahrip edilmesinden kaynaklanmaktadır (Tavakkoli ve ark., 2010). Sonuçlarımız artan tuzluluğun biber bitkilerinin fotosentetik pigment içeriği ve Fv/Fm değerlerini önemli düzeyde olumsuz etkilediğini gösterdi. En düşük değerler 300 mM NaCl konsantrasyonunda elde edildi



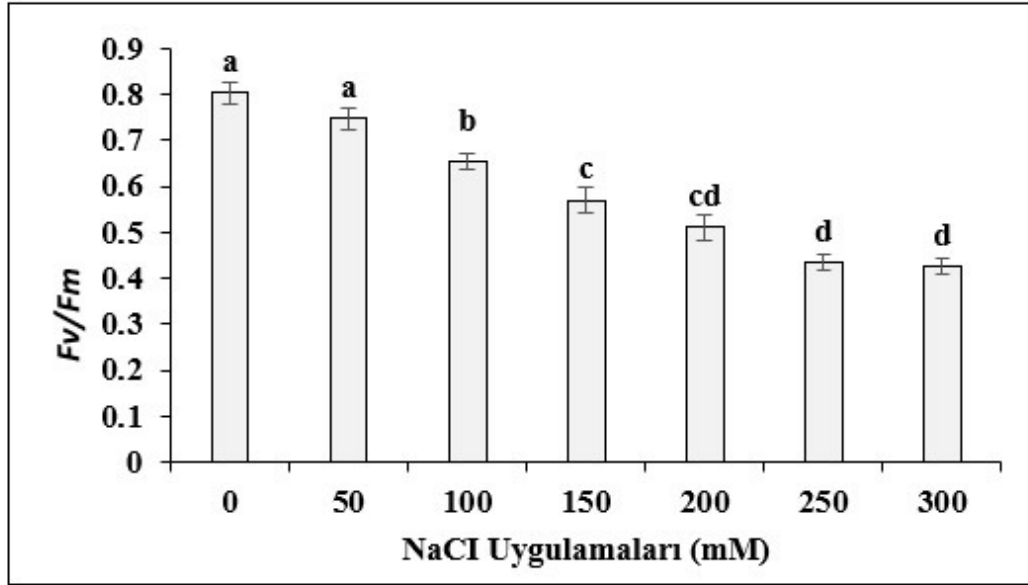
Şekil 4.5. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin klorofil a içeriğine etkisi



Şekil 4.6. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin klorofil b içeriğine etkisi

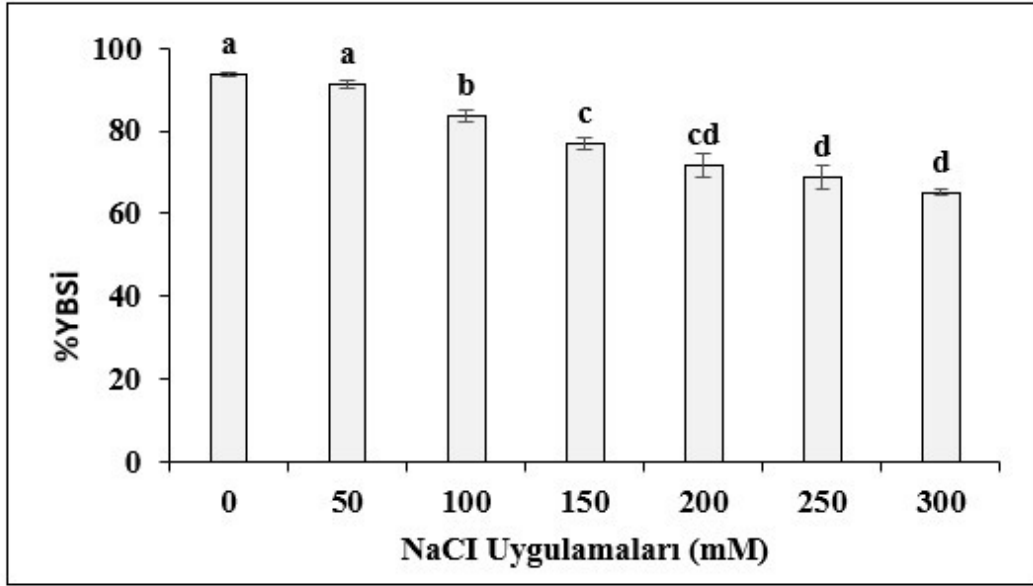


Şekil 4.7. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin toplam klorofil içeriğine etkisi

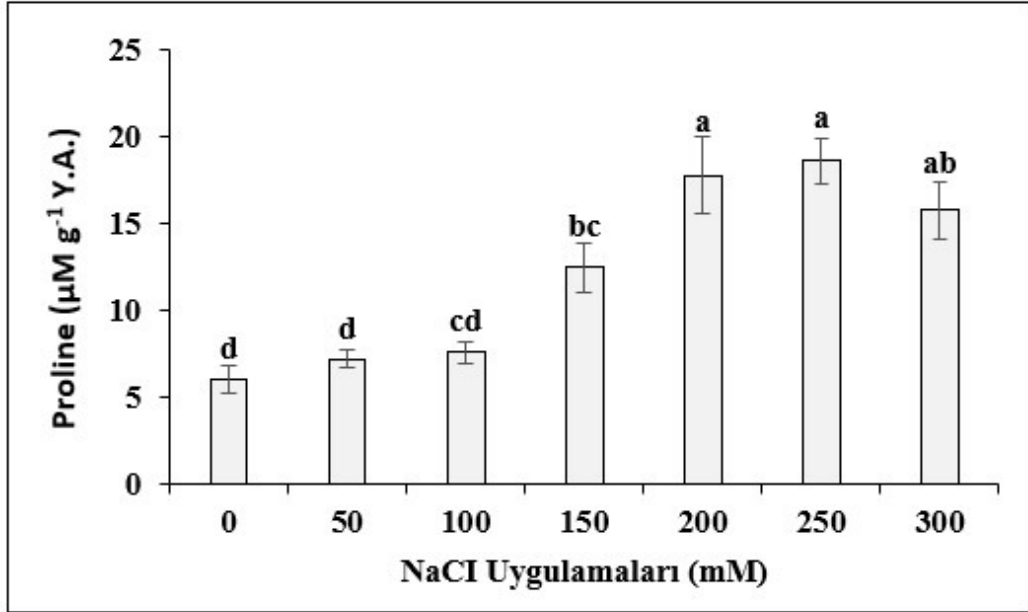


Şekil 4.8. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin maksimum kuantum verimine (Fv/Fm) etkisi

Tuz stresinin biber bitkilerinin yaprak bağıl su içeriği (YBSİ) ve proline içeriğine etkisini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.'da sunulmuştur. YBSİ bitki su durumunun değerlendirilmesinde önemli bir parametredir ve stres koşullarında olumsuz etkilenir (Elsayed ve ark. 2011). Araştırma bulgularımız tuzluluğun yaprak bağıl su içeriğini önemli düzeyde azalttığı gözlemlendi. Benzer bulgular diğer araştırmacılar tarafından çeşitli bitkilerde raporlanmıştır (Kumar ve ark., 2021; Pour-Aboughadareh ve ark., 2021; Saeidinia ve ark., 2023). Sonuçlarımız 50 mM NaCl'nin YBSİ etkilemediğini, minimum değerlerin ise 250 mM ve üzerindeki NaCl seviyelerinde belirlendiğini göstermektedir. Prolin, ozmotik ayarlama, stabilizasyon, enzimlerin, proteinlerin ve membranların korunması ve lipid membran oksidasyonundaki azalma açısından tuzluluk stresinden korumada önemli rol oynar (Abdallah ve ark., 2022). Tuzluluk stresim koşullarında prolin birikiminde meydana gelen artış birçok araştırmacı tarafından raporlanmıştır (Mosaad ve ark., 2020; Gohari ve ark., 2021; Nguyen ve ark., 2021). Araştırma sonuçlarımız diğer araştırmacılarla benzer şekilde artan tuzluluğun biber bitkilerinin yapraklarında proline birikimine yol açtığı gözlemlenmiştir. Spesifik olarak 50 mM düzeyindeki tuzluluk proline içeriğine etki etmemiş ancak 200 mM ve üzerindeki NaCl seviyelerinde maksimum proline birikimi gözlemlendi.



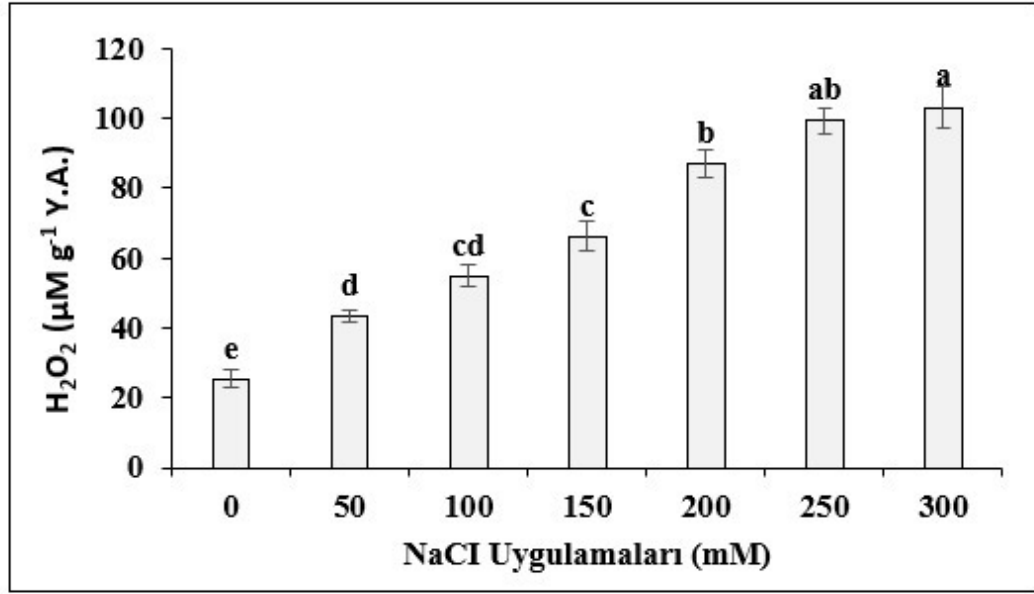
Şekil 4.9. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin yaprak bağıl su içeriğine (YBSİ) etkisi



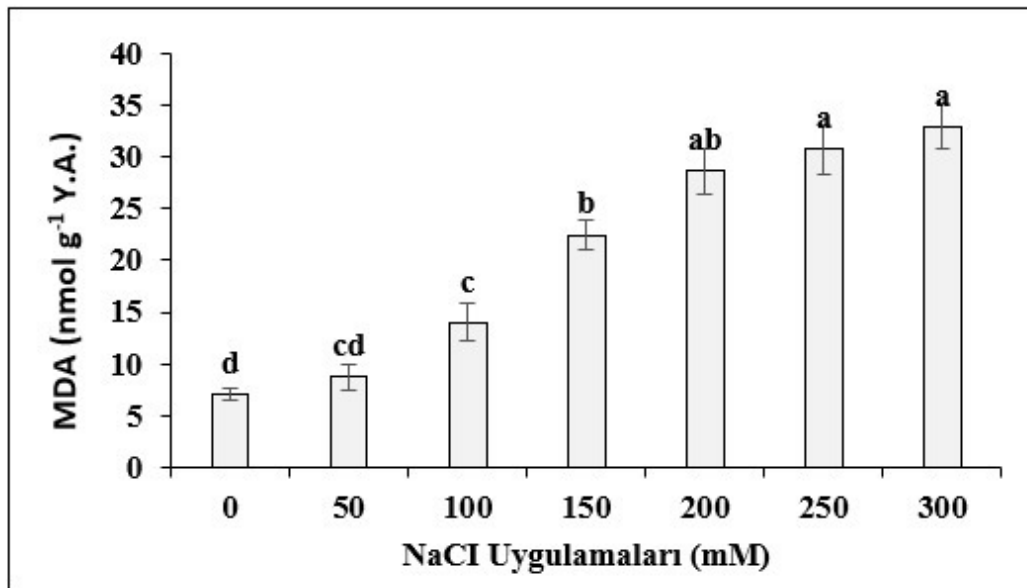
Şekil 4.10. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin prolin içeriğine etkisi

Tuz stresinin biber bitkilerinin hidrojen peroksit (H_2O_2), malondialdehit (MDA) ve elektrolit sızıntı (ES) değerlerine etkisini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.11., Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'te sunulmuştur. Tuzluluk stresi, oksidatif stresin önemli göstergeleri olan H_2O_2 ve MDA seviyelerinin artışına ve hücre zarı bozulmasının bir sonucu olan ES'ye yol açar (Alzahrani ve ark.,2019).

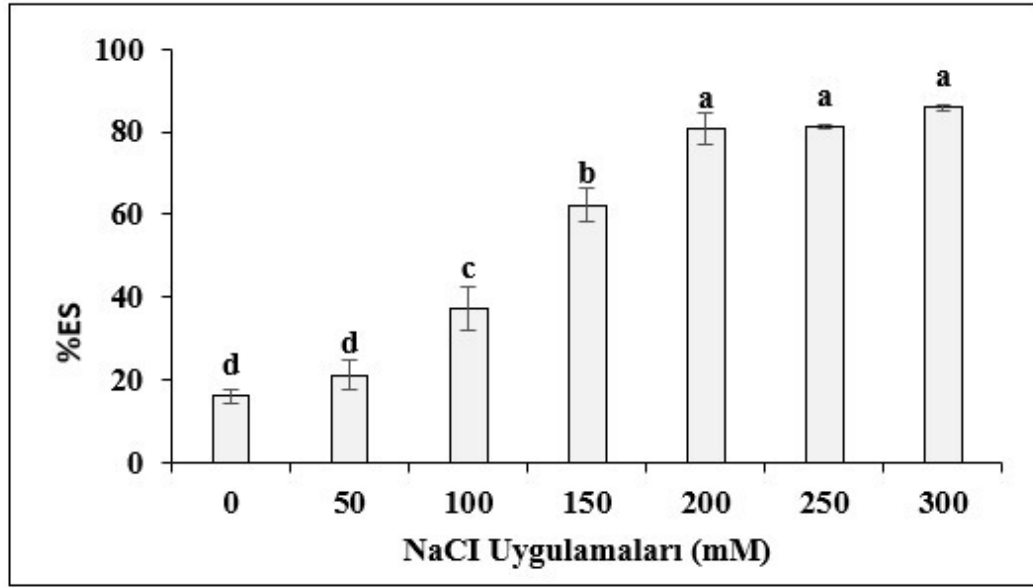
Araştırmamızda artan tuzluluğa bağlı olarak bu parametrelerde önemli artışlar kaydedildi. Bu sonuçların tuzluluğun oksidatif stres sonucu bitki büyümesinin engellendiğinin bir göstergesi olabilir.



Şekil 4.11. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriğine etkisi

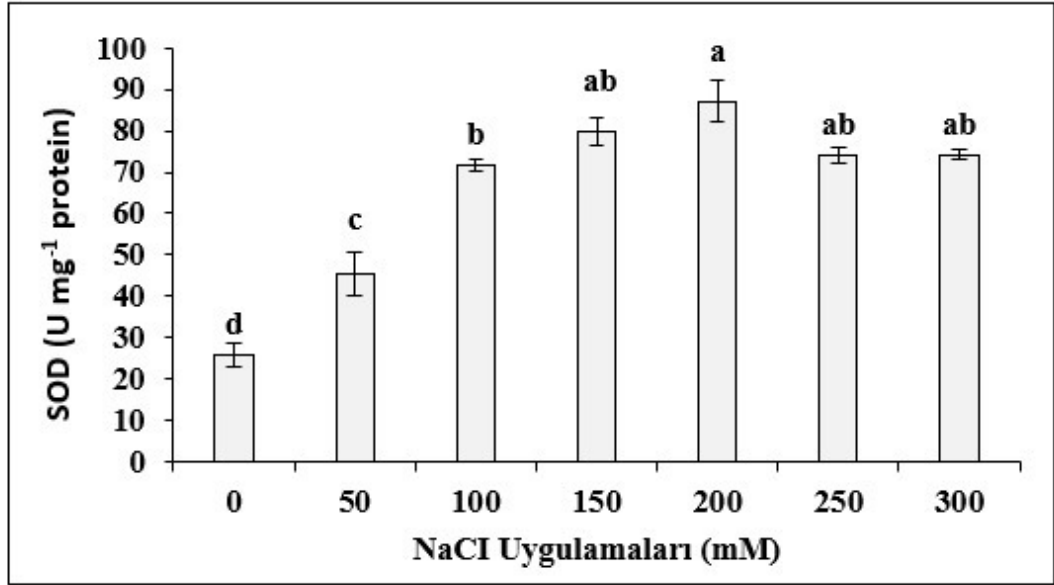


Şekil 4.12. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin malondialdehit (MDA) içeriğine etkisi

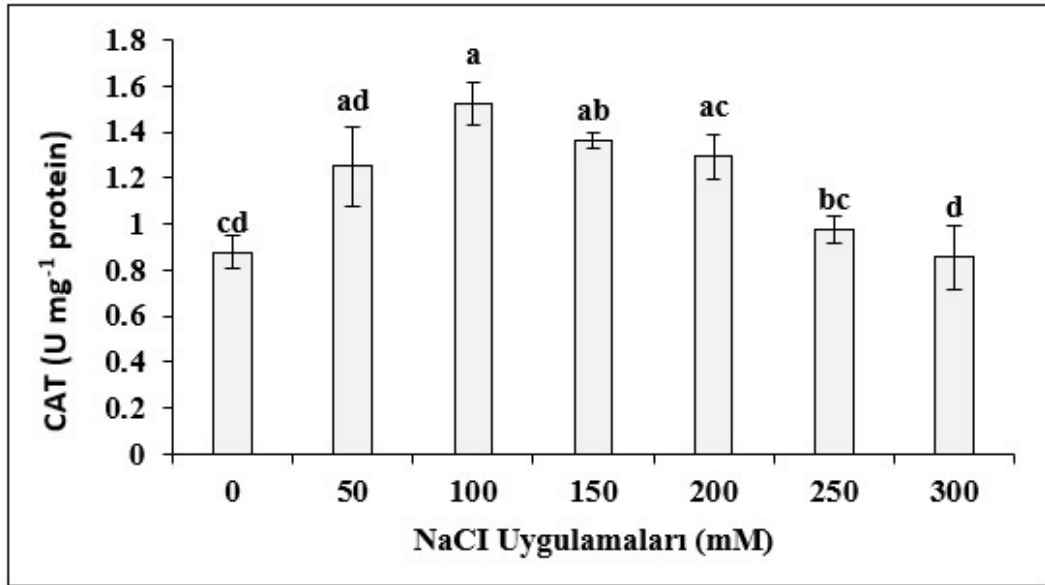


Şekil 4.13. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin elektrolit sızıntısı (ES) değerlerine etkisi

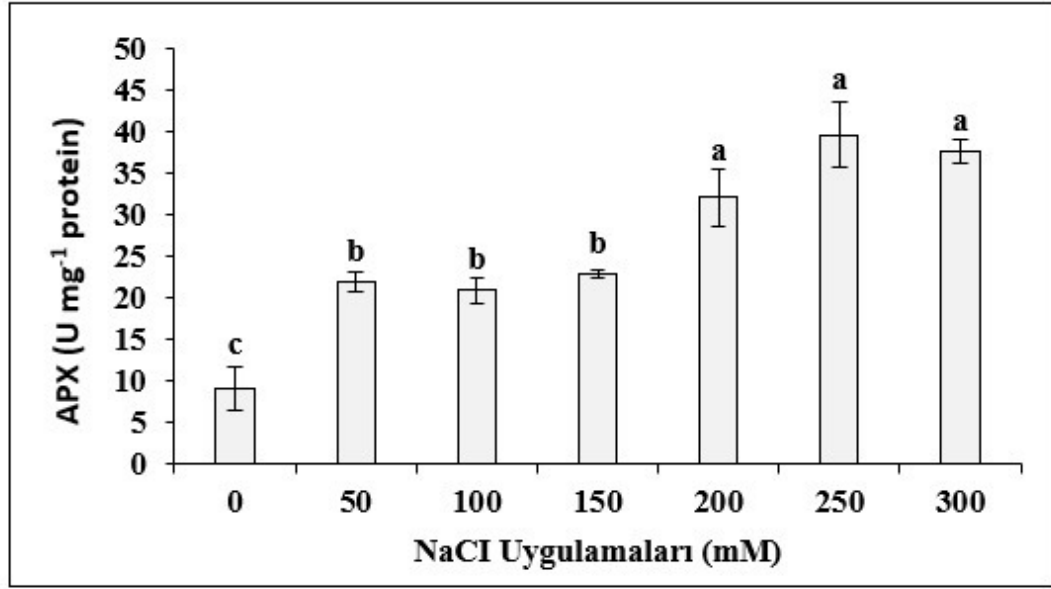
Tuz stresinin biber bitkilerinin süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve peroksidaz (POD) enzim aktivitelerine etkisini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.14., Şekil 4.15., Şekil 4.16. ve Şekil 4.17.'de sunulmuştur. Bitkiler oksidatif stres altında yaşamlarını devam ettirebilmek ve stresle başa çıkabilmek için ROS'un kontrolü ve detoksifikasyonunu sağlayan çeşitli antioksidanlara sahiptirler (Rejeb ve ark., 2014). SOD, APX, CAT ve POD bitkilerde ROS detoksifikasyonunda yer alan önemli enzimatik antioksidanlardır (Rajput ve ark., 2021). Araştırmamız tuz stresi koşullarında antioksidan enzim aktivitelerinin önemli düzeyde arttığı gözlemlendi. Bu sonuçlar NaCl stresi altındaki bitkilerde bildirilen daha önceki raporlar ile uyumludur (Moghaddam ve ark., 2020; Zeeshan ve ark., 2020; Pan ve ark., 2021; Omidı ve ark., 2022). Araştırma sonuçlarımız artan NaCl konsantrasyonu ile beraber SOD aktivitesinin arttığını, ancak 200 mM üzerindeki seviyelerde SOD aktivitesinin düştüğü göstermektedir. CAT ve POD aktivitesinin artan NaCl ile birlikte arttığı, ancak 150 mM üzerine çıkan dozlarda enzim aktivitelerinin azaldığı gözlemlendi. APX aktivitesinde ise maksimum değerler 200 mM üzerindeki tuzluluk seviyelerinde gözlemlendi.



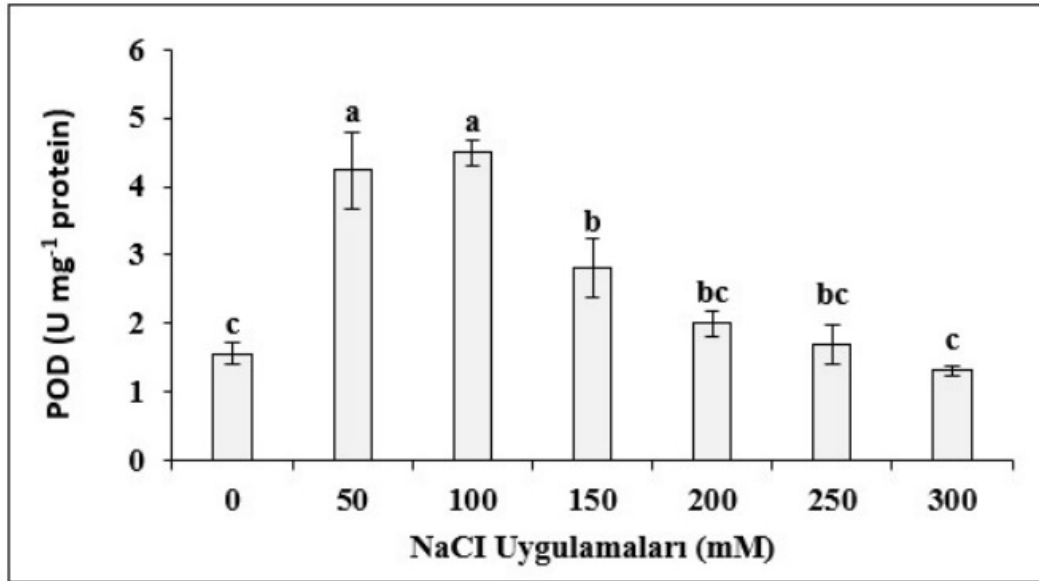
Şekil 4.14. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin süper oksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesine etkisi



Şekil 4.15. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin katalaz (CAT) enzim aktivitesine etkisi



Şekil 4.16. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesine etkisi



Şekil 4.17. Tuz uygulamalarının biber bitkilerinin peroksidaz (POD) enzim aktivitesine etkisi

5. TARTIŞMA

Tuz stresinin biber bitkilerinin gövde boyu, kök boyu, üst aksam kuru ağırlığı ve kök kuru ağırlığı üzerinde belirgin bir olumsuz etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Artan NaCl konsantrasyonları ile birlikte bu parametrelerde önemli düzeyde azalma yaşanmıştır. Bu bulgular, dos Santos ve ark. (2022) tarafından da belirtildiği gibi, tuzluluğun bitkilerin büyüme ve gelişimini engellediğini desteklemektedir. Özellikle, 50 mM NaCl düzeyindeki tuzluluk bitki büyüme parametreleri üzerinde anlamlı bir etkiye neden olmamışken, 100 mM ve üzerindeki konsantrasyonlarda belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, biber bitkilerinin tuza karşı tolerans seviyesinin düşük olduğunu ve tuz stresinin belirli bir eşik ötesinde büyüme üzerindeki etkilerinin hızla arttığını göstermektedir. Bu sonuçlar, Orosco-Alcalá ve ark. (2021), Kabir ve ark. (2021), ve El-Beltagi ve ark. (2022) ile uyumludur.

Tuzluluğun klorofil a, klorofil b, toplam klorofil içeriği ve Fv/Fm üzerindeki etkileri, tuzluluğun fotosentez sürecinde önemli rol oynayan pigmentleri olumsuz etkilediğini göstermektedir. Klorofil içeriğindeki azalma, tuzluluğun kloroplast yapısı üzerindeki zararlı etkilerinden kaynaklanabilir (Khan ve ark., 2020). Ayrıca, artan NaCl konsantrasyonları ile birlikte Fv/Fm değerlerinde de düşüşler gözlemlenmiştir. Bu durum, tuzluluğun fotosentetik etkinliği engellediğini ve bitkilerin enerji üretim kapasitesini azalttığını gösterir (Allakhverdiev ve ark., 2002; Wang ve ark., 2018).

Tuzluluğun yaprak bağıl su içeriği (YBSİ) üzerinde önemli bir azaltıcı etkisi olduğu bulunmuştur. YBSİ'deki azalma, bitkilerin su durumunun bozulduğunu ve stres koşullarına yanıt olarak su kaybının yaşandığını göstermektedir (Elsayed ve ark., 2011). Prolin birikiminde meydana gelen artış, bitkilerin ozmotik dengeyi sağlamak ve hücresel yapıları korumak için bir savunma mekanizması olarak yorumlanabilir (Abdallah ve ark., 2022). Çalışmamız, prolin içeriğinin 200 mM ve üzerindeki NaCl konsantrasyonlarında maksimum seviyeye ulaştığını göstermiştir, bu da prolinin tuz stresine karşı bir adaptasyon mekanizması olarak işlev gördüğünü desteklemektedir.

Tuz stresinin biber bitkilerinde hidrojen peroksit (H_2O_2) ve malondialdehit (MDA) seviyelerini artırdığı ve elektrolit sızıntısı (ES) değerlerinde önemli bir artışa yol açtığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, tuzluluğun oksidatif stresin bir göstergesi olan bu parametrelerdeki artışlarla ilişkilendirilebileceğini ve bitkilerde hücre zarı bozulmasına neden olduğunu işaret etmektedir (Alzahrani ve ark., 2019).

Antioksidan enzim aktiviteleri üzerinde yapılan analizler, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve peroksidaz (POD) aktivitelerinin tuz stresi ile birlikte önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Bu artış, bitkilerin reaktif oksijen türlerinin detoksifikasyonu için savunma mekanizmalarını artırdığını ve NaCl stresine karşı yanıt verdiğini gösterir (Rejeb ve ark., 2014; Rajput ve ark., 2021). SOD aktivitesinin 200 mM NaCl üzerindeki seviyelerde düştüğü, CAT ve POD aktivitelerinin artarken 150 mM üzerindeki dozlarda azaldığı gözlemlenmiştir. APX aktivitesinin ise maksimum değerlerinin 200 mM NaCl konsantrasyonlarında gözlemlenmesi, bu enzimlerin tuz stresine karşı bitkilerin savunma mekanizmalarında kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, biber bitkilerinin tuz stresine yanıtlarını detaylı bir şekilde inceleyerek, bitkilerin tuz stresine karşı verdikleri fizyolojik ve biyokimyasal tepkileri anlamaya yönelik önemli veriler sunmuştur. Tuzluluğun bitki büyümesini, fotosentetik aktiviteyi, su dengesini ve oksidatif stres seviyelerini nasıl etkilediği açıkça ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, tuz stresine dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, biber bitkileri artan tuz konsantrasyonlarına maruz kaldıkça, büyüme parametreleri, fotosentetik pigment içeriği, yaprak bağıl su içeriği, prolin birikimi ve antioksidan enzim aktiviteleri üzerinde belirgin olumsuz etkiler yaşamıştır. NaCl konsantrasyonlarının artması, bitkilerin gövde boyu, kök boyu, üst aksam ve kök kuru ağırlığında önemli azalmalar meydana getirmiştir. Aynı zamanda, tuz stresi, klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriği ile maksimum kuantum veriminde azalmaya yol açarak bitkilerin fotosentetik kapasitesini ve enerji dönüşüm verimliliğini düşürmüştür. Artan tuzluluk, yaprak bağıl su içeriğini azaltmış, buna karşın prolin birikimini artırmıştır. Prolin birikimi, bitkilerin tuz stresine karşı osmotik ayarlama ve hücre yapısının korunmasında önemli bir rol oynamıştır. Tuz stresi ayrıca, H₂O₂, MDA ve elektrolit sızıntısı gibi oksidatif stres belirteçlerinde artışa neden olmuş, buna karşılık antioksidan enzim aktivitelerinde (SOD, CAT, APX ve POD) önemli artışlar gözlemlenmiştir. Ancak yüksek NaCl konsantrasyonlarında bazı enzim aktivitelerinde düşüşler kaydedilmiştir. Bu bulgular, tuzluluk stresinin biber bitkilerinin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini olumsuz etkilediğini ve bu etkinin bitki büyümesi, fotosentetik kapasite ve su durumu üzerinde belirgin olduğunu ortaya koymaktadır.

7. ÖNERİLER

Biber yetiştiriciliğinde sulama suyu tuzluluğunun kontrol edilmesi gerektiği ve özellikle 200 mM ve üzerindeki NaCl konsantrasyonlarının bitki büyümesini önemli düzeyde inhibe ettiği gerçeği dikkate alınmalıdır. Biber bitkilerinde tuz stresi altında bitki performansını artıracak biyostimülanlar ve mikrobesein elementleri uygulamalarının etkinliği detaylı olarak incelenmelidir. Tuz stresinin uzun vadeli etkilerini ve bu etkilerle başa çıkma yöntemlerini anlamak için geniş ölçekli alan denemeleri yapılmalıdır. Bu denemeler, gerçek tarla koşullarında gerçekleştirilerek daha kapsamlı ve geçerli sonuçlar elde edilmelidir. Bu öneriler, tuzluluk stresinin olumsuz etkilerini en aza indirerek biber yetiştiriciliğinde verimliliği artırmaya yönelik stratejiler sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Allakhverdiev, S. I., Nishiyama, Y., Miyairi, S., Yamamoto, H., Inagaki, N., Kanasaki, Y., & Murata, N. (2002). Salt stress inhibits the repair of photodamaged photosystem II by suppressing the transcription and translation of psbA genes in *Synechocystis*. *Plant Physiology*, 130(3), 1443-1453 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12428009/>
- Alzahrani, S. M., Alaraidh, I. A., Migdadi, H., Alghamdi, S., Khan, M. A., & Ahmad, P. (2019). Physiological, biochemical, and antioxidant properties of two genotypes of *Vicia faba* grown under salinity stress. *Pak. J. Bot*, 51(3), 786-798. <https://www.researchgate.net/publication/330424555>
- Butt, M., Sattar, A., Abbas, T., Hussain, R., Ijaz, M., Sher, A., ... & Zuan, A. T. K. (2021). Morpho-physiological and biochemical attributes of Chili (*Capsicum annum* L.) genotypes grown under varying salinity levels. *Plos one*, 16(11), <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0257893>
- Cheng, C., Liu, J., Wang, Z., Liu, J., Wang, Y., Liao, Y., ... & Yao, F. (2022). Analysis of effect of compound salt stress on seed germination and salt tolerance analysis of pepper (*Capsicum annum* L.). *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (189),. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36533829/>
- Dos Santos, T. B., Ribas, A. F., de Souza, S. G. H., Budzinski, I. G. F., & Domingues, D. S. (2022). Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: a review. *Stresses*, 2(1), 113-135. <https://www.mdpi.com/2673-7140/2/1/9>
- El-Beltagi, H. S., Ahmad, I., Basit, A., Shehata, W. F., Hassan, U., Shah, S. T., ... & Mohamed, H. I. (2022). Ascorbic acid enhances growth and yield of sweet peppers (*Capsicum annum*) by mitigating salinity stress. *Gesunde Pflanzen*, 74(2), 423-433. <https://www.researchgate.net/publication/357837394>
- Elsayed, S., Mistele, B., & Schmidhalter, U. (2011). Can changes in leaf water potential be assessed spectrally?. *Functional Plant Biology*, 38(6), 523-533. <https://www.researchgate.net/publication/262995971>
- Gohari, G., Panahirad, S., Sepehri, N., Akbari, A., Zahedi, S. M., Jafari, H., ... & Fotopoulos, V. (2021). Enhanced tolerance to salinity stress in grapevine plants through application of carbon quantum dots functionalized by proline. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 42877-42890. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33829379/>
- Hamani, A. K. M., Wang, G., Soothar, M. K., Shen, X., Gao, Y., Qiu, R., & Mehmood, F. (2020). Responses of leaf gas exchange attributes, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in NaCl-stressed cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings to exogenous glycine betaine and salicylic acid. *BMC Plant Biology*, 20, 1-14. <https://bmcpantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-020-02624-9>
- Hand, M. J., Nono, G. V., Tonfack, L. B., Youmbi, E., & Taffouo, V. D. (2021). Nutrient composition, antioxidant components and ascorbic acid content

- response of pepper fruit (*Capsicum annuum* L.) cultivars grown under salt stress. *International Journal of Biology*, 2(1), 43-70. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=107614>
- Kabir, M. Y., Nambeesan, S. U., Bautista, J., & Díaz-Pérez, J. C. (2021). Effect of irrigation level on plant growth, physiology and fruit yield and quality in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 281, 109902. <https://www.researchgate.net/publication/349042219>
- Kacjan Maršič, N., Štolfa, P., Vodnik, D., Košmelj, K., Mikulič-Petkovšek, M., Kump, B., ... & Širčelj, H. (2021). Physiological and biochemical responses of ungrafted and grafted bell pepper plants (*Capsicum annuum* L. var. *grossum* (L.) Sendtn.) grown under moderate salt stress. *Plants*, *Plants (Basel)* 10(2), 314. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33562107/>
- Khan, N., Bano, A., & Curá, J. A. (2020). Role of Beneficial Microorganisms and Salicylic Acid in Improving Rainfed Agriculture and Future Food Safety. *Microorganisms*, 8, 1018. <https://www.mdpi.com/2076-2607/8/7/1018>
- Kumar, S., Li, G., Yang, J., Huang, X., Ji, Q., Liu, Z., ... & Hou, H. (2021). Effect of salt stress on growth, physiological parameters, and ionic concentration of water dropwort (*Oenanthe javanica*) cultivars. *Frontiers in plant science*, 12, <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.660409/full>
- Moghaddam, M., Farhadi, N., Panjtandoust, M., & Ghanati, F. (2020). Seed germination, antioxidant enzymes activity and proline content in medicinal plant *Tagetes minuta* under salinity stress. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 154(6), 835-842. <https://www.researchgate.net/publication/337802772>
- Mosaad, I. S., Serag, A. H., Moustafa-Farag, M., & Seadh, A. K. (2020). Effect of exogenous proline application on maize yield and the optimum rate of mineral nitrogen under salinity stress. *Journal of plant nutrition*, 43(3), 354-370. <https://www.researchgate.net/publication/336650416>
- Nguyen, H. T. T., Das Bhowmik, S., Long, H., Cheng, Y., Mundree, S., & Hoang, L. T. M. (2021). Rapid accumulation of proline enhances salinity tolerance in Australian wild rice *Oryza australiensis* Domin. *Plants*, 10(10), 2044. <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/10/2044>
- Nouck, A. E., Hand, M. J., Numfor, E. N., Ekwel, S. S., Ndouma, C. M., Shang, E. W., & Taffouo, V. D. (2021). Growth, mineral uptake, chlorophyll content, biochemical constituents and non-enzymatic antioxidant compounds of white pepper (*Piper nigrum* L.) grown under saline conditions. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(4), 1457-1468. <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/217496>
- Omidi, M., Khandan-Mirkohi, A., Kafi, M., Zamani, Z., Ajdanian, L., & Babaei, M. (2022). Biochemical and molecular responses of *Rosa damascena* Mill. cv. kashan to salicylic acid under salinity stress. *BMC Plant Biology*, 22(1), 373.

- <https://bmcplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-022-03754-y>
- Orosco-Alcalá, B. E., Núñez-Palenius, H. G., Díaz-Serrano, F., Pérez-Moreno, L., Valencia-Posadas, M., Trejo-Tellez, L. I., ... & Valiente-Banuet, J. I. (2021). Grafting improves salinity tolerance of bell pepper plants during greenhouse production. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 62(6), 831-844. <https://www.researchgate.net/publication/351920563>
- Pan, L., Cui, S., Dinkins, R. D., & Jiang, Y. (2021). Plant growth, ion accumulation, and antioxidant enzymes of endophyte-infected and endophyte-free tall fescue to salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(6), 95. <https://www.researchgate.net/publication/352148312>
- Pour-Aboughadareh, A., Mehrvar, M. R., Sanjani, S., Amini, A., Nikkhah-Chamanabad, H., & Asadi, A. (2021). Effects of salinity stress on seedling biomass, physiochemical properties, and grain yield in different breeding wheat genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(7), 98. <https://www.researchgate.net/publication/349922966>
- Qiu, R., Yang, Z., Jing, Y., Liu, C., Luo, X., & Wang, Z. (2018). Effects of irrigation water salinity on the growth, gas exchange parameters, and ion concentration of hot pepper plants modified by leaching fractions. *HortScience*, 53(7), 1050- <https://www.researchgate.net/publication/326606703>
- Rejeb KB, Abdelly C, Savouré A. (2014). How reactive oxygen species and proline face stress together. *Plant Physiol Biochem.* 80:278–284. <https://www.researchgate.net/publication/326606703>
- Saeidinia, M., Beiranvand, F., Mumivand, H., & Mousavi, S. H. (2023). The effect of the salinity stress on the yield, morphological characteristics, essential oil and RWC of *Satureja hortensis* (case study: Khoramabad, Iran). *Journal of Drought and Climate Change Research*, 1(1), 97-108. https://jdcir.birjand.ac.ir/article_2468.html?lang=en
- Tavakkoli, E, Rengasamy, P., & McDonald, G. (2010). High concentrations of Na⁺ and Cl⁻ ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *J. Exp. Bot.* 61, 4449–4459. https://www.agronomy.org/publications?gad_source
- Wang, W., Wang, C., Pan, D., Zhang, Y., Luo, B., & Ji, J. (2018). Effects of drought stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence images of soybean (*Glycine max*) seedlings. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 11, 196–201. https://connect.acspubs.org/agricultural-food-chemistry-authors?utm_source
- Zamljen, T., Medic, A., Hudina, M., Veberic, R., & Slatnar, A. (2022). Salt stress differentially affects the primary and secondary metabolism of peppers (*Capsicum annuum* L.) according to the genotype, fruit part, and salinity level. *Plants*, 11(7), 853. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35406833/>
- Zeeshan, M., Lu, M., Sehar, S., Holford, P., & Wu, F. (2020). Comparison of biochemical, anatomical, morphological, and physiological responses to

salinity stress in wheat and barley genotypes differing in salinity tolerance.
Agronomy, 10(1), 127. <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/1/127>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

İsim Soyisim : İBRAHİM BAŞAK
Doğum Tarihi : 0000-00-00
Doğum Yeri : ŞANLIURFA
Telefon : 0500 000 00 00
E-Posta : basakibrahim14@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Okul	Bölüm	Baş. Yılı	Bit. Yılı
HARRAN ÜNİVERSİTESİ	TOPRAK BİLİMİ VE BTİKİ BESLEME	2020	2024